



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LOS
CAMBIOS EN LA CUBIERTA VEGETAL Y EL
USO DEL SUELO EN EL SUR DE
QUINTANA ROO, MÉXICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
P R E S E N T A :
RODOLFO RUÍZ LÓPEZ



Director de Tesis:
DR. JORGE LÓPEZ BLANCO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F. FEBRERO 2006.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

*La carrera no siempre la ganan los más veloces,
sino los que siguen corriendo. **Determinación.***

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por que sus instalaciones y personajes me permitieron madurar y descubrir el significado de ser universitario. Esta casa de estudios además fue mi segundo hogar, fue quien me otorgo la capacidad de pensar, de criticar y de construir mi camino profesional. En ella también se encuentra mi tercer hogar el Instituto de Geografía, este lugar fue donde con el apoyo de algunas personas adquirí los conocimientos necesarios para salir a ganarme la vida con una profesión. Gracias UNAM.

Al Dr. Jorge López Blanco, gracias por todas las cosas que compartiste durante todos estos años, desde mi etapa como servicio social, pasando por la colaboración en algunos proyectos y finalmente al ser asesor de este trabajo de tesis. Gracias por tu amistad, por la confianza y por creer en mí en todo este tiempo.

Al Mtro. Luis Miguel Morales Manilla, por brindarme la oportunidad de trabajar en diversos proyectos a tu lado y, a la vez, poder culminar con este trabajo de tesis. Gracias por las pláticas, por enseñarme a ser cada vez más responsable con mi trabajo, por las palabras de aliento con tinte a reto y sobre todo por tu amistad, confianza y el reconocimiento a mi trabajo.

A la Dra. Ma. De Lourdes Villers Ruíz, por aceptar ser parte del jurado, por dedicarle valiosos momentos de su tiempo a la revisión de este trabajo y por sus comentarios.

A la Dra. Georgina Calderón Aragón, porque durante sus clases me enseñó que la geografía no es como la pintan, doctora gracias por mostrarme el lado de la carrera que muchos no quieren ver y otros niegan.

A la Dra. Ma. Isabel Ramírez Ramírez, por aceptar ser parte de esta historia y brindarme su tiempo y comentarios hacia este trabajo. Doctora, "...el honor es mío".

A la Dra. Claudia De Mendieta, por que me ayudo a darle salida a muchas cosas partiendo de entender lo que soy, para después lograr encontrar la tranquilidad que me ayudo a tomar decisiones que sirvieron para la culminación de este trabajo. Claudia personas como tú hay pocas, te estaré agradecido por siempre.

Al Lic. en Geog. Ramón Rodríguez Hernández, por tus enseñanzas durante mi labor como servicio social, por tu amistad y por que aunque lejos tus consejos me sirvieron mucho durante este largo camino. ¡Gracias!

A todas aquellas personas que laboran en el Instituto de Geografía, desde el personal de intendencia, pasando por los veladores y terminando con las personas de la biblioteca. Gracias porque siempre estuvieron en la disposición para apoyarme durante las noches en vela y las mañanas de cansancio, además de facilitarme el material bibliográfico y cartográfico que sirvió para este trabajo. A todos ellos gracias.

Al grupo de amigos con quien compartí infinidad de aventuras durante el periodo que duro la carrera y los años posteriores. Por compartir sus conocimientos, ayudarme a entender lo valioso de la amistad y demostrarme que ésta es mucho más que palabras; gracias Verena (vereñoña), Erika (señora de kenobi), Paola (pao), Emilio (kenobi), Octavio (octas), Ignacio (nacho), Raúl (rulas), Paco (paquito), Oscar (tepo).

A ti, Abigail Martínez Uribe, por ser parte importante en mi vida, por haber sido la persona que abrió mis ojos ante las posibilidades y los diversos horizontes que existen. El apoyo que me has brindado desde que nos conocimos, sencillamente es inigualable. Gracias por todos tus consejos, por ser tan especial, por permitirme conocer el amor a tu lado, y sobre todo, por todo el amor que nos tenemos; En esta tesis se encuentra parte importante de nuestra historia y de nuestras vidas. ¡Te adoro!

A esas inigualables mujeres que me demostraron que nada es fácil y que aun así, la amistad, los sueños y las metas siempre se cumplen: Adriana, Antalia, Pilar y Tania (chiquitita).

A mis compañeros en el Instituto de Geografía, Pedro (peter), Miguel (santos), Alejandro (zar), Carlos, German, Agustin (agus), Anita (de Rulas) y Sergio, por compartir su tiempo, comentarios y una buena amistad.

A las personas con quién disfrute y compartí muchos momentos en el famoso "cubo 300", gracias a todos ellos por haberme permitido ser parte activa de ese grupo y, por enseñarme que la vida en la facultad sólo se vive una sola vez.

A mis grandes amigos, mis carnales: Paulo, Rogelio y Rubén porque aun después de finalizado el periodo de preparatoria siguen vigentes y seguiremos demostrando que la distancia no termina con la amistad sino que la alimenta y fortalece. Gracias "mijo".

DEDICATORIA

A mi **madre**, por ser un ejemplo de perseverancia. **Madre**, todos tus días de trabajo, tristeza y desesperación están reflejados en este trabajo. Gracias por todo lo que me brindaste desde que me llevabas en tu vientre y lo que ha sido mi vida hasta el día de hoy. Gracias por encaminarme hasta donde estoy y por permitirme mediante una educación escolar conocer el mundo que ahora estoy enfrentando. Espero que este regalo te de la felicidad y la tranquilidad que te mereces. ¡Te quiero, te extraño y te admiro!

A mis hermanos Manuel Gustavo, Magdalena, Victor Manuel, Maria Esther y Beatriz; por que con sus pláticas y comentarios, la educación, los consejos, su amor y comprensión me formaron como persona, estudiante y hermano. Gracias de verdad y espero que mis sobrinos algún día logren darles una satisfacción como esta, los quiero.

A mi "Tiazo", Carlos López Palacios (†); por todos sus consejos, apoyo y por formar parte importante de mi vida.

Índice

Capítulo 1 Introducción

	Página
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Justificación	4
1.4 Caracterización geográfica del área de estudio	4
1.4.1 Localización	4
1.4.2 Clima	6
1.4.3 Hidrografía	8
1.4.4 Geología	9
1.4.5 Geología estructural	10
1.4.6 Geomorfología	12
1.4.7 Suelos	13
1.4.8 Vegetación	15
1.5 Antecedentes históricos	20
1.5.1 Conformación del estado	21
1.6 Población	24
1.7 Caracterización económica e infraestructura	27

Capítulo 2 Marco Teórico-Conceptual

2.1 Marco teórico-conceptual	30
2.1.1 Antecedentes en el estudio del cambio de uso del suelo	30
2.1.2 Mapeo de cubierta y uso del suelo	33
2.1.3 Aproximaciones al modelado en el cambio de uso del suelo	34
a) Modelos descriptivos	35
b) Modelos de función lógica	36
c) Modelos empíricos	36
d) Modelos estadísticos	37
e) Modelos de simulación dinámica	38

2.1.4 Antecedentes de cambio en la cubierta vegetal y uso del suelo en Quintana Roo	38
2.1.5 Percepción Remota	41
a) Rectificación y restauración de la imagen	42
b) Corrección geométrica	42
c) Realce de la imagen	43
d) Visualización de imágenes	43
e) Operaciones multibanda	43
f) Clasificación de la imagen	44
g) Obtención de resultados	45

Capítulo 3 Metodología

3.1 Metodología	47
3.2 Elaboración del mapa para la primera fecha del análisis (1981)	50
3.3 Elaboración del mapa para la segunda fecha del análisis (1993)	54
3.4 Elaboración del mapa para la tercer fecha del análisis (2002)	58
3.5 Trabajo de campo	61
3.6 Análisis de cambio	63
3.7 Análisis de cambio para el periodo 1981-1993	64
3.8 Análisis de cambio para la sub-área de estudio en los periodos 1981-1993, 1993-2002 y 1981-2002	66

Capítulo 4 Resultados

4.1 Resultados	68
4.2 Mapa de cubierta vegetal y uso del suelo 1981	68
4.3 Mapa de cubierta vegetal y uso del suelo 1993	71
4.4 Mapa de cubierta vegetal y uso del suelo 2002	73
4.5 Mapa de cambio para el periodo 1981-1993	75
4.6 Tipo de cambio en el periodo 1981-1993	80
4.6.1 Cambio de área de inundación (AI) hacia otros	81

4.6.2 Cambio de área inundable cubierta parcialmente (AICp) hacia otros	81
4.6.3 Cambio de área semi-desmontada (ASD) hacia otros	82
4.6.4 Cambio de selva en área inundable (SAI) hacia otros	83
4.6.5 Cambio de selva baja subcaducifolia (SBSc) hacia otros	84
4.6.6 Cambio de selva mediana subperennifolia (SMSp) hacia otros	84
4.7 Evaluación de cambio en la sub-área de estudio	86
4.8 Resultados para la sub-área en el periodo 1981-1993	90
4.9 Tipo de cambio en el periodo 1981-1993	93
4.9.1 Cambio de área de cultivo (AC) hacia otros	94
4.9.2 Cambio de área inudable (AI) y área inundable cubierta parcialmente (AICp) hacia otros	94
4.9.3 Cambio de área semi-desmontada (ASD) hacia otros	94
4.9.4 Cambio de selva en área inundable (SAI) hacia otros	95
4.9.5 Cambio de selva mediana subperennifolia (SMSp) hacia otros	95
4.9.6 Cambio de vegetación secundaria (VegSec) hacia otros	95
4.10 Resultados para la sub-área en el periodo 1993-2002	97
4.11 Tipo de cambio en el periodo 1993-2002	100
4.11.1 Cambio de área de cultivo (AC) hacia otros	101
4.11.2 Cambio de cuerpos de agua y área inundable (AI) hacia otros	101
4.11.3 Cambio de área inundable desprovista de vegetación (AIDV) hacia otros	102
4.11.4 Cambio selva en área inundable (SAI) y selva mediana Subperennifolia (SMSp) hacia otros	102
4.12 Resultados para la sub-área en el periodo 1981-2002	105
4.13 Tipo de cambio en el periodo 1981-2002	108
4.13.1 Cambio de área de cultivo (AC) hacia otros	108
4.13.2 Cambio de área inudable (AI) hacia otros	109
4.13.3 Cambio de área inudable cubierta parcialmente (AICp) hacia otros	109
4.13.4 Cambio de área semi-desmontada (ASD) hacia otros	110
4.13.5 Cambio de selva mediana subperennifolia (SMSp) hacia otros	110
4.13.6 Cambio de vegetación secundaria (VegSec) hacia otros	111
4.13.7 Cambio de selva en área inundable (SAI) hacia otros	111

Conclusiones

115

Bibliografía

118

Anexo

124

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

México en sus más de 10,000 km de litorales y 1.2 millones de ha de cuerpos acuáticos costeros, tiene una gran variedad de recursos naturales con importancia nacional e internacional; entre los ecosistemas presentes están: bosques de manglar, pantanos, estuarios, zonas inundables, playas, ensenadas, bahías, arrecifes coralinos, bancos de pastos marinos y lagunas costeras (Restrepo, 1995). De esta forma tenemos que el estado de Quintana Roo es uno de los que posee grandes áreas con bosques tropicales e intenta impulsar su economía mediante diversos desarrollos turísticos, los cuales, han aprovechado los recursos de los que dispone el estado para edificar centros turísticos de grandes dimensiones.

Diversos factores, tales como el crecimiento poblacional, el desarrollo de las diferentes actividades económicas y la demanda de bienes de consumo en los centros urbanos de las zonas costeras, requiere de un manejo eficiente de los recursos naturales para efecto de su mejor aprovechamiento y conservación. En nuestro país los problemas ambientales han crecido como consecuencia de una explotación intensa y acelerada de sus recursos naturales, por lo que se observan grados significativos de perturbación en los ecosistemas que componen el territorio mexicano (Leff, 1990). Entre los problemas que se presentan en las zonas costeras del país se encuentran la contaminación de suelos y cuerpos de agua, deforestación, desequilibrios en los ciclos hidrológicos, procesos de erosión, pérdida de especies vegetales, etc.

En el estado de Quintana Roo, desde la época prehispánica y hasta nuestros días, se ha aprovechado el espacio cubierto por el bosque tropical, ya sea realizando extracción de madera o desmontes para la introducción de sistemas agropecuarios. Téllez et al. (1980) señalan que "el aprovechamiento de las maderas preciosas en el estado de Quintana Roo ha sido intensivo, lo que, aunado con los sistemas de cultivo, ha ocasionado la destrucción no sólo de la cubierta vegetal, sino también de la fauna que a esta acompaña".

Por su parte, el gobierno del estado de Quintana Roo indica que tienen lugar en el bosque tropical actividades de explotación forestal y de milpa maya. En el caso de la primera,

tradicionalmente se ha enfocado a la tala de maderas preciosas, tales como la caoba y el cedro, que prácticamente se encuentran extintas en la actualidad, así como las llamadas maderas tropicales. En el caso de la milpa, los campesinos mayas heredaron una tecnología y un respeto profundo por la naturaleza, aún practican una agricultura de subsistencia, itinerante y cíclica, que ha permitido la regeneración de la selva” (GEQR, 1998). Estas prácticas motivan una dinámica de cambio en la cubierta y el uso del suelo en la entidad, además de que la deforestación a que esta expuesta la vegetación natural trae consigo una degradación del suelo.

La situación en la que se encuentran los recursos naturales no es exclusiva de nuestro país, se presenta de igual forma en Latinoamérica y otros países del mundo, por lo que varios trabajos han sido desarrollados con el fin de poner en claro cual es su situación y cuales han sido los factores que llevan a un cambio de cubierta vegetal, provocando la degradación de los recursos naturales (Leff, 1990; Restrepo, 1995; Sommer et al.,1998; Lambin et al., 2001). Los bosques tropicales han sido expuestos a una fuerte presión que ha provocado en muchos casos la pérdida de miles de hectáreas de bosques, así como la flora y fauna silvestre que ellos albergan. De acuerdo a lo anterior, en este trabajo se llevó a cabo una evaluación multi-temporal de los cambios en la cubierta vegetal y el uso de suelo en el sur de Quintana Roo, mediante la elaboración de mapas de cambio para los periodos 1981-1993 y 1993-2002 a partir de la implementación de técnicas de fotointerpretación sobre pares estereoscópicos y la clasificación de imágenes de satélite.

Este trabajo lo integran cuatro capítulos. El primero de ellos presenta los objetivos que se persiguen en el mismo, la caracterización geográfica del área de estudio que ayudará a conocer las características físicas que se presentan y el papel que los diferentes factores juegan en el establecimiento de las especies vegetales. Además de una breve reseña histórica de los acontecimientos que dieron lugar a la conformación, primero del territorio, y después del estado de Quintana Roo y que de alguna forma provocaron una explotación más intensiva de los recursos de esta entidad. De igual forma se abordan temas como la población y la estructura económica que junto con las políticas de repoblamiento implementadas por el gobierno federal a finales de la década de 1970 son, sin duda, fuerzas conductoras de cambios en la cubierta vegetal y el uso del suelo en el sureste del país.

El capítulo dos está integrado por el marco teórico-conceptual en el cual se abordan las diferentes aproximaciones en el estudio del cambio de la cubierta vegetal y el uso del suelo a nivel mundial y se hace una reseña de los trabajos que se han desarrollado en el estado de Quintana Roo. Asimismo, se mencionan algunos de los conceptos básicos utilizados en percepción remota.

Dentro del capítulo tres se explicará la metodología que se siguió para cumplir con los objetivos planteados además de la descripción del procesamiento de la información que dió lugar a la obtención de los mapas de cubierta vegetal y el uso del suelo para cada una de las fechas propuestas. En el capítulo cuarto se hace una exploración de los resultados obtenidos y en el capítulo cinco se vierten las conclusiones derivadas del análisis de los periodos antes mencionados. De la misma forma, se discute el papel que jugaron factores como las actividades económicas, la población y las políticas de repoblamiento, en el sur de Quintana Roo, en el desarrollo, estructura y características de la cubierta vegetal y el uso del suelo presentes en el área.

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

México en sus más de 10,000 km de litorales y 1.2 millones de ha de cuerpos acuáticos costeros, tiene una gran variedad de recursos naturales con importancia nacional e internacional; entre los ecosistemas presentes están: bosques de manglar, pantanos, estuarios, zonas inundables, playas, ensenadas, bahías, arrecifes coralinos, bancos de pastos marinos y lagunas costeras (Restrepo, 1995). De esta forma tenemos que el estado de Quintana Roo es uno de los que posee grandes áreas con bosques tropicales e intenta impulsar su economía mediante diversos desarrollos turísticos, los cuales, han aprovechado los recursos de los que dispone el estado para edificar centros turísticos de grandes dimensiones.

Diversos factores, tales como el crecimiento poblacional, el desarrollo de las diferentes actividades económicas y la demanda de bienes de consumo en los centros urbanos de las zonas costeras, requiere de un manejo eficiente de los recursos naturales para efecto de su mejor aprovechamiento y conservación. En nuestro país los problemas ambientales han crecido como consecuencia de una explotación intensa y acelerada de sus recursos naturales, por lo que se observan grados significativos de perturbación en los ecosistemas que componen el territorio mexicano (Leff, 1990). Entre los problemas que se presentan en las zonas costeras del país se encuentran la contaminación de suelos y cuerpos de agua, deforestación, desequilibrios en los ciclos hidrológicos, procesos de erosión, pérdida de especies vegetales, etc.

