UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

"ANALISIS ESPACIAL DEL INCREMENTO EN LA SUPERFICIE CULTIVADA CON AGUACATE EN MICHOACAN.
EL CASO DE LOS MUNICIPIOS DE TANCITARO, PERIBAN, URUAPAN, TINGAMBATO Y NUEVO PARANGARICUTIRO (1976 A 2000 Y 2000 A 2007)".

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LIC. EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A:

MARIA DEL ROSARIO GONZÁLEZ ALEGRÍA

ASESOR:
DR. GERARDO BOCCO VERDINELLI

MÉXICO, D.F. 2010

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Reconocimientos

Este trabajo representa el fin e inicio de una nueva etapa de mi vida y, sin lugar a dudas, es un puente hacia nuevas metas. Este logro estuvo acompañado de muchas personas muy importantes, ya que en gran parte se debió a la motivación que obtuve de ellas.

Primeramente, a la fuerza de Dios que estuvo y está siempre conmigo por su luz, su bendición y la energía que me concede.

A mis padres Concepción y José Manuel, con todo mi amor y respeto por el inmenso esfuerzo, el cual hizo posible mi formación académica y profesional, por su apoyo, amor comprensión y cariño, que siempre me han brindado.

A mis hermanos, por sus palabras de aliento, su tiempo y compañía.

A mis amigos que se encuentran lejos y a los que se encuentran cerca.

Gracias….

Desde el señor Dios de mi ser,
Yo soy
Y para mi mundo lo que yo conciba,
Será de armonía
Y de amor,
De gracia
Y de luz
Que así sea mi mundo
Porque hay un consolador
El Señor Dios de mi Ser.
¡Que así sea!

Ramtha

En la medida en que el recuerdo
de las acciones colectivas
se enlace con los caprichos de la topografía,…
¡el espacio se convierte en territorio!

Paul Claval

Agradecimientos

En este espacio en que se me permite hablar de manera personal, quisiera agradecer especialmente a algunas personas e instituciones que de alguna manera intervinieron en la realización de este trabajo.

Al Dr. Gerardo Bocco, por la dirección de esta tesis y sus magnificas asesorías, por sus valiosos comentarios y observaciones con respecto a este trabajo.

Al Dr. Fernando Antonio Rosete Vergés, por la dirección de esta tesis y por su apoyo en el trabajo en campo. De aquí partió este proyecto, gracias por impulsarme a la investigación, por sus valiosos comentarios y observaciones con respecto a este trabajo, además de brindarme su amistad y confianza en el tiempo que he colaborado con él.

A los miembros del sínodo: Al Geógrafo José Manuel Espinoza Rodríguez, por sus valiosos comentarios y observaciones con respecto a este trabajo, así como por sus sugerencias.

Al Geógrafo Pastor Gerardo González Ramírez, por su valiosa amistad y consejos, así como por la revisión del trabajo, comentarios y sugerencias.

Al Geógrafo Eduardo Antonio Pérez Torres, por la revisión del trabajo, así como por sus comentarios y sugerencias.

Al Geógrafo José Luís Pérez Damián, por su amistad, su apoyo, su comprensión y por sus magnificas asesorías en la parte del análisis cartográfico.

Al Oceanógrafo Gilberto Enríquez Hernández, por su amistad y su colaboración para la realización de esta tesis.

Al Bibliotecólogo Arturo Hernández por las facilidades brindadas en cuanto a los préstamos de libros, por todo su apoyo y amistad, mil gracias.

Al personal del Instituto Nacional de Ecología (INE), por todo su apoyo, cariño y amistad que me brindaron.

……Y a todas aquellas personas que en alguna forma intervinieron en la realización de esta investigación.

CONTENIDO

CONTENIDO I
Reconocimientos IV
Agradecimientos V

I. Introducción y Justificación 1
II Antecedentes del área de estudio 3
lll. Objetivos 6
lll.1 Objetivo general 6
lll. 2 Objetivos particulares 6
IV. Hipótesis 6

CAPITULO 1. Marco Teórico 7
1.1. Clasificación botánica 7
1.2. Composición 7
1.3. Importancia económica del aguacate 9
1.4. Importancia nutricional 10
1.5. Caracterización y composición del aceite de aguacate 10
1.7. Distribución geográfica del aguacate en México 12
1.8. Distribución geográfica mundial del aguacate 13
1.9. Consumo del aguacate a nivel mundial 14
1.10. Definición de cambio de uso de suelo 15

CAPITULO 2. Conceptos básicos de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica 16
2.1. Percepción Remota (PR) 16
2.1.1. Importancia y aplicaciones de PR 17
2.1.2. Tipos de sensores 17
2.1.3 Serie Landsat 18
2.1.4 Serie Spot 21
2.2 Estructura de una imagen de satélite 22
2.3 Procesamiento digital 24
2.3.1. Correcciones radiométricas 24
2.3.2. Correcciones geométricas 24
2.4. Análisis e interpretación visual de imágenes 25
2.4.1. Clasificación de imágenes 26
2.4.2. Clasificación No supervisada 26
2.4.3. Clasificación Supervisada 27
2.5. Análisis multitemporal con imágenes de satélite y Sistemas de Información Geográfica (SIG) 28

CAPITULO 3. Área de estudio 30
3.1. Localización 30
3.2 Clima 30
3.3. Geología 33
3. 4.Fisiografía 34

3. 5.Hidrología 35
3.6. Suelos 36
3.7. Fauna 36
3.8. Características generales de la población 37

CAPITULO 4. Materiales y métodos 39
4.1. Materiales 39
4.1.1 Insumos cartográficos 39
4.1.2 Imágenes de satélite 40
4.2. Proceso metodológico para la obtención de los mapas del cambio de uso de suelo y vegetación de los periodos 1976-2000 y 2000-2007. 40
4.3. Estandarización cartográfica. 41
4.4. Actualización de las áreas de cultivo de aguacate. 42
4.4.1Verificacion fecha 1 42
4.4.2 Verificación fecha 2 43
4.4.3 Verificación fecha 3 43
4.5. Desagrupación 46
4.6. Análisis de cambio de uso de suelo y vegetación 47
(1976-2000) 47
4.7. Análisis de cambio de uso de suelo y vegetación, ... 48
(2000-2007) 48
4.8. Generalización espacial por área mínima cartografíable (AMC) 48
4.8.1 Manejo estadístico 48
4.8.2 Cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000) 49
4.8.3 Cambio de uso de suelo y vegetación (2000-2007) 49
4.8.4 Falsos cambios 50
4.8.5 Procesos de cambio 50
4.8.6 Procesos de cambio de cultivo de aguacate 51

CAPITULO 5. Resultados 52
5.1. Cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000) 52
5.2. Matriz de cambio (1976-2000) 53
5.3. Cambio de uso de suelo y vegetación (2000-2007) 56
5.4. Proceso de cambio de uso de suelo y vegetación 58
(1976-2000) 58
5.4.1 Procesos de cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000). 58
5.4.2. Procesos de cambio de uso de suelo y vegetación 58
(2000-2007) 58
5.4.3 Procesos de cambio de uso de suelo y vegetación 59
(1976-2000) 59
5.5. Tasa de cambio para toda la zona de estudio 59
5.5.1 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación 60
5.5.2 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación periodo 60
5.5.3 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación período 61
5.6. Tasa de cambio por municipio 62
5.6.1 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación por municipio período (1976-2000) 62

5.6.2 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación por municipio período (2000-2007). 63
5.6.3 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación por municipio período (1976-2007) 64
5.7. Dinámica del cultivo de aguacate (1976-2000) 64
5.7.1 Dinámica del cultivo de aguacate (1976-2000) 65
5.7.2 Dinámica del cultivo de aguacate (2000-2007) 65

CAPÍTULO 6.- Discusión 66

CAPITULO 7. Conclusiones 69
A. Para toda la región 69
B. Nivel municipal 71
Comentarios Finales 72

Bibliografía 73

Resumen

En el Estado de Michoacán se encuentran varios tipos de coberturas vegetales introducidas por el hombre, que revisten gran importancia ambiental, debido a las extensiones de terrenos que ocupan y a los productos que le brinda a la población (local y externa). Entre otros destaca el cultivo de huertas de aguacate, que ha traído profundos cambios en la cultura agrícola de la región, ya que Michoacán tiene el 83% de la superficie de producción nacional de aguacate.

La descripción geográfica de los usos del suelo en un determinado corte temporal informa acerca de las modalidades que reviste la organización del uso del suelo en relación con asentamientos humanos e infraestructura, acerca de cómo el territorio es ocupado por actividades agrícolas, industriales o de servicios; y cómo impactan estas actividades a la sustentabilidad ambiental. Por lo tanto, la descripción geográfica diacrónica nos permite construir una imagen del cambio histórico de la ocupación y uso del territorio, y con ello detectar tendencias de conservación o deterioro ambiental, a nivel regional.

En el presente estudio se ha recurrido al análisis cartográfico y estadístico de los cambios de uso del suelo de los municipios Tancítaro, Peribán, Uruapan, Tingambato y Nuevo San Juan Parangaricutiro, que corresponden a la zona aguacatera del estado de Michoacán.

Para comprender el estado actual del cambio de uso de suelo, se realizaron diferentes clasificaciones digitales supervisadas de imágenes de satélite (bajo el método supervisado con 9 diferentes tipos de coberturas y vegetación del terreno para 3 fechas (1976, 2000 y 2007) para obtener, de esta forma, el cambio de uso en un período de 31 años. Se utilizaron los sensores Landsat ETM+7 y Spot 2HRVIR VEGETATION 1.

Como resultado, se obtuvo un modelo de análisis cartográfico y estadístico donde se muestra la dinámica de los cambios de uso de suelo en los tres períodos; además, se elaboraron matrices de cambio, donde el cruce de datos permite ubicar, con gran precisión, las permanencias y transformaciones de las coberturas a lo largo de los cortes temporales.

En este sentido, se obtuvo que durante el periodo 1976 – 2000 la cobertura de bosque disminuyó 14,577 ha, lo cual indica un proceso de deforestación continuo que modificó la cobertura original. En el caso del cultivo de aguacate durante el periodo 1976 -2000, la cobertura disminuyó 5,791 ha. Por otro lado durante el periodo 2000 – 2007 la cobertura de bosque ganó 1,156.78 ha, debido a los programas de reforestación implementados por el Gobierno de Michoacán, mientras que durante el periodo 2000 - 2007, la cobertura de cultivo de aguacate aumento 7,425.35 ha., debido a los beneficios económicos que reciben los pobladores de la región por su venta en el mercado nacional y extranjero.

Por último, es importante mencionar que el futuro del cultivo del aguacate requiere que los productores e involucrados en la actividad, tengan el conocimiento y las herramientas que les permitan un mayor desarrollo del cultivo, sin perder de vista el manejo sustentable de la región.

I. Introducción y Justificación

Actualmente la magnitud y el alcance espacial de las alteraciones del hombre en la superficie terrestre no tienen precedentes; siendo los cambios más importantes aquellos que se relacionan con la conversión de la cobertura y uso del suelo (Lambin *et al*., 2001).

Entre sus efectos más importantes, se encuentra la pérdida de suelos, incluyendo el de su materia orgánica, lo que impide el desarrollo de las estructuras de los horizontes superficiales y los hace más susceptibles a la erosión y degradación (Lambin *et al*., 2001).

Cuando este proceso se presenta, las plantas, los animales y los procesos ecológicos ambientales (la recarga de los mantos acuíferos y la captura de carbono) también resultan afectados y enfrentan problemas para su permanencia y funcionamiento futuro (Aguilar *et al*., 2002).

El incremento poblacional y sus requerimientos de alimento y espacio han propiciado una mayor demanda del suelo y, con ello, presiones más intensas para cambiar la vegetación natural hacia otros usos.

Desde épocas prehispánicas los bosques han presentado una fuerte intervención humana, por lo que es necesario buscar un modelo de desarrollo sustentable que maneje formas alternas de conservación y aprovechamiento de dicho ecosistema (Bocco *et al*, 2001).

La eliminación de la cubierta vegetal para habilitar terrenos dedicados a las actividades agropecuarias, quizás sea el ejemplo más evidente de lo anterior, aunque también ocurren cambios a usos urbanos, incluso de sitios que anteriormente estaban dedicados a las actividades agrícolas o pecuarias.

El proceso *cambio de uso de suelo* muestra la magnitud y las tendencias en la dinámica del uso del suelo, así como las presiones potenciales de las actividades que propician su cambio.

El análisis de la cobertura vegetal y uso del suelo y su cambio en el tiempo, nos permite conocer cómo se está utilizando cada zona o región determinada o qué recursos permanecen en su estado natural; en este sentido, el análisis espacial consiste en examinar y resaltar los cambios, específicamente en el área donde el bosque ha sido desplazado por el cultivo de aguacate.

El área de estudio objeto de este trabajo fue seleccionada por ser una región que ha traído profundos cambios en la cultura agrícola del estado de Michoacán. En este sentido, la expansión de cultivos de huertos de aguacate ha traído una serie de efectos sociales, tanto positivos como negativos.

Entre los positivos se encuentra el incremento del ingreso en la región por lo bien cotizado del producto, así como el crecimiento de la infraestructura de los pueblos aguacateros de la región.

Entre los negativos encontramos conflictos agrarios entre pequeños propietarios, ejidatarios y comuneros, además de las diversas afectaciones ambientales (uso del agua, uso de agroquímicos, deforestación). Con base en lo anterior, es relevante realizar estudios del cambio de uso del suelo, que permitan conocer cómo las actividades frutícolas de la región han originado un cambio en la cobertura vegetal.

Es por ello, que resulta necesario, realizar un seguimiento del cultivo de aguacate, para conocer cómo ha desplazado a otras coberturas vegetales, y poder establecer su comportamiento en el tiempo y el espacio.

México es el mayor productor de aguacate en el mundo, el cultivo se extiende en todo el país en forma de huertos familiares y explotaciones comerciales. Michoacán es el reflejo de la gran expansión y dinamismo del cultivo de

aguacate, ya que es considerado como uno de los alimentos naturales más completos, beneficiosos y más versátiles del mundo.

El nombre Aguacate se deriva del náhuatl Ahuácatl, que significa testículo, probablemente por la forma colgante del fruto (Figura 1). La especie que se cultiva en la zona de estudio es *Persea americana*, que pertenece a la familia de las Lauráceas (*Lauraceae*), que abarca plantas leñosas productoras de esencias que crecen en regiones cálidas y otras especies como el laurel, el alcanfor y la canela, las cuales pertenecen a su misma familia.

Figura 1.- Árbol de Aguacate (*Persea americana)*

Foto: Municipio de Uruapan, Michoacán

II Antecedentes del área de estudio

La colonización española modificó, de manera radical, la forma de ocupación y uso del espacio geográfico de la región Purépecha. Las comunidades rurales, mayoritariamente indígenas, congregadas en la región pudieron construir paulatinamente organizaciones sociales estables, basadas en un nuevo sistema agrícola, en el acceso en mancomunidad a terrenos comunitarios, y en un sistema de relativa autosuficiencia basado en el desarrollo de un mercado

campesino regional, que se mantuvo fuerte hasta las décadas de 1940 y 1950 (Bocco y Mendoza, 2001).

La modernidad ha provocado transformaciones en el paisaje y uso del suelo de la región Purépecha. A finales del siglo XIX y principios del XX, se generó un impacto por parte de empresas forestal que, junto con el ferrocarril, explotaron los bosques de la región (Bocco y Mendoza, 2001).

Este impacto fue importante, aunque duró pocos años debido al levantamiento revolucionario de 1910, y a la profunda reforma agraria que vivió la región desde 1930. En esos años de inactividad los bosques se recuperaron (Garibay y Bocco, 2000).

En 1943, la erupción del volcán Paricutin provocó una fuerte afectación en los bosques de la región, una pequeña superficie en torno al cono del volcán, no mayor a 1 000 ha, fue modificada permanentemente por un colada de lava. Asimismo, una amplia superficie de bosques y parcelas agrícolas, en torno al pico de Tancítaro fueron afectadas por la intensa lluvia de cenizas que se prolongó durante muchos meses (Bocco y Mendoza, 2001).

Hacia mediados de la década de 1950 los bosques mostraron indicios claros de recuperación gracias al “lavado” producido por las precipitaciones y al trabajo de los campesinos que “lavaron” muchas de las parcelas agrícolas que habían quedado sepultadas en la región (Garibay y Bocco, 2007).

Como resultado de la modernización, se debilita el mercado regional campesino, como uno de los efectos de su integración al mercado nacional en el marco del proceso de industrialización. Ello desató un conjunto de transformaciones que modificaron los usos del suelo y el uso de los recursos naturales de la región, mismo que pueden resumirse en tres grandes procesos 1) especialización regional en la explotación forestal 2) expansión del monocultivo de aguacate 3) quiebra del sistema agrícola maicero-ganadero (Garibay y Bocco, 2007).

El cultivo de aguacate se inició de manera sistemática en los años 1950 como árboles de sombra para el cultivo de café en la región de Uruapan pero su producción era secundaria en relación con la del café (Bocco et al., 2001).

En la década de 1960 se introdujo de California la variedad de aguacate hass. Esta variedad fue muy apreciada por los mercados nacionales e internacionales por su condición de aguacate suculento y especialmente por la dureza de su cáscara que le permite resistir los maltratos del empaque y transporte (Bocco *et al*., 2001). Al final de esta década el aguacate hass ocupaba una superficie de 15,000 ha en el Estado de Michoacán.

Para finales de la década de 1970 la superficie cultivada se elevó a 23,000 ha. En los años 1980, se incrementó hasta las 35,000 ha. y en lo que va de la primera década del nuevo siglo la superficie suma un total de 83,000 ha. (Aguirre, 2006).

La tendencia de la superficie sembrada de aguacate a nivel nacional muestra un crecimiento aproximado del 10%, en el periodo comprendido entre 1989 y 1994.

El aguacate es el principal cultivo frutícola en el estado de Michoacán y se encuentra distribuido en lo que se denomina la *franja aguacatera* que comprende en orden de importancia los siguientes municipios: Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Tingambato, Peribán y Tancítaro, seguidos de otros de menor producción como: Ziracuaretiro, Tacámbaro, Los Reyes, Ario de Rosales, Villa Escalante, Tinguindín y Chilota.

Michoacán aporta el 83% de la producción nacional de aguacate. (Aguirre, 2006). Según algunos conteos, aproximadamente el 40% de la superficie está en terrenos comunales o ejidales y el 60% en tierras en propiedad privada. (Aguirre, 2006)

lll. Objetivos

Los objetivos del presente estudio son los siguientes:

lll.1 Objetivo general

Determinar la dinámica del cultivo de aguacate durante el período 1976 a 2000 y de 2000 a 2007, en los municipios de Tancítaro, Peribán, Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Tingambato, en el estado de Michoacán.

lll. 2 Objetivos particulares

- Identificar las áreas de incremento en el cultivo de aguacate, en particular sobre el bosque templado de pino-encino.

- Cuantificar la superficie de bosque templado de pino-encino que se ha perdido a causa del cultivo de aguacate.

- Representar espacialmente las zonas donde han ocurrido los cambios de bosque de pino-encino a cultivo de aguacate y la distribución geográfica actual del cultivo de aguacate.

- Calcular las tasas de cambio de uso de suelo del cultivo de aguacate entre cada período de tiempo analizado.

IV. Hipótesis

El cultivo de aguacate, en el estado de Michoacán, se produce a expensas de coberturas vegetales, en particular sobre el bosque templado.

CAPITULO 1. Marco Teórico

1.1. Clasificación botánica

Nombre científico: *Persea gratísima Gaertn,* también llamado Persea Americana. Nombres vulgares: Avocado en inglés; Aguacate en español; Abacate en portugués; Avogado o avocado en alemán.

El aguacate es un árbol de hojas persistentes, originario de América Central. Se cultiva en casi todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Los mayores productores son México, Estados Unidos, Brasil y Colombia. Se reconocen tres razas ecológicas (subespecies): mexicana, guatemalteca y antillana, las cuales se consideran subtropicales, semitropicales y tropicales respectivamente (Correa, 1974).

La fruta del aguacate es una baya grande con una sola semilla. Es muy nutritiva y caracterizada por un alto contenido de grasa, cuya composición es similar al aceite de oliva, vitamina A y cantidades significativas de vitaminas B y C (Pino, 1997). Dentro de sus caracteres botánicos y descripción, el aguacate puede alcanzar una altura de 10 a 15 m y es de rápido crecimiento. Su tronco es derecho con corteza verde clara cuando es joven y gris en la edad adulta, pero siempre lisa. Ramas erguidas con hojas persistentes, de 20 a 30 cm de largo por 8 a 10 de ancho, alternas, enteras, ovales y de color verde oscuro.

1.2. Composición

La composición del aguacate difiere en dependencia de la variedad y el tiempo de maduración. Así, por ejemplo, el aguacate fresco tiene un contenido de aceite entre 5 y 30%; proteínas entre 1 y 5% y también niacina y otras vitaminas del complejo B. Algunas variedades contienen cantidades significativas de ß-caroteno y vitamina C (Batista, 1993).

Las variedades de la India Occidental son las de menor contenido de grasa (4 a 7%). Las frutas guatemaltecas varían del 10 a 13%, mientras que el grupo de las mexicanas rinden de 10 a 15%, y la especie de California cuenta con un 15 a 30%. Hay excepciones de esta generalización, dependiendo del hábitat (Batista, 1993).

El contenido en aceite también varía dependiendo de la parte de la fruta (Tabla 1). Se plantea que los niveles de aceite en el mesocarpio o pulpa de buenas variedades oscilan entre 1 y 2%, a principios de estación y del 30% a finales de la estación. Este contenido de aceite le confiere a la fruta valiosas propiedades nutritivas como fuente de energía, vitaminas y lípidos insaturados (Batista, 1993).

Tabla 1: Composición de algunas variedades de aguacate (Batista, 1993)

Variedad	Peso de la fruta (g)	Porción comestible	Humedad	Proteína	Grasa	Hidratos de carbono	Cenizas
				Peso de la fruta (%)			
Fuerte $_c$*	256	71.3	65.7	1.51	1.51	4.62	1 60
Fuerte	566	73.5	68.3	1.36	1.36	4.82	1 27
Hass	200	75.0	66.4	1.80	1.80	7.80	1 20
Dickenson	254	70.0	72.0	1-56	1.56	4.69	1.35
Lula	496	63.3	73.9	1.21	1.21	1.78	0.92
Trapo	422	72.2	83.5	0.90	0.90	1.56	0.64
Taylor	298	64.8	76.9	1.40	1.40	1.52	0.87

Grana (1981) presentó la diferencia nutritiva del aguacate, en comparación con otros frutos, los cuales se muestran en la Tabla 2. En ésta se ha tomado un fruto con el 10.6% de grasa cuyo valor normal en la variedad Hass estando en su mejor momento de maduración, y se observa que su valor calórico es más del doble, a igualdad de peso que una fruta como el plátano. Es importante mencionar que muchas son las variedades de aguacate existentes y disímiles los trabajos realizados en los que se dan a conocer los datos de composición (Batista, 1993).

Tabla 2. Comparación nutricional del aguacate con otros frutos (7100 g) (Batista, 1993)

Frutos	Agua	Proteínas	Grasas	Hidratos de carbono	Cenizas	Valor calórico en
Aguacate	70.56	2.10	20.60	5.95	1.32	207
Aceituna	75.00	1.70	20.00	8.90	0.40	200
Manzana	83.60	0.10	0.30	11.91	0.27	52
Melocotón	88.00	1.00		10.00	0.50	52
Naranja	86.50	1.12		9.00	0.46	44
Plátano	72.46	1.16	0.55	20.20	0.86	90

1.3. Importancia económica del aguacate

La importancia de la industria del aguacate para la economía de Michoacán trae innumerables beneficios económicos a un amplio sector de la población rural y semiurbana si consideramos que es el décimo cultivo agrícola en importancia en la entidad, superado sólo por cultivos como el maíz, el sorgo, el trigo, la caña de azúcar, el fríjol, la fresa, el melón, el mango y las hortalizas (Secretaría de Fomento del Estado de Michoacán, 1999).

México es el país que más aguacate exporta ya que el 90% del aguacate que se produce en México es de origen michoacano, lo que posiciona a la entidad como el primer estado en cuanto a valor de la producción (INEGI, 1999).

Cabe destacar que actualmente en Michoacán se producen cerca de 900 mil toneladas de aguacate en sus diversas variedades ya que estamos en el umbral del libre comercio por lo cual la explotación del aguacate en el país ofrece grandes perspectivas económicas, por lo cual la economía de Michoacán no se podría entender sin la producción del aguacate (Secretaría de Fomento del Estado de Michoacán, 1999).

1.4. Importancia nutricional

En el caso del aguacate, las grasas constituyen el principal componente después del agua, por lo que su valor calórico es elevado. En cuanto a la grasa que contiene, el 72% es ácido oleico, característico del aceite de olive (Tabla 6).

Tabla 6.- Composición nutrimental

Kcal (n)	Agua (mL)	Proteína (g)	Grasa (g)	Hidratos de carbono (g)	Fibra (g)
161,1	74,3	1,9	15,3	2,4	5,0
Potasio (mg)	**Magnesio (mg)**	**Provit. A (mcg)**	**Vit. C (mg)**	**Folato (mcg)**	**Vit. E (mg)**
599,0	39,0	61,0	7,9	61,9	2,3

Nota: Contenido por 100 g de porción comestible

1.5. Caracterización y composición del aceite de aguacate

El aceite de aguacate se caracteriza por contener una baja proporción de ácidos grasos saturados (entre un 10 y 19%, dependiendo de la variedad y el estado de madurez), una elevada cantidad de ácido oleico (puede llegar hasta un 80%), un nivel aceptable de ácido insaturados (11 - 15%) y nada de colesterol. (Batista, 1993), (Tabla 5).

Tabla 5.- Composición típica aceite de aguacate en porcentaje

Acidos grasos	Porcentaje
Saturados	7-32
C16:0 palmltico	7-32
Monoinsaturados (omeqa-9)	52-93
C16:1 palmitoleico	2-13
C18:1 oleico	50-80
Polünsaturados	74-86
omega-6: C18:2 linoleico	6-18
omeqa-3: C18:3 alfa-linolénico	<5

Componentes

Otros componentes con los que cuenta el aguacate son:

- ß-sitosterol (0,45-1%) y
- Clorofila (entre 40 y 60 ppm)
- Vitaminas B, C, D

- Caroteniodes (luteína)
- Minerales potasio y magnesio
- Bajo en contenido de sodio

El Aguacate está considerado como uno de los alimentos naturales más completos, contiene pocos azúcares y es rico en grasas y proteínas, cuenta con una gran cantidad de propiedades nutritivas, ya que es una de las frutas con mayor contenido en magnesio, potasio y fibra dietética. Posee un 60% más de potasio que un plátano medio, mientras que su elevado nivel de glutamina lo convierten en uno de los antioxidantes naturales más ricos y eficaces.

El aguacate es libre de sodio y contiene 0% de colesterol, lo que ayuda a reducir el nivel de colesterol malo, evitando que se obstruya las arterias debido al contenido de colesterol bueno, lo cual previene enfermedades cardiovasculares y reduce el riesgo de otro tipo de enfermedades degenerativas como el cáncer.

Cabe destacar que el Aguacate posee 12 de las 13 vitaminas existentes, entre ellas la vitamina E la cual estimula el cuidado de la piel y el cabello, además de minerales como el calcio, el hierro y el fósforo y diez ácidos grasoso, de los cuales cinco son mono y poli-insaturados Omega-9, Omega-7, Omega-6, Omega-3. El Aguacate contiene vitamina A en altas dosis la cual fomenta el crecimiento de los dientes y los huesos, además de fortificar los ojos y la piel.

El aprovechamiento del árbol del aguacate es integral, ya que su madera es de buena calidad y en zonas rurales se le utiliza para la elaboración de yugos. La industria también obtiene beneficios del aguacate, pues se le utiliza para obtener aceites, lociones, jabones, cremas y shampoos para el cabello.

1.7. Distribución geográfica del aguacate en México

El aguacate es un fruto que se consume tradicionalmente en el continente americano y conserva su tradición de las culturas mesoamericanas, principalmente en México, Guatemala y Colombia. Existen mas de 500 variedades de aguacate, no obstante se considera que las apropiadas para la producción provienen de cruzas entre variedades de los siguientes 3 grupos: la mexicana, la guatemalteca y la antillana (Correa, 1974).

El estado con mayor crecimiento en superficie sembrada en México fue Michoacán que tuvo un aumento del 28% en el periodo comprendido entre 1989 y 1994, seguido por Nayarit con un aumento del 12%, en el mismo periodo.

En nuestro país el aguacate es un cultivo principalmente de riego, de acuerdo con datos correspondientes al periodo de 1989 a 1993 un 58.21% de la superficie cosechada fue irrigada.

México es el primer productor de aguacate en el mundo, no obstante, la mayor parte de su producción es para consumo interno. El caso de México y Chile destacan por ser naciones que en los últimos ocho años han visto incrementar de manera importante su producción.

En México durante el periodo entre 1986 – 1987, la producción alcanzaba 448, 000 toneladas, mientras que para el periodo 1994 -1995 la producción fue de 718, 000 toneladas, lo que significa un aumento de mas del 60% en estos años (INEGI, 1999).

El aguacate mexicano se produce en 28 estados de la Republica, (Figura 2) no obstante la mayor producción se presenta en algunas regiones del país. Tan solo en Michoacán se producen las tres cuartas parte del volumen nacional, los otros estados de mayor importancia en este cultivo son: Nayarit, Morelos, Estado de México y Puebla.

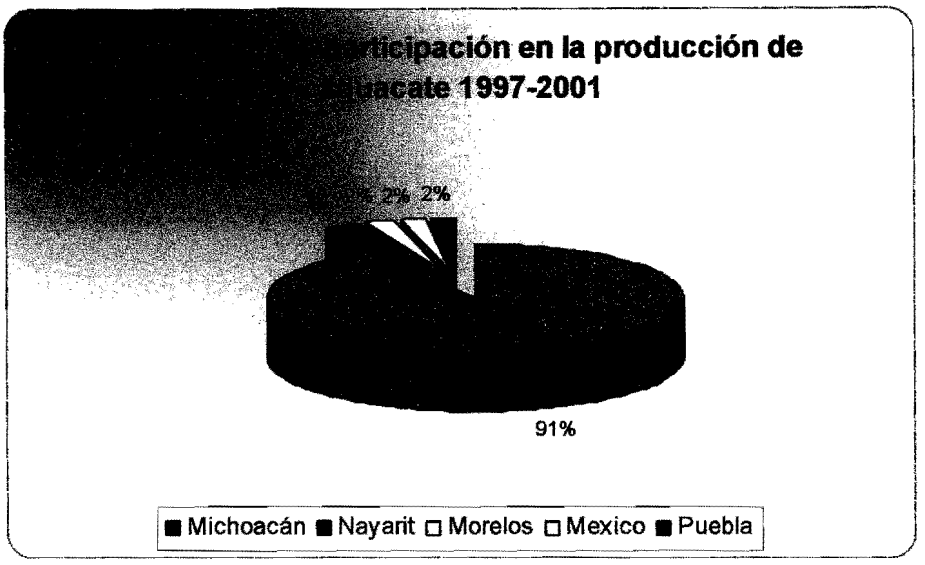


Figura 2.- Porcentaje de participación en la producción de aguacate 1997-2001 (Fuente: INEGI,1999)

1.8. Distribución geográfica mundial del aguacate

La mayor parte de la producción aguacatera se encuentra en el continente americano, en donde se produce más del 80% del total mundial. Los principales países aguacateros en orden de importancia son: México, EUA, Israel, Sudáfrica, Chile y España (Figura 3). La llegada al continente Asiático se da a mediados del siglo XIX, en donde poco a poco fue ganando importancia hasta la actualidad en que Israel es el tercer productor a nivel mundial (Correa, 1974).

En Estados Unidos el auge de las plantaciones comenzó en 1911 con la sustitución de la raza antillana por la variedad mexicana, lo que lo convirtió por algún tiempo en el primer productor a nivel mundial, posición que posteriormente fue ocupada por México.

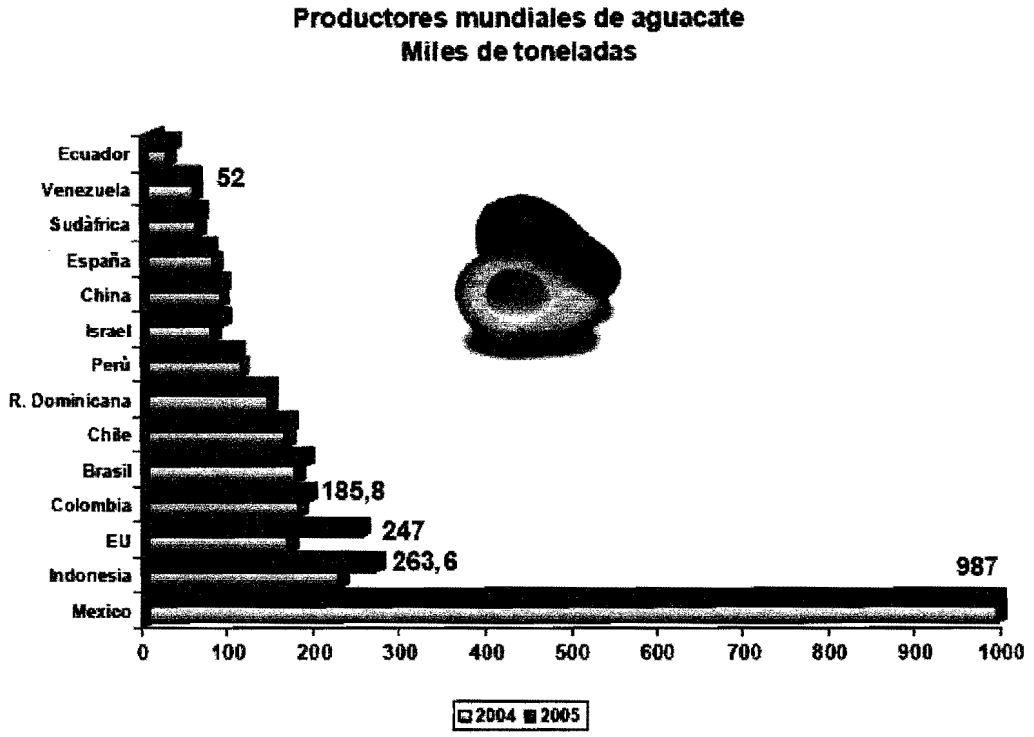


Figura 3.- Participación mundial en la producción de aguacate

Fuente: INEGI (1999)

1.9. Consumo del aguacate a nivel mundial

El consumo mundial del aguacate en 1999 fue de 2,3 millones de toneladas, observándose la existencia de cinco grandes grupos de países según el nivel de consumo anual, que se muestra a continuación:

a) los que superan las 100.000 toneladas (México, Estados Unidos e Indonesia),

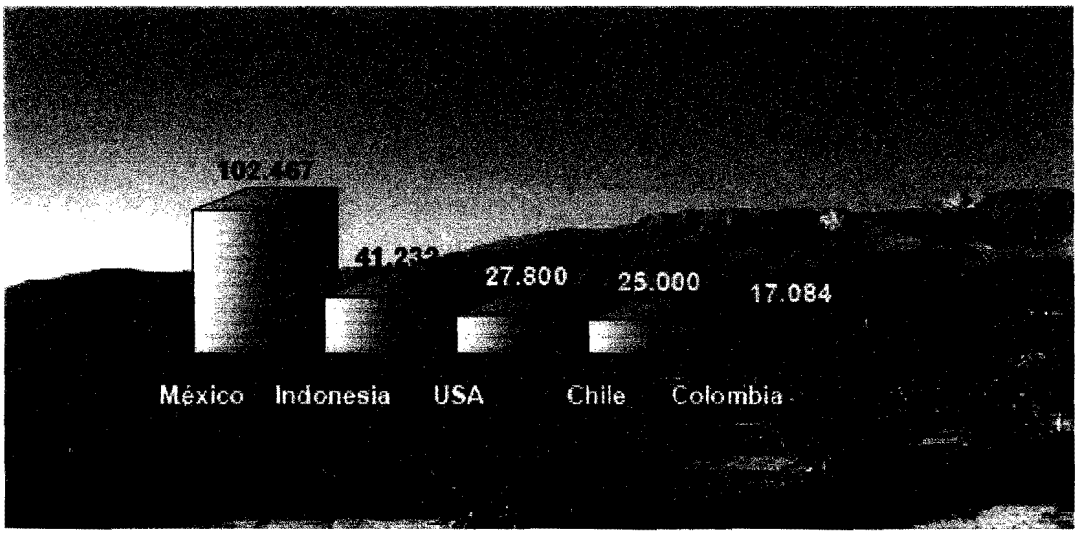
b) entre 99.999 y 25.000 toneladas (Brasil, Colombia, Republica Dominicana, Perú, China, Francia, El Salvador, Chile, Filipinas, Venezuela, Australia y Congo D.R)

c) entre 24.999 y 10.000 toneladas (Madagascar, Israel, España, Sudáfrica, Ecuador, Gran Bretaña, Holanda, Portugal, Marruecos, Paraguay y Alemania.

d) Entre 9.999 y 1.000 toneladas (Canadá, Nueva Zelanda, Bolivia, Cuba, Japón, Ghana, Suecia, Jamaica, Argentina, Grecia, Suiza, Dinamarca, Panamá, Arabia Saudita, Italia, Granada, Bélgica y Luxemburgo, Austria, Chipre, Honduras y Noruega.

e) Menos de 999 toneladas (Federación Rusa, Polonia, Finlandia, Mauritania, Hong kong, Trinidad y Tobago, Dominica, Turquía, Singapur, Letonia, Lituania, Kuwait, Malasia, Malta, Corea del Sur, Macao y Uruguay).

El análisis del posicionamiento del consumo abarca todos los países de los grupos señalados, representando el 95,6% del consumo mundial del aguacate (Correa, 1974).



1.10. Definición de cambio de uso de suelo

El Cambio de Uso de Suelo y Vegetación se define como la remoción total o parcial de la vegetación y se da como consecuencia de la interacción de las actividades humanas con el medio natural. Dichos cambios indican el impacto de las actividades económicas y el desarrollo de las comunidades humanas sobre el territorio y sus recursos, también permite identificar problemas relativos a la sustentabilidad de las actividades humanas (UNAM – SEDESOL-SEMARNAT-INE, 2004).

.

La identificación espacial y la cuantificación de los cambios, contribuye a la caracterización del territorio y a la ubicación de áreas de atención prioritarias, así como al establecimiento de políticas correctivas y a la formulación de planes de acción respectivos para el mejor manejo de los recursos (UNAM – SEDESOL-SEMARNAT-INE, 2004).

CAPITULO 2. Conceptos básicos de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica

En este capitulo se utilizaron algunas generalidades de Percepción Remota (PR) y de los Sistemas de información Geográficas (SIG), debido a que son las dos herramientas para la realización de esta investigación. En los últimos años, la PR ha sido una eficaz herramienta tecnológica para una gran variedad de estudios sobre la superficie terrestre, ya que desde la década de los cincuentas se ha utilizado para la cartografía de la vegetación. Esta tecnología ha servido para identificar y clasificar una gran variedad de ecosistemas, tipos de vegetación y coberturas del terreno, entre ellos las huertas agrícolas, uno de cuyos tipos es el aguacate.

2.1. Percepción Remota (PR)

La PR es importante porque permite identificar los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo, así como aquellas regiones de interés potencial para una planificación y control adecuados de los cultivos frutícolas como el cultivo de aguacate. Por este motivo, la PR proporciona parte de la información necesaria para este tipo de investigaciones (Jensen, 2007).

La percepción remota (PR) es el arte de adquirir información sobre un objeto, área o fenómeno de la superficie terrestre, por medio del análisis de los datos adquiridos por un dispositivo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Álvarez-Icaza, 1993). La PR es una alternativa para llevar a cabo levantamientos de la superficie terrestre presentando

algunas ventajas sobre los métodos tradicionales como el trabajo de campo (Chuvieco, 2002).