En el estado de Quintana Roo, desde la época prehispánica y hasta nuestros días, se ha aprovechado el espacio cubierto por el bosque tropical, ya sea realizando extracción de madera o desmontes para la introducción de sistemas agropecuarios. Téllez et al. (1980) señalan que "el aprovechamiento de las maderas preciosas en el estado de Quintana Roo ha sido intensivo, lo que, aunado con los sistemas de cultivo, ha ocasionado la destrucción no sólo de la cubierta vegetal, sino también de la fauna que a esta acompaña".

Por su parte, el gobierno del estado de Quintana Roo indica que tienen lugar en el bosque tropical actividades de explotación forestal y de milpa maya. En el caso de la primera,

tradicionalmente se ha enfocado a la tala de maderas preciosas, tales como la caoba y el cedro, que prácticamente se encuentran extintas en la actualidad, así como las llamadas maderas tropicales. En el caso de la milpa, los campesinos mayas heredaron una tecnología y un respeto profundo por la naturaleza, aún practican una agricultura de subsistencia, itinerante y cíclica, que ha permitido la regeneración de la selva” (GEQR, 1998). Estas prácticas motivan una dinámica de cambio en la cubierta y el uso del suelo en la entidad, además de que la deforestación a que esta expuesta la vegetación natural trae consigo una degradación del suelo.

La situación en la que se encuentran los recursos naturales no es exclusiva de nuestro país, se presenta de igual forma en Latinoamérica y otros países del mundo, por lo que varios trabajos han sido desarrollados con el fin de poner en claro cual es su situación y cuales han sido los factores que llevan a un cambio de cubierta vegetal, provocando la degradación de los recursos naturales (Leff, 1990; Restrepo, 1995; Sommer et al.,1998; Lambin et al., 2001). Los bosques tropicales han sido expuestos a una fuerte presión que ha provocado en muchos casos la pérdida de miles de hectáreas de bosques, así como la flora y fauna silvestre que ellos albergan. De acuerdo a lo anterior, en este trabajo se llevó a cabo una evaluación multi-temporal de los cambios en la cubierta vegetal y el uso de suelo en el sur de Quintana Roo, mediante la elaboración de mapas de cambio para los periodos 1981-1993 y 1993-2002 a partir de la implementación de técnicas de fotointerpretación sobre pares estereoscópicos y la clasificación de imágenes de satélite.

Este trabajo lo integran cuatro capítulos. El primero de ellos presenta los objetivos que se persiguen en el mismo, la caracterización geográfica del área de estudio que ayudará a conocer las características físicas que se presentan y el papel que los diferentes factores juegan en el establecimiento de las especies vegetales. Además de una breve reseña histórica de los acontecimientos que dieron lugar a la conformación, primero del territorio, y después del estado de Quintana Roo y que de alguna forma provocaron una explotación más intensiva de los recursos de esta entidad. De igual forma se abordan temas como la población y la estructura económica que junto con las políticas de repoblamiento implementadas por el gobierno federal a finales de la década de 1970 son, sin duda, fuerzas conductoras de cambios en la cubierta vegetal y el uso del suelo en el sureste del país.

El capítulo dos está integrado por el marco teórico-conceptual en el cual se abordan las diferentes aproximaciones en el estudio del cambio de la cubierta vegetal y el uso del suelo a nivel mundial y se hace una reseña de los trabajos que se han desarrollado en el estado de Quintana Roo. Asimismo, se mencionan algunos de los conceptos básicos utilizados en percepción remota.

Dentro del capítulo tres se explicará la metodología que se siguió para cumplir con los objetivos planteados además de la descripción del procesamiento de la información que dió lugar a la obtención de los mapas de cubierta vegetal y el uso del suelo para cada una de las fechas propuestas. En el capítulo cuarto se hace una exploración de los resultados obtenidos y en el capítulo cinco se vierten las conclusiones derivadas del análisis de los periodos antes mencionados. De la misma forma, se discute el papel que jugaron factores como las actividades económicas, la población y las políticas de repoblamiento, en el sur de Quintana Roo, en el desarrollo, estructura y características de la cubierta vegetal y el uso del suelo presentes en el área.

1.2 Objetivos

El objetivo general del presente trabajo consiste en determinar la dinámica de cambio de la cubierta vegetal y el uso de suelo en el sur de Quintana Roo mediante un análisis multi-temporal para los años 1981,1993 y 2002.

Los objetivos particulares son:

- Elaborar los mapas de cubierta vegetal y usos del suelo para los años 1981, 1993 y 2002.
- Generar los mapas de cambio de cubierta y uso del suelo para cada una de las fechas propuestas a partir de una leyenda establecida para las condiciones del área de estudio, utilizando técnicas de fotointerpretación y teledetección.
- Generar los mapas de tipo de cambio para los periodos 1981-1993, 1993-2002 y 1981-2002.

- Obtención de las matrices de cambio de cobertura y uso del suelo para los periodos 1981-1993 y 1993-2002.
- Explicar de forma cualitativa los cambios que se hayan presentado en el área de estudio.

1.3 Justificación

El sureste de la República Mexicana posee una gran variedad bosques tropicales, además de una amplia gama de fauna silvestre y especies florísticas, cuerpos de agua y atractivos naturales que en algunos casos han motivado, junto con el desarrollo de economías basadas en las actividades turísticas, la construcción de complejos turísticos. Si bien desde la época prehispánica los recursos maderables han sido extraídos para satisfacer las necesidades básicas, con el paso del tiempo esos recursos y otros más, han sufrido de una presión intensa, la cual, trae como consecuencia la modificación del espacio y la alteración de los ecosistemas.

El estado de Quintana Roo es una de las entidades del país en donde se ha desarrollado de forma importante la actividad turística, además de que históricamente ha sido una región en la cual la extracción de madera y la conversión de amplias áreas de selva en áreas agropecuarias son significativas. De esta forma se eligió como área de estudio de este trabajo la parte sur de este estado, específicamente los alrededores de la bahía de Chetumal.

1.4 Caracterización geográfica

1.4.1 Localización

El estado de Quintana Roo posee una superficie de 50,844 km² y un litoral de 900 km, de los cuales 860 km colindan al este con el mar Caribe y 40 km limitan al norte con el Golfo de México. De acuerdo con sus coordenadas geográficas extremas, el estado se encuentra a 21°37' de latitud norte, al sur sobre el paralelo 17°49' de latitud norte, al este en el meridiano 86°44' de longitud oeste y al oeste 89°24' de longitud oeste (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 1998). Se encuentra dividido en ocho municipios: Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres, José María Morelos, Lázaro Cárdenas, Solidaridad y Othón Pompeyo Blanco, donde se encuentra la ciudad de Chetumal, capital del estado.

El área de estudio se localiza en el extremo SE del estado de Quintana Roo, dentro del municipio de Othón P. Blanco (Fig. 1.1) y tiene una superficie de 3208.8 km². Los límites del área se definieron tomando como criterios a los rasgos naturales y sólo en algunos casos tramos cortos de carretera. De esta forma, se tienen como límites al W el margen oriental de la Laguna Bacalar; al N y NE el límite fue establecido tomando áreas homogéneas de cubierta y uso del suelo así como tramos de carretera; al E el límite es la línea de costa del mar Caribe; al SW el límite es definido por el río Hondo, límite fronterizo natural con Belice y al SE el límite se estableció a partir de áreas homogéneas de cubierta y uso del suelo existente.

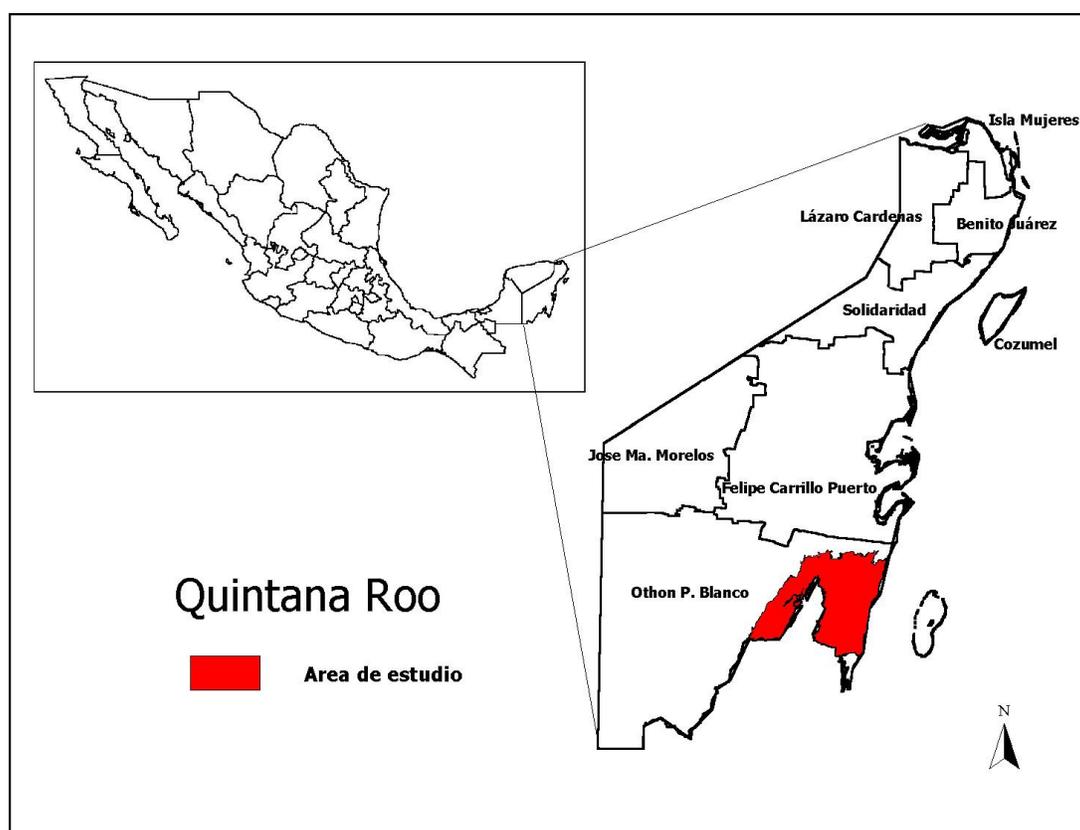


Figura 1.1. Localización general del área de estudio. Fuente: Modificado de INEGI, 1987.

Debido a que la imagen Landsat ETM de la tercera fecha (2002) que fue planteada para este trabajo, contiene una cantidad sustancial de nubes se decidió delimitar una subárea, la cual, corresponde a la porción occidental de la bahía de Chetumal. Esta subárea tiene una superficie de 645.5 km² y sus límites son los siguientes: al Este, la costa occidental de la bahía de Chetumal; al W es la laguna de Bacalar; al Sur el límite es el río Hondo y finalmente en el

norte el límite se definió en aquellos sitios donde la presencia de nubes no afectaba a la visualización de la cubierta y los diferentes usos de suelo (Fig. 1.2).

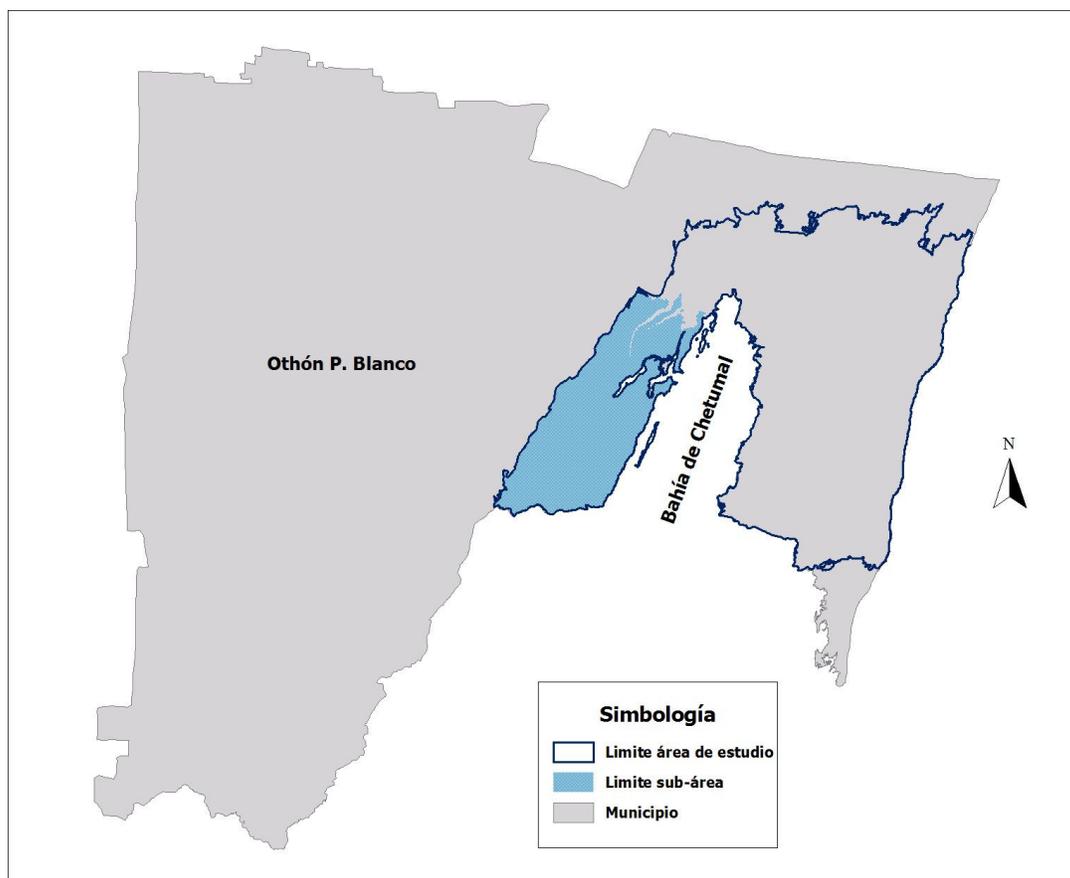


Figura 1.2. Localización específica del área de estudio.

1.4.2 Clima

Debido a su situación geográfica, el estado posee las características climáticas de las regiones cálidas húmedas con régimen de lluvias de verano, con temperatura media anual de 26°C y con temperatura media de todos los meses que se conserva más uniforme que en otros lugares menos cálidos, siendo el mes más frío, enero con 23°C, y la oscilación térmica de 4.8°C (García y Falcón, 1979; citado en Pérez, 1980).

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen los climas que predominan son: Aw, es decir, un clima tropical lluvioso con lluvias en verano y el Am, tropical lluvioso de tipo monzón.

Conforme a las modificaciones del sistema de clasificación de Köppen, en Quintana Roo se presentan los tres subtipos de clima Aw, indicados por los subíndices Aw0, Aw1 y Aw2 cada uno de los cuales indica: temperaturas anuales mayores de 18°C correspondiendo con una mayor cantidad de humedad al subíndice 2; para el área de estudio el subtipo que se encuentra es el Aw1 ya que está en la porción oriental, desde las bahías y bajos al sur de Bahía de la Ascensión recibiendo hasta 1,300 mm de lluvia anual (García, 1973).

Por su parte la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), en su mapa de "Climas" (Fig. 1.3), representa los diferentes tipos de climas de la República Mexicana de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García, escala 1:1,000,000; tomando en cuenta datos del Sistema Meteorológico Nacional, Comisión Federal de Electricidad y Comisión Nacional del Agua. En este mapa se tiene que, para la parte sur del estado de Quintana Roo los climas que predominan son:

- **Aw1(x')**, Cálido subhúmedo con una temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. La precipitación del mes más seco es menor de 60 mm; con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.
- **Aw2(x')**, Cálido subhúmedo con una temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. La Precipitación del mes más seco está entre 0 y 60 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.

Por otro lado los vientos dominantes son los alisios que provienen del Caribe durante el verano y el otoño, perdiendo intensidad durante el invierno, su dirección es E-SE. A finales del otoño y durante el invierno se registra la presencia de vientos llamados nortes, que se originan en Canadá y llegan a México siguiendo una dirección N-SE ocasionando fuertes vientos y marejadas. La temporada de huracanes abarca de mayo a noviembre (GEQR, 1998).