2.1.1. Importancia y aplicaciones de PR

La percepción remota es una herramienta de gran ayuda para poder localizar, inventariar y cuantificar muchos de los recursos naturales del planeta, desde los minerales hasta los cuerpos de agua. Con esta herramienta se pueden llevar a cabo una gran diversidad de estudios, desde inventarios de objetos sobre la superficie terrestre, hasta análisis estadísticos y geo-estadísticos más complejos (SIGSA-División Percepción Remota, 2007).

También puede ser de gran importancia para otras aplicaciones, tales como la delimitación y caracterización de cultivos de huertas frutícolas, coberturas vegetales, proyectos hidráulicos, asentamientos humanos, vías de comunicación, prospección geológica, evaluación del relieve para fines socioeconómicos, etc.

Así mismo es útil para el desarrollo de planes de manejo, zonificación para un uso adecuado de los recursos, identificación de amenazas y monitoreos de cambio en la cobertura vegetal entre otras aplicaciones de carácter ecológico (Álvarez e Interian, 2005).

2.1.2. Tipos de sensores

Los sensores son dispositivos que registran y miden la energía electromagnética (Janssen y Bakker, 2001). Se dividen en sensores activos y pasivos.

Los sensores activos emiten su propio haz de energía, es decir generan su propia fuente de energía (Chuvieco, 2002). En estos sensores, las mediciones son más controladas porque no dependen de las condiciones de iluminación, es decir, no importa si el área de interés se encuentra con nubes, o si es de día o de noche (Janssen y Bakker, 2001). Un ejemplo son los sistemas de radar.

Los sensores pasivos dependen de una fuente externa de energía; son sensibles en diferentes porciones del espectro electromagnético. Ejemplos de estos sensores son la fotografía (analógica o digital, aérea o satelital), y los sensores multiespectrales para recursos naturales (series Landsat o SPOT) (Chuvieco, 2002). Se describen a continuación ambos sensores, mismos que han sido utilizados con mucha frecuencia en estudios de detección de cobertura del terreno, y a los cuales se recurrió para la elaboración de esta tesis.

2.1.3 Serie Landsat

El programa Landsat consiste en una serie de satélites de observación de los recursos naturales, que se encuentra operada conjuntamente por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y el U.S. Geological Survey (USGS), desde 1972. (NASA, 2007).

El primer satélite lanzado de esta serie fue el Landsat 1, en julio de 1972, bajo la denominación de (Earth Resources Technology Satellite). A bordo transportaba 2 instrumentos denominados Return Beam Vidicon (RBV) y el Multiespectral Scanner (MSS) (NASA, 2007), dicho satélite dejo de operar en enero de 1978.

El Landsat 2 fue lanzado en enero de 1975, contaba con los mismos sensores que su predecesor y operó hasta febrero de 1982. El Landsat 3 fue lanzado en marzo de 1978 con los mismos sensores que sus antecesores, pero además se le incorporó una quinta banda (infrarrojo térmico), por lo que se logró obtener datos a cualquier hora del día. Este satélite dejo de operar en marzo de 1983.

El Landsat 4 fue lanzado en julio de 1982, el cual contaba con un sistema denominado el MultiSpectral Scanner (MSS) y un nuevo elemento llamado Thematic Mapper (TM) el cual proporcionó una mejor resolución espectral, radiométrica y espacial. Este satélite contaba con siete bandas y de seis a ocho

bits en almacenamiento por celda Este satélite dejo de operar en el 2001 (Chuvieco, 2002).

El Landsat 5 fue lanzado en marzo de 1984 y transportó los mismos sensores que el Landsat 4, el MSS y el TM. En agosto de 1995 fue desconectado el MSS. En noviembre del 2005, las operaciones del satélite fueron suspendidas a causa de problemas con los paneles solares y en enero del 2006 reanudó sus operaciones normalmente.

El Landsat 6 fue lanzado en octubre de 1993, pero por una falla después de su lanzamiento le impidió alcanzar la velocidad necesaria para entrar en órbita. Este satélite llevaba un nuevo sensor denominado Enhanced Thermatic Mapper (ETM).

El Landsat 7 fue lanzado en abril de 1999, e incluyó el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), el cual incluye una banda pancromática con una resolución espacial de 15m y una resolución de la banda térmica de 60m (Chuvieco, 2002). Las otras bandas espectrales mantuvieron una resolución de 20m.

Actualmente, la LDCM (Landsat Data Continuity Misión por sus siglas en inglés) se encarga de la supervisión de los satélites Landsat, mismo que sigue obteniendo datos para ser usados en las aplicaciones ya señaladas (ver NASA, 2009)

Las imágenes adquiridas proporcionan una visión global, sinóptica y de cobertura repetitiva de la superficie terrestre a una escala, donde los cambios naturales e inducidos por el hombre pueden ser detectados, diferenciados, caracterizados y monitoreados en el tiempo. Las características de los satélites anteriormente mencionados se describen en la Tabla 3

Tabla 3.- Características de los satélites Landsat

	Landsat 1	Landsat 2	Landsat 3	Landsat 4	Landsat 5	Landsat 7
Sensor	RBV	RBV y MSS	RBV y MSS	MSS y TM	MSS y TM	ETM +
Órbita	Heliosincrónica	Heliosincrónica	Heliosincrónica	Heliosincrónica	Heliosincrónica	Heliosincrónica
Hora Local	9:30 – 10:00 A.M.	9:30 – 10:00 A.M.	9:30 – 10:00 A.M.	9:30 – 10:00 A.M.	9:30 – 10:00 A.M.	9:30 – 10:00 A.M.
Altitud	920 Km.	920 Km.	920 Km.	705 Km.	705 Km.	185 Km.
Duración Orbital	18 días	18 días	18 días	16 días	16 días	16 días
Número de Bandas	4	4	4 y un termal	7	7	7 y una pancromática
Longitud de onda (µm)	B4 0.50 – 0.60 B5 0.60 – 0.70 B6 0.70 – 0.80 B7 0.80 – 1.10	B4 0.50 – 0.60 B5 0.60 – 0.70 B6 0.70 – 0.80 B7 0.80 – 1.10	B4 0.50 – 0.60 B5 0.60 – 0.70 B6 0.70 – 0.80 B7 0.80 – 1.10 B8 10.5 – 12.4	B1 0.45 – 0.52 B2 0.52 – 0.60 B3 0.63 – 0.69 B4 0.76 – 0.90 B5 1.55 – 1.75 B6 10.4 – 12.5 B7 2.8 – 2.35	B1 0.45 – 0.52 B2 0.52 – 0.60 B3 0.63 – 0.69 B4 0.76 – 0.90 B5 1.55 – 1.75 B6 10.4 – 12.5 B7 2.8 – 2.35	B1 0.45 – 0.52 B2 0.52 – 0.60 B3 0.63 – 0.69 B4 0.76 – 0.90 B5 1.55 – 1.75 B6 10.4 – 12.5 B7 2.8 – 2.35 PAN 0.50 – 0.90
Resolución (m)	80	80	80 y 240[a]	30 y 120[a]	30 y 120[a]	30, 60[a] y 15[b]
Resolución Radiométrica (bits)	6	6	6	8	8	8

[a] Banda Termal [b] Pancromática; Fuente: Canadá Center for Remot Sensing, 2007

Resolución Espectral: B1) 0.45 – 0.52 Banda Visible Azul, B2) 0.52 – 0.60 Banda Visible Verde, B3) 0.63 – 0.69 Banda Visible Rojo, B4) 0.76 – 0.90 Infrarojo Cercano, B5) 1.55 – 1.75 Infrarojo Cercano, B6) 10.4 – 12.5 Térmica, B7) 2.8 – 2.35 Infrarojo Medio,

2.1.4 Serie Spot

La constelación de satélites Spot (Systeme Pour l´Observation de la Terre) fue diseñada y desarrollada por CNES (Centre Nacional d'Etudes Spatiales) de Francia con apoyo del gobierno de Suecia y Bélgica. El primer Spot se lanzó en febrero de 1986, el segundo en 1990 y el tercero en 1993 (Jensen, 1996). Abordo transportaba el sensor High Resolution Visible Infrared (HRV) que operaba en dos modos multiespectral y pancromático (Bakker, 2001).

El Spot 4 fue lanzado en marzo de 1998, llevando abordo el sensor High Resolution Visible Infrared (HRVIR) que obtiene información del espectro visible y del infrarrojo cercano; a éste se le agregó una banda y un instrumento llamado VEGETATION (Bakker, 2001).

El Spot 5 es el quinto satélite de la serie Spot fue lanzado en mayo del 2002, llevando abordo otros dos instrumentos, el High Resolution Geometric (HRG) y el VEGETATION 2, las características de cada uno de los satélites mencionados anteriormente, se describen en la Tabla 4.

Los satélites SPOT tienen la capacidad de ser dirigidos hasta 27° a la izquierda o a la derecha de la trayectoria orbital. Esta característica permite vistas repetidas, de una misma franja del terreno, produciendo imágenes estereoscópicas (USAID, 1993), esto se realiza por programación desde una estación en tierra.

Tabla 4.- Características generales de la serie SPOT.

Instrumentos	Spot 5	Spot 4	Spot 1-3
Características	2HRGV VEGATATION 2	2HRVIR VEGATATION 1	2HRV
Órbita	Heliosincrónica	Heliosincrónica	Heliosincrónica
Hora Loca	10:30 A.M.	10:30 A.M.	10:30 A.M.
Altitud	822 Km.	822 Km.	822 Km.
Duración orbital	26 días	26 días	26 días
Número de bandas	4 y una pancromática	4 y una mono-espectral	4 y una pancromática
Longitud de onda (µm)	B1 0.50 – 0.59 B2 0.61 – 0.68 B3 0.78 – 0.89 B4 1.58 – 1.75 P 0.58 – 0.71	B1 0.50 – 0.59 B2 0.61 – 0.68 B3 0.78 – 0.89 B4 1.58 – 1.75 M 0.61 – 0.68	B1 0.50 – 0.59 B2 0.61 – 0.68 B3 0.78 – 0.89 P 0.50 – 0.73
Resolución (m)	10[a], 20[b] y 5 ó 2.5[c]	20[a], 20[b] y 10[c]	20[a] y 10[c]
Resolución radiométrica (bits)	8	8	8

[a] Bandas multiespectrales [b] Banda Infrarroja Media [c] Banda Pancromática
Fuente: Spot Image, 2005

2.2 Estructura de una imagen de satélite

Una imagen es una representación de las características espectrales de un objeto, los datos que describe pueden estar almacenados en formato analógico o digital. En este caso, cada imagen registrada a distancia representa digitalmente la superficie terrestre, en término de las mediciones de la energía del espectro electromagnético registradas por algún sensor.

Los datos de una imagen digital son almacenados en un formato de rejilla o matriz (filas y columnas), donde el elemento primitivo o mínimo es denominado celda o píxel (la porción más pequeña de la imagen con un valor discreto). Para cada píxel, las mediciones se almacenan como niveles digitales (ND), que corresponden las respuestas espectrales de un objeto a una longitud de onda especifica (Chuvieco, 2002). Una celda se trata de un valor numérico y no visual, pero que puede percibirse como una intensidad visual, un nivel de gris o un color (si se trata de una combinación de bandas).

El conjunto de esas filas y columnas conforman una matriz donde el origen de coordenadas se ubica en la parte superior izquierda (fila1, columna 1), como en un plano cartesiano; esto se debe a que la secuencia del registro de las imágenes de Norte-Sur, de acuerdo al trazo de la trayectoria del satélite (Chuvieco, 2002).

La calidad de los datos de la imagen está determinada principalmente por las características del sensor, mismas que se describen en términos de su resolución: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

La resolución espacial es la capacidad de distinguir entre objetos de la superficie terrestre que se encuentran próximos, sobre una imagen satelital o una fotografía aérea (Rosete y Bocco, 2003). Mientras más pequeño sea el tamaño del píxel, mayor será su resolución (Chuvieco, 2002).

La resolución radiométrica es el grado de sensibilidad que tiene el sensor, es decir detecta variaciones en la radiancia espectral que recibe (Chuvieco, 2002). Por ejemplo, en datos de 8 bits, los valores van de un rango de 0 a 255 niveles de gris, mientras que en datos de 1 a 6 bits, los valores tienen un rango de 0 a 128 (Pouncey *et al*., 1999).

La resolución temporal se refiere a la frecuencia con la que el sensor obtiene imágenes de un área en particular. Por ejemplo, el satélite Landsat registra la misma área cada 16 días, mientras que el satélite Spot pasa por el mismo punto cada tres días (Pouncey *et al*., 1999).

La resolución espectral se refiere al ancho de banda o a un rango de bandas que ofrece el sensor. En este sentido, al intervalo en el espectro electromagnético que registra un amplio intervalo se le denomina resolución espectral de banda ancha, mientras que un estrecho intervalo, se refiere a una resolución espectral fina (Pouncey *et al*., 1999).

2.3 Procesamiento digital

Las imágenes de satélite, en ocasiones, presentan errores debido a las condiciones ambientales y topográficas, así como por aspectos técnicos del sensor, por lo que se deben realizar las correcciones apropiadas antes de analizar los datos, ya que puede alterarse la calidad de la información colectada e interpretada.

Los errores más comunes, que se encuentran en una imagen, son los radiométricos y geométricos (Chuvieco, 2002).

2.3.1. Correcciones radiométricas

La corrección radiométrica se refiere a aquellas técnicas que modifican los niveles digitales (ND) originales de una imagen, acercándolos a los que habría en las condiciones ideales (Chuvieco, 2002).

Los errores pueden ser introducidos por el sensor cuando los detectores individuales no funcionan apropiadamente o son incorrectamente calibrados (efecto de bandeado). Asimismo, se puede presentar en una imagen una serie de líneas anómalas negras o blancas o algunos píxeles aislados que son diferentes a los vecinos (efecto “sal y pimienta”), ello se debe a un mal funcionamiento del sensor o de la antena receptora. La forma de contrarrestar estos errores es estimando los ND de los píxeles erróneos a partir del valor de sus vecinos (Chuvieco, 2002).

2.3.2. Correcciones geométricas

La corrección geométrica es el cambio de posición de la imagen con respecto a un sistema de coordenadas x, y (Chuvieco, 2002).

En una imagen las fuentes de distorsión geométrica son la rotación de la Tierra durante la adquisición de la imagen, la amplitud del campo de visión de algunos sensores, la curvatura de la Tierra, las variaciones en la altitud, la orientación y

velocidad de la plataforma y el efecto panorámico relacionado a la geometría de la imagen.

Existen dos técnicas que se emplean en la corrección de estos errores geométricos presentes en una imagen. La primera consiste en realizar modelos de la naturaleza y magnitud de las fuentes de distorsión para poder establecer formulas de corrección, cuando los tipos de distorsión son bien conocidos (tal es el caso de la curvatura de la Tierra).

La segunda técnica depende de establecer relaciones matemáticas entre las posiciones de los píxeles en una imagen y las coordenadas correspondientes en esos puntos (puntos de control) en la superficie terrestre (en mapa, trabajo de campo, GPS o empleando otra imagen (Chuvieco, 2002).

2.4. Análisis e interpretación visual de imágenes

Se define como el acto visual de interpretación, identificación y/o medición de objetos de la superficie terrestre en una imagen de satélite o fotografía aérea (Howard, 1991). Estos objetos pueden ser rasgos ambientales o artificiales que consisten en puntos, líneas y polígonos (Jensen, 2001).

La interpretación visual se basa en la capacidad del hombre de relacionar color y patrones en una imagen, en donde se presentan rasgos de la superficie terrestre (Janssen, 2001).

Cuando vemos los datos de una imagen visualizamos las características presentes en ella; estas características son llamadas elementos de interpretación (Jansen, 2001).

Estos elementos son tono o color, tamaño, forma, textura, sombra y patrón; a los cuales se les puede agregar, la altura, sitio, asociación y diferencias temporales cuando se analizan imágenes de diferentes fechas.

2.4.1. Clasificación de imágenes

En el proceso de clasificar una imagen, el usuario instruye a la computadora en cómo efectuar una interpretación de acuerdo a ciertas condiciones definidas.

Una clasificación se basa en las diferentes respuestas espectrales de los distintos materiales y objetos de la superficie terrestre, para posteriormente catalogar a los píxeles en un número finito de clases individuales, categorías o datos, basándose en sus niveles digitales y bandas.

Si un píxel satisface un criterio es asignado a la clase que le corresponde según el criterio utilizado dependiendo del tipo de información que se requiere extraer de la imagen original, las clases pueden ser asociadas con características conocidas en el terreno o pueden representar simplemente áreas que se ven diferentes en la computadora.

2.4.2. Clasificación No supervisada

El propósito principal en la clasificación no supervisada es producir grupos espectrales basados en similitudes de ND. En este sentido, se define el número máximo de clusters (agrupamientos o clases espectrales) en el conjunto de datos que se desea analizar.

El procedimiento consiste en etiquetar los píxeles, recalculando el centro de cada clase y el proceso se repite hasta que se encuentran los centros apropiados de cada una de ellas, y todos los píxeles son por lo tanto etiquetados.

Al terminar la agrupación de clases se analiza la proximidad o la separación de los clusters (clases) por medio de la distancia o media de la divergencia (ver formula) La necesidad de fusionar clusters es para reducir las innecesarias subdivisiones en los datos, esto se realiza con un umbral especificado.

$$D_{a,\,b} = \sqrt{\sum_{i=1,\,m} (ND_{a,\,i} - ND_{b,\,i})^2}$$

Donde $d_{a,\,b}$, indica la distancia entre dos píxel cualquiera *a* y *b* $ND_{a,\,i} - ND_{b,\,i}$, los valores digitales de esos píxeles en la banda *i*, y m el número de bandas.
El análisis de clusters (clases) se realiza al calcular la distancia entre los dos centros del clusters. Si no hay separación con respecto a la clase o es muy poca de acuerdo al umbral especificado, las dos clases se tienen que fusionar. En cada iteración, todo cluster con un número reducido de píxeles es eliminado y los resultantes de la iteración son descritos por su estadística (Janssen, 2001). Al finalizar el proceso el usuario etiqueta los clusters resultantes, es decir, asigna nombres a las clases identificadas en el proceso de clasificación.

2.4.3. Clasificación Supervisada

En una clasificación supervisada el usuario es quien define las características espectrales de las clases identificadas, a partir del conocimiento previo que tiene del área de estudio. Además, identifica y localiza diferentes tipos de cobertura del terreno, a través de una combinación de trabajo de campo, mapas o consultando a personas con experiencia (Jensen 2001), tales como productores rurales o especialistas técnicos.

Después se delimitan áreas que representen a los tipos de coberturas o clases en una imagen, a las que se le denomina “sitios de entrenamiento”; éstas deben ser representativas, homogéneas y no traslaparse con otras clases, las cuales se pueden derivar de más de un sitio de entrenamiento para una misma clase (Chuvieco, 2002).

Existe otro método semiautomático llamado “semillado”, con el cual los sitios de entrenamiento sirven para que cada píxel que compone la imagen sea usado para “entrenar” a la computadora y pueda reconocer áreas espectralmente similares para cada clase.

El procesamiento utiliza un algoritmo espectral o programa especial para determinar la composición numérica de la “firma”, para cada uno de los sitios de entrenamiento.

Una vez que se han determinado las firmas para cada clase, cada píxel en la imagen es comparado con esas firmas y etiquetado como la clase más cercana digitalmente. Así, en una clasificación supervisada se identifican las clases de información que son usadas para determinar las clases espectrales, que se presentan en la zona de interés (Chuvieco, 2002).

Después que los sitios de entrenamiento son definidos, la clasificación de la imagen puede realizarse aplicando un algoritmo de clasificación, que ayudará a definir las fronteras entre clases, donde la elección del algoritmo depende del propósito de la clasificación (Jensen, 2001).

2.5. Análisis multitemporal con imágenes de satélite y Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son sistemas que permiten la captura, ingreso, almacenamiento y análisis de datos geográficos, así como la representación de la información resultante, donde el objetivo central de un SIG, es generar información válida para la toma de decisiones. En este sentido, los tomadores de decisión y los generadores de información deben ser una parte integrante del SIG, de lo contrario el sistema no cumple con su cometido principal (Bocco y Rosete, 2003).

Muchas de las funciones desempeñadas por los SIG permiten realizar, de manera más rápida, una serie de operaciones que en muchas ocasiones, sería difícil de realizar de manera manual, por la cantidad de información que se requiere para un análisis geográfico.

Gracias al desarrollo de los SIG es posible reconstruir con precisión las modificaciones del uso del suelo, a través de un análisis multitemporal que implica detectar cambios entre dos fechas o más para seguir la dinámica o comportamiento en la zona de estudio a través del tiempo (Chuvieco, 2002).

Un estudio multitemporal puede involucrar el uso de imágenes de satélite adquiridas, por ejemplo de Landsat o Spot, información cartográfica y otros materiales que describan la región a estudiar, todo ello, junto con verificaciones en campo dan un conocimiento más detallado del área de estudio.

El análisis de cobertura multitemporal se justifica por la necesidad de estudiar varios fenómenos dinámicos en el espacio geográfico, cuyos cambios pueden ser identificados a través del tiempo como eventos de peligros naturales, patrones de cambio de uso de suelo, aspectos hidrológicos, etc. (Chuvieco, 2002).
Los (SIG) son importantes porque integran información espacial y no espacial en un sistema simple, ofreciendo un marco consistente para el análisis de datos geográficos.

Los objetivos del sistema son el manejo de grandes bases de datos referenciadas geográficamente y que a través del sistema es posible discernir la existencia de ciertos fenómenos, lo que permite incrementar el conocimiento de dicho fenómeno y estudiarlo (Rosete y Bocco, 2003).

CAPITULO 3. Área de estudio

3.1. Localización

Las coordenadas extremas de la zona de estudio (mapa 1) son 19°10’09” de latitud norte, 102° 34´ 30’’ de longitud oeste, y 19° 37’ 25” de latitud norte, 101° 46’ 15” de longitud oeste, abarcando los municipios de Tancítaro, Peribán, Uruapan, Tingambato y Nuevo Parangaricutiro, en Michoacán.

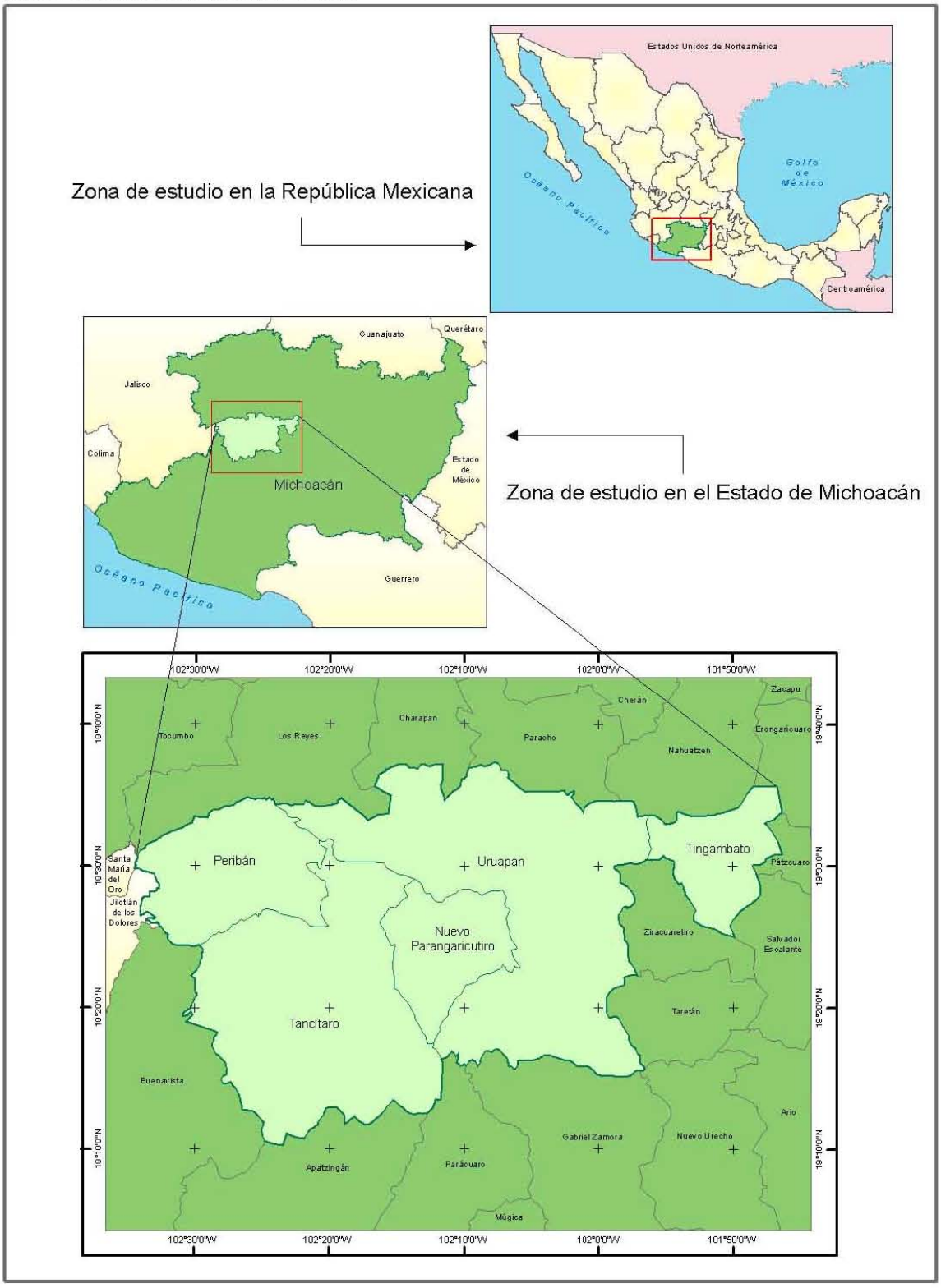
El área de estudio colinda con los municipios de Los Reyes, Charapan, Paracho y Nahuatzen, al norte; Apatzingán, Parácuaro y Gabriel Zamora, al sur; mientras que al oeste colinda con Buenavista y el Estado de Jalisco y, al este, con los municipios de Pátzcuaro, Salvador Escalante, Ziracuaretiro, Taretan y Erongarícuaro, en Michoacán (INEGI, 1999).

3.2 Clima

Dentro de los factores físico-geográficos, el clima es uno de los que ha favorecido, en gran medida, la fruticultura de la región. Inciden de forma especifica elementos particulares, tales como la temperatura, la precipitación, los eventos hidrometereorológicos extremos (heladas, sequías, granizadas, etc.), que juegan un papel muy importante en cada uno de los estadios que conforman el ciclo vegetativo de los frutales (García, 1985).

El aguacate puede cultivarse desde el nivel del mar hasta los 2.500 metros; sin embargo, su cultivo se recomienda en altitudes entre 800 y 2.500 m, para evitar problemas con enfermedades, principalmente de las raíces. La temperatura y la precipitación son los dos factores de mayor incidencia en el desarrollo del cultivo.

Mapa1: Localización de la zona de estudio



Mapa 1.- Área de Estudio

En lo que respecta a la temperatura, las variedades tienen un comportamiento diferente de acuerdo con la raza. La raza antillana es poco resistente al frío, mientras que las variedades de la raza guatemalteca son más resistentes y las mexicanas son las que presentan la mayor tolerancia.

El exceso de humedad relativa puede ocasionar el desarrollo de algas o líquenes sobre el tallo, las ramas o las hojas, además de enfermedades fúngicas que afectan el follaje, la floración, la polinización y el desarrollo de los frutos. Un ambiente muy seco provoca la muerte del polen con efectos negativos sobre la fecundación y con ello la formación de menor número de frutos.

En cuanto a precipitación, se considera que 1.200 mm anuales bien distribuidos son suficientes para favorecer a su crecimiento. Por otro lado, las sequías prolongadas provocan la caída de las hojas, lo que reduce el rendimiento, mientras que el exceso de precipitación durante la floración y la fructificación, reduce la producción y provoca la caída del fruto.

El clima en regiones intertropicales es controlado fundamentalmente por la altitud; en el estado de Michoacán se alcanzan los 3 800 msnm, y la altitud va disminuyendo, hasta llegar al nivel del mar, lo que da lugar a tres pisos climáticos diferentes: los semifríos, los templados y los cálidos.

El terreno destinado al cultivo debe contar con buena protección natural contra el viento y en su ausencia, debe establecerse una barrera cortavientos preferentemente un año antes del establecimiento de la plantación. El viento produce daños como la rotura de ramas y la caída del fruto, especialmente cuando estos son pequeños. También, cuando el viento es muy seco durante la floración, reduce el número de flores polinizadas y por consiguiente de frutos.

El clima que predomina en la zona de estudio es el templado subhúmedo con lluvias en verano C(m), que abarca el norte del municipio de Uruapan, donde se presenta el bosque de pino y de encino, en la zona de transición de los climas templados subhúmedos a los cálidos subhúmedos, la temperatura oscila

entre los 12°C y los 18°C, con una precipitación promedio de 650 mm al año (INEGI, 1999).

3.3. Geología

Existe una amplia correspondencia entre la fisiografía y la geología de la zona de estudio. Lo que caracteriza al Sistema Volcánico Transversal es la presencia de coladas de lava y la existencia de tobas, brechas y conos lávicos.

Las tobas y brechas resultan de las erupciones volcánicas explosivas y comprenden fragmentos de muchas formas y tamaños. Las tobas volcánicas consisten en material suelto no consolidado, de diferentes tamaños y composición mineralógica (cenizas volcánicas, arenas y lapillis), ácidas y básicas.

Las primeras tienen la composición mineralógica correspondiente a las rocas riolíticas del Terciario y se localizan al sur-suroeste de la subprovincia Escarpada Limítrofe del Sur, mientras que las segundas corresponden a la roca basáltica, donde el bosque de pino-encino es la vegetación principal (INEGI, 1999).

Las brechas volcánicas provienen de explosiones más violentas y producen bloques angulosos que se compactan para dar estas formaciones. En la zona de estudio se encuentran los tres tipos: las ácidas, las intermedias y las básicas.

Las rocas de tipo ácido tienen una composición mineralógica correspondiente a las riolitas y sobre ellas también se desarrolla el bosque de pino-encino. Las intermedias se presentan hacia el sur y tienen una composición mineralógica que corresponde a las rocas andesíticas, en este tipo de roca predominan las actividades agropecuarias.

El material aluvial se localiza hacia el norte de la región, en manchones muy dispersos y en áreas muy pequeñas dentro de las subprovincias Neovolcánica Tarasca y la Escarpada Limítrofe del Sur.

3. 4.Fisiografía

El relieve, en términos generales, es muy abrupto y está integrado por pequeñas sierras y coladas de lava que, aunados con la altitud, definen un paisaje propicio para el desarrollo del bosque de coníferas (Rzedowski, 1978).

Esta zona queda dividida a su vez en dos subprovincias importantes:

La Subprovincia Neovolcanica Tarasca, que se localiza en la parte central de la región con un área que abarca los 3 380.9 km^2. Esta porción se caracteriza por un vulcanismo del Plioceno al Reciente, con grandes coladas de lava y sierras complejas, cuya altitud máxima es de 3 800 msnm, como en el caso del volcán Tancítaro.

Hacia el norte de Uruapan, la altitud desciende hasta alcanzar los 2 500 msnm cerca de Paracho y Cherán. En términos generales, ésta es la mejor zona para el desarrollo del cultivo de aguacate (SPP, 1985; Galindo, 1995).

La Subprovincia Escarpada Limítrofe del Sur, se localiza en el sur de la zona de estudio y suroeste de la Región Purépecha, abarca los municipios de Taretan, Ziracuaretiro, sur de Uruapan, Tancítaro y Peribán.

Se le denomina escarpada Limítrofe del Sur, por el declive que presenta en aproximadamente 30 kilómetros, con un descenso que va de los 2 000 hasta los 300 msnm (Galindo, 1995). Esta subprovincia está compuesta de material volcánico del Terciario, por lo tanto, es más antigua y, por ende, más erosionada.

3. 5.Hidrología

El sistema hidrológico de la zona de estudio corresponde a la cuenca del Río Balsas, y está constituida principalmente por los ríos Cupatitzio, Itzicuaro, San Francisco y los Conejos, aunque también existen manantiales, arroyos, presas, ojos de agua y cascadas no menos importantes (Tabla 7). que hacen de la zona de estudio toda una red hidrológica, que es característica de zonas volcánicas (Figura 4), ya que presenta arreglos radiales de tipo dendrítico, subdendritico o subparalelo, como en el caso de conos volcánicos o redes no estructuradas producidas por lavas recientes (Fuentes, 2000).

Las huertas en la región tienen una gran importancia económica al nivel regional, estatal y nacional (Garibay y Bocco 2007), pero hacen un uso intensivo del agua de riego para el cultivo de frutales (principalmente aguacate), ocupando de esta forma, agua de la mejor calidad, lo cual agota los escurrimientos superficiales cercanos al Pico de Tancítaro (Fuentes, 2000).

Tabla 7.- Hidrografía de la zona de estudio

MUNICIPIO	RÍOS	PRESAS	CASCADAS	ARROYO	MANANTIAL	OJO DE AGUA
Uruapan	Cupatitzio	Caltzontzin Salto Escondido Cupatitzio	Tzararacuá			
Tingambato				Barranca Del Molino Barranca Del Comay Agua Escondida	Numerosos Manantiales de Agua Fría	
Tancitaro	Chondo Apo Barranca Redonda			Zirimóndiro Condembaro Zirimbo Santa Catarina Choritiro El Cuate		
Periban	Itzicuaro Atupátaro De La Laja San Francisco				Puentecillas	Carichi Chinacuaro Cutio
Nuevo Parangaricutiro	Los Conejos				Los Conejos	

3.6. Suelos

El suelo es el elemento más importante en el análisis del ambiente, ya que proporciona un soporte físico, humedad y nutrientes para el crecimiento de la vegetación terrestre (William, 1986). Es un sistema dinámico que sirve de alojamiento para multitud de organismos, como filtro para las sustancias tóxicas y fuente de minerales nutritivos.

La calidad del suelo es, en gran parte, una función del modelo forestal que sostiene la cubierta vegetal, ya que controla la distribución de ésta, dependiendo de las condiciones edáficas, las cuales pueden ser favorables para el crecimiento de una especie. Sin embargo, estas funciones pueden alterarse debido a condiciones climáticas desfavorables.

El tipo de suelo que más predomina en la zona de estudio es el Andosol, seguido por el Luvisol, Leptosol y Regosol. En consecuencia, en la región se encuentran suelos jóvenes que se han formado, de manera residual, debido a la erosión del material volcánico, como cenizas y brechas volcánicas, que son elementos importantes para el cultivo de aguacate (Galindo, 1995).

3.7. Fauna

En el estado de Michoacán se han registrado 160 especies de mamíferos. De acuerdo con Núñez (2000), tres especies son endémicas para el estado de Michoacán: *Rhogeessa mira*, un murciélago pequeño de color café amarillento que se localiza en la región de la Huacana y la Mira. *Peromyscus winkelmani*, un ratón de campo registrado para la región de Dos Aguas y Aguililla; y *Zygogeomys trichopus*, una tuza que se ha recolectado en el área del cerro de Tancítaro y el sur de la ciudad de Pátzcuaro.

Con relación al estado de conservación de las especies, en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2001) se encuentran enlistadas 20 como amenazadas, de las 160 especies registradas en el estado, debido principalmente a la contaminación y modificación de su ambiente, se reconocen

a dos musarañas insectívoras *(Notiosorex sp. y Megasorex sp.*); dos murciélagos (*Choeronycteris mexicana* y *Musonycteris mexicana*); el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*); dos roedores, el Coendu o tlacuache espinoso (*Coendou mexicanus*) y la ardilla voladora (*Glaucomys volans*); tres especies de carnívoros, el yaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*), la nutria (*Contra longicaudis*) y el zorrillo pigmeo (*Spilogale pygmaea*) (Núñez, 2000).

En peligro de extinción se ha enlistado, al murciélago (*Enchistenes hartii*), a la tuza (*Zygogeomys trichopus*) y tres carnívoros, el Jaguar (*Phantera onca*), el Ocelote *(Leopardus pardalis*) y el triguillo (*Leopardus wiedii*). Esto debido a que sus poblaciones o áreas de distribución han disminuido en forma alarmante debido al cambio de uso de suelo (Núñez, 2000).

3.8. Características generales de la población

A partir del año 1940, la población del estado de Michoacán se encuentra establecida por un intenso mercado campesino de alcance regional que vincula a las economías domésticas de las familias y de los pueblos entre si.

Con la construcción de la carretera panamericana (México – Morelia - Guadalajara) y los ramales hacia Uruapan y Pátzcuaro, se transformó la economía campesina, debido a la introducción de productos industriales (Garibay y Bocco, 2007).

La apertura de la carretera vino a modificar la situación, ya que abrió nuevos mercados; sin embargo, la historia no se desarrolló de manera ventajosa para la sociedad campesina regional.

Con la pavimentación de las carreteras, se inicia un lento desplazamiento mercantil de los productos artesanales por los productos industriales y la ampliación de nuevos patrones de consumo que requerían ingresos monetarios.

Muchos de los oficios artesanales de la economía se fueron a la quiebra, debido a la introducción de la industria manufacturera, de igual manera en la agricultura el escenario no fue mejor; la “revolución verde” y su paquete tecnológico se encargaron de aumentar la productividad del trigo, el maíz y demás gramíneas en el área de irrigación, de tal modo que la economía regional campesina se vio empobrecida por el proceso modernizador, por lo cual los campesinos redujeron su producción a niveles de abasto familiar y de la población local (Garibay y Bocco. 2007).

Por otro lado, el cultivo del aguacate ha permitido que los pueblos y ciudades de la región se vinculen a una competitiva economía monetaria, de tal modo, que su expansión territorial ha desplazado áreas de agricultura tradicional y también de bosques hasta los lugares en los que las exigencias ambientales del cultivo lo han permitido.

Recientemente, el cultivo de huertas de aguacate ha traído profundos cambios en la cultura agrícola de la región. Muchas superficies anteriormente cultivadas con maíz fueron ocupadas por huertos de aguacate (Figura 5), de tal modo que prácticamente desapareció el sistema agrícola maicero de casi la totalidad de los municipios de Tancítaro, Periban, Uruapan, Nuevo Parangaricutiro y Tingambato, que pertenecen al estado de Michoacán (Garibay y Bocco, 2007).

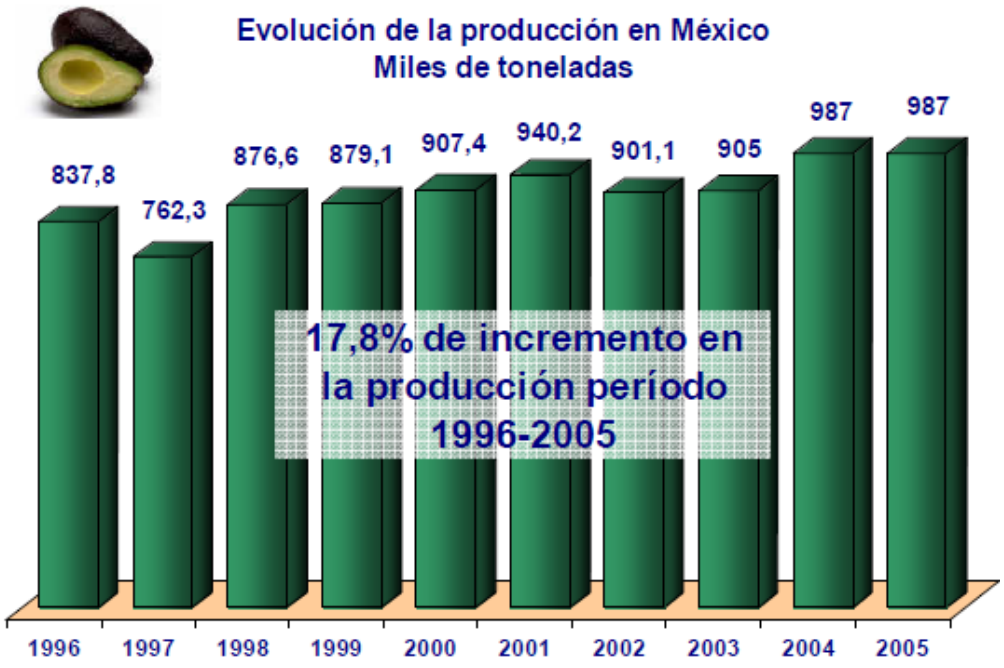


Figura 5.- Evolución de la producción del cultivo de aguacate en México

CAPITULO 4. Materiales y métodos

4.1. Materiales

Los materiales usados para la realización de los mapas temáticos de esta tesis, son.