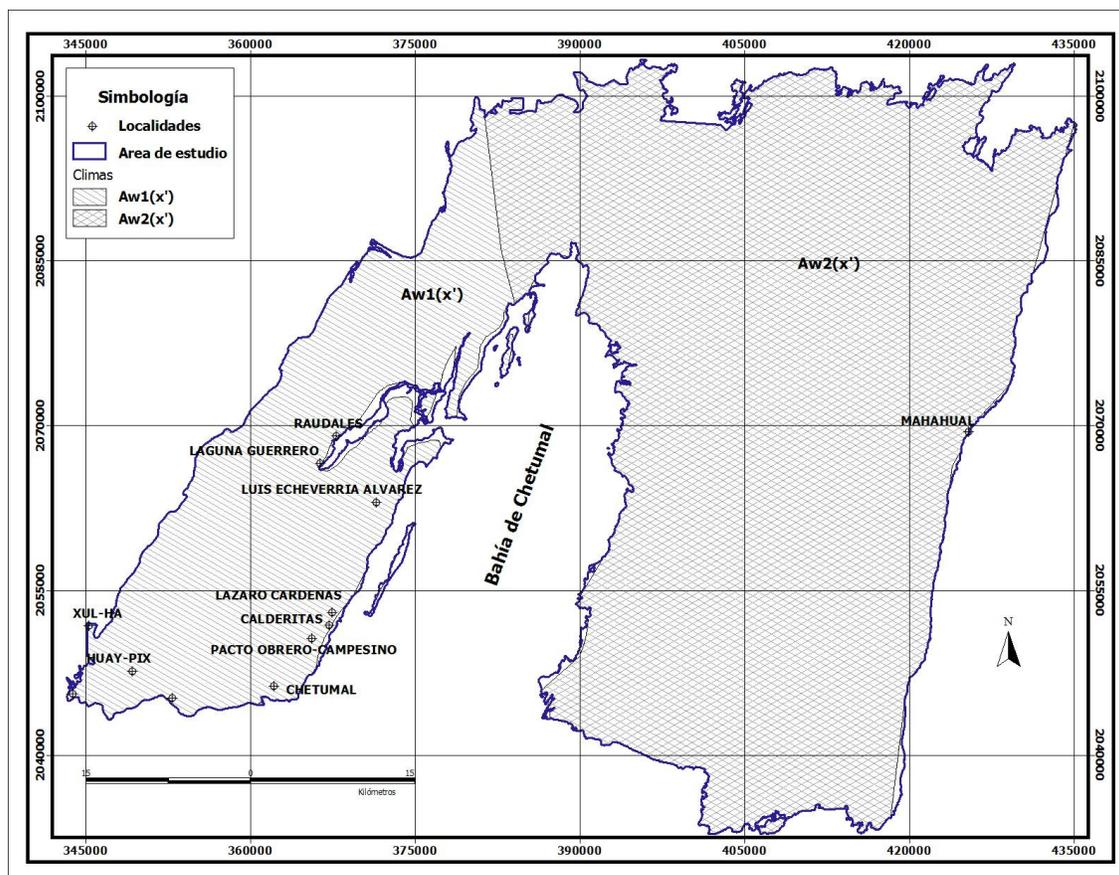


Figura 1.3. Tipos de Clima. Fuente: Modificado de CONABIO, 1999.

1.4.3 Hidrografía

El escaso relieve y la alta permeabilidad de las rocas calcáreas que forman la península de Yucatán impiden la existencia de corrientes de agua superficiales. Se cuenta con cenotes ubicados en la línea costera, entre los que destacan el Cenote Azul, y otros alejados de la costa; 33 lagunas, de las cuales la más importante es la de Bacalar, que tiene 60 km de longitud y nueve cuencas hidrográficas (GEQR, 1998). La circulación de las corrientes de agua es subterránea, no existen prácticamente corrientes superficiales salvo los ríos Azul y el Hondo que sirven de límite entre México y Belice; el río Hondo es un akalché (conjunto de cenotes unidos); se forma en los Montes Maya en el Petén, escurriendo a lo largo de una falla y ocupando el extremo sur de Quintana Roo (Sánchez, 1980).

Por su parte el INEGI (1987), indica que en la porción meridional de la península de Yucatán, el drenaje es esencialmente subterráneo, aquí las corrientes superficiales son escasas debido a la infiltración rápida del agua por las fracturas que presenta el terreno. La red hidrográfica es de baja densidad, desintegrada y con patrones de drenaje rectangular y paralelo, está constituida principalmente por los ríos Hondo, el río Escondido y el río Kik.

El río Hondo fluye en dirección NE, partiendo de Dos Bocas hasta el poblado de Juan Sarabia y de ahí al oriente hasta su desembocadura en la Bahía de Chetumal. Tiene una longitud, tomando el origen en Chetumal de 120 km hasta Dos Bocas y una anchura variable. Su cuenca abarca 20,600 km², de los cuales 10,800 km² corresponden a México. El Río Hondo no es torrencial, se desliza quieto y tranquilo; en su ribera crece vegetación arbórea: mangle, palmas reales, cocoteros e icacos, así como magueyes, cardos y nopales. Durante muchos años el Río Hondo fue la principal vía de comunicación de la región que abarca el área sur del estado de Quintana Roo con los distritos del norte de Belice, a través de esa vía fluvial se realizó un intenso comercio de madera y chicle. En 1911 ya existían 19 poblados en la ribera, actualmente existen 36 poblaciones en la ribera del río Hondo que sustentan su economía en la agricultura, la mayoría en el cultivo de la caña de azúcar (GEQR, 1998).

1.4.4 Geología

La Península de Yucatán descansa sobre una gigantesca losa calcárea de origen sedimentario marino, a la que se denomina Plataforma Yucateca, pertenece a la Provincia Fisiográfica denominada Llanura Costera del Atlántico Norte que se extiende por toda la costa del Golfo de México desde el este y sur de los Estados Unidos hasta la Península de Yucatán (GEQR, 1998).

Desde el punto de vista geológico la Península de Yucatán es una plataforma con estratos de rocas carbonatadas, tiene poco contraste altitudinal, carece de una red fluvial y cuenta con un escurrimiento casi en su totalidad subterráneo, dando como resultado un sistema de formas cársticas caracterizadas por cenotes, poljés y sistemas de cuevas (Lugo et al., 1992). La geología superficial de los alrededores de la bahía presenta rocas sedimentarias del mioceno-plioceno al norte, al este con rumbo E-SE y, al oeste en la parte norte de Chetumal; hacia la

parte sur de Chetumal se encuentran rocas de tipo sedimentario del terciario superior asociadas con rocas del cuaternario al sur de la bahía (López Ramos, 1979).

Del mioceno superior se tienen calizas y margas de la formación Bacalar que descansan discordialmente sobre la formación Icaiché. Al mioceno superior-plioceno corresponden las calizas y dolomitas de la Formación Estero Franco que parece recubrir a las rocas de la formación Bacalar que al parecer son, un equivalente lateral de la formación Carrillo Puerto a la cual pertenecen las rocas más jóvenes del mioceno superior-plioceno que parecen descansar en concordancia sobre la formación Bacalar (INEGI, 1987) (Fig. 1.4).

Por su parte, Álvarez, en López Ramos (1981), realizó un reconocimiento al sur de la península encontrando varias zonas fosilíferas del mioceno, siendo la más notable la que bautizó con el nombre de río Dulce (Bacalar), la cual está formada de calizas coquinoideas. Las rocas están formadas por restos de microfósiles, que constituyen coquinas muy compactas cuyo espesor varía de 80 cm a varios metros, también existen afloramientos de rocas calizas masivas con un contenido faunístico abundante en moluscos.

1.4.5 Geología estructural y estratigrafía

Las rocas expuestas sin deformar, forman parte del gran banco calcáreo que descansa sobre un basamento de rocas metamórficas del paleozoico. El mayor plegamiento se localiza al poniente del río Hondo donde las calizas de la Formación Estero Franco forman una estructura sinclinal (INEGI, 1987). Los rasgos estructurales se exhiben en dos direcciones: una que corresponde a fracturas principales, se alinea de noroeste a sureste y otra, con una orientación de noreste a sureste, muestra claramente fracturas de dimensiones diversas y fallas normales como la evidenciada por la alineación Río Hondo y la Laguna Bacalar.

La primera alineación que aparece en rocas eocénicas, pudiera estar ligada a la orogénesis del eoceno superior que afectó notablemente a las islas antillanas y que en Yucatán sólo produjo un pequeño abombamiento; la segunda se considera que debe de estar ligada a la orogénesis miopliocénica que afectó a esta región de México (INEGI, op. cit.). La litología de la región está formada principalmente por calizas, yeso, margas y dolomita de una edad que varía

del plioceno al reciente. Los sedimentos son de la parte superior del paleoceno o eoceno no diferenciado, que se diferencian de la formación Icaiché paleoceno-eoceno inferior, únicamente por la presencia de yeso en esta última.

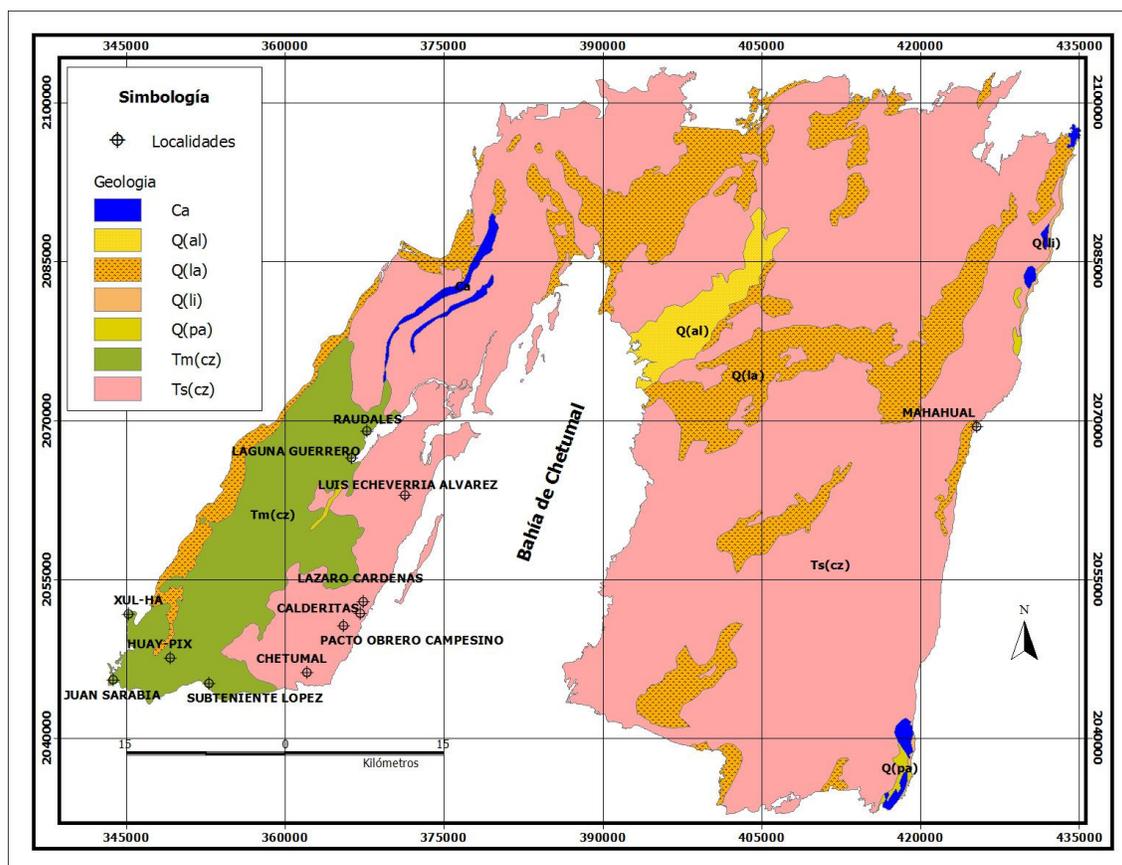


Figura 1.4. Mapa geológico del área de estudio. En la figura se aprecian los siguientes grupos litológicos: Aluvión del Cuaternario: Q(al), Lacustre del Cuaternario: Q(la), Litoral del Cuaternario: Q(Li), Palustre del Cuaternario: Q(pa), Caliza del Terciario medio: Tm(cz) y, Caliza del Terciario superior: Ts(cz). Fuente: Modificado de INEGI, 1987.

Pérez et al. (1980), indican que al sur se inician las elevaciones que marcan el término de la planicie central de Yucatán. Establecen cuatro formaciones para el estado de Quintana Roo de las cuales, dos forman parte del área de estudio, estas son:

- **Formación Bacalar**, del mioceno, calizas blancas cristalizadas con bancos de coquinas.

- **Formación Carrillo Puerto**, del mioceno plioceno, son calizas masivas blancas, fosilíferas cubiertas por caliche. Se extiende desde Puerto Juárez al sur, abarcando hasta cerca de Bacalar y Chetumal y por el oeste abarca la mitad del estado. En la parte norte existen depósitos aún más jóvenes de calizas blancas con moluscos recientes y caliches.

Por otra parte, Ortiz Pérez y Méndez Linares (1995) llevan a cabo un estudio a través de modelos digitales del terreno e imágenes de satélite, en el que registra una comunicación hidrográfica entre la Bahía de Chetumal y la Bahía de Sian Ka'an sur. Esta comunicación explica, "se debe a un sistema de lineamientos disyuntivos NNE-SSW que se distribuyen en la porción sur-oriental de la Península de Yucatán" que son resultado de movimientos tectónicos en donde el relieve se expresa como un sistema de pilares y fosas. "Este arreglo de disposición y distribución permiten la penetración de una vía de agua de mar hacia el interior del continente a lo largo de fosas y fallas". El trabajo referido también menciona la relación que existe entre la variable hidrológica y la vegetación, controladas por las características geológicas de la península.

1.4.6 Geomorfología

La península, consiste en dos unidades principales: la septentrional, del cuaternario, muy joven, con planicies de menos de 50 msnm y, la meridional más antigua, con relieve y desarrollo de un karst que inicia su formación en el mioceno y continua en la actualidad, de lo que resultan planicies y lomeríos de hasta 400 msnm (Lugo, 1992), estas planicies alternan con los lomeríos en rocas sedimentarias oligocénicas. Dicha configuración muestra un levantamiento en esta unidad a partir del mioceno continuando en el plioceno y en el cuaternario en dirección NNE, lo que supone que este levantamiento esté afectado en mayor grado por erosión diferencial que origina un relieve de lomas y planicies (Lugo, op. cit.).

Los lomeríos de la porción meridional corresponden a la sierra de Bolonchin, que está constituida por numerosas colinas redondeadas, de 100 a 300 m de altura, y valles de fondo plano de hasta 5 km de anchura, cerrados, secos y rellenos por suelo con espesores de hasta 10 m. Este relieve de lomeríos es el más antiguo, y es el resultado del levantamiento de la porción meridional de la península que simultáneamente es erosionado en la superficie y el subsuelo (Lugo idem).

1.4.7 Suelos

Algunos factores edáficos como: textura, porosidad, densidad, retención de humedad, etc., condicionan la presencia de cierto tipo de plantas. La cubierta forestal tropical y su estructura proveen al suelo de un microclima y de un espectro de microorganismos diferentes de aquellos asociados con la mayoría de los suelos. Según Staggerda (1941), el carbonato de calcio, principal constituyente del material parental, ha estado sujeto a un proceso lento de disolución, como consecuencia de la solubilización y lixiviación provocada por las lluvias y el dióxido de carbono. Esto significa que los tipos de suelo que se presentan tienen una relación directa con las escasas variaciones del relieve que hay en el área de estudio.

En el estado predominan los suelos de rocas calizas, las cuales son afectadas por las altas temperaturas y abundante humedad; estos suelos son llamados rendzinas y tienen como característica ser pedregosos y poco fértiles. La irregularidad de la loza calcárea ha dado lugar a varios tipos de suelos que se han clasificado con nombres mayas. Dentro del área de estudio se distinguen los siguientes tipos de suelo, de acuerdo a la clasificación maya señalada por el GEQR (1998): Tzekel-Kankab.- localizado en la franja central occidental de la entidad, en los municipios de José Ma. Morelos, Felipe Carrillo Puerto y Othón P. Blanco. Su fertilidad es mediana, se utiliza para la siembra de maíz, sorgo, frijol, ajonjolí, cacahuate, soya, hortalizas, aguacate y cítricos y, finalmente; Tzekelk-Kankab en akalché, que se encuentran en la porción centro oriental de los municipios Felipe Carrillo Puerto y Othón P. Blanco; de alta fertilidad se utilizan para la siembra de arroz, caña de azúcar, maíz, sorgo y soya.

De acuerdo a la cartografía editada por INEGI (1987) (Fig. 1.5), en el área de estudio se presentan cuatro tipos de suelo (regosol, rendzina, gleysol y solonchak) con diferentes asociaciones y características texturales, físicas y químicas; las cuales son:

Los suelos llamados Rendzina son los que predominan en la mayor parte del área de estudio, este tipo de suelo se presenta asociado a los de tipo litosol, con una clase textural fina (E+I/3). La otra asociación es con litosol y luvisol crómico, la cual presenta una fase textural fina (E+I+Lc/3). Sobre la línea de costa predominan los suelos Regosol calcárico asociado con solonchak, tienen una fase química fuertemente sódica y una clase textural gruesa (Rc+Zo-

N/1). Otra asociación de este tipo de suelo es con litosol y solonchak órtico, con una fase química del tipo salina sódica y clase textural media ($Rc+I+Zo-sn/2$); los cuales se encuentran en las zonas de inundación al norte, este y sur-este de la bahía de Chetumal. De igual forma encontramos que se asocia con solonchak órtico y mólico, con fase química fuertemente sódica y clase textural fina ($Rc+Zo+Zm-N/2$) ubicándose en algunas partes a lo largo de la costa del Caribe. La última asociación del tipo regosol se da con el litosol donde su fase química es salina fuertemente sódica y clase textural media ($Rc+I-sN/2$).