4.1.1 Insumos cartográficos

Titulo	Fuente	Escala
Marco geoestadístico municipal, 2000	INEGI	1:250000
Mapa de uso de suelo y vegetación, 1976 INEGI	IG-SEMARNAT	1: 250000
Mapa del Inventario Forestal Nacional, 2000	IG-SEMARNAT	1: 250000
Carta de uso de suelo y vegetación, 1984, Colima E 13-3	INEGI	1: 250000
Carta de uso de suelo y vegetación, 1984, Morelia E 14-1	INEGI	1: 250000
Carta topográfica Los Reyes, E13b28	INEGI	1: 50000

Carta topográfica Paracho, E13b29	INEGI	1: 50000
Carta topográfica Tancítaro, E13b38	INEGI	1: 50000
Carta topográfica Uruapan, E13b39	INEGI	1: 50000
Carta topográfica Cherán, E14a21	INEGI	1: 50000
Carta topográfica Tafetán, E14a31	INEGI	1: 50000

4.1.2 Imágenes de satélite

Imágenes de satélite	Fecha de adquisición	Resolución espacial	Formato	Fuente
Spot 4	12/Abr/2007	20m	Raster	Spot Image
Spot 4	18/Abr/2007	20m	Raster	Spot Image
Spot 4	18/Abr/2007	20m	Raster	Spot Image
Landsat ETM+7	23/May/2000	30m	Raster	LandSat
Landsat ETM+7	23/May /2000	30m	Raster	LandSat

La verificación de las imágenes en cuanto a su georeferencia se realizo comparándolas con los datos auxiliares (límite estatal, carreteras, etc.) con los que se contaba.

4.2. Proceso metodológico para la obtención de los mapas del cambio de uso de suelo y vegetación de los periodos 1976-2000 y 2000-2007.

Para el proceso de análisis de la información se utilizo el siguiente equipo de cómputo y Software

- Computadora Pentium Intel
- Arc view 3.3
- Arc Gis 9.3
- Erdas image 9.7

Gracias al desarrollo de los SIG es posible reconstruir con precisión las modificaciones del uso del suelo sobre un territorio determinado, para el caso de la región sur de la Meseta Purépecha en Michoacán, los insumos mencionados anteriormente se manipularon espacialmente, con la intención de conocer el cambio de uso de suelo y vegetación de los años 1976, 2000 y 2007.

El modelo de análisis espacial que se presenta, permite mostrar en el período de los últimos 31 años el incremento o decremento de los cambios de uso de suelo y vegetación, así como localizar los sitios que han estado sujetos a fuertes dinámicas de transformación, tales como procesos de deforestación, de alteración de coberturas vegetales, de sustitución de áreas de bosque o de agricultura de temporal por huertos frutales, así como de suelos agrícolas a urbanos, entre otros.

También permite localizar aquellos otros sitios que han permanecido en el periodo de análisis con sus mismas coberturas, lo que sugiere procesos sociales estables.

Con este análisis es posible identificar los factores sociales y naturales, que en algunos lugares han derivado en cambios en los usos del suelo y que en otros, han resultado en la persistencia de un mismo uso.
A continuación, se enlistan las fases metodológicas y técnicas que ayudaron a cumplir con los objetivos de este trabajo, considerando para ello como fuente de información principal los mapas en formato digital de uso de suelo y vegetación 1976 INEGI (IG-SEMARNAT) así como el del Inventario Forestal Nacional 2000 (IG-SEMARNAT), ambos a escala 1:250 000.

4.3. Estandarización cartográfica.

Consistió en cortes de información geográfica del área de estudio, de las coberturas de uso de suelo y vegetación (1976), y del Inventario Forestal Nacional (2000), abarcando los municipios de Tancítaro, Peribán, Uruapan, Tingambato y Nuevo Parangaricutiro del estado de Michoacán.

Con el fin de no descontextualizar la información geográfica, dichos cortes se realizaron a partir de un rectángulo que incluye los cinco municipios que corresponden al área de estudio, cuyas coordenadas extremas son: 19° 10’ 9” de latitud norte, -101° 46’ 15 de longitud oeste, y 19° 37’ 25” de latitud norte, -102° 34’ 30’’ de longitud oeste.

Con respecto a la preparación de la cartografía digital, cabe mencionar que debido a que el área de estudio corresponde espacialmente a dos zonas (13 y 14) de la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), se decidió representar ambas zonas en la proyección Cónica Conforme de Lambert, obteniendo el cubrimiento de la zona de estudio con los siguientes parámetros cartográficos:

Datum: NAD1927
Esferoide: Clarke de 1866
Meridiano central: -102°
Primer paralelo standar: 17° 30’
Segundo paralelo standar: 29° 30’
Falso Este: 2000000
Falso Norte: 0.0

4.4. Actualización de las áreas de cultivo de aguacate.

4.4.1Verificacion fecha 1

La cobertura de uso de suelo y vegetación 1976 SEMARNAT-INE, se actualizo con las cartas topográficas de uso de suelo y vegetación Colima [con clave: E 13-3 (1984)] y la carta de uso de suelo y vegetación Morelia [con clave: E 14-1(1984)], de las cuales se seleccionaron y digitalizaron los polígonos de cultivos permanentes (representados en dichas cartas por el símbolo P), los cuales correspondían a su vez, a los cultivos de aguacate.

4.4.2 Verificación fecha 2

La cobertura de uso de suelo y vegetación del Inventario Nacional Forestal (IFN) 2000. IG-SEMARNAT-INE, se actualizo con dos imágenes Landsat ETM+7 del año 2000, las cuales se sobrepusieron a la cobertura y se digitalizaron los polígonos que correspondieran al "cultivo de aguacate", los cuales se añadieron a la cobertura de uso de suelo y vegetación 2000.

4.4.3 Verificación fecha 3

La cobertura de uso de suelo y vegetación 2007, se realizó a partir de una interpretación digital por medio del método supervisado a partir de tres imágenes de satélite Spot 4, que se trabajaron en forma de mosaico, para proporcionar una mayor precisión y menos confusión entre las clases de interés, considerando para ello la secuencia metodológica propuesta por Bocco, (2002).

El tratamiento que se aplicó a las imágenes Spot 4, para obtener el mapa 2007 fue el siguiente:

1) Se georreferenciaron las tres imágenes Spot, debido a que mostraban un desplazamiento o desfase con respecto al mapa de uso de suelo y vegetación (1976) y al mapa del Inventario Forestal Nacional (2000). Así mismo, se le introdujeron 40 puntos de control a las imágenes, y posteriormente se corrió la imagen para que tuviera una correcta posición con respecto a los mapas mencionados.

2) Una vez calibrada la imagen, se establecieron sitios de entrenamiento, empleando el programa ERDAS Imagine versión 9.0. Los sitios se generaron con ayuda de un método semiautomático llamado "píxel semilla"; este método toma los píxeles vecinos de características espectrales similares al del píxel semilla, para evitar introducir error en el sitio de entrenamiento y tener una muestra más pura.

La tolerancia del píxel semilla que se utilizó estuvo en función de que visualmente, no se expandiera fuera de los límites del área de tipo de vegetación bajo muestra.

3) Al finalizar la obtención de los sitios de entrenamiento, se generaron las clases espectrales de cada uno de los sitios, se identificaron y clasificaron las bandas en las que se encontraba más reflejado el cultivo de aguacate.

4) Al tener las imágenes clasificadas, se compararon con las imágenes originales y se noto que había confusión entre clases, así que se eliminaron las clases donde se presentaba confusión, lo que obligó a realizar nuevos sitios de entrenamiento para registrar la mayor variabilidad espectral posible de las clases confusas, una vez incrementado el número de muestras, se corrió nuevamente la clasificación.

5) Una vez concluido el mosaico, se importó de un formato raster (Grid) a un formato (img), para hacer compatible la información.

6) Identificados los polígonos correspondientes al cultivo de aguacate y concluida la clasificación supervisada se ubicaron en la imagen los puntos de control de campo, para verificar la ubicación de las áreas aguacateras.

Dichos puntos de control se obtuvieron a través de una verificación en campo, la cual consistió de 2 salidas a la zona de estudio, que se realizaron durante los meses de julio a noviembre de 1997 con el objeto de establecer, por un lado, reconocimientos generales de la zona y por el otro, verificar los datos obtenidos durante el análisis de las imágenes.

Para la toma de puntos de control en campo se llevaron mapas topográficos de la zona de estudio, así como otros mapas previos, con los cuales se ubicaron de manera aleatoria, 40 puntos de control en zonas aguacateras y de 10 a 15

puntos para las demás clases. (ver mapa de campo en anexo). En dichos puntos de control, se tomaron las coordenadas geográficas, fotografías del sitio y la descripción de la vegetación.

Posteriormente, se descargaron los datos de las coordenadas geográficas con el fin de corroborar si los tipos de vegetación correspondían a la información del mapa de la zona de estudio, para ajustar el mapa y validar la interpretación para el periodo 2007.

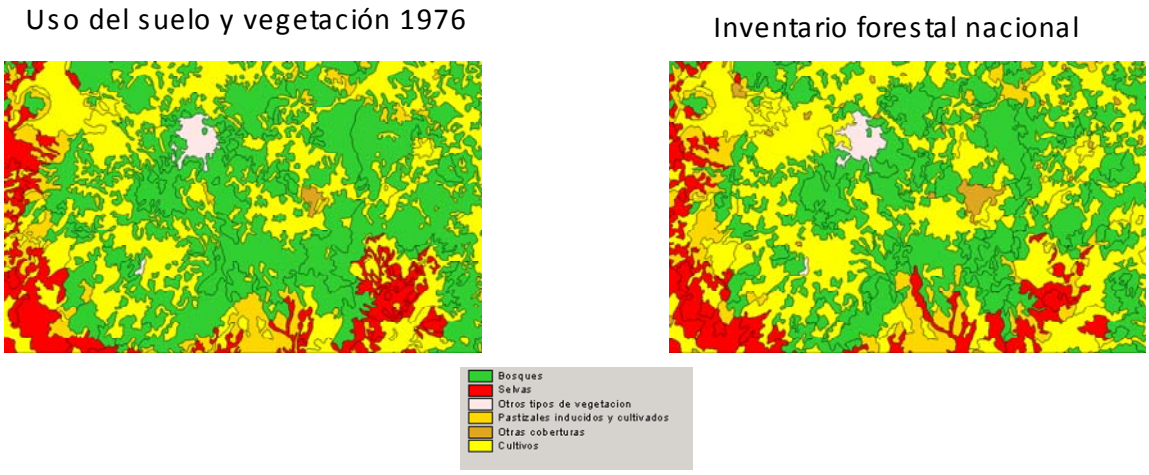


Figura 6.- Mapas del uso de suelo y vegetación 1976, e Inventario Forestal Nacional, 2000

4.5. Desagrupación

A fin de mostrar los datos de manera comprensiva, se tomó de la leyenda jerárquica utilizada en Inventario Forestal Nacional (2000) el grupo formación, el cual ofrece una idea general de los cambios de cobertura por grandes grupos agregados y del que se seleccionaron las coberturas bosques, selvas, pastizal, otro tipo de vegetación, asentamientos humanos, cuerpos de agua y área sin vegetación aparente. Mientras que del grupo denominado comunidad, en el cual las grandes coberturas son desagregadas en tipos más específicos, se seleccionaron las coberturas agricultura de riego, agricultura de temporal y cultivo de aguacate, ya que eran las coberturas que se buscaba destacar.

A partir de las clases mencionadas anteriormente, se llevó acabo una nueva desagrupación conceptual, para el período 1976 y para el 2000, donde las clases quedaron de la manera siguiente: 1) bosque, 2) selva, 3) pastizal, 4) agricultura de riego, 5) agricultura de temporal, 6) área sin vegetación aparenten, 7) asentamiento humano y 8) cuerpo de agua.

Uso de suelo y vegetación 1976

Inventario forestal nacional

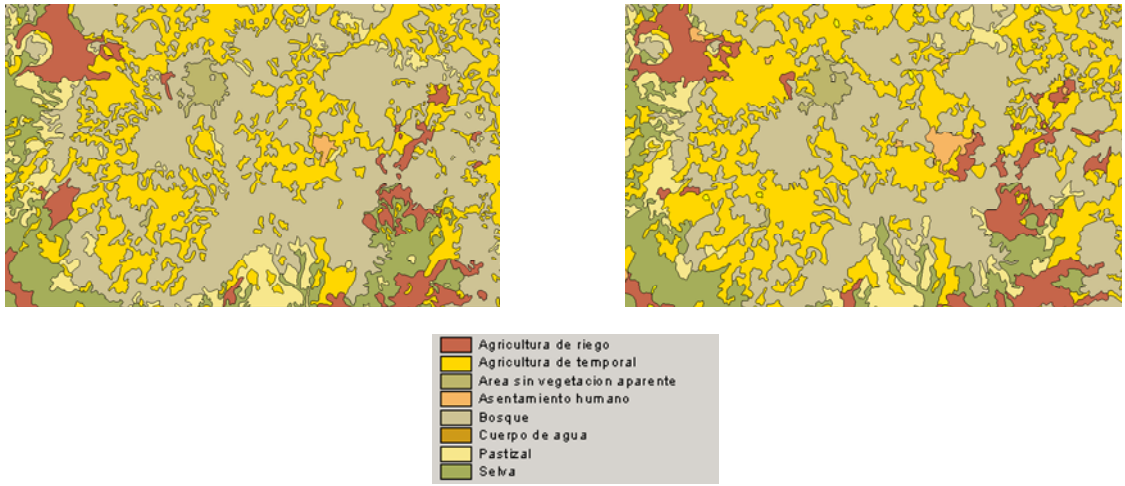


Figura 7.- Mapas desagrupados de uso de suelo y vegetación 1976 e Inventario Forestal Nacional, 2000.

4.6. Análisis de cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000)

Una vez actualizadas y rescatado las entidades geográficas que corresponden al cultivo de aguacate, se procedió a una "superposición" (cruce de coberturas) utilizando el mapa de uso de suelo y vegetación (1976 IG-SEMARNAT) y el mapa digital del Inventario Forestal Nacional (2000 IG-SEMARNAT), para obtener el cambio de la vegetación y uso del suelo, es decir; se superpusieron las 2 capas y se obtuvo una nueva cobertura de "cambio de uso de suelo y vegetación".

4.7. Análisis de cambio de uso de suelo y vegetación, (2000-2007)

En cuanto al cambio de uso de suelo y vegetación (2000-2007), se retomó el mapa digital 2000 del Inventario Nacional Forestal y el mosaico Spot 4 (2007) ya actualizado en formato .img, de igual forma que el periodo 1976 – 2000 se superpusieron para obtener una nueva cobertura de “cambio de uso de suelo y vegetación

4.8. Generalización espacial por área mínima cartografíable (AMC)

Con el fin de reducir la complejidad y el número de elementos que componen el mapa, como resultado de la superposición, se realizó una generalización espacial por AMC, para obtener áreas consistentes con la escala de análisis.

Para ello, se identificaron las entidades geográficas cuyas áreas eran menores a 4 mm, que en la escala de trabajo 1:250 000, corresponde a 1 km^2, la forma en que se integraron estas pequeñas entidades geográficas fue, por vecino de mayor área.

4.8.1 Manejo estadístico

Con la nueva información geográfica, resultado del cruce de las coberturas para el periodo 1976-2000 y 2007 se procedió a la generación del conjunto de clases que permitían observar el cambio de vegetación y uso del suelo, para lo cual se generaron tablas de frecuencia donde se identificaron 36 clases de cambio de uso de suelo y vegetación, de las cuales se tomaron 18 clases que eran las clases que representaban mas del 95% del cambio de uso de suelo y vegetación de la superficie total del área de estudio, el resto de las clases se consideraron como “cambios no significativos”.

4.8.2 Cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000)

Clases de vegetación	Área (ha)	Porcentaje
Bosque sin cambio	113,81	46.8
Agricultura de temporal sin cambio	25,06	10.3
Cultivo de aguacate sin cambio	22,72	9.3
Bosque a agricultura de temporal	13,83	5.6
Cultivo de aguacate a agricultura de temporal	13,28	5.4
Agricultura de temporal a cultivo de aguacate	8,47	3.4
Agricultura de riego sin cambio	7,87	3.2
Área sin vegetación aparente sin cambio	4,46	1.8
Pastizal sin cambio	4,43	1.8
Agricultura de temporal a bosque	3,03	1.2
Cultivo de aguacate a bosque	3,02	1.2
Asentamiento humano sin cambio	2,82	1.1
Selva sin cambio	2,33	0.9
Bosque a cultivo de aguacate	2,28	0.9
Bosque a agricultura de riego	2,20	0.9
Bosque a pastizal	2,08	0.8
TOTAL	**243,05**	**95.3**

4.8.3 Cambio de uso de suelo y vegetación (2000-2007)

Clases de vegetación	Área (ha)	Porcentaje
Bosque sin cambio	101,41	41.7
Agricultura de temporal sin cambio	32,09	13.2
Cultivo de aguacate sin cambio	30,06	12.3
Agricultura de temporal a bosque	13,40	5.5
Bosque a agricultura de temporal	11,63	4.7
Agricultura de temporal a cultivo de aguacate	8,19	3.3
Agricultura de riego sin cambio	5,40	2.2
Bosque a cultivo de aguacate	5,38	2.2
Área sin vegetación aparente sin cambio	4,67	1.9
Pastizal sin cambio	4,10	1.6
Asentamiento humano sin cambio	3,73	1.5
Agricultura de riego a agricultura de temporal	2,92	1.2
Cultivo de aguacate a bosque	2,24	0.9
Cultivo de aguacate a agricultura de temporal	2,07	0.8
Pastizal a agricultura de temporal	2,03	0.8
Bosque a pastizal	1,93	0.7
Selva a agricultura de temporal	1,59	0.6
Selva sin cambio	1,40	0.5
TOTAL	**243,05**	**96.3**

4.8.4 Falsos cambios

En el análisis de cambio de uso de suelo hay falsos resultados debido a dos razones:

1. Conversiones entre categorías no factibles (Ejemplo: cambio de bosques a selvas) que son producto de las inconsistencias en la base de datos.

2. Uso de criterios diferentes para tipificar a cada una de las categorías (Ejemplo: un bosque abierto puede ser categorizado como pastizal natural dependiendo del intérprete).

3. La dificultad para diferenciar entre clases continuas o parecidas (ejemplo cultivo de aguacate con el bosque).

4.8.5 Procesos de cambio

Una vez obtenidos los resultados de cambio de uso de suelo y vegetación para los dos periodos (1976-2000) y (2000-2007) que permitió identificar las áreas donde se ubican las permanencias y los cambios de la región en estudio, se hizo posible detectar e identificar procesos de cambio, que son la forma o el conjunto de acciones que se dan en un espacio determinado. Por ejemplo, en el caso de un bosque que cambio a cultivo de aguacate, el proceso es identificado como “deforestación”.

Las clases en que se agruparon los procesos son las siguientes:

1) **Permanencia de clase (VN).-**Son aquellas coberturas que se mantiene en su estado natural. Ejemplo: bosque sin cambio, selva sin cambio, pastizal sin cambio, etc.
2) **Permanencia de clase (VC).-** Las coberturas que han tenido un manejo antropogénico y que han permanecido en la misma cobertura. Ejemplo: Agricultura de riego sin cambio, cultivo de aguacate sin cambio, etc.

3) **Deforestación.-** Son las coberturas vegetales como bosque y selva que pasaron a otra clase. Ejemplo: bosque a pastizal, bosque a suelo desnudo, selva a agricultura de temporal, bosque a agricultura de riego, etc.

4) **Crecimiento urbano.-** Cualquier clase que pasa a asentamiento humano. Ejemplo: agricultura de temporal a asentamiento humano, bosque a asentamiento humano, pastizal a asentamiento humano, etc.

5) **Recuperación.-** Son aquellas zonas agrícolas que pasan a bosque o selva. Ejemplo: agricultura de riego a bosque, cultivo de aguacate a bosque, agricultura de riego a selva, cultivo de aguacate a selva, etc.

6) **Cambio cultural.-** Aquellas coberturas agrícolas, que solo cambiaron a otra clase de cultivo. Ejemplo: de cultivo de aguacate a agricultura de temporal, de agricultura de riego a agricultura de temporal, de pastizal a agricultura de riego, de pastizal a agricultura de temporal, etc.

7) **Incremento del cultivo de aguacate.-** Son todas las coberturas que cambiaron a cultivo de aguacate. Ejemplo: de bosque a cultivo de aguacate, de agricultura de riego a cultivo de aguacate, etc.

8) **Otros procesos.-** Son las clases de pequeña superficie que son poco representativas a la escala de trabajo. Ejemplo: de bosque a selva, de selva a bosque, etc.

4.8.6 Procesos de cambio de cultivo de aguacate

En cuanto al cultivo de aguacate, siendo la principal variable ha analizar, se agrupó en tres tipos de acuerdo a su dinámica

a) Permanencia de cultivo de aguacate, que se refiere a los cultivos de aguacate que no han cambiado en extensión.

b) Con ganancia, son aquellos donde el cultivo de aguacate reemplazo a otras coberturas vegetales o se dio una reconversión agrícola por cultivo de aguacate.

c) Con perdida, se refiere a la perdida de cultivo de aguacate por reconversión agrícola o recuperación de la cubierta forestal.

CAPITULO 5. Resultados

5.1. Cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000)

A continuación se darán a conocer los resultados obtenidos del análisis, del cambio de uso de suelo y vegetación de la zona sur de la meseta purépecha, que corresponde a la zona aguacatera, y cuyas regiones comprenden los municipios de Tancítaro, Peribán, Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Tingambato, en el estado de Michoacán.

Con base en el resultado del mapa de cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000) (ver Mapa 2) se observa que el cultivo de aguacate, no reemplazó al bosque, debido a que en la zona sureste del municipio de Tancítaro se dio un acontecimiento en el cual una plaga llamada barrenador de hueso de aguacate (Figura 8) hizo que muchas huertas cambiaran su uso de suelo a otro tipo de cultivo (Rosete-Vergés, *com. personal*). Esto provocó que los campesinos de esta región dejaran de cultivar aguacate, para cultivar maíz, trigo, haba, calabaza, papa, fríjol entre otros.

Fig. 8 Barrenadores de hueso de aguacate

Barrenador pequeño del Hueso	Barrenador Grande del Hueso	Barrenador de Ramas	Palomilla Barrenadora

En el caso del municipio de Nuevo San Juan Parangaricutiro, el cultivo de aguacate tuvo un importante crecimiento desplazando al bosque y a la agricultura de temporal, durante el periodo 1976-2000. Mientras que en el municipio de Tingambato se dio una recuperación de bosque.

5.2. Matriz de cambio (1976-2000)

Con el fin de mostrar los cambios de uso del suelo en los dos periodos de análisis se realizo un ejercicio computarizado de comparación llamado “matriz de cambio” (Tabla 8), que se describen como tablas con arreglos simétricos que contienen en uno de los ejes los tipos de vegetación y usos del suelo para el primer periodo y en el otro eje, los mismos tipos de vegetación y usos del suelo, para el año en el que termina el periodo.

De esta forma, cada una de las celdas de la diagonal principal de la matriz representa la superficie en hectáreas de cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo que permaneció en la misma categoría durante el período considerado, mientras que en el resto de las celdas se estima la superficie de una determinada cobertura o tipo de uso del suelo que pasó a otra categoría (Dirzo y Masera 1996 citado en López 1999), lo que permite entender la dinámica de cambio en la cobertura y uso de suelo a nivel local y/o regional.

El cruce de datos permite ubicar con gran precisión las permanencias y transformaciones de las coberturas a lo largo de los dos tiempos.

La forma como se hace la lectura de este cuadro es la siguiente: Los datos del año 1976 se leen como líneas arrojando la suma total de hectáreas en las celdas del lado derecho; y los datos del año 2000 se leen como columna arrojando el resultado total en las celdas de abajo.

Tabla 8.- Matriz de cambio 1976-2000

Periodo 1976	**Periodo 2000**								
	Bosque	Selva	Pastizal	Área sin vegetación aparente	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Asentamiento humano	Cultivo de aguacate	***Total 1976***
Bosque	**113,814.2**	986.0	2,089.0	432.0	2,200.0	13,838.0	-	2,283.0	**135,642.2**
Selva	116.0	**2,333.0**	730.0	-	503.0	537.0	61.4	-	**4,280.4**
Pastizal	1,078.0	676.0	**4,432.0**	-	124.0	1,614.0	-	-	**7,924.0**
Área sin vegetación aparente	-	-	-	**4,469.0**	-	249.0	-	-	**4,718.0**
Agricultura de riego	-	-	-	-	**7,871.0**	1,752.0	106.0	-	**9,729.0**
Agricultura de temporal	3,030.0	583.0	119.0	-	449.0	**25,065.0**	1,002.0	8,473.0	**38,721.0**
Asentamiento humano	-	-	-	-	-	-	**2,825.0**	-	**2,825.0**
Cultivo de aguacate	3,027.0	-	232.0	-	-	13,288.0	-	**22,728.0**	**39,275.0**
Total 2000	**121,065.2**	**4,578.0**	**7,602.0**	**4,901.0**	**11,147.0**	**56,343.0**	**3,994.4**	**33,484.0**	**243,114.6**

De este modo las 135,642.22 ha. de bosque que había en la región en 1976 solo permanecieron como bosque sin cambio 113,814.22 ha; mientras que 18,321.00 ha. se deforestaron y se convirtieron en agricultura de riego, agricultura de temporal y cultivo de aguacate, así como 2,089.00 ha se convirtieron en tierras de pastizal.

En el caso del bosque tuvo una disminución de 14,577.00 ha, ya que para el año 1976 contaba con 135,642.22 ha, mientras que para el 2000, disminuyó a 121,065.22 ha.

Por otro lado, el cultivo de aguacate que contaba con 39,275.00 ha en el año 1976, se redujo a 33,484.00 ha para el año 2000, manteniéndose como cultivo de aguacate sin cambio, tan solo 22,728.00 ha.

La otra manera de leer la matriz seria, por ejemplo: de las 39,275.00 ha existentes de cultivo de aguacate en 1976, para el año 2000, 3,027.00 ha se convirtieron en bosque, 232.00 ha en pastizales, 13,288.00 ha en agricultura de temporal.

La matriz de resultados muestra que durante el periodo (1976-2000) el cultivo de aguacate tuvo una disminución de 5,791.00 ha, ya que para el año 1976 contaba con 39,275.00 ha, mientras que para el año 2000 tenia solo 33,484.00 ha.

En cuanto al pastizal tuvo una disminución de 322.00 ha, ya que para el año 1976 contaba con 7,924.00 ha, mientras que para el 2000, paso a 7,602.00 ha.

En cuanto a agricultura de riego, área sin vegetación aparente, agricultura de temporal, asentamientos humanos y selvas, se dio un aumento del área para el año 2000.

5.3. Cambio de uso de suelo y vegetación (2000-2007)

En este periodo se dio un cambio importante, en cuanto al cultivo de aguacate, (ver mapa 3) ya que aumento considerablemente su producción debido a la apertura de nuevos mercados y al precio que alcanzó el producto en los mercados internacionales.

Para el periodo 2000-2007, la matriz de cambios (Tabla 11) nos muestra que mientras el cultivo de aguacate contaba con 30,059.71 ha, para el 2007 se incrementó a 44,333.81 ha, teniendo un aumento de 14,274 ha de aguacate.

Por otro lado la cobertura bosque, que contaba para el año 2007 con 121,518.18 ha, de las cuales solo se mantuvieron sin cambio 101,414.73 has.

La cobertura que más perdió área fue la agricultura de temporal, cediendo al cultivo de aguacate 8,190.58 ha, mientras que al bosque le cedió 5,380.51 has.

Otra cobertura que también cedió área al cultivo de aguacate, aunque en menor porcentaje fue la agricultura de riego con 703.01 ha (Tabla 9).

Tabla 9.- Matriz de cambio 2000-2007

Período 2000	**Período 2007**								
	Bosque	Selva	Pastizal	Área sin vegetación aparente	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Asentamiento humano	Cultivo de aguacate	***Total 2000***
Bosque	101,414.7		1,931.6	-	-	11,634.4	-	5,380.5	**120,361.4**
Selva	1,286.5	1,401.5	171.0	-	-	1,594.7	-	-	**4,453.9**
Pastizal	1,151.3	279.1	4,101.9	-	-	2,030.3	-	-	**7,562.7**
Área sin vegetación aparente	912.3	-	-	4,675.1		127.8	-	-	**5,715.3**
Agricultura de riego	1,109.9	-	-	-	5,400.5	2,924.3	925.3	703.0	**11,063.1**
Agricultura de temporal	13,400.2	258.2	164.5	-	604.0	32,095.8	240.3	8,190.5	**54,953.9**
Asentamiento humano	-	-	-	-	-	-	3,736.5	-	**3,736.5**
Cultivo de aguacate	2,242.9	1,938.9	-	-	161.0	2,075.3	430.4	30,059.7	**36,908.4**
Total 2007	**121,518.1**	**3,877.8**	**6,369.1**	**4,675.1**	**6,165.6**	**52,482.9**	**5,332.6**	**44,333.8**	**244,755.3**

5.4. Proceso de cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000)

En cuanto a los procesos de cambio para el primer periodo 1976-2000 y en base al resultado de cambio de uso de suelo y vegetación fue posible detectar los procesos de cambio que son la forma o el conjunto de acciones que se dan en un espacio determinado y que modifican el estado original de la vegetación. En el área de estudio, los procesos que predominaron durante el periodo 1976 – 2000, fueron principalmente la permanencia de clases (VN) y la permanencia de clase (VC), lo cual indica que el área de estudio no estaba aún fuertemente intervenida. Sin embargo, cabe destacar que el uso del suelo aunque no era tan intenso, estos procesos de cambio de alguna manera modifican el uso del suelo.

5.4.1 Procesos de cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000)

Procesos de cambio	Área (ha)	Porcentaje
Permanencia de clase (VN)	125,048.9	51.4
Permanencia de clase (VC)	58,489.1	24.0
Deforestación	22,612.2	9.3
Crecimiento urbano	1,107.7	0.4
Recuperación	8,392.7	3.4
Cambio cultural	17,828.2	7.3
Incremento del cultivo de aguacate	8,472.6	3.4
Otros procesos	1,102.4	0.4
TOTAL	**243,053.9**	**100.0**

VN.- Vegetación natural
VC.- Vegetación cultural

5.4.2. Procesos de cambio de uso de suelo y vegetación (2000-2007)

Para el caso del periodo 2000-2007, la permanencia de clase (VC) aumento con respeto al periodo anterior, en estas clases se encuentran incluidas la

agricultura de temporal y la de riego, en cuanto al bosque y selva que se encuentra en el proceso de permanencia de clase (VN), disminuyó en 9.15 % con respecto al periodo anterior.

En el caso del cultivo de aguacate, tuvo un incremento del 2.38% en comparación al periodo anterior, debido al incremento de la actividad aguacatera.

5.4.3 Procesos de cambio de uso de suelo y vegetación (1976-2000)

Procesos de cambio	Área (ha)	Porcentaje
Permanencia de clase (VN)	102,816.2	42.3
Permanencia de clase (VC)	80,307.1	33.0
Deforestación	15,331.9	6.3
Crecimiento urbano	1,596.1	0.6
Recuperación	19,354.2	7.9
Cambio cultural	8,087.4	3.3
Incremento del cultivo de aguacate	14,274.1	5.8
Otros procesos	1,286.5	0.5
TOTAL	**243,053.8**	**100.0**

VN.- Vegetación natural
VC.- Vegetación cultural

En cuanto a la perdida de área aguacatera, ésta se dio en toda la zona de estudio, aunque las áreas de perdida son pequeñas.

5.5. Tasa de cambio para toda la zona de estudio

Las tasas de cambio expresan en porcentaje, donde los valores negativos describen las formaciones que pierden superficie y los valores positivos las que ganan superficie en el periodo analizado. Para el caso de la zona de estudio, a continuación se presentan los siguientes resultados.

Para el período (1976-2000), el bosque presento una disminución anual del -0.47 debido al incremento de otras coberturas de las cuales destaca la agricultura de temporal, la cual tuvo una un incremento anual de 1.58 % (Tabla

14). Mientras que en el caso del aguacate, se presentó una disminución de -0.66% para el mismo periodo.

5.5.1 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación **Período (1976-2000)**

Tipo de cultivo	Total 1976	Total 2000	Tasa %
Bosque	135,642.2	121,065.2	-0.4
Selva	4,280.4	4,578.0	0.2
Pastizal	7,924.0	7,602.0	-0.1
Área sin vegetación aparente	4,718.0	4,901.0	0.1
Agricultura de riego	9,729.0	11,147.0	0.5
Agricultura de temporal	38,721.0	56,343.0	1.5
Asentamiento humano	2,825.0	3,994.4	1.4
Cultivo de aguacate	39,275.0	33,484.0	-0.6

Para el período (2000 -2007), el bosque un aumento de apenas 0.05 % anual en su cobertura en comparación al periodo 1976-2000. En el caso de la cobertura de aguacate, esta presentó un aumento de 6.64% anual debido a la apertura de mercados internacionales que favorecieron un mejor precio del producto. Aunado a lo anterior, las áreas de asentamientos humanos dentro del área de estudio mostraron un fuerte incremento del 44.48 %.

5.5.2 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación periodo **(2000-2007)**

Tipo de cultivo	Total 2000 (ha)	Total 2007 (ha)	Tasa %
Bosque	121,065.2	121,518.1	0.05
Selva	4,578.0	3,877.8	-2.3
Pastizal	7,602.0	6,369.1	-2.5
Área sin vegetación aparente	4,901.0	4,675.1	-0.6
Agricultura de riego	11,147.0	6,165.6	-8.1
Agricultura de temporal	56,343.0	52,482.9	-1.0
Asentamiento humano	3,994.4	52,482.9	44.4
Cultivo de aguacate	33,484.0	52,482.9	6.6

Para el periodo total de análisis que abarcó 31 años (1976-2007), podemos observar que el bosque tuvo una pérdida de cobertura anual total de -0.35%. Mientras que en le caso del aguacate el cultivo presento un aumento total anual de 0.94%, dándonos una idea de que realmente las áreas que pertenecen a cultivos de aguacate aumentaron considerablemente durante el periodo de análisis. Por otro lado, los resultados mostraron que la áreas de asentamientos humanos fueron las que aumentaron más durante el periodo de análisis (9.88%) debido a la expansión de la mancha urbana.

Es importante señalar que en la cobertura de bosque, aunque las cifras describen un pequeño aumento de su área (decenas de metros) para el periodo 2007, esto se debió a un falso cambio provocado por la firma espectral de la imagen de satélite Spot 2007, donde la cobertura de bosque se confunde con la firma espectral del cultivo de aguacate debido a que el cultivo de aguacate se cultiva entre la misma cobertura de bosque, lo que no permitió apreciar de manera clara las variaciones en la cobertura de un periodo a otro, lo cual dificultó la interpretación de los resultados.

5.5.3 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación período **(1976-2007)**

Tipo de cultivo	Total 1976	Total 2007	Tasa %
Bosque	135,642.2	121,518.1	-0.3
Selva	4,280.4	3,877.8	-0.3
Pastizal	7,924.0	6,369.1	-0.7
Área sin vegetación aparente	4,718.0	4,675.1	-0.03
Agricultura de riego	9,729.0	6,165.6	-1.4
Agricultura de temporal	38,721.0	52,482.9	0.9
Asentamiento humano	2,825.0	52,482.9	9.8
Cultivo de aguacate	39,275.0	52,482.9	0.9

5.6. Tasa de cambio por municipio

Con el fin de presentar una información más concisa acerca del aumento o disminución del tamaño de las coberturas en los tres periodos de análisis, se decidió evaluar la tasa de cambio por municipio, con el fin de observar en donde se presentan los mayores cambios de cobertura vegetal y donde los valores negativos describen las formaciones que pierden superficie y los valores positivos las que ganan superficie por periodo analizado.

Para el periodo (1976-2000), se observó que la cobertura de bosque presentó un pérdida en los municipios de Parangaricutiro, Uruapan, Tancítaro, pero principalmente en Peribán, donde se presentó un perdida anual del -1.9%.

Para el caso de la cobertura de aguacate, se presentó una disminución en el municipio de Tancítaro (-7.8%) y Peribán (-8.4%) debido al acontecimiento de la plaga barrenadora de hueso de aguacate que se mencionó al principio de este capítulo. No obstante, también se presentó un incremento en el municipio de Uruapan del 7.4%, siendo el municipio de mayor importancia en cuanto al crecimiento del cultivo de aguacate, para este periodo.

Por otro lado, la cobertura de pastizal tuvo una disminución en el municipio de Parangaricutiro del -8.5%, que significó la perdida de cobertura más importante de todos los municipios.

5.6.1 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación por municipio período (1976-2000)

Tipo de cultivo	Tancítaro	Peribán	Uruapan	Tingambato	Parangaricutiro
Bosque	-1	-1.9	-0.4	0.6	-0.3
Selva	1.6	-0.8	-0.1	0	0
Pastizal	0	2.2	5.2	0	-8.5
Agricultura de temporal	8.3	3.7	-1	1.2	-1.3
Agricultura de riego	0	0	2.4	3.9	0
Área sin vegetación aparente	0.9	0	-0.2	0	0
Cultivo de aguacate	-7.8	-8.4	7.4	0	3.9
Asentamiento humano	0	0	0.7	0	0

Para el periodo 2000-2007, la cobertura de bosque presento un aumento del 18.3% en el municipio de Peribán, mientras que en el municipio de Tingambato tuvo una perdida de -7.2% anual.

En el caso del cultivo de aguacate obtuvo un incremento en el municipio de Peribán con un 24.8% siendo el aumento mas importante de todos los municipios.

En el caso de la agricultura de temporal, se presentó durante el periodo de análisis la perdida de cobertura más importante de todos los municipios, con un -30.6%.

5.6.2 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación por municipio período (2000-2007).

Tasa 2000-2007	Tancítaro	Peribán	Uruapan	Tingambato	Parangaricutiro
Bosque	0.9	18.3	0.9	-7.2	1.1
Selva	-22.3	10.0	0	0	0
Pastizal	15.1	19.0	-9.6	0	0
Agricultura de temporal	-3.1	10.0	-2.7	1	-6.6
Agricultura de riego	0	-15.8	-30.6	0	0
Área sin vegetación aparente	3.9	0	-1	0	0
Cultivo de aguacate	0	24.8	5.5	0	0.1
Asentamiento humano	23.2	0	6	0	5.7

Para el periodo total de análisis se presento una ganancia de 3.1% de bosque en el municipio de Peribán, mientras que la mayor perdida se presentó en el municipio de Tingambato con un -1.1% anual.

En el caso del aguacate presentó ganancia de superficie en todos los municipios, pero particularmente en el municipio de Peribán, donde se presentó la ganancia mas importante que fue de 7.6% anual.

En el caso del pastizal, durante el periodo de análisis se presentó la perdida de cobertura más importante de todos los municipios, con un -26.3%.