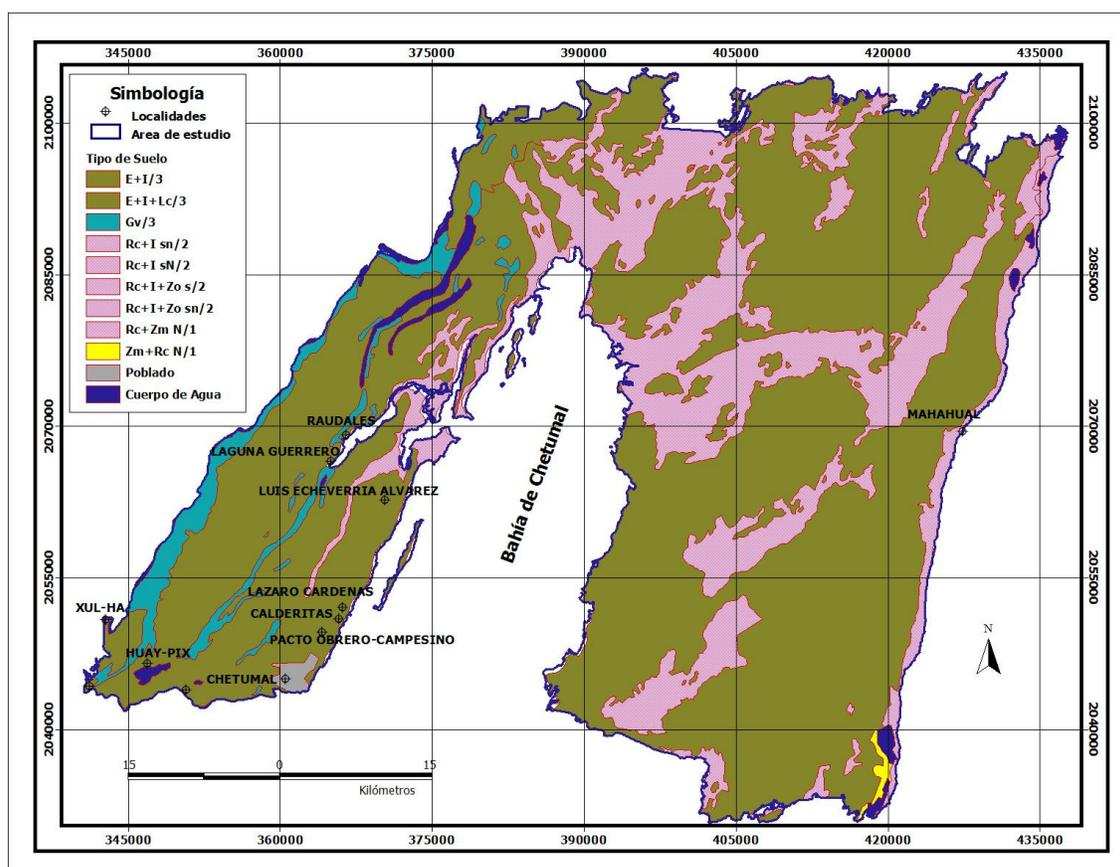


Fig. 1.5. Mapa de suelos del área de estudio. La figura muestra las siguientes asociaciones de suelo presentes en el área de estudio. Rendzina + Litosol (E+I), Rendzina + Litosol + Luvisol crómico (E+I+Lc), Gleysol vértico (Gv), Regosol calcárico + Litosol (Rc+I), Regosol calcárico + Litosol + Solonchak órtico (Rc+I+Zo), Regosol calcárico + Litosol (Rc+I), Regosol calcárico + Solonchak mólico (Rc+Zm), Solonchak mólico + Regosol calcárico (Zm+Rc). Fuente: Modificado de INEGI, 1987.

También se tiene, aunque solo en una pequeña parte al sureste del límite del área de estudio, suelos Solonchak mólico que predominan asociados a regosol calcárico, presentan una fase física fuertemente sódica y una clase textural gruesa ($Zm+Rc-N/1$). A lo largo de la costa

oriental de la laguna de Bacalar y en algunas partes de al sur-oeste de la bahía de Chetumal se tiene la presencia de Gleysol vértico con una clase textural fina (Gv/3).

1.4.8 Vegetación

El estado de Quintana Roo presenta una gran diversidad en sus tipos de vegetación, debido a esto han sido varias las dependencias que se han encargado de realizar mapas que muestran esta diversidad; de igual forma han sido muchos los autores y dependencias de gobierno que se han dado a la tarea de elaborar documentos que tienen como finalidad describir la vegetación existente en este estado de la república; siendo los más reconocidos Rzedowski (1994), Faustino Miranda (1959), INEGI (1987), IGG, INEGI y SEMARNAT (2000), entre otros (ver Cuadro 1.1).

La vegetación que existe en algún lugar se encuentra relacionada estrechamente con factores como el clima, la geología y el relieve; también existen procesos como los hidrodinámicos que condicionan de alguna forma la presencia de algunas comunidades vegetales. En el estado de Quintana Roo hay algunas comunidades que se encuentran conectados con el nivel freático y la cercanía del mar como los manglares, marismas, dunas costeras, tular, carrizales, saibales y petenes. También se reconocen formaciones vegetales en condiciones ambientales particulares como corozales, tasistales, tintales, chechenales, pucteales y bucidales que se caracterizan por su peculiar fisonomía, composición florística y las frecuentes inundaciones a que están expuestas durante la época de lluvias (GEQR, 1998); además de selvas bajas y selvas medianas subperennifolias asociadas a diversos tipos florísticos.

Las variaciones que se pueden dar dentro de cada tipo de vegetación, se deben al grado de adaptación natural de que tienen las especies vegetales con respecto a las características de inundación, a la naturaleza del sustrato y al clima presentes. Por otra parte aspectos de la topografía tales como el relieve, la pendiente, el ángulo de exposición y en particular la elevación afectan al clima de una región dando lugar a un microclima, regulado las condiciones térmicas del suelo; además de influenciar la velocidad el drenaje y por lo tanto la disponibilidad de agua para la vegetación presente.

Edgar Cabrera (inédito) señala que en esta entidad la selva se desarrolla sobre suelos relativamente bien drenados, ya sean casi planos o en lomeríos; mientras que la vegetación acuática es propia de lagunas de aguas dulces y salobres; finalmente menciona que existen amplias áreas de terreno en donde las comunidades primarias han sido reemplazadas por vegetación secundaria propiciada en gran medida por las actividades forestales y agropecuarias que se realizan en toda la región sur del estado.

Hacia el sur del municipio de Othón Ponce de León, el nivel de saturación hídrica que puede alcanzar el sustrato, es un factor que debe ser considerado para entender la distribución de los tipos de vegetación de esta región. Se tiene por lo tanto que algunas especies tenderán a desarrollarse acordes con terrenos elevados y no sujetos a inundación, como las selvas en sus distintas variantes, en comparación con aquellas que son propias de terrenos bajos e inundables, ya sea las que son comunes en cuerpos de agua permanentes, o de aquellas que están sujetas a inundación temporal; como las selvas inundables, los manglares, saibales y tulares (Edgar Cabrera, op cit.)

Faustino Miranda (1959), menciona que la vegetación del sur de Quintana Roo está representada por agrupaciones vegetales primarias tales como la selva alta (o mediana subperennifolia), la cual presenta una altura media de 25 a 35 m y muchos de los árboles que la constituyen son perennifolios; está caracterizada por la presencia de zapote y se encuentra en casi todo el territorio de Quintana Roo. Además menciona la presencia de corozal que puede encontrarse en forma de manchas aisladas en regiones cubiertas por selva alta subperennifolia de zapote y pucté; sobre la carretera que va de Chetumal a Zohlaguna, y entre Bacalar y la Laguna de San Felipe, ambas localidades en el sur de Quintana Roo.

También existe botonil con una altura de entre 15 a 25 m, está constituida por la esbelta palma llamada botan; en el sur de Quintana Roo se encuentra en el borde de los divertículos de la parte sur de la laguna Bacalar, en la transición de la vegetación de bajos a la selva alta subperennifolia. Los suelos en los que se encuentra tienen un drenaje algo deficiente y se inundan periódicamente o por lo menos están saturados de humedad gran parte del año.

Cuadro 1.1. Fuentes dedicadas al estudio de la vegetación y el uso del suelo en el estado de Quintana Roo.

Fuente	Clases mencionadas	Localización
Gobierno del estado de Quintana Roo, 1998.	Bosque tropical perennifolio Bosque tropical subcaducifolio Bosque espinoso Vegetación acuática y subacuática	Comprende la mayor parte del estado, abundando en una franja del litoral sureste, así como en lagunas salobres y pantanos.
Edgar Cabrera, et al., 1980. Inventario de los Recursos Vegetales de Quintana Roo.	Selva alta-mediana subperennifolia Tintal Manglar Dunas costeras Asociaciones secundarias Selva baja caducifolia, Chechenal, popal, tular y tasistal.	Se presentan al norte y noreste de la Bahía de Chetumal, en el litoral del estado y al Norte de la ciudad de Chetumal.
Inventario Forestal Nacional. INEGI, IGG y SEMARNAT, 2000. Carta de Cubierta Vegetal 1:250,000.	Selva Baja Subperennifolia (con/sin veg. Sec.) Selva Baja Caducifolia y Subcaducifolia Selva alta y mediana Subperennifolia (con/sin veg. Sec.) Manglar Popal y Tular Vegetación Halófila y Gipsófila Pastizal Cultivado Agricultura de Temporal con Cultivos anuales Areas sin vegetación aparente	Sur de Quintana Roo
INEGI, 1987. Carta de Uso de Suelo y Vegetación Esc. 1:250,000.	Manglar Tular Selva mediana Subperennifolia con vegetación arbórea Selva mediana Subperennifolia con vegetación arbustiva Selva baja subperennifolia con vegetación secundaria arbustiva Agricultura de Temporal con cultivo permanente de coco Pastizal Cultivado Sabana	Sur del estado de Quintana Roo
Segundo A., et. al.; 1998.	Selva sin alteración Selva alterada Mecanizados y Potreros Agricultura tradicional Núcleos de Población Sabanas y Cuerpos de Agua	Sur de la Laguna Bacalar
Segio Cortina, et. al.; 1999	Selvas, Sabanas y Vegetación secundaria Agricultura Mecanizada Agricultura Manual Nubes, Lagunas y Caminos	A lo largo de la carretera Escárcega-Chetumal.
F. Miranda, 1959.	Selva alta o Mediana Subperennifolia / Selva Alta Perennifolia Selva Alta o Mediana Subcaducifolia Selva Baja Subperennifolia / Selva Baja Espinosa Perennifolia ó Selva Baja Espinosa Caducifolia.	Sur del estado de Quintana Roo

En el cuadro se pueden apreciar los diferentes tipos de cubierta vegetal, así como los diversos usos del suelo que se encuentran presentes dentro del área de estudio y que han sido reportados en varios trabajos.

Asimismo encontramos el tintal, el cual, es una selva baja (a veces mediana) subdecidua, constituye uno de los tipos de vegetación más característicos de los ak'alche o bajos arbolados y se presenta en casi todo el estado de Quintana Roo. El tasistal, puede alcanzar hasta 10 m de altura; pero por lo común su altura es de 2 a 4 m constituye una asociación en forma de franjas o manchas en los bordes o islotes de pantanos casi permanentes, en arroyos de corriente muy lenta y lagunas; dentro del área de estudio lo encontramos en las cercanías de Bacalar y en algunos lugares del sur de Quintana Roo, el tasiste se asocia o es sustituido por palma baja.

Finalmente menciona al manglar que constituye una agrupación de helofitos arbóreos que al mismo tiempo son halófitos, es decir, se hallan adaptados a la vida en aguas de salinidad elevada; a este podemos encontrarlo a lo largo del cause del río hondo y la laguna Bacalar, así como en las costas bajas de sur de Quintana Roo.

La vegetación en el sureste de Quintana Roo engloba una gran diversidad de ambientes desde las selvas altas y medianas, hasta los manglares en zonas costeras, mostrando así una amplia variación florística. En la región costera con suelos arenosos se distribuyen las especies con hábitos halófitos; en áreas inundables se presentan distintas especies de mangle y en áreas con suelo de profundidad variable, elevados y secos la mayor parte del año, se presentan las especies características de selvas altas y medianas (INEGI, 1987).

Por su parte CONABIO (1999) lleva a cabo una agrupación de las categorías de uso del suelo y vegetación a escala 1:250 000, publicadas en las "Cartas de uso del suelo y vegetación" del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), entre 1981 y 1991. En ella señala que en el sur del estado de Quintana Roo existe una variedad de cubiertas vegetales y usos del suelo.

De esta forma tenemos que hay dos comunidades primarias que cubren el 71.2% de la superficie del área de estudio, los cuales son: la selva mediana perennifolia y subperennifolia que representa el 23.6% y la selva baja perennifolia, subperennifolia y espinosa que ocupa el 47.6%. Además se encuentra la vegetación de tipo manglar y popal-tular, los cuales cubren el 15.6% y 6.1% respectivamente.

Para este año CONABIO reporta diferentes tipos de uso en el sur del estado de Quintana Roo mismos que cubren el 2.7% de la superficie del área de estudio. Entre los que encontramos el manejo agrícola, pecuario y forestal; mientras que la superficie ocupada por la ciudad de Chetumal y otros poblados es de tan sólo el 0.2%. Finalmente tenemos que la sabana ocupa el 1.5% y los cuerpos de agua el 2.7% del área total (fig. 1.6).

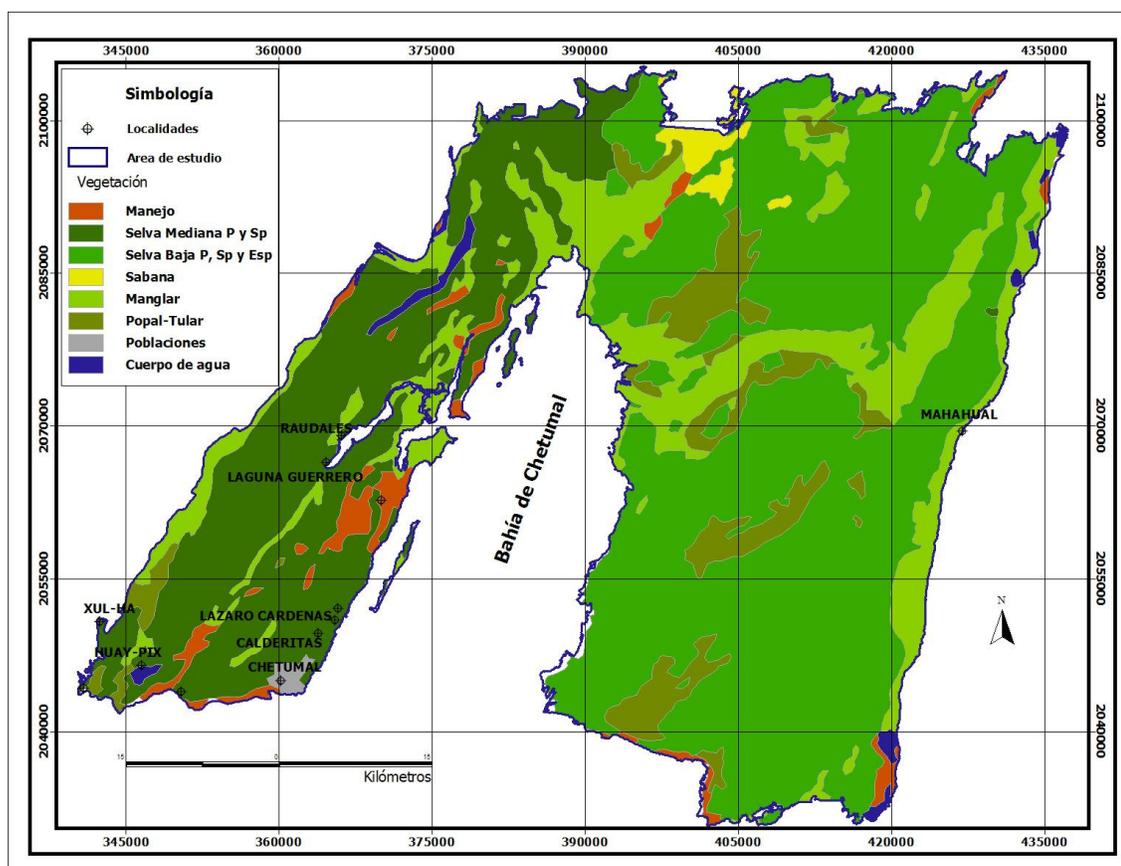


Fig. 1.6. Mapa de vegetación del área de estudio. Las abreviaciones se refieren a las siguientes clases: manejo agrícola, pecuario y forestal, selva mediana perennifolia y subperennifolia, selva baja perennifolia, subperennifolia y espinosa, sabana, manglar, popal-tular, poblaciones y cuerpos de agua. Fuente: Tomado de CONABIO, 1999.

En el año 2000, el Instituto de Geografía (IGg) llevo a cabo el Inventario Forestal Nacional. Las comunidades vegetales caracterizadas para ese año fueron selva alta y mediana subperennifolia, la cual, cubre una extensión de 42.4% del total de la superficie de esta área de estudio (fig. 1.6). Otra comunidad que reporta el inventario es el popal-tular misma que se encuentra presente en el 21.5% del área y el manglar que cubre una superficie del 10.2%; junto con la selva mediana subperennifolia estas tres cubren una superficie del 74.1% del área de estudio. Además encontramos selva alta y mediana con vegetación secundaria cubriendo el 5.5%, selva baja caducifolia y subcaducifolia con el 5.8, selva baja subperennifolia con el 5.7% y la selva baja subperennifolia con vegetación secundaria en un 3.2% de la superficie total.

De la misma forma en el inventario también fueron caracterizados los diferentes usos de suelo, los cuales son: agricultura de temporal, pastizal cultivado, área sin vegetación aparente, asentamientos humanos y cuerpos de agua; mismos que tienen una superficie menor a 1 km² (Fig. 1.7).

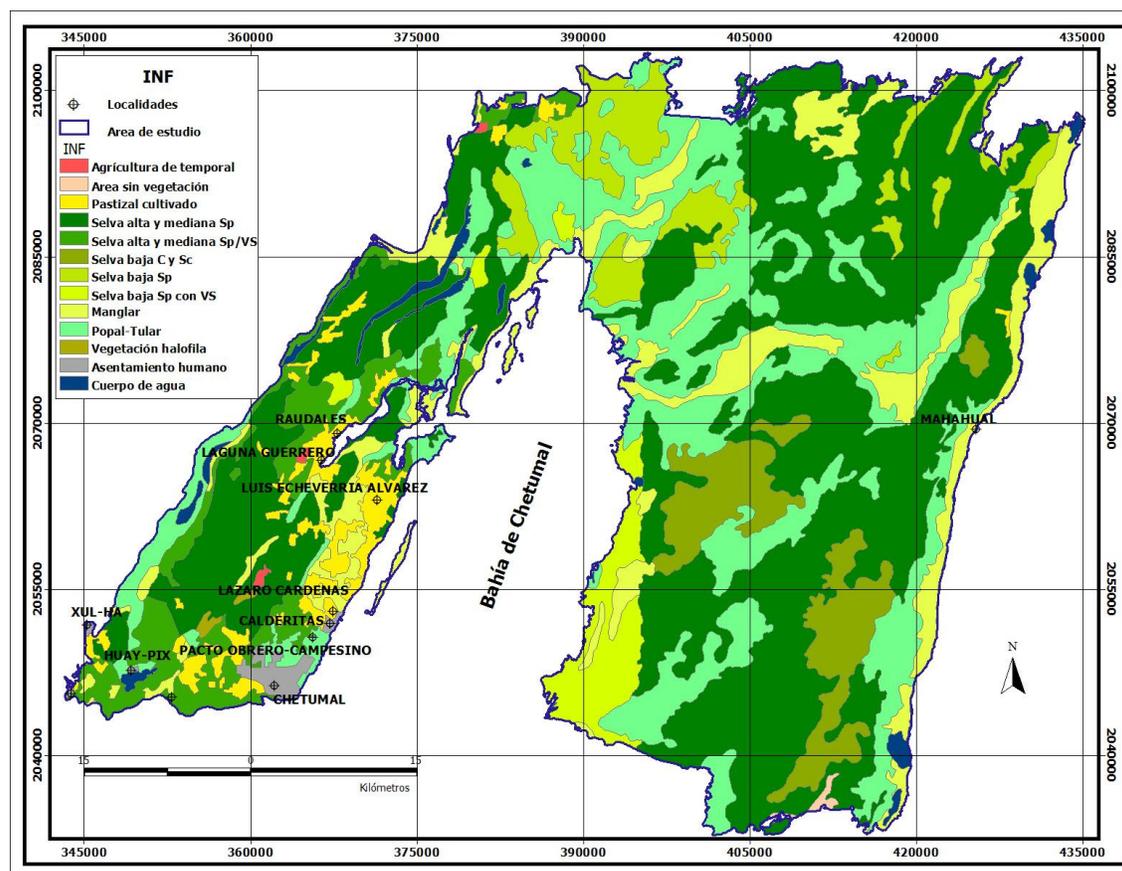


Fig. 1.7. Inventario Nacional Forestal. Fuente: Modificado de INF, 2000.

1.5 Antecedentes históricos

La conformación del estado de Quintana Roo se dió a partir de hechos sociales y económicos que se manifestaron directamente en el crecimiento de la población y en la utilización de los recursos naturales; por lo tanto, es necesario conocer aquellos antecedentes que dieron origen a esta entidad para entender la situación actual de sus recursos, en especial los forestales (ver Cuadro 1.2).

1.5.1 Conformación del estado:

Al decaer la civilización maya clásica, los mayas itzáes penetraron en la península (320 a 987 d.c.) y fueron quienes dominaron las regiones de Bacalar y Chetumal hacia el año 950. Tras la caída de la federación maya en 1194, comienza el llamado periodo Mayapan, siendo la tribu de los "putunes" los que dominaron la región. Los caciques de Chactemal se extendían desde el actual Bacalar hasta New River, en Belice (Dachary, 1990). Al llegar los españoles a Felipe Carrillo Puerto encontraron a este municipio dividido en dos cacicazgos, el de Cochuah y el de Uaymil que se formaron al romperse la liga de mayapan. En 1554 los españoles conquistaron la zona después de una gran oposición del cazicasgo de Cochuah. Después se inicia el sistema de encomiendas. La dura explotación de los indígenas prosiguió durante la época independiente, trayendo como consecuencia la Guerra de Castas en 1847 (Dachary, op. cit.).

En el año de 1902 fue creado el Territorio Federal de Quintana Roo por decreto presidencial, "en esta época la zona se incorpora al proceso económico a través de la explotación de sus recursos forestales –maderas preciosas, palo de tinte y chicle entre otros. La época revolucionaria dejó sus huellas en este territorio, la inestabilidad política y la desconfianza continua de los mayas impidieron una expansión de sus comunidades. Por otra parte, las grandes concesiones chicleras y madereras continuaban explotando indiscriminadamente tanto los recursos naturales como los humanos, chocando frecuentemente con los indios y con los pobladores de las incipientes localidades del territorio (Soto, 1980).

Hacia el año de 1913 Venustiano Carranza promulgó un decreto por medio del cual el territorio de Quintana Roo desaparecía anexando su superficie al estado de Yucatán; en junio de 1915 este decreto se derogó restableciéndose el Territorio de Quintana Roo y convirtiendo a Payo Obispo en la capital del territorio (Dachary, op cit.). En la década de 1920-1930, aparecen nuevas poblaciones sobre el río Hondo que se formaron principalmente con mayas y con ciudadanos de otras partes del país que vinieron a trabajar en las explotaciones chicleras y madereras y que se instalaron definitivamente en esos poblados (Soto op. cit.).

Para 1931 se decreta de nuevo la desaparición de este territorio anexando esta vez su superficie a la de los estados de Yucatán y Campeche, lo que motivó un descontento general de la población la cual se agrupó y formó el comité pro territorio de Quintana Roo. En 1935, el presidente Lázaro Cárdenas volvió a crear el territorio y se comenzó a construir el palacio de

gobierno en Payo Obispo, cuyo nombre cambió a Chetumal en 1936 (Dachary, op. cit.). A partir de 1935, se reinicia la vida social, económica y política del territorio; los chicleros se organizan en cooperativas, se construyen algunos edificios públicos en Chetumal y otras obras de infraestructura, tales como el abastecimiento del agua potable para la población (Soto, op. cit.).

Soto (1980) también menciona que en las décadas 1940 y 1950 se advierte la distribución geográfica de los nuevos núcleos de población y hace notar la influencia que ejercen los ejes de comunicación, puesto que las poblaciones aparecen sobre las carreteras Chetumal-Escárcega, Campeche y Chetumal-Felipe Carrillo Puerto. La población se instala en las tierras agrícolas de los Valles de Ucum y Valle Hermoso así como en la ribera del Río Hondo en donde se inicia el cultivo y la industrialización de la caña de azúcar.

Por su parte Dachary (op. cit.) pone énfasis en que los años sesenta son “el punto de partida de un profundo cambio en el territorio federal de Quintana Roo, se inician “el proceso de colonización agraria en pequeña escala, la organización de cooperativas de pesca y una racionalización de la explotación forestal y su industrialización” y, que al comenzar la década de los setenta se inician proyectos tales como, el desarrollo turístico de Cancún (financiado por el Banco Mundial), que generan el nuevo Quintana Roo. Hacia el sur de Quintana Roo, explica, se inician los planes de asentamientos de población campesina, a través de “un proyecto de colonización dirigida que tiene como eje el poblado de Álvaro Obregón, asiento del complejo agroindustrial azucarero del mismo nombre”. Además en las zonas costeras son promovidas las cooperativas quienes funcionan como fuentes de empleo.

Como consecuencia de la expansión de los municipios de Cozumel, Isla Mujeres y Cancún a raíz de la implementación de una economía basada en el turismo, así como por el desarrollo agrícola y agroindustrial en la parte sur del territorio; en 1974 la entidad es ascendida a la categoría de estado federal. Los programas de colonización para abrir nuevas tierras y aliviar la presión que, sobre los suelos agrícolas se gestó, están relacionados directamente con los desmontes (Fuentes, 1980). En los años setenta fueron creados 63 ejidos y 18 nuevos Centros de Población Ejidal, además se ampliaron 25 ejidos ya existentes, con lo que se añadían 630,734 ha más a la superficie repartida oficialmente (Cortina, 1994).

Al iniciar la década de los setenta, comienzan a profundizarse los conflictos propiciados por la falta de tierras agrícolas en el país, lo que motiva al gobierno federal a establecer planes de colonización dirigida que tranquilicen la tensión. Quintana Roo fue uno de los estados contemplados para llevar a cabo esta política y recibir a varios grupos de colonos originarios de varios lugares de la República. Los nuevos colonos eran abastecidos de terrenos agrícolas y la infraestructura social necesaria para garantizar su arraigo; "como resultado se tienen los casos de los nuevos centros de población en la ribera del río Hondo, de la cuenca de Ucúm y las poblaciones que ocupan zonas a lo largo de la carretera Lázaro Cárdenas-Polyuc" (Fuentes op. cit.). En el año de 1984, el gobierno federal decide reubicar a los refugiados guatemaltecos hacia los estados de Campeche y Quintana Roo.

Para elevar el territorio de Quintana Roo a categoría de estado de la Federación, se promovió la colonización para recibir grupos de campesinos sin tierra, cambiando el uso del suelo forestal a otro agrícola y prático, en un medio tropical lluvioso, con suelos que no permiten un sistema de explotación intensivo y cuyo modo de producción tradicional implica la presencia de incendios que devastan grandes áreas de flora, con el consecuente sacrificio de la fauna.

Durante la década de los setenta, tuvo auge en Quintana Roo el proyecto gubernamental de colonización dirigida. Revel Mouroz (1980, citado en Segundo, 1998), comenta que el proyecto tuvo como propósito, entre otros, poner fin a la destrucción del medio natural racionalizando la explotación forestal y agrícola. De forma contradictoria, dicho proyecto estuvo apoyado por programas de desmonte con maquinaria pesada que arrasó la selva en las superficies seleccionadas para áreas agropecuarias, condición inicial para establecer una modernización agropecuaria bajo el esquema de mecanización (Székely y Restrepo, 1988, citado en Segundo op. cit.).

Cuadro 1.2. Acontecimientos históricos en la conformación del estado de Quintana Roo.

Fecha	Evento
320 a 987 d.c.	Penetración de los Mayas Itzáes a la Península de Yucatan.
1194 d.c.	Caida de la Federación Maya.
1554	Los españoles conquistan la zona ante gran oposición del cacicazgo de Cochuah.
1847	Guerra de Castas
1902	Se crea el Territorio Federal de Quintana Roo.
1910	Las grandes concesiones chicleras llevan a cabo una explotación indiscriminada de los recursos naturales.
1913	Venustiano Carranza decreta la desaparición del territorio, la cual anexa su superficie a la del estado de Yucatan.
1915	Es restablecido el territorio de Quintana Roo y se nombra a Payo Obispo como la capital del territorio.
1920-1930	Son creadas nuevos poblados sobre el Río Hondo debido al auge en la explotación de chicle y madera.
1931	Por decreto desaparece el territorio de Quintana Roo anexando su superficie a los estados de Campeche y Yucatán.
1935	Lázaro Cárdenas vuelve a crear el territorio y la capital de Payo Obispo cambia su nombre al de Chetumal; además los chicleros se organizan en cooperativas.
1940 y 1950	Se advierten nuevos núcleos de población haciendo notar la influencia que ejercen los ejes de comunicación (carreteras Chetumal-Escárcega y Campeche-Chetumal-Felipe Carrillo Puerto). Además de dar inicio al cultivo y la industrialización de la caña de azúcar.
Década 1960	Se inicia el proceso de colonización en pequeña escala.
Década 1970	Se inician planes de colonización campesina, a través de un proyecto de colonización dirigida hacia el sur del estado de Quintana Roo.
1974	Gracias a la implementación de una economía basada en el turismo y al desarrollo de las actividades agrícola e industrial en la parte sur del territorio, la entidad es ascendida a la categoría de estado. Por otra parte los programas de colonización para abrir nuevas tierras agrícolas se relaciona directamente con los desmontes, es esta década son asignadas 630,734 ha a la superficie ocupada por los ejidos. Finalmente Quintana Roo es uno de los estados contemplados para recibir a varios grupos de colonos originarios de varios lugares del país, debido a los planes de colonización dirigida llevados a cabo por el gobierno federal.
1984	El gobierno federal decide reubicar a los refugiados guatemaltecos hacia los estados de Campeche y Quintana Roo.

1.6 Población

Con relación a la ubicación espacial de la población en el estado, existe una elevada concentración en los principales centros urbanos, así como una elevada dispersión en el resto del territorio. De igual manera, las condiciones del nivel de vida de la población presenta una gran dispersión intermunicipal que da cuenta de los grandes desequilibrios de la entidad; de tal manera que se puede brindar una jerarquización de cada municipio de acuerdo a su nivel de desarrollo, de la siguiente manera (INEGI, 1987): El área de alto bienestar social se localiza en la porción sur del estado, donde se encuentra la capital y, al noreste comprendiendo la zona turística. Esta área de alto bienestar social está integrada por los municipios de Isla Mujeres, Benito Juárez, Cozumel y Othón P. Blanco (INEGI op. cit.).

La situación actual del estado está caracterizada por la existencia de tres regiones de las cuales sólo se mencionaran aquellas que incumban al área de estudio. Al sur se localizan los grupos tradicionales, estando integrada por el municipio de Othón P. Blanco; en el noroeste, se presenta una dinámica generada por el turismo y se encuentra formada por los municipios de Benito Juárez, Isla Mujeres y Cozumel; en el centro está la zona maya y la integran los municipios de Felipe Carrillo Puerto, Lázaro Cárdenas y José Ma. Morelos.

- **Región Frontera Sur.** Está dividida en cuatro subregiones con base en la actividad dominante de cada una. Chetumal con una población de 95 mil habitantes y Bacalar conforman la región comercial-turística. Junto al río Hondo y Álvaro Obregón se encuentra la región cañera, aquí es la zona de mayor desarrollo agrícola del estado. Hacia Campeche está la subregión forestal donde se lleva a cabo una explotación desde hace ya varios años a través del plan piloto forestal, iniciando una industrialización y comercialización a mayor escala. En el centro-oeste se encuentra la región agrícola-ganadera, tiene como núcleo a Bacalar, su centro de comunicaciones.
- **Región Turística-Pesquera:** Es la más rica de la entidad. Abarca todas las costas de Lázaro Cárdenas, Isla Mujeres, Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto y Othón P. Blanco. Cuenta con más de 800 km de playas y más de 50% de la población total del estado. La subregión norte integrada por Holbox, abarca la zona del Canal de Yucatán; es pesquera y genera una gran derrama económica y de empleos. La pesca es la tercera actividad importante ya que se genera el 50% del producto pesquero estatal. La subregión centro va de Tulum a Punta Herrero que es pesquero-turística y en ella se encuentra el área de protección ecológica: "La Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. La subregión sur es pesquera.

El modelo de desarrollo económico implantado en la entidad, por su carácter desigual y concentrador de ingresos, ha ocasionado que hoy la entidad se halle muy diferenciada, con enormes disparidades sociales y económicas entre poblaciones según el contexto socioeconómico del municipio y, entre comunidades pertenecientes a un mismo municipio, rural o urbano (Vázquez R. et al., 1995). El mismo autor menciona que en todos los municipios, a nivel urbano, gran parte de la población vive en condiciones de marginalidad extrema. Lleva a cabo una municipalización según el grado de desarrollo y la ruralidad del contexto. El municipio de Othón P. Blanco presenta las siguientes características: niveles de educación bajos, la actividad económica que domina es la del sector terciario, aunque la mano de obra combina estas actividades con otras de tipo secundario y primario. En este municipio se tienen "niveles de marginación altos, pero inferiores en comparación con los exhibidos por la sociedad maya" (Vázquez R. op. cit.).

Dentro del área de estudio se presenta un aumento en la cantidad de localidades que existían en el periodo 1995-2000, el total de localidades con que contaba el área de estudio era de 299 en el primer año mencionado, mientras que para el año 2000 (ver Figura 1.8), se tiene un total de 367 localidades con una población total de 136,311 habitantes, de las cuales 12 cuentan con más de 100 habitantes; concentrando éstas un total de 134,762 habitantes (ver Cuadro 1.3). La distribución de estas localidades se encuentra más densificada hacia el oeste de la bahía de Chetumal, lo cual tiene como explicación que éstas funcionaron como ejes de a lo largo de los cuales se fue asentando la población, además, estas vías permitieron el enlace entre las diferentes localidades y facilitaron el acceso de éstas hacia los recursos naturales; lo que motivó que el grado de fragmentación en esta parte del área de estudio sea mucho mayor con respecto al norte, este y sureste de la misma.