5.6.3 Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación por municipio período (1976-2007)

Cultivos	Tancítaro	Peribán	Uruapan	Tingambato	Parangaricutiro
Bosque	-0.5	3.1	-0.1	-1.1	0
Selva	-3.3	0	0	0	0
Pastizal	3.6	6.3	2	0	-26.3
Agricultura de temporal	5.8	5.2	-1.4	1.2	-2.5
Agricultura de riego	0	-3.4	-4.2	0	0
Área sin vegetación aparente	1.6	0	-0.4	0	0
Cultivo de aguacate	0.2	7.6	7	0.2	3
Asentamiento humano	0	0	1.9	0	0

5.7. Dinámica del cultivo de aguacate (1976-2000)

El resultado de la dinámica de aguacate es resultado de uno o más procesos, debido a la reconversión de cultivos o a la deforestación de algún tipo.

En el caso de las ganancias de áreas de cultivo de aguacate esta se dio por una deforestación que es reemplazada por el cultivo de aguacate o por una reconversión agrícola a cultivo de aguacate. En cuanto a la pérdida esta se presentó de tres formas, por pérdida de cultivo de aguacate que paso a agricultura de temporal, a agricultura de riego o a asentamientos humanos.

Para el periodo 1976-2000, se observo que en el municipio de Uruapan se obtuvo el mayor incremento de cultivo de aguacate con 8,294.35 ha. En el municipio de Tancítaro se dio una permanencia de cultivo de aguacate de 20,801 ha lo cual representó el área con permanencia y al mismo tiempo el que representó la mayor perdida con 12,640.32 ha.

5.7.1 Dinámica del cultivo de aguacate (1976-2000)

PROCESO	MUNICIPIO	AREA HA
GANANCIA	TANCITARO	1,663.0
	PERIBAN	1,836.5
	URUAPAN	8,294.3
	TINGAMBATO	
	NVO. SAN JUAN P.	7,192.9
PERMANENCIA	TANCITARO	20,801.7
	PERIBAN	18,378.8
	URUAPAN	9,779.2
	TINGAMBATO	
	NVO. SAN JUAN P.	1,925.7
PERDIDA	TANCITARO	12,640.3
	PERIBAN	738.7
	URUAPAN	728.5
	TINGAMBATO	2,384.3
	NVO. SAN JUAN P.	379.1

Para el periodo 2000-2007, la dinámica del cultivo de aguacate se presentó en el municipio de Tancítaro teniendo un incremento de 6,996 ha, una permanencia de 22,420 ha y una perdida de 2,603 ha.

5.7.2 Dinámica del cultivo de aguacate (2000-2007)

PROCESO	MUNICIPIO	AREA (HA)
GANANCIA	TANCITARO	6,996.6
	PERIBAN	996.6
	URUAPAN	5,172.9
	TINGAMBATO	3,528.6
	NVO. SAN JUAN P.	1,386.0
PERMANENCIA	TANCITARO	22,420.9
	PERIBAN	19,710.0
	URUAPAN	16,924.5
	TINGAMBATO	
	NVO. SAN JUAN P.	7,520.3
PERDIDA	TANCITARO	2,603.9
	PERIBAN	667.9
	URUAPAN	1,258.5
	TINGAMBATO	
	NVO. SAN JUAN P.	1,080.6

CAPÍTULO 6.- Discusión

Garibay y Bocco (2007) realizaron un estudio de la situación del uso del suelo en comunidades indígenas de la región Purépecha (1976-2005), donde encontraron que la cobertura de bosque, contaba con 221,097ha para el periodo 1976; mientras que para el año 2000 disminuyó a 203,613ha. La misma tendencia se observo en este estudio donde se mostró que para 1976 se contaba con 135,642ha y para el año 2000 disminuyó a 120,361ha.

Por otro lado, Garibay y Bocco (2007) obtuvieron para su segundo periodo de análisis (2000-2005) que la cobertura de bosque en el 2000, contaba con 203,613.1ha, mientras que para el 2005 disminuyó a 201,517.3 ha. En el caso de este estudio, los resultados mostraron que el bosque contaba con 120,361.4 ha para el año 2000, aumentando a 121,518.18ha, para el 2007. Cabe mencionar que en el segundo periodo de análisis (2000-2007), los datos muestran que no hay un aumento considerable de bosque, aunque en la realidad no se pudo contabilizar exactamente dicho incremento, ya que al realizar la clasificación supervisada en las imágenes Spot, se observó una confusión espectral de clases entre el bosque y las huertas aguacateras, debido a que muchos árboles de aguacate se encuentran debajo de la cobertura boscosa, esto se corroboró en el trabajo de campo, en donde varias áreas de la zona de estudio, se encontraban en esta condición.

Por lo anterior no fue posible incluir dentro del análisis aquellas zonas aguacateras que se encontraban bajo la cobertura boscosa, ya que no hubo manera de interpretar el área que abarcán estas zonas, ya que las imagenes la describian como una sola cobertura.

En cuanto a los cultivos, Garibay y Bocco (2007) obtuvieron 156,945.5 ha, para el año 1976, aumentando a 168,122.5 ha, para el año 2000 y a 170,877 ha, para el 2005, en tal resultado expuesto no se alcanza a percibir ninguna disminución de algunos de los elementos que conformaron la categoría de cultivos (agricultura de temporal, agricultura de riego), mientras que en este

estudio se analizó por separado cada cultivo, siendo el de aguacate la principal cobertura a analizar y la cual se rescató a partir de una serie de procedimientos metodológicos que permitieron separar las áreas frutícolas de las superficies cafetaleras y maiceras, de la cual se obtuvo que en 1976 se contaba con 39.275ha de cultivo de aguacate, disminuyendo para el 2000 a 33.484ha, debido a la plaga barrenador de hueso de aguacate. Sin embargo, la cobertura aumento a 44,333.8 ha para el 2007, debido a la apertura de mercados, a la demanda del producto y a lo bien cotizado de éste.

En el caso de las tasas de cambio, Garibay y Bocco (2007) obtuvieron, una pérdida anual de bosque de -0.34% para el periodo 1976 – 2000. Mientras que en este estudio, se observó para el mismo período una tendencia similar (tasa de -0.47% anual).

Para el periodo 2000 – 2005, Garibay y Bocco (2007) obtuvieron una tasa de pérdida anual de -0.25%. Mientras que para este estudio se obtuvo una tasa de 0.05% anual, para el periodo 2000 – 2007. La diferencia en los resultados obtenidos se puede deber a los distintos periodos de análisis y a la diferencia de áreas.

Para el periodo 1976 – 2000, Garibay y Bocco (2007) obtuvieron un incremento de 7.5% en la tasa anual de asentamientos humanos,. Mientras que para este estudio, la tasa aumentó anualmente 1.45 %, debido a que sólo se tomó en cuenta las áreas urbanas que en este periodo rebasaban, los 10,000 habitantes por municipio y que sólo se observó en el municipio de Uruapan. Por otro lado, si se hubieran tomado aquellas poblaciones que aumentaron por debajo de 10,000 habitantes, la tasa identificada hubiera sido mucho mayor.

Para el periodo 2000 – 2005, Garibay y Bocco (2007), nos muestran para la cobertura de asentamiento urbano, una tasa de crecimiento de 3.9% anual. Mientras que para este estudio, se obtuvo una tasa de crecimiento de 44.48% anual, siendo una tasa elevada debido a que se tomaron en cuenta todos los asentamientos, además del aumento de la tasa de población en los municipios analizados.

En cuanto a la agricultura de temporal y de riego, para el periodo 1976 – 2000 Garibay y Bocco (2007) obtuvieron un resultado de 0.5 % y -1.1%, respectivamente. Mientras que en este estudio se obtuvieron una tasa de 1.58% y 0.57 %, respectivamente. En ambos casos, aunque la tasa de cambio anual no son significativas, la presencia de estos cultivos juega un papel importante en la dinámica de cambio de uso de suelo dentro de la regiones analizadas, por lo cual deben ser consideradas como parte fundamental del análisis.

Con respecto al periodo 2000 – 2005, Garibay y Bocco (2007) obtuvieron para la agricultura de temporal y de riego una tasa de 0.5% y -1.4%, respectivamente. Mientras que en este estudio para el mismo periodo, se obtuvo una tasa de -1.01% y -8.11%, respectivamente, lo cual indica que la disminución de tales cultivos se debe al cambio de vocación de cultivos, por huertas aguacateras.

CAPITULO 7. Conclusiones

A continuación, se enumeran las conclusiones del análisis espacial de cambio de uso de suelo para los periodos 1(1976-2000), 2(2000-2007), 3(1976-2007). Los datos obtenidos son de suma importancia ya que la metodología desarrollada consideró los elementos dinámicos del cultivo de aguacate para la zona de estudio.

Por otro lado, en el área de estudio se han dado cambios políticos, sociales, económicos y culturales, debido a una intensa ocupación humana desde hace varias décadas, lo que ha favorecido el desarrollo del cultivo de huertas de aguacate y, a su vez, ha generado profundos cambios en la cultura agrícola de la región.

De hecho, dentro de las transiciones más importantes encontradas en la zona de estudio destacan, el crecimiento urbano, la pérdida de cobertura boscosa y el crecimiento de huertas aguacateras, lo cual se corroboró a través de las siguientes conclusiones.

A. Para toda la región

1.- Durante el periodo 1976 – 2000 la cobertura de bosque disminuyó 14,577, lo cual indica un proceso de deforestación continuo que modificó la cobertura original. En este periodo, la cobertura de cultivo de aguacate disminuyó 5,791 ha por la presencia de una plaga, lo cual produjo un incremento en otros cultivos (maíz, trigo, haba, calabaza, papa, fríjol, entre otros).

2.- Durante el periodo 2000 – 2007 la cobertura de bosque ganó 1,156.7 ha., probablemente debido al abandono de tierras poco productivas. En este sentido, López y Bocco (2006) proponen que la evidencia más clara a nivel regional es una marcada matorralización de terrenos abandonados dedicados previamente a la agricultura de secano y al crecimiento de áreas urbanas.

Asimismo, mencionan que la situación anterior, aunada al poco apoyo gubernamental hacia el campo mexicano en las últimas décadas a ocasionado que los campesinos emigren a otras zonas en busca de una mejor calidad de vida, lo cual dio por resultado que las tierras de cultivo pocos productivas fueran abandonadas, en algunos casos desde hace 25 años.

Lo anterior ocasionó fenómenos de sucesión vegetal que actualmente se ven reflejados en zonas con presencia de matorral subtropical que según Rzedowski y Calderon (1987) cit. por López y Bocco (2006) es una fase mas o menos estabilizada que se da posterior a la destrucción del bosque tropical caducifolio y posiblemente al cultivo prolongado del suelo y pastoreo de la vegetación secundaria.

Por otro lado, la cobertura de cultivo de aguacate aumento en este mismo periodo 7,425.35 ha., debido a los beneficios económicos que reciben los pobladores de la región por su venta en el mercado nacional y extranjero.

3.- Para el periodo 1976 – 2000, el proceso que predominó fue la permanencia de clases de VN (vegetación natural) con un 51.45% del área de estudio. La mayor tasa de cambio que se obtuvo, en este periodo, fue para la agricultura de temporal, los cuales se incrementaron anualmente en 1.58% debido a la demanda de alimentos. Los tipos de cultivo que presentaron mayor pérdida de área fueron el cultivo de aguacate y el bosque, con un -0.66 y -0.47%, respectivamente, debido al crecimiento demográfico y al proceso de deforestación que se presentó en la región.

4.- Para el periodo 2000- 2007, los procesos predominantes fueron la permanencia de clases de VN (vegetación natural) y de VC (vegetación cultural) con 42.30% y 33.04%, respectivamente, debido principalmente al cambio de cultivos de riego y temporal a cultivo de aguacate, en el caso de la VC. Los tipos de cultivo que representaron mayor pérdida de área, en el periodo, fueron la agricultura de riego y el pastizal, con un -8.11 y -2.5% respectivamente, debido al cambio de vocación del suelo, para la dedicación de huertas aguacateras.

La mayor tasa de cambio que se obtuvo para la etapa, fue para el bosque, el cual se incremento anualmente 0.05%; esto se pudo deber a varias razones, dentro de las que destacan la implementación de programas de preservación de bosque, la época de la toma de las fotografías aéreas, o la confusión de árboles aguacateros en el bosque.

5.- Para el periodo 1976 – 2007, la mayor tasa de cambio que se obtuvo, fue para el asentamiento humano, la agricultura de temporal y el cultivo de aguacate, con un 9.98, 0.99 y 0.94% respectivamente. El tipo de cultivo que representó la mayor pérdida de área fue la agricultura de riego con, -1.46%, debido al cambio de vocación de cultivo.

B. Nivel municipal

1.- Para el periodo 1976 – 2000, las tasas de cambio por municipio que representaron mayor pérdida fueron, el cultivo de aguacate, con -7.8 y -8.4% en Tancítaro y Peribán respectivamente, debido a la plaga que se presentó en las huertas aguacateras por esas épocas. La mayor tasa de cambio por municipio que se obtuvo fue para el cultivo de aguacate con 7.4%, para el municipio de Uruapan.

2.- Para el periodo 2000 – 2007, las tasas de cambio por municipio que representaron mayor pérdida fueron, la selva con -22.3% en Tancítaro y el bosque con -7.2%, en el municipio de Tingambato. Las mayores tasas de cambio por municipio que se obtuvieron fueron, el cultivo de aguacate y el bosque con 24.8 y 18.3%, respectivamente en el municipio de Peribán.

3. Para el periodo 1976 – 2007, las tasas de cambio por municipio que representaron mayor pérdida fue, el pastizal y la selva con, -26.3 y -3.3%, en Parangaricutiro y Tancitaro, respectivamente. Las mayores tasas de cambio por municipio que se obtuvieron fueron, de cultivo de aguacate con, 7.6 y 7%, en Peribán y Uruapan respectivamente.

4. Para el periodo 1976 – 2000, en cuanto a la dinámica del cultivo de aguacate, donde obtuvo mayor área fue en el municipio de Uruapan con, 8,294.3ha, la mayor permanencia en el municipio de Tancítaro con 20,801.7 ha, y la mayor pérdida en el municipio de Tancítaro con 12,640.3ha.

5. Para el periodo 2000 – 2007, el municipio de Tancitaro presentó una dinámica importante en cuanto al incremento en la superficie del cultivo de aguacate, con un valor de 6,996.6ha, una permanencia de 22,420.9ha, y una pérdida de 2,603.9 ha.

Comentarios Finales

Con base en los resultados presentados, se puede afirmar que el cultivo de aguacate incrementó considerablemente su área dentro de la zona de estudio, desplazando al bosque de pino encino y demás coberturas que anteriormente se encontraban en esta área, lo anterior corrobora la hipótesis de trabajo planteada.

El futuro del cultivo del aguacate requiere que los productores e involucrados en la actividad, tengan el conocimiento y las herramientas que les permitan un mayor desarrollo del cultivo, sin perder de vista el manejo sustentable de la región. Actualmente, la UNAM está iniciando un estudio a profundidad, tanto a nivel región como a nivel parcela, de manera conjunta con productores y gobierno del Estado de Michoacán, tendiente a proponer estrategias conjuntas que garanticen la sostenibilidad de este sistema productivo. Uno de los indicadores clave será el análisis de cambio de uso del suelo para toda la zona aguacatera, utilizando imágenes de muy alta resolución espacial (por debajo de 1 m).

Bibliografía

Aguilar, C., Martínez y L. Arriaga. (2002). Deforestación y fragmentación de ecosistemas ¿Qué tan grave es el problema en México? BioDiversitas. (30):10456-10459.

Aguirre P. S. (2006). Situación actual del cultivo de aguacate. Memoria del IV seminario taller sobre aguacate. 08 de Octubre. Facultad de Agrobiología. Pdte. Juárez.

Batista C., S. (1993) Notas frutícolas para el estado de Michoacán", CONAFRUT, SAG, México. pp:1-16.

Álvarez-Icaza, P., G. Cervera, C. Garibay, P. Gutiérrez. y F. Rosete. (1993). Los Umbrales del Deterioro. La dimensión Ambiental de un desarrollo desigual en la región purépecha". Fac. Ciencias UNAM, PAIR-UNAM, Friedrich Ebert Stiftung. México. 274p.

Bocco, G y M. Mendoza (2001). Evaluación de los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo en Michoacán (1975 – 1995). Lineamientos para la ordenación ecológica de su territorio. Proyecto No. 96 06 042, Programa SIMORELOS-CONACYT, Informe técnico, Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia.

Bocco, G., Mendoza, M y O.R. Masera (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodología para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas. 44:18-38.

Bocco, G., Palacio, J.L. y C.R. Valenzuela. (1991). Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica. Ciencia y Desarrollo 17(97): 79-88.

Bocco, G. (2001). Que es el Cambio de Cobertura Vegetal y Uso del Terreno. Centro de investigaciones en Ecosistemas, UNAM, Campus Morelia.

Correa, G. (1974). Geografía del Estado de Michoacán, Geografía Física, Tomo I, EDDISA. Morelia.

Chuvieco E. (2002) Teledeteccion ambiental. La observación de la tierra desde el espacio . Editorial Aries. Barcelona, España.

Diccionario Agropecuario de México (1982) Instituto Nacional de Capacitación del Sector Agropecuario. INCA RURAL. México.

Galindo, G. (1995). Los bosques de la región purepecha de Michoacán: Una evaluación geográfica 1970-1990. Tesis de la Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.

García, E. (1985) Modificaciones a la clasificación climática de Koppen. UNAM. México D.F.

Garibay, C. y G. Bocco. (2007) Situación actual en el uso del suelo en comunides indígenas de la Region Purepecha. 1976-2005.

INEGI. (1999). La Producción Forestal en la Meseta Purepecha en el Estado de Michoacán.

Inventario Nacional Forestal 2001-2002. (2000). Instituto Nacional de Ecología y Instituto de Geografía. México, UNAM-SEMARNAP.

Lambin, E. F., Turner B.L., Geist H.J., Agbola S.B.., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O.T., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. Global Environmental Change, 11:261-269.

Lopez, E., G Bocco, M. E. Mendoza y E. Duahu (2001). Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia city México, Landscape and Urban Planning, 55 (4): 271-285.

López E. y G. Bocco (2006). Patrones locales de cambios globales: Efectos de la emigración en el cambio de uso del suelo en el centro de México. El caso de la cuenca del lago Cuitzeo, México. Scripta Nova Revista electrónica de Geografia y ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. Vol. X, num. 218.

Núñez, A. (2000). Los mamiferos. Catalogo de la biodiversidad en Michoacán. Gobierno del estado de Michoacán.

Redowsky, J. (1978) La Vegetación de México. Editorial Limusa. México, D.F.

Rosete, F. (1997). Evaluación de tierras y diseño de base de datos para su aplicación en el ordenamiento territorial de la comunidad indígena de Nuevo San Juan. Tesis de la Facultad de Biología. UMSNH.

Rosete F., Ordóñez J. A. y O.R. Masera. (1997) “Dinámica de Cambio de Uso de Suelo y Emisiones de Carbono en la Meseta Purepecha:” El caso de la comunidad indígena de Santiago Tingambato. Instituto de Ecología UNAM.

Sánchez, J, G. Bocco, J. Fuentes y Velásquez, A. (2000). “Análisis de cobertura y uso del terreno en el contexto de su dinámica espacio-temporal.

SIGSA-División Percepción Remota (2007) Introducción a la percepción Remota. Curso impartido en SIGSA. México, D.F.

Torres A. y G. Bocco. (1999). Cambio de uso de suelo por cultivo de aguacate en la Meseta Tarasca, Michoacán, para los Años de 1970 y 1990/92. *En*: Bocco, G. y M. Mendoza. *Evaluación de los cambios de cobertura y uso del suelo en Michoacán (1975-1995)*. *Lineamientos para la ordenación ecológica*

de su territorio. Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, México, 50 pp.

UNAM – SEDESOL – SEMARNAT-INE (2004) Indicadores para la Caracterización y el Ordenamiento Territorial. SEMARNAT – INE. México. 161pp.