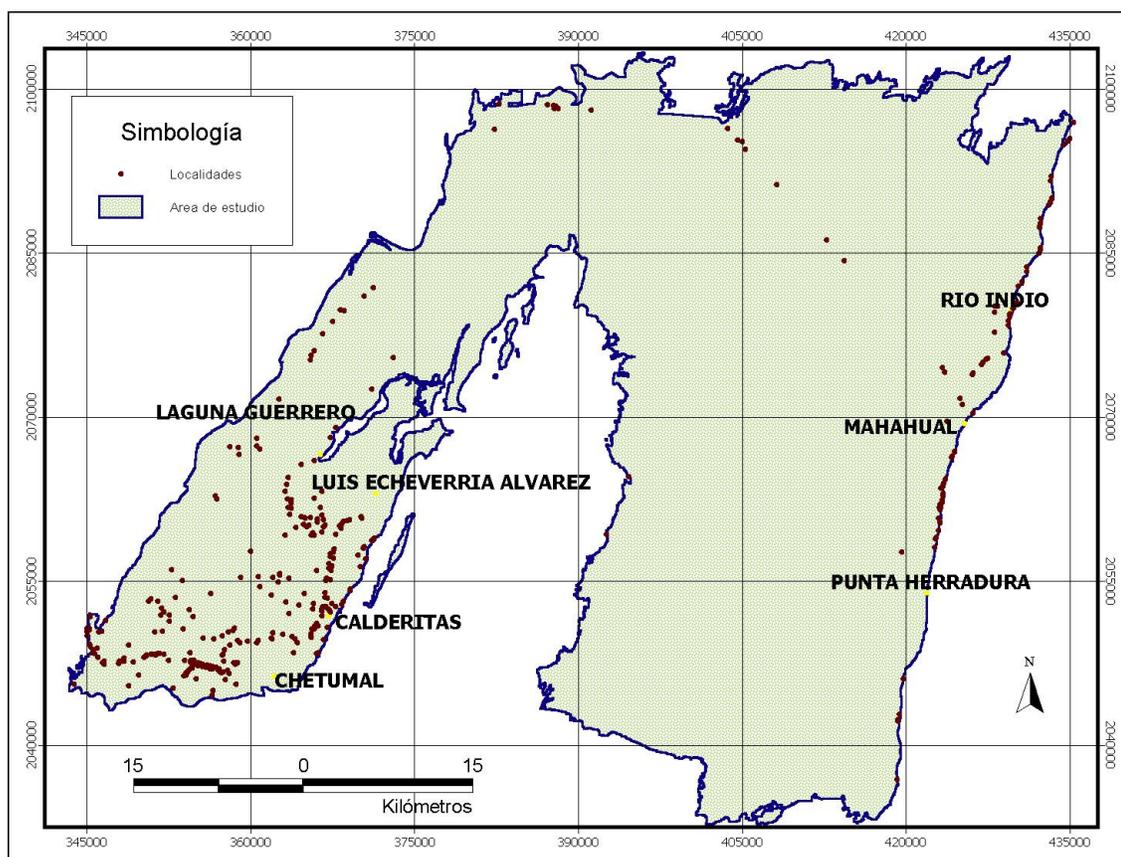


Fig. 1.8. Mapa de localidades en el año 2000.

Cuadro 1.3. Relación de localidades con más de 100 habitantes.

Localidad 1995	Población Total	Localidad 2000	Población Total
CHETUMAL	115152	CHETUMAL	121602
CALDERITAS	4485	CALDERITAS	4493
HUAY-PIX	1267	HUAY-PIX	1239
JUAN SARABIA	846	JUAN SARABIA	765
LAGUNA GUERRERO	621	LAGUNA GUERRERO	535
MAHAHUAL	125	MAHAHUAL	149
SUBTENIENTE LOPEZ	1666	SUBTENIENTE LOPEZ	1594
XUL-HA	2011	XUL-HA	1741
LUIS ECHEVERRIA ALVAREZ	759	LUIS ECHEVERRIA ALVAREZ	748
RAUDALES (URSULO GALVAN)	218	RAUDALES	209
LAZARO CARDENAS	170	LAZARO CARDENAS	225
PACTO OBRERO-CAMPESINO	316	PACTO OBRERO-CAMPESINO	1462
LAZARO CARDENAS DEL RIO *	901		
Población Total	128537	Población Total	134,762

* La población de esta localidad fue incorporada a la localidad llamada Pacto Obrero-Campesino.

1.7 Caracterización económica e infraestructura

Entre las actividades económicas que existen en el territorio quintanarroense destacan a nivel nacional el turismo, la industria azucarera, la explotación de los recursos forestales, la pesca con fines de exportación y la producción apícola (INEGI, 1987). La agricultura que se practica en el estado es principalmente de autoconsumo, bajo el sistema tradicional de rosa y milpa maya. Los productos principales son el maíz, frijol, diversas frutas y hortalizas, cultivados en huertos familiares; además del chile, arroz, azúcar, copra, y los pastos (INEGI, op. cit.). Coexiste con este tipo de agricultura una de carácter comercial que utiliza los mejores suelos del estado concentrándose esta actividad en el municipio de Othón P. Blanco sobre todo en el margen del río Hondo.

Quintana Roo tiene un gran potencial forestal, ya que existen importantes volúmenes de madera preciosa (caoba y cedro rojo) y comunes tales como zapote, ramón, pucté y chakáh. A la explotación forestal se relacionan algunas de las industrias más destacadas del estado, como lo fue el caso de la empresa Maderas Industriales de Quintana Roo (MIQRO). Prácticamente todo el territorio cuenta con una amplia y homogénea cubierta selvática; las selvas ocupan la mayor parte del estado, existiendo también manglares, lo que permite llevar a cabo un importante aprovechamiento forestal por lo que figura entre los primeros lugares del país (INEGI, op. cit.).

La pesca es una actividad con amplias perspectivas de desarrollo. La importancia de la actividad pesquera está fundamentada en las grandes riquezas marinas del Caribe y el Golfo de México, de las cuales a la entidad le corresponden 21 mil kilómetros cuadrados de plataforma continental, a lo largo de 860 km de litoral; así como en 87,300 ha de bahías y lagunas. En los últimos años la producción de especies de alto valor comercial, tales como el camarón, langosta y caracol, ha tenido un incremento significativo. Esta actividad es desempeñada básicamente por medio de cooperativas de producción, aunque también la llevan a cabo permisionarias libres. Por su pesca se destacan los municipios del norte del estado y Othón P. Blanco, además en este último se encuentra la industria procesadora de productos del mar, que es otra de las ramas de la producción industrial más relevantes del estado.

La actividad económica que a partir de 1970 ha cobrado mayor importancia en el estado es el turismo. Quintana Roo cuenta con un gran potencial turístico debido a su situación geográfica y los recursos naturales e históricos con que cuenta. El aspecto turístico se encuentra sustentado, en gran medida, en su disponibilidad de atractivos naturales como playas y paisajes de gran diversidad y belleza, que lo hace atrayente de muchos visitantes nacionales y extranjeros (INEGI, op. cit.).

Othón P. Blanco cuenta con vías de acceso por tierra, aire y mar. Las vías de comunicación terrestre son las más desarrolladas con que cuenta Quintana Roo, debido a la importancia de la actividad económica y política que se desarrolla aquí. El municipio se integra al país a través de la carretera federal tendida entre Chetumal y Escárcega (Campeche). La comunicación con el resto de la península puede seguir a través de la carretera Chetumal-Felipe Carrillo Puerto-Valladolid ó la carretera Chetumal-Muna.

La integración con la zona norte se logra a través de la carretera Chetumal-Puerto Juárez. A nivel municipal sobresalen, por su importancia económica, los caminos que comunican al Ingenio Álvaro Obregón con los centros de producción. En la ciudad de Chetumal se cuenta con aeropuerto internacional, y dos aeropistas que complementan la red de comunicación aérea, una en Xcalak y la otra en el Ubero. Prolifera el transporte colectivo, existen una amplia cobertura de medios de comunicación formada por varias oficinas de correo, administración telegráfica, radiofónica, radio telegráficas; red de microondas y teléfonos (INEGI, op. cit.).

Los acontecimientos históricos mencionados trajeron consigo movimientos migratorios, los cuales, han repercutido en la modificación del espacio pues con la llegada de cada uno de los grupos sociales a los diferentes sitios elegidos primero para llevar a cabo la colonización dirigida y después con la aparición de otros asentamientos dispersos por el resto del territorio, se generaron nuevos núcleos de población y con ello la apertura de más caminos, la tala de importantes hectáreas de selva para la construcción de viviendas y para la introducción de actividades económicas como la agrícola, pecuaria y forestal. Asimismo la demanda de insumos en cada núcleo de población se ha incrementado y con ello la presión que desde siempre se ha ejercido sobre los recursos naturales.

Por otro lado, la economía estatal se basa fundamentalmente en el turismo, de ahí que la industria de la construcción y las actividades comerciales se han incrementado notablemente. La construcción de complejos turísticos ha tenido un gran auge y ésta de igual forma ejercido una mayor presión sobre los recursos naturales, lo cual ha traído la desaparición grandes extensiones de selva, la contaminación de cuerpos de agua, la desaparición de especies vegetales y florísticas así como de la fauna que en ella habita, alteración de las vías naturales de irrigación y drenaje, contaminación de los cuerpos de agua, pérdida de los suelos; por mencionar algunos.

Lo expuesto en el presente capítulo es importante en términos de conocer los acontecimientos históricos que llevaron a la conformación del estado de Quintana Roo, así como la dinámica que siguieron en su desarrollo los núcleos de población pues estos finalmente son quienes con su presencia han modificado el espacio. Asimismo conocer cuales son las características físicas y los diferentes recursos naturales que reportan distintos autores y dependencias para esta área de estudio nos permite tener información con la cual partir para la elaboración de la cartografía respectiva y con ella obtener mas información que nos indique si existe algún cambio y de que tipo, con lo cual estaríamos cubriendo los objetivos de este trabajo.

Capítulo 2 MARCO TEORICO-CONCEPTUAL

2.1 Marco teórico-conceptual

2.1.1 Antecedentes en el estudio del cambio de uso del suelo

Es indiscutible la importancia que tienen los bosques tropicales en la protección de los recursos tales como agua, suelo, flora y fauna, además de su función como regulador térmico. La pérdida actual de la vegetación en los países tropicales es alta, debido principalmente a la conversión de bosques tropicales en áreas agrícolas y ganaderas y, por otro lado, a la comercialización de maderas preciosas y corrientes (Restrepo, 1995). El estudio acerca del cambio de uso del suelo se ha presentado de forma intensa durante las últimas décadas. La utilización de técnicas de fotointerpretación y teledetección han provisto un medio con el cual las condiciones pasadas y presentes de los recursos pueden ser comparadas. Además se han implementado diversos métodos entre los que se encuentran el cruce de mapas vectoriales y raster, la fusión de bases de datos, la comparación de información resultante del análisis con sensores remotos, el análisis basado en teoría de parches, la implementación de ecuaciones lineales, la utilización de modelos de cambio de uso del suelo con base en diversas variables dinámicas (ver Cuadro 2.1), entre otros (Lambin, 1997; Veldkamp y Lambin, 2001; Mackey, 2000).

El modelamiento del cambio de uso del suelo es una técnica de gran importancia para la proyección de caminos alternos a futuro para conducir escenarios que examinen nuestra comprensión de los procesos clave en el cambio de uso del suelo (Veldkamp et al., 2001). Los modelos de cambio ofrecen la posibilidad de examinar la susceptibilidad de los patrones de uso del suelo además de permitirnos indagar la estabilidad del vínculo de ellos con los sistemas económicos y sociales.

La identificación de las fuerzas conductoras más importantes en el cambio del uso del suelo es "un prerequisite para desarrollar modelos reales del cambio" (Veldkamp et al., op cit.). Además, los mismos autores comentan que "es necesario enlazar de forma dinámica los procesos (y modelos) de cambio de uso del suelo con los procesos (y modelos) biofísicos, para

representar esa información con los cambios de uso del suelo y las adaptaciones del cambio de uso del suelo con los cambios biofísicos". Según Turner (1995, citado en Veldkamp, et. al. 2001), para el desarrollo de modelos de cambio es necesaria "la incorporación de datos sobre conductores socio-económicos del cambio de uso del suelo, sin embargo la incorporación de los factores sociales, económicos y políticos; es obstaculizada por la falta de datos espaciales y por las dificultades metodológicas en el vínculo de los datos de carácter social y natural.

Tabla 2.1. Diferentes aproximaciones en el estudio del cambio de uso del suelo.

Autor	Tipo de modelo y planteamiento
Veldkamp and Lambin (2001)	<p>Modelos Estructurales (ó Process-Based). Cuentan con una base teórica sólida, son usados para formular hipótesis y para la identificación de las variables que deberan ser incorporadas a un modelo en forma reducida.</p> <p>Modelos Estadísticos. Ofrecen contar con la asunción implícita de que los modelos de cambio son estacionales.</p>
Sader and Armond (1988)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Plantean la fusión de bases de datos para generar tablas con áreas de suelo y la estimación de los claros boscosos (extensión). 2. Trabajan con un periodo de 5 fechas. 3. Establecen una ecuación lineal para la estimación de los claros boscosos. <p style="text-align: center;">$((F1 - F2)/(F1))/N*100$</p> <p>Donde: F1->es el comienzo del periodo en el área boscosa, F2->es el fin del periodo en el área boscosa y, N-> es el número de años en el periodo de estudio.</p>
Markey et al. (2000)	<ol style="list-style-type: none"> 1. La sobreposición (Cruce) de cuadros de muestreo de diferentes periodos, ayudó al cálculo del cambio de cubierta del suelo incluyendo el intercambio ocurrido entre periodos. 2. Elaboran matrices de cambio de cubierta del suelo para dos periodos que proporcionan más explicación sobre los tipos de cambio. 3. Representan los tipos de cambio en forma de diagrama de vectores para ilustrar la dirección y la magnitud del cambio.
Sommer et al. (1998)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizan Técnicas Estadísticas para el mejoramiento de la precisión y extensión de áreas. 2. Integran a su estudio técnicas de teledetección.
Lambin (1997)	<p>Modelos Descriptivos. Los utiliza para la proyección de los cambios en la cobertura del suelo.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las Cadenas de Markov describen procesos que circulan en una secuencia de pasos a través de un conjunto de rangos (cantidad de cubierta de suelo con distintos usos). El mecanismo central de Markov, es "Pij"; la cual se refiere a la probabilidad de transición de una clase "i" hacia una clase "j" en un intervalo de tiempo dado. Esta probabilidad es estimada estadísticamente. 2. El Modelo de "Relies", indica que la probabilidad de la dinámica de transición puede ser introducida para intercambiar matrices de transición en ciertos intervalos o, para modelar la contribución de variables con la transición. <p>Modelos de Función Lógica. Son utilizados para modelar la estimación de la deforestación. Este tipo de modelos relacionan la cubierta forestal con una variable independiente; por ejemplo: densidad de la población o densidad de las actividades socio-económicas.</p> <p>Modelos de Regresión a escala Regional. Fundamentan un algoritmo inverso relacionado entre la proporción del terreno y la densidad de la población combinada con el consumo de energía por unidad de área de terreno.</p> <p>Modelos de Simulación Dinámica. Los patrones de cambio en la cubierta del suelo en tiempo y espacio son producidos por la interacción de procesos biofísicos y socio-económicos, estos modelos deben desarrollarse para imitar el camino de estos procesos y seguir su evolución. Por ejemplo: la demanda de terreno agrícola depende de la población, del consumo variable, de parámetros de producción y la degradación del suelo. El proceso de cambio de uso del suelo es presentado mediante funciones algebraicas.</p>

Sader et al. (1988) comentan que “los datos registrados temporal y espacialmente pueden usarse para mostrar cambios específicos y su tendencia en el tiempo”. Estos autores llevan a cabo un estudio en donde asocian los cambios en áreas forestales con zonas habitadas, pendiente de las laderas y caminos, los cuales son examinados para Costa Rica mediante la fusión de bases de datos que generaron sumatorias tabulares de áreas de suelo y claros boscosos en un total de cinco fechas con las que se derivaron estimaciones de los valores de deforestación. Además utilizaron una ecuación lineal para estimar la presencia de claros boscosos anualmente.

$$\% \text{ de área deforestada por año} = \frac{\left(\frac{F_1 - F_2}{F_1} \right)}{N} \times 100$$

F₁ valor al comienzo del periodo en el área boscosa

F₂ valor al fin del periodo en el área boscosa

N número de años en el periodo de estudio

En otro estudio Mackey (2000), resalta las vías por las cuales la apariencia y estructura del paisaje tienden a ser afectados por cambios en los bosques, la agricultura y otras formas de uso del suelo. El método de Monitoreo del Paisaje Nacional, permitió el mapeo de 467 sitios a escala 1:10,000. La sobreposición de cuadros de muestreo en diferentes periodos ayudó a calcular el cambio de cubierta del suelo incluyendo la dinámica de cambio en la vegetación entre los periodos de las décadas de 1940, 1970 y 1980. En este caso la generación de matrices de cambio de cubierta del suelo para dos periodos, permitió una mejor explicación de los tipos de cambio. Finalmente los tipos de cambio que detectaron fueron representados en forma de diagrama de vectores para ilustrar la dirección y la magnitud del cambio.

La potencialidad de los sensores remotos para el monitoreo de los cambios en el uso del suelo rural es revisada en Sommer (1998), al respecto comenta que “los sensores remotos han llegado a ser una herramienta práctica para el monitoreo del medio ambiente”. El inventario estadístico basado en imágenes de satélite, utiliza técnicas para mejorar la exactitud y extensión de áreas con una cubierta de suelo habitual. “Los datos de campo y la clasificación de imágenes son usados para estimar una regresión, la cual se considera capaz de proveer datos espaciales significativos para el reconocimiento del terreno”.

Asimismo, el estudio de los procesos que cambian la cubierta del suelo requiere de tres niveles de aproximación (Skole, 1994; citado en Lambin, 1997):

- La medición directa de la estimación, localización, patrones espaciales y características espaciales del cambio de la cubierta del suelo.
- Casos de estudio y campos de investigación para la adquisición de ideas dentro de una escala local, de la dinámica del cambio de uso del suelo.
- La identificación de los factores que conducen a este cambio y permiten la proyección de tendencias futuras.

2.1.2 Mapeo de cubierta y uso del suelo.

El conocimiento de la cubierta y uso del suelo es importante para varias actividades de manejo y planeación concernientes a la superficie de la tierra. El uso de fotografías pancromáticas ha sido una práctica aceptada desde la década de 1940. Más recientemente las fotografías a escala pequeña y las imágenes de satélite han sido utilizadas para el mapeo de la cubierta y uso del suelo en áreas extensas (Lillesand and Kieffer, 1994).

Diversos trabajos que conciernen a la cubierta vegetal y el uso del suelo (deforestación, evaluaciones de alguna especie vegetal, inventarios, etc.) se han apoyado en el uso de las imágenes de satélite, logrando obtener buenos resultados. Entre ellos se tiene por ejemplo, el trabajo llevado a cabo por Ramírez et al. (1995), en donde evaluaron la distribución y el área actual ocupada por la comunidad de manglar, a través del análisis de una sub-escena Landsat TM del año 1993. Los resultados que obtuvieron mostraron que la comunidad de manglar está compuesta por cuatro especies siendo dos de ellas las especies dominantes, determinaron que la superficie que ocupa el manglar era de 700 ha, la cual fue obtenida por medio de un procedimiento de clasificación supervisada utilizando las bandas 3,4,5 y muestreando sobre diferentes compuestos en color.

Por otra parte López et al. (2001), describen patrones de cambio de uso del suelo en la ciudad de Morelia en los últimos 35 años, con la utilización de fotografías aéreas en tres fechas distintas, así como una sub-escena de una imagen de satélite Landsat TM. Este trabajo se basa

en la comparación secuencial y el análisis de las fotografías y la información que resultó del procesamiento de la imagen de satélite. En el trabajo concluyen que el cambio de uso del suelo más importante ocurrido en la zona de estudio es el incremento de la superficie de la ciudad de Morelia, que crece 506% entre 1960 y 1990.

Otros trabajos se han enfocado al mejoramiento de las técnicas de clasificación de cubierta del terreno, tal es el caso del trabajo presentado por Mas y Ramírez (1996), donde se comenta que la clasificación de tipos de cubiertas del suelo en imágenes de satélite, con métodos que utilizan sólo la información espectral, con frecuencia trae resultados bajos de exactitud. Con el fin de mejorar las clasificaciones espectrales, proponen un proceso de reclasificación utilizando datos suplementarios (cartografía temática), integrados a la base de datos de un sistema de información geográfica. Este proceso permitió una mejoría del 4% al 25% de la exactitud global de una de las clasificaciones. Finalmente, Sorani et al. (1994), llevaron a cabo el Inventario Forestal Nacional de México basado en la información que resultó del procesamiento de 59 imágenes Landsat TM de fechas que variaron entre 1989 y 1993.

El Instituto de Geografía de la UNAM (IGg) en el año 2000, llevo a cabo el nuevo Inventario Forestal Nacional, en el que se caracterizan las diversas comunidades vegetales y usos del suelo de toda la República Mexicana mediante el procesamiento e interpretación de imágenes Landsat.

2.1.3 Aproximaciones recientes en el cambio de uso del suelo

Lambin (1997), hace una revisión de las aproximaciones para el monitoreo y modelamiento de los cambios en la cubierta del suelo a escalas amplias mediante el diseño de escenarios que son discutidos a partir de estudios específicos donde se utilizaron diversos tipos de modelamiento de uso del suelo. "La proyección de futuros cambios en la cubierta del suelo con modelos descriptivos, la explicación de los cambios de cubierta del suelo con modelos empíricos, proyección de futuros patrones espaciales de cambio con modelos estadísticos espaciales, pruebas de escenarios de futuros cambios dentro de la cubierta del suelo con modelos de ecosistemas dinámicos y diseño de intervenciones políticas con modelos económicos"; mismos que a continuación se mencionarán:

a) Modelos descriptivos

Este tipo de modelos es utilizado para la proyección de cambios futuros en la cubierta del suelo. Los procesos de cambio del paisaje pueden ser simulados usando técnicas aleatorias o lineales. Dada la complejidad de los procesos de cambio de cubierta es conveniente algunas veces tratarlos en forma aleatoria. Una cadena de Markov describe los procesos aleatorios que se mueven en una secuencia de pasos a través de un conjunto de rangos. El rango del sistema es definido como la cantidad de terreno cubierto por distintos usos del suelo.

Las propiedades de Markov aplicadas para el cambio de uso del suelo son: la condición probable de uso del suelo en cualquier tiempo, da todos los usos probables en tiempos anteriores dependiendo mucho del uso reciente. Por ejemplo; si es un proceso de primer orden, el mecanismo central de una cadena de Markov probablemente es "P_{ij}", el cual se refiere a la probabilidad de transición desde una clase de uso del terreno "i" hacia una clase "j" dentro de un intervalo de tiempo dado (Brown, 1970; citado en Lambin, 1997). La probabilidad de transición debe ser estimada estadísticamente desde un muestreo de transiciones ocurridas durante algún intervalo de tiempo.

El modelo *Relies* se basa sobre el supuesto de estacionalidad de la matriz de transición. La probabilidad de la dinámica de conversión puede ser introducida para el intercambio entre matrices de transformación en ciertos intervalos o para modelar la contribución de variables endógenas o exógenas con la transición (Baker, 1989; citado en Lambin, 1997). La probabilidad de una conversión entre ciertas categorías de uso del suelo pueden también conducir a sub-modelos socio-económicos o ecológicos, principalmente hacia modelos basados en procesos. Los modelos de probabilidad de transición simple tienen que aplicarse a modelos de procesos de cambio en tipos de vegetación y usos del suelo (Burnham, 1973; citado en Lambin, 1997). Sin embargo hay pocas aplicaciones de la cadena de Markov en escalas amplias del paisaje.

Muchos procesos de degradación del suelo en zonas áridas o la deforestación tropical parecen compatibles con la propiedad de dependencia de primer orden. Con la excepción de una trayectoria genérica de cambios de uso del suelo, puesto que las conversiones de cubierta del terreno son principalmente conducidas por factores socio-económicos, la estacionalidad en

los datos de cobertura no deben ser supuestos. De esta manera una cadena de Markov está limitada a proyecciones a corto plazo.

En resumen, los modelos de probabilidad de transición pueden predecir únicamente cuando cambios en el uso del suelo fuertes tienen lugar en un corto plazo, bajo un estricto supuesto de procesos estacionales. Tales modelos pueden usarse donde no exista información disponible sobre las fuerzas y mecanismos conductores de cambios de cubierta.

b) Modelos de función lógica

Los procesos de deforestación tropical pueden verse como un aumento del mismo proceso, con la estimación de la conversión del bosque existente, regulada por la frecuencia de las áreas deforestadas. De igual forma la deforestación puede ser vista como un proceso de propagación espacial en donde las actividades de limpieza (desmonte) son modeladas por movimientos a través del paisaje. En los dos casos, un contraste espacial justifica la aplicación de la "Curva Logística" para el modelamiento de los cambios de uso del suelo (Casetti, 1969; citado en Lambin, 1997). Varios estudios han aplicado una función lógica para modelar la estimación de la deforestación. Este tipo de modelos relacionan la cubierta forestal con una variable independiente, por ejemplo: densidad de la población ó densidad de las actividades socio-económicas. Las proyecciones de la deforestación pueden llevarse a cabo vía la proyección de las variables exógenas.

El principal énfasis de este modelo se da en la velocidad de los cambios de cobertura del suelo, por ejemplo: "el área adicional de tierras de labrantía requerida cada año es predecida desde el crecimiento de la población y el ingreso per capita, estas variables conducen a un incremento en el consumo alimentario, aunque la variable posterior conduce a la intensificación de la agricultura.

c) Modelos empíricos

Los modelos que tratan de identificar explícitamente las causas de los cambios de cubierta del terreno pueden desarrollarse usando análisis multivariado de posibles contribuciones exógenas para derivar estimaciones de cambios. Las técnicas de regresión lineal múltiple son usadas generalmente para este propósito. El modelo postula una relación lineal

entre cambios. Por ejemplo, en las áreas forestales para un periodo específico de tiempo, la variable dependiente y la variable independiente miden las supuestas fuerzas conductivas. La cubierta forestal es tomada en algunas ocasiones como una variable de proximidad negativa para remplazar la deforestación como la variable dependiente (Lambin op. cit.). De esta forma se tienen los modelos "cross-sectional" y de regresión a escala regional.

Modelos "cross-sectional"

Los resultados estadísticos de varios estudios de este tipo sugieren que el aumento de la población es la variable explicativa más importante y el producto nacional bruto, per capita, es la segunda variable más frecuentemente asociada con la deforestación. Otras variables que están significativamente relacionadas a la deforestación son la expansión agrícola, la venta de madera como combustible y para exportación, y el índice de producción de alimento per capita (Lambin, op cit).

Modelos de regresión a escala regional

Lugo et al. (1981) fundamentan que el logaritmo inverso está relacionado entre la proporción del terreno y la densidad de la población, combinada con el consumo de energía por unidad de área de terreno. Southgate et al. (1991), desarrollan un modelo descriptivo de deforestación para situaciones de frontera agrícola en un ambiente boscoso. Los cambios en el suelo se relacionan con la presión de la población y la garantía de ocupación. Este modelo tuvo éxito prediciendo la estimación de la deforestación en la amazonia ecuatoriana.

d) Modelos estadísticos

Se emplean en la proyección de futuros patrones espaciales de cambio. Los modelos estadísticos son originados utilizando imágenes, sistemas de información geográfica y modelos matemáticos multivariados. Estos hacen énfasis en la distribución espacial de elementos del paisaje y en los cambios de los patrones del paisaje. El objetivo de estos modelos es la proyección y despliegue, en forma cartográfica, de futuros patrones del paisaje, los cuales debieron ser el resultado de la continuación de prácticas de manejo actual o la carencia de estas. Los modelos estadísticos espaciales primero identifican predicciones de la localización de áreas altamente propensas a cambios de cubierta del suelo, estos no predicen en qué momento ocurrirá la deforestación pero si identifican causas próximas de los cambios (Lambin, 1997).

e) Modelos de simulación dinámica

Los patrones de cambio de la cubierta del suelo en tiempo y espacio se producen por la interacción de procesos biofísicos y socio-económicos. Los modelos de simulación dinámica deben desarrollarse para imitar el camino de estos procesos y seguir su evolución. Rotmans et al. (1991; citados en Lambin op cit.), desarrollaron un modelo que representa la cantidad de ecosistemas diferentes y los procesos de cambio de uso del suelo como una función de fuerzas conductivas. La transferencia de suelo entre ecosistemas es descrito por ecuaciones diferenciales. El proceso de cambio de uso del suelo es representado por funciones algebraicas dinámicas. Por ejemplo: la demanda de terreno agrícola depende de la población, del consumo variable, de parámetros de producción y la degradación del suelo –estimado por una función exponencial negativa. El desarrollo de este tipo de modelos requiere de un conocimiento inmediato de los factores y mecanismos conductores del cambio de uso del suelo. Dentro del sistema de modelo del paisaje, el curso de cada parcela de una matriz paisajística es predecida por un modelo basado en procesos (process-based), integrando flujos entre celdas adyacentes (Lambin, op. cit.).

2.1.4 Antecedentes de cambio en la cubierta vegetal y uso del suelo en Quintana Roo

Quintana Roo es uno de los estados de la República Mexicana que posee grandes áreas de bosque tropical. El aprovechamiento de este recurso por medio de la extracción de maderas preciosas ha sido intenso y a este se ha sumado el desmonte para la introducción de sistemas de cultivo, ocasionando destrucción de la cubierta vegetal y de la fauna que en el habita, así como la degradación de sus suelos.

Al respecto, Sommer (1998) comenta que la degradación implica una reducción del potencial productivo del suelo (por ejemplo: la degradación del suelo y la erosión acelerada, la reducción de la cantidad y diversidad de la vegetación natural). Por su parte Lambin (1997), menciona que “los cambios en los ecosistemas terrestres traídos por las actividades humanas están conduciendo a la conversión de las cubiertas naturales, la degradación del suelo o la intensificación del uso del suelo”. Además, señala que los ejemplos más generalizados de la conversión son la deforestación tropical y, en menor grado la urbanización. También explica que

la degradación del suelo implica una disminución en el uso natural del recurso base y, por lo tanto, afecta al suministro alimenticio. En cambio, la intensificación del uso del suelo puede asociarse con sistemas agrícolas, agroforestales o pastizales. La modificación en el uso del suelo y la vegetación da lugar a una fragmentación del hábitat, lo cual genera a su vez nuevas áreas de borde, cambios en los flujos de luz y humedad, así como la alteración de las relaciones de las especies que habitan ahí (Segundo, 1998).

En lo que se refiere al estado de Quintana Roo, "en las últimas décadas, el crecimiento de las superficies destinadas a la agricultura y la ganadería ha sido significativo pero es modesto en comparación con otros estados del país" (Cortina, 1994). Algunas de las prácticas agrícolas de las zonas tropicales húmedas están ligadas a la vegetación secundaria, entre ellas se destaca el sistema agrícola nómada, también llamado trashumante de roza-tumba-quema. Este sistema propicia la formación de una gran variedad de condiciones edáficas y microclimáticas que favorece especialmente la presencia de distintos tipos de plantas secundarias (Fuentes, 1980). El desmonte favorece el establecimiento de la vegetación secundaria, la cual competirá por los nutrientes del suelo con los cultivos. En esta entidad el sistema de roza-tumba-quema de carácter seminómada provoca el agotamiento en la capacidad productiva del suelo, trayendo como resultado el abandono de las tierras. Después de la tumba de las selvas, las propiedades físicas del suelo se alteran, la estructura de las partículas se modifica disminuyendo la porosidad, limitando la capacidad de intercambio catiónico y cambiando la relación carbono/nitrógeno. Finalmente el autor denuncia la falta de estudios que evalúen de forma adecuada la vocación del uso del suelo en el estado.

La carretera Escárcega-Chetumal tiene gran importancia en el sur de Quintana Roo, ya que funciona como eje para los asentamientos y las actividades agropecuarias. Dada esta importancia, Cortina et al. (1999) llevaron a cabo un análisis de cambio de uso del suelo en el periodo comprendido entre 1975 y 1990 a lo largo de la carretera citada. Generaron mapas de uso para cada fecha y calcularon la superficie de cada tipo de uso del suelo de las tres décadas. Posteriormente los mapas de las diferentes fechas fueron comparados mediante el procedimiento de "cross tabulation" logrando conseguir matrices que muestran las superficies que cambiaron a otro uso de suelo y las que se mantuvieron con el mismo uso.

Entre los resultados que obtuvieron destaca que para el año de 1975, en Quintana Roo se habían desmontado 78,864 ha para ser utilizadas en agricultura y ganadería, encontrando los principales asentamientos y desmontes de Nicolás Bravo a Chetumal y hasta el Ejido Pucté. Concluyen que la proporción de selva y sabana transformada en áreas agrícolas y pecuarias en el sureste de Quintana Roo (y Campeche) ha sido relativamente baja respecto de los demás estados del país; 24%, lo que indica que no hubo la amplia destrucción o desaparición de selva que otros autores habían mencionado.

Sánchez et al. (1991, Citados en Segundo, 1998) señalan que en el margen poniente de la laguna Bacalar “la vegetación está perturbada a causa de los asentamientos, las actividades agrícolas y ganaderas y la extracción selectiva de maderas tropicales; aquí jugaron un papel especial las vías de comunicación ya que permitieron el acceso a estas zonas. Por el contrario en la margen Este de la laguna, la falta de vías de comunicación restringió el posible asentamiento y actividades de desmonte. En ella se encuentran (según estos autores) una menor riqueza de especies debido a la diferencia de profundidad y la poca fertilidad en los suelos, así como al relativo aislamiento en que se encuentra esta margen al estar ubicada entre dos cuerpos de agua (Bacalar y Bahía de Chetumal); los cuales podrían estar actuando como barreras para algunas especies”. Este análisis se lleva a cabo comparando los mapas de uso de suelo que a su vez fueron generados a partir de una clasificación supervisada.

Los modelos de cambio de uso del suelo “deben ser dirigidos básicamente sobre dos cuestiones, la primera sobre dónde están los cambios y la segunda, sobre que estimación del cambio se tiene” (Veldkamp et al., 2001); siendo muy pocos aquellos modelos que integran la localización y la cuantificación de las consecuencias de los cambios. Para Lambin (1997), la investigación de los procesos de la cubierta del suelo debe darse en dirección a tres cuestiones: 1) ¿Cuáles variables (naturales y culturales) contribuyen a una explicación de los cambios en la cubierta del suelo?, 2) ¿Qué lugares son afectados por estos cambios? y 3) ¿Cuál es la estimación del progreso de estos cambios?. Estas tres cuestiones “son dirigidas de mejor forma a través de observaciones directas del pasado reciente y por medio de modelos de simulación para el pasado y futuro distante”.

2.1.5 Percepción Remota

La percepción remota o teledetección es un conjunto de conocimientos y técnicas que se utilizan para determinar y extraer información acerca de las características físicas y biológicas de una zona, área o región geográfica sin estar en contacto con esta (Lasselin y Darteyre, 1991). Es decir, a partir de aparatos que son llamados sensores óptico-electrónicos que se encuentran a bordo de un vehículo aéreo o espacial, se obtiene una serie de información referente a la radiancia emitida por los objetos que van a constituir la escena. Estos sensores reciben la radiancia por medio de un componente óptico y la dirigen a una serie de detectores que la amplifican y la convierten a una señal eléctrica la cual es enviada a tierra donde es recibida y ordenada en arreglos de datos binarios, cuya representación en filas y columnas depende del formato que se utilice al generar estos archivos. El resultado entonces es una imagen, que contiene información relativa a la radiación que proviene de la escena en bandas del espectro que se refieren, al visible, infrarrojo o microondas; denominando pixel a la unidad mínima de información (Lasselin y Darteyre, op cit).