Vargas U.G. (2002) Michoacán. Cambios antropogénicos del medio ambiente. Boletín de la coordinación de Investigación Científica de la UMSNH. 14:35-43.

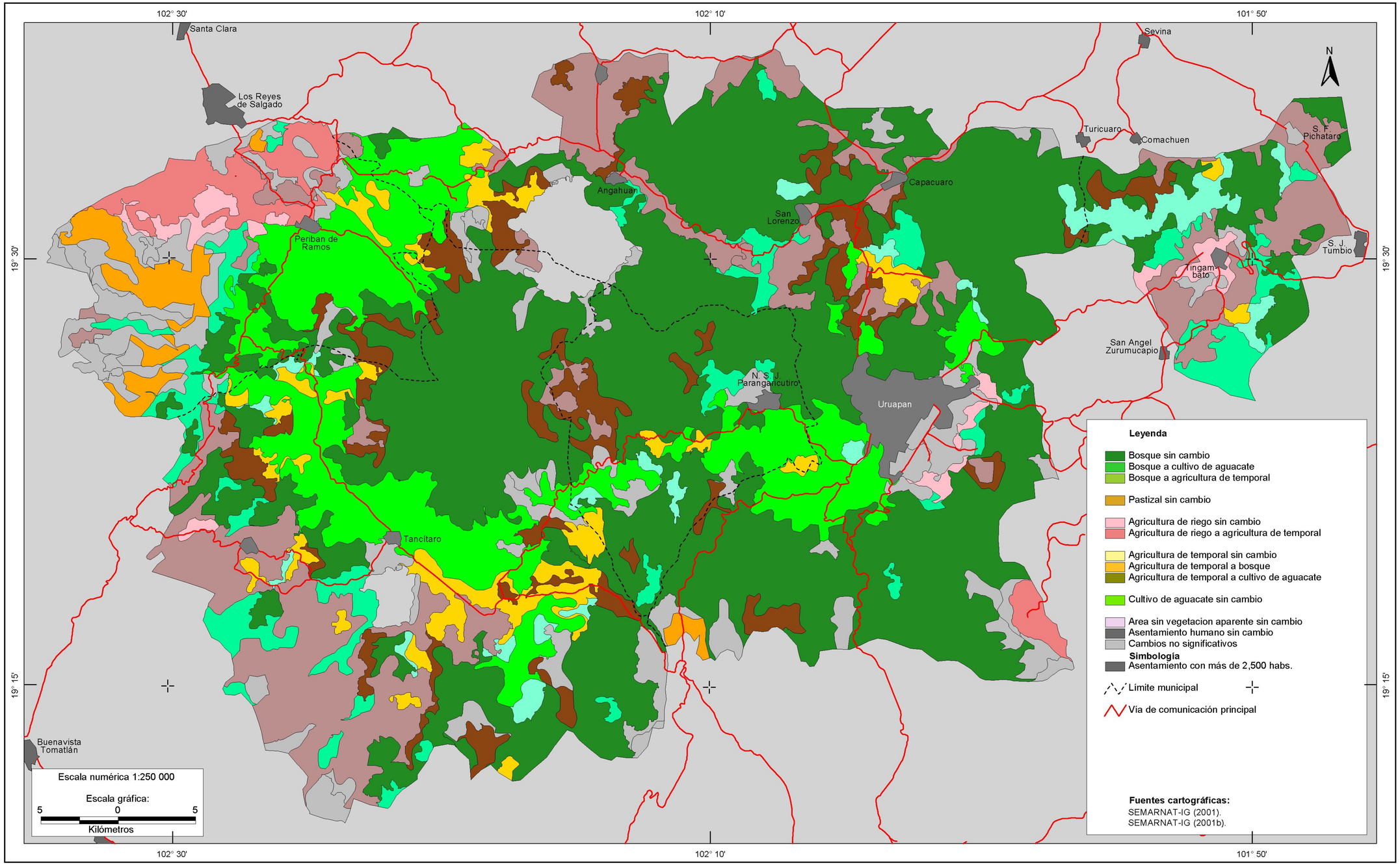
Velásquez, A., J.F. Mas, J.L. Palacio, J.R. Díaz, R. Mayorga, C. Alcántara, R. Castro y T. Fernández. (2002). Análisis de cambio de uso del suelo. Informe Técnico. INE-Instituto de Geografía, UNAM.

Zepeda P. J. (1990). Michoacán Economía, Política y Sociedad. UNAM, México.

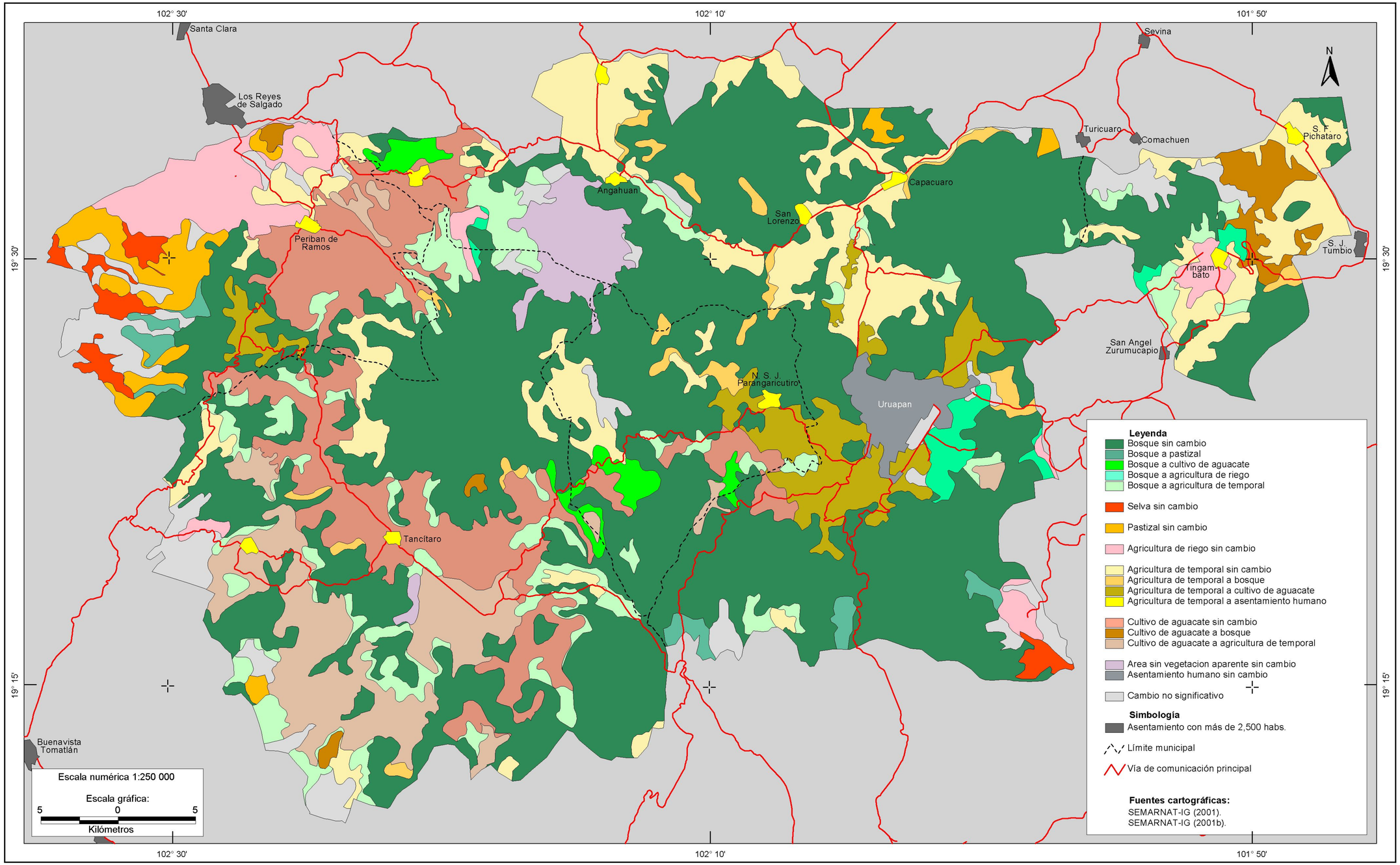
Páginas de Internet Consultadas

NASA (2009) Landsat Data Continuity Mission En: http://ldcm.gsfc.nasa.gov/

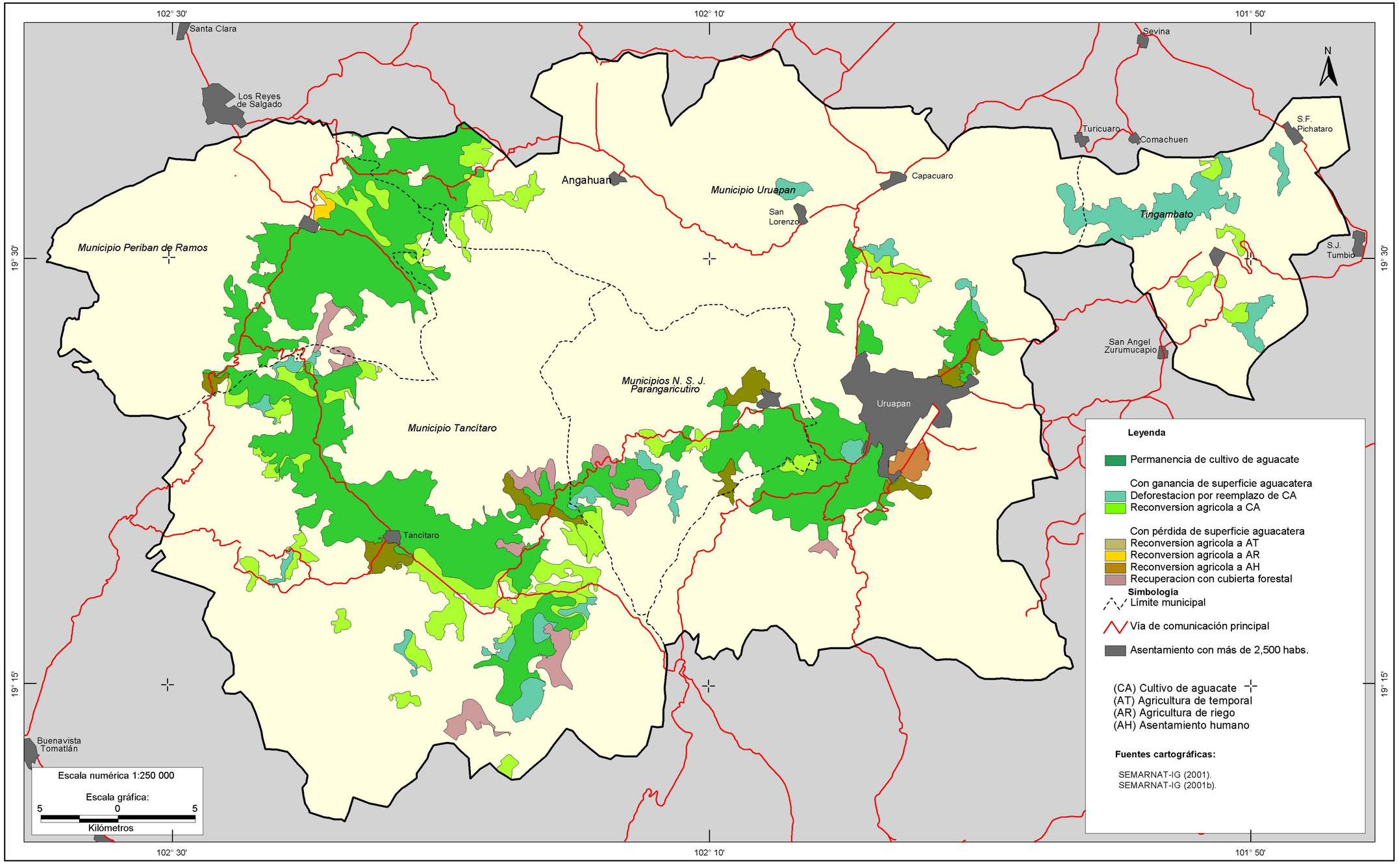
Sur de la Meseta Purépecha de Michoacán. Cambio de uso de suelo y vegetación 2000-2007



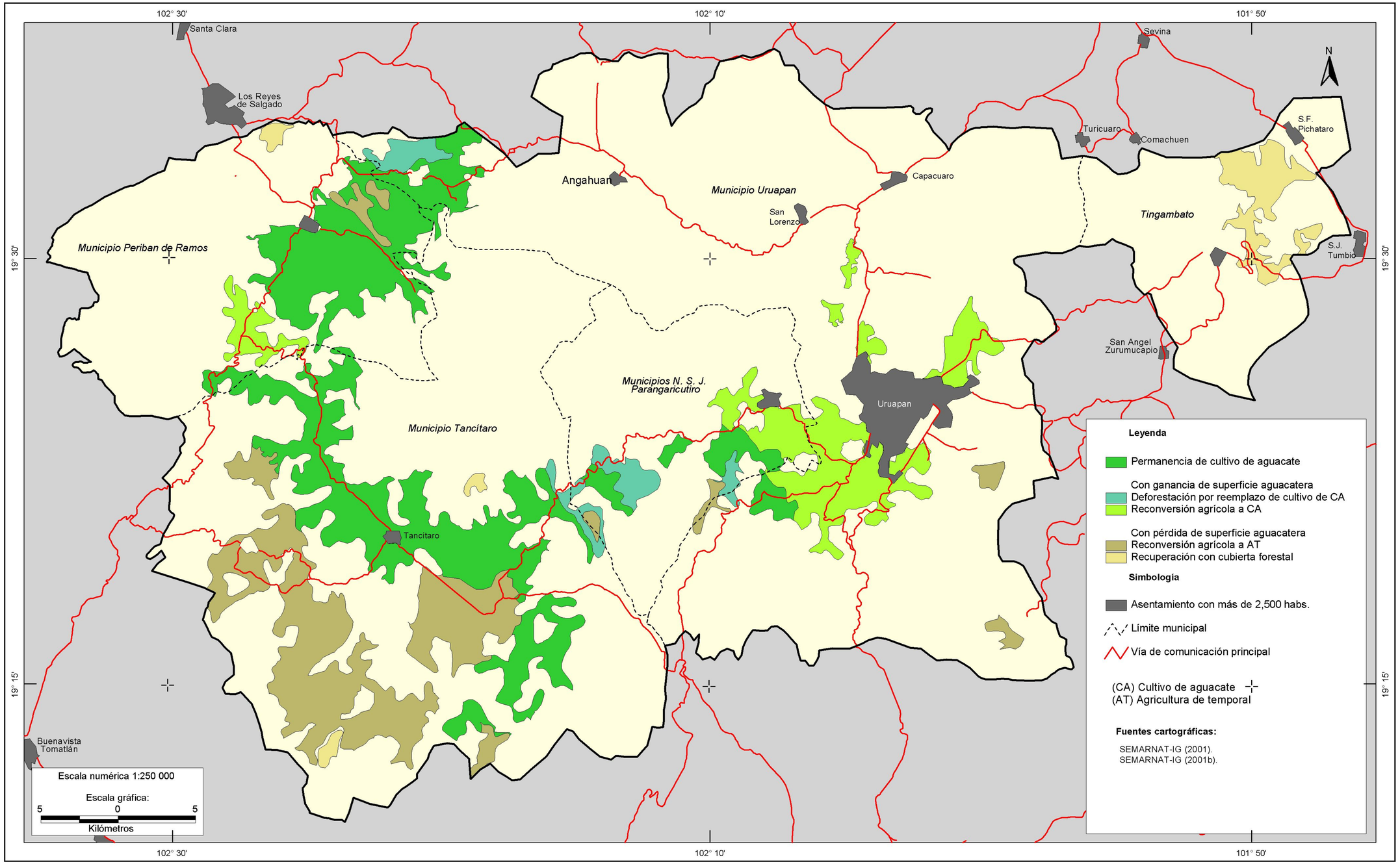
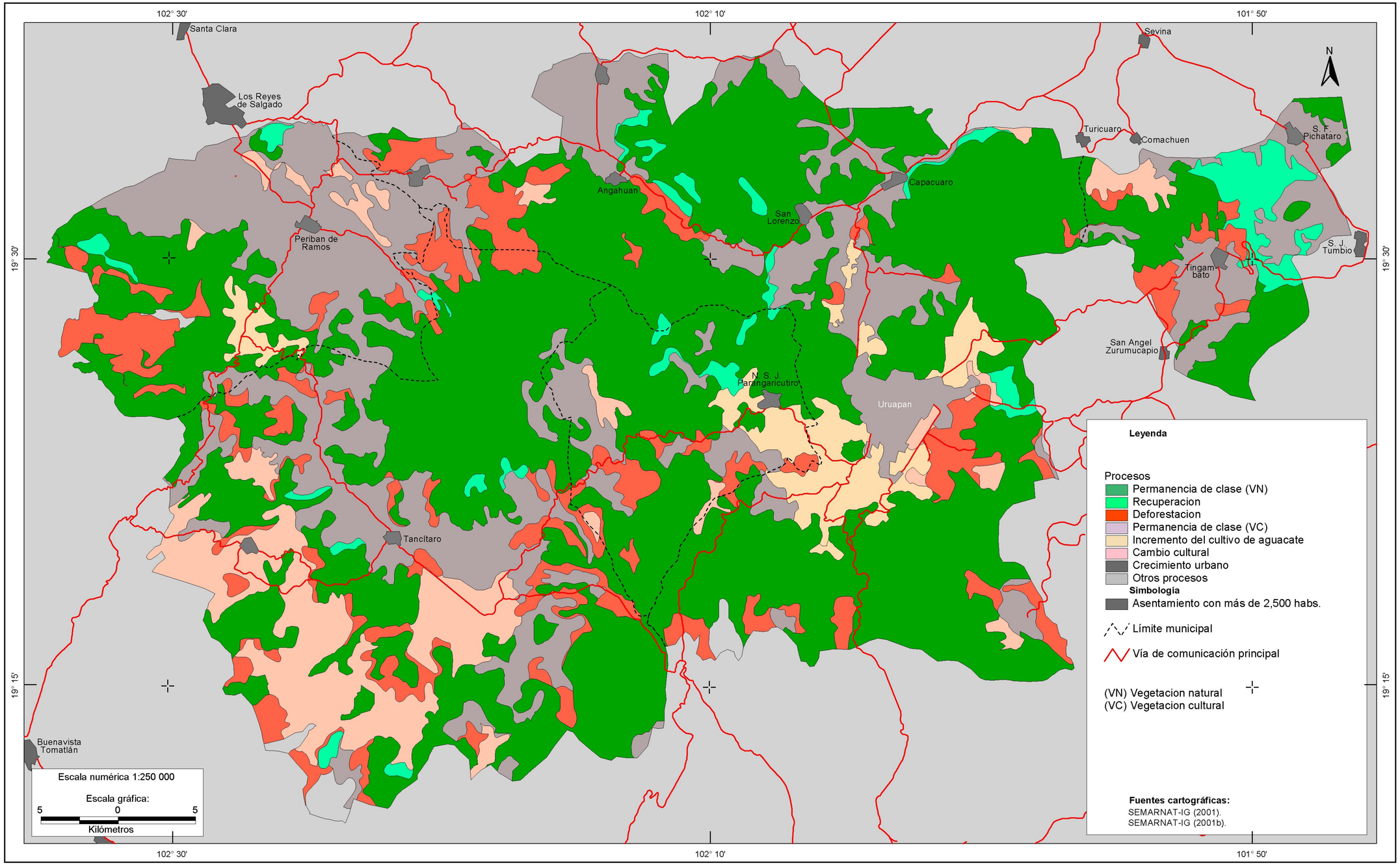
Sur de la Meseta Purépecha de Michoacán. Cambio de uso de suelo y vegetación 1976-2000



Sur de la Meseta Purépecha de Michoacán. Procesos de cambio de uso de suelo y vegetación, en superficie aguacatera 2000-2007



Sur de la Meseta Purépecha de Michoacán. Procesos de cambio de uso de suelo y vegetación, en superficie aguacatera 1976-2000



Sur de la Meseta Purépecha de Michoacán. Procesos de cambio de uso de suelo y vegetación 1976-2000