Esta técnica se basa en el análisis digital de imágenes de satélite, siendo el objetivo principal de su estudio, el reconocer los patrones que la componen en el contexto de un problema específico; cuando se reconocen y cuantifican todos los patrones de interés se dice que se ha realizado el análisis. El análisis anterior se realiza utilizando en una computadora alguno de los programas (ILWIS, IDRISI, ERDAS) que permiten el manejo y el análisis de imágenes digitales, también se utilizan una serie de algoritmos que permiten involucrar y manejar las bandas obtenidas según sea el tipo de estudio que se requiera. Las aplicaciones de las imágenes son múltiples y abarcan los siguientes casos: arqueología, batimetría, cartografía, geología, meteorología, planificación urbana, uso de suelo, etc. (Chuvieco 1995).

La exploración multispectral llevada a cabo desde satélites y aeronaves, es muy valiosa para el mapeo de la superficie terrestre; sensores como el Landsat TM (Thematic Mapper), mide la radiancia reflejada desde rasgos visibles e infrarrojos del espectro solar. Muchos investigadores han demostrado el valor de la aplicación del satélite para examinar datos hasta mapear las aguas poco profundas, particularmente utilizando las longitudes de onda visibles (Smith y Baxer, 1981, citados en Bierwirth et al., 1992).

Una imagen puede definirse como un conjunto de pequeños elementos de igual área (pixel) organizados regularmente en filas y columnas. La posición de cada elemento viene dada por un sistema de coordenadas (x,y) y cada elemento tiene un valor numérico, 1 , o nivel digital (digital number, DN), que recoge la intensidad de la energía electromagnética medida en el píxel. Una imagen constituye una matriz numérica de filas y columnas, con varias bandas (López, 1991).

El procesamiento de imágenes digitales incluye la manipulación e interpretación de éstas con la ayuda de una computadora, además de incluir procesos matemáticos que pueden llegar a ser complejos. Las formas de manipulación de imágenes digitales son categorizadas dentro de las siguientes operaciones (Chuvieco, op cit):

a) Rectificación y restauración de la imagen. El objetivo de esta operación es corregir la distorsión de los datos de la imagen -estas distorsiones tienen su origen desde el proceso de adquisición de la imagen- para crear una representación fiel de la escena original. Lo anterior se refiere al procesamiento de los datos crudos de la imagen para corregirlos de distorsiones geométricas, calibrarlos radiométricamente y para eliminar el ruido presente en los datos. Estos procedimientos de rectificación y restauración son llamados pre-procesamiento pues preceden al procesamiento y el análisis de una imagen extrayendo información específica (Chuvieco, op cit).

b) Corrección geométrica. Las distorsiones geométricas tienen su origen desde las variaciones de altitud, velocidad y altura de la plataforma; hasta factores tales como la distorsión panorámica, curvatura terrestre, refracción atmosférica, desalineamiento en el barrido del sensor. La intención de la corrección geométrica es compensar las distorsiones producto de estos factores. Este proceso puede ser implementado primero, a través de puntos de control sobre la imagen (georeferencia), en términos de las coordenadas (renglones y columnas) en la imagen distorsionada y, en las coordenadas en el terreno mediante un mapa con coordenadas UTM; estableciendo una relación entre el número de renglones y columnas y coordenadas reales. Después los valores son sometidos a un análisis regresivo para determinar coeficientes para dos ecuaciones de transformación de las coordenadas que serán usadas para correlacionar las coordenadas correctas geométricamente y las coordenadas de la imagen distorsionada. Aún dada la georeferencia, la imagen no es correcta debido a distorsiones geométricas, para crear

una imagen libre de distorsiones se lleva a cabo el "goecoding", el cual generará una nueva imagen en donde los píxeles serán arreglados de acuerdo con la geometría del mapa "maestro" (ITC, 1998).

c) Realce de la imagen. Es aplicado para ordenar los datos de la imagen y que estos puedan mostrarse de forma más efectiva para su interpretación visual. Incluye técnicas para aumentar la distinción visual entre los rasgos que contiene la imagen. El resultado es una nueva imagen a partir de los datos originales para incrementar la información que será interpretada (Chuvieco, op. cit.). Existen varios tipos de realce de una imagen, *realce del contraste* que incluye las técnicas de estiramiento lineal y la ecualización del histograma; utilizados para el realce de rangos de datos específicos mostrando ciertos tipos de cobertura del suelo. El *realce espacial* cuyos procedimientos resultan en la modificación de los valores del píxel en una imagen, basando esta modificación sobre el valor del píxel vecino inmediato. En esta técnica son comúnmente usados los filtros para crear una imagen nueva en donde la cantidad de información a interpretar sea incrementada (ITC, op. cit.).

d) Visualización de imágenes. La información registrada en cada una de las bandas puede ser integrada por la combinación de ellas dentro de un compuesto en color, donde la información espectral es combinada para desplegar cada banda individual en uno de los tres colores primarios (rojo, verde, azul) (ILWIS, 1998).

- **Compuestos de color:** Una composición en distintas bandas da como resultado una imagen en verdadero color si se combinan las bandas visibles asignándoles el color correspondiente a cada una de ellas, o bien en falso color cuando la combinación incluye otras bandas del espectro (López, 1991). Este paso genera una nueva imagen a partir de tres bandas, la información resultante servirá como referencia de los elementos espectrales que se contengan en el área de estudio.

e) Operaciones multi-banda. Para llevar a cabo la extracción de los rasgos de la imagen de satélite, los cuales no son detectados claramente en una banda individual, se puede usar la información espectral de los objetos registrados en bandas múltiples. Operaciones como la adición, sustracción, multiplicación y división pueden ser aplicadas sobre dos o más imágenes de la misma área geográfica. Las siguientes son las operaciones que pueden ser utilizadas (ILWIS, op. cit.): uso de imágenes cociente para reducir efectos topográficos, índices de

vegetación, estadísticas multi-banda, análisis de componentes principales, álgebra de imagen y fusión de imagen.

- **Imagen cociente:** Cuando un satélite pasa sobre un área con relieve, este registra áreas con sombra y áreas iluminadas por el sol. Las imágenes cociente son creadas para minimizar los efectos de estas diferencias de iluminación. La utilidad de estas imágenes cociente dependen de las características particulares de reflectancia de los elementos.
- **Índices de vegetación:** La combinación de bandas fundadas para ser indicadores sensitivos de la presencia y condición de vegetación verde. Los índices de vegetación simple (VI) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) están basados en las propiedades de reflectancia de áreas con vegetación.
- **Estadísticas multibanda:** La distribución de los datos en una banda debe ser representada gráficamente usando un histograma y matemáticamente por la varianza estadística, la cual, suma las diferencias entre todos los valores del píxel y el valor medio del canal.
- **Análisis de componentes principales:** Una imagen contiene un gran número de valores numéricos ordenados en líneas y columnas de forma ligada a la geometría de la imagen. Un punto de la imagen es representado por un conjunto, n , de valores (Dominio Multidimensional). Para cualquier píxel en una imagen multiespectral, los valores de una banda generalmente están altamente correlacionados con los de otra. Así, hay un gran número de información redundante que se puede eliminar comprimiendo dicha información. El análisis de componentes principales es una transformación matemática conocida como de *Karhunen-Loève*, que se utiliza para comprimir la información multiespectral calculando un nuevo sistema de coordenadas. La operación matemática es una combinación lineal de las variables originales. La misma operación puede efectuarse en espacios n -dimensionales. La dirección de las nuevas coordenadas se define una después de otra, tomando siempre lo que sea perpendicular a todas las anteriores. Cada componente contiene información no correlacionada con las anteriores. La primer componente, CP1 se extiende en la dirección de la mayor co-varianza y expresa el máximo porcentaje de varianza en el conjunto original. Los datos menos correlacionados son el ruido (Stripping, líneas pérdidas) y es lo que aparece en los últimos CP (López, 1991).
- **Fusión de imágenes:** Es el proceso de combinación digital de imágenes, para modificar los valores de los datos. Por ejemplo: la combinación de datos ópticos y de onda corta.

f) Clasificación de la imagen. La medición de los valores de radiancia en una imagen depende de las características locales de la superficie terrestre; en otras palabras, es una relación entre la cobertura del suelo y la medición de los valores de radiancia. El proceso para hallar esta relación se llama "clasificación" y puede hacerse usando una banda en donde el proceso es llamado "slicing density" ó, usando muchas bandas cuyo proceso es el llamado "multi-spectral classification" (clasificación multi-espectral) (ITC, 1998).

- **Clasificación multi-espectral:** La clasificación multi-espectral es una técnica de extracción de información que analiza la respuesta espectral de cada píxel en todas las bandas y lo asigna a categorías establecidas en base a respuestas espectrales idénticas. Estas categorías, también conocidas como taxones, pueden ser: *clase espectral*, definida a partir de la respuesta espectral y, la clase de información, categorías definidas por el análisis del paisaje (dunas, playas, frutales, zonas urbanas, etc.). Hay dos formas de realizar la clasificación multi-espectral: **clasificación supervisada** y **clasificación no supervisada** (López, op cit.).
 1. **Clasificación supervisada:** Este método parte de cierto conocimiento de la zona de estudio adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo. El método permite al intérprete delimitar sobre la imagen campos de entrenamiento que deberán ser suficientemente representativos de las categorías que componen la leyenda. A partir de estos campos de entrenamiento la computadora calcula los niveles digitales (ND) que definen a cada una de las clases, para luego asignar el resto de los píxeles a una de estas categorías, en función de sus "ND". Al finalizar la selección de los campos de entrenamiento, son calculadas las estadísticas elementales de cada categoría (media, rangos, desviación típica, matriz de varianza-covarianza, etc.), a partir de los "ND" de todos los píxeles incluidos en los campos de entrenamiento asignados a esas clases. Este cálculo será aplicado a todas las bandas que intervengan en la clasificación (Chuvienco, 1995).
 2. **Clasificación no supervisada:** Se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen. En este método se asume que los "ND" de la imagen forman una serie de agrupaciones que equivalen a píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y, por lo tanto, deberán definir clases temáticas de interés. El método para definir las agrupaciones espectrales se basa en un triple proceso: 1) selección de las bandas que intervendrán en el análisis, 2) selección de un criterio para medir la similitud o distancia entre los píxeles que componen la imagen y, 3) Selección de un criterio para agrupar los casos similares.

g) Obtención de resultados. Independientemente del método empleado en la clasificación digital, los resultados se almacenan en una nueva imagen que es similar a las originales en cuanto a su estructura y tamaño pero con la diferencia de que el "ND" de cada píxel no corresponde a un valor de reflectividad, sino a la categoría que se le asignó. Esta nueva imagen da lugar a dos productos: uno cartográfico y otro estadístico.

A través de este capítulo se ha podido observar que existe varios autores dedicados al estudio del cambio en la cubierta vegetal y el uso del suelo, en el mundo. Cada uno de ellos ha contribuido a este tema estableciendo algún modelo (estadísticos, los multivariados, empíricos y los proyectivos); con el fin de estimar el grado de deforestación en el que se encuentra algún lugar, así como la superficie que se ha deforestado en cierto periodo o número de años.

Las variables que mencionan estos autores son: el aumento y la situación de la población que se encuentra establecidas dentro de extensiones amplias de terreno cubierto por comunidades vegetales primarias, asimismo, toman en cuenta el papel que juegan las actividades económicas que se practican y como éstas contribuyen en buena medida para que se produzcan los procesos de deforestación. Otras variables son las políticas gubernamentales enfocadas al supuesto desarrollo de alguna región, así como la influencia que ejercen algunos organismos internacionales.

De esta forma, se plantea responder al final de este trabajo a las siguientes preguntas: ¿existen sitios donde se hayan generado cambios en la cubierta de la vegetación y usos del suelo?, y en caso de existir, ¿qué porcentaje representan esos cambios?, ¿que tipos de cambio se originaron en el periodo que comprenden los años de este trabajo?, así como, ¿cuales y que variables son las que contribuyeron para que se generara dicho cambio?.

Capítulo 3 METODOLOGÍA

3.1 Metodología

Los estudios sobre el cambio de uso del suelo tienen como objetivo primordial brindar información acerca de la vegetación que caracteriza a un área específica, además de medir la deforestación, determinar su extensión geográfica y entender cuáles son las causas que originan estos cambios. Muchos de estos estudios han sido desarrollados mediante la utilización de técnicas de fotointerpretación y percepción remota, complementándose (en algunos casos) con métodos estadísticos, cruce de mapas y modelos de cambio elaborados mediante la identificación de las fuerzas conductoras más importantes en el cambio de uso del suelo.

En este trabajo se ha realizado una evaluación de los cambios en la cubierta vegetal y el uso del suelo en el sur del estado de Quintana Roo en un periodo de 21 años. De acuerdo con esto, se plantea la elaboración de los mapas de cubierta vegetal y uso del suelo para los años 1981, 1993 y 2002. Una vez obtenidos estos mapas, se procedió a elaborar mapas de cambio y tipo de cambio para el área de estudio.

El material que fue utilizado para la elaboración de cada uno de los mapas de vegetación y uso del suelo fue el siguiente: fotografías aéreas a escala 1:80,000 con fecha de enero de 1981, una imagen Landsat TM de abril de 1993 y una imagen Landsat ETM de diciembre de 2002 (ver Figura 3.1). Cartas topográficas y temáticas publicadas por el INEGI a escala 1:50,000 y 1:250,000, respectivamente, así como, la bibliografía existente para el área de estudio. Por otro lado se tomaron en cuenta los mapas de la cubierta vegetal y el uso del suelo, generados en el Inventario Nacional Forestal en el año 2000, por el Instituto de Geografía (UNAM); mismo que sirvió para tener un conocimiento previo del área de estudio, además se llevo a cabo una salida a campo en donde se lograron recorrer varios sitios para recabar información que sirvió al trabajo de gabinete.



Figura 3.1. Muestra los insumos utilizados en este trabajo. A la izquierda una de las fotografías aéreas que se utilizaron para la primera fecha (1981), al centro la imagen de satélite Landsat TM del año 1993 en color natural y a la derecha la imagen de satélite Landsat ETM del año 2002.

Se generó un mapa de cubierta vegetal y uso del suelo para cada fecha, utilizando dos métodos distintos, para la primera de las fechas se llevo a cabo la fotointerpretación de pares estereoscópicos, una vez delimitadas las unidades de vegetación y uso del suelo, esos rasgos fueron transferidos a formato digital para su posterior procesamiento; mientras que para las siguientes dos fechas se generaron clasificaciones supervisadas. Los criterios de interpretación utilizados en las fotografías aéreas fueron textura, forma, tamaño y tonalidad; mientras que para las imágenes de satélite además de criterios como la textura y tonalidad, se contó con un color específico para cada elemento de la superficie de acuerdo al acomodo de las bandas del espectro, a las cuales se les aplicó un color primario (RGB) en la generación de varios compuestos en color que sirvieron para este análisis.

Asimismo, fueron establecidas leyendas diferentes al momento de generar cada uno de los mapas (Tabla 3.1) ya que por un lado, los materiales utilizados presentan una resolución espacial diferente, lo que llevo a ser mas detallado el trabajo de interpretación de los objetos en las fotografías aéreas, que en las imágenes de satélite; y por otro lado a que la imagen del año 2002 contiene una franja de nubes y sombras en la parte Este de la bahía de Chetumal.

Debido a lo anterior, al utilizar la leyenda de la primera fecha para las dos últimas, esta provocó en las clasificaciones de prueba (en el caso del año 1993), que varias clases se mezclaran entre sí y por lo tanto, que muchos píxeles fueran asignados a clases equivocadas. De esta forma se elaboró una leyenda diferente para 1993, mientras que en el caso de la tercera fecha (2002), la presencia de nubes y sombras en buena parte del área de estudio,

motivó que a la leyenda de la segunda fecha le fueran adicionadas las clases que definieran estos rasgos.

Año 1981	Año 1993	Año 2002
Área de cultivos	Área de cultivos	Área de cultivos
Área semi-desmontada	Área semi-desmontada	Área semi-desmontada
Área desmontada	Área urbana	Área urbana
Área urbana	Área inundable cubierta parcialmente	Área inundable cubierta parcialmente
Área inundable cubierta parcialmente	Área inundable desprovista de vegetación	Área inundable desprovista de vegetación
Área inundable desprovista de vegetación	Área de inundación	Área inundable
Área desprovista de vegetación	Selva en área inundable	Selva en área inundable
Área de inundación	Selva baja subcaducifolia	Selva baja subcaducifolia
Selva en área inundable	Selva mediana subperennifolia	Selva mediana subperennifolia
Selva baja subcaducifolia	Vegetación acuática superficial	Vegetación secundaria
Selva mediana subperennifolia	Vegetación secundaria	Cuerpo de agua
Selva mediana subperennifolia con VS	Cuerpo de agua	Sombras
Vegetación acuática superficial		Nubes
Vegetación secundaria		
Cuerpo de agua		
Sin Información		

Tabla 3.1. Leyenda establecida durante la generación de los mapas de cada una de las fechas.

Sin embargo, aunque en un principio las leyendas variaban en la cantidad de clases que se obtuvieron durante la generación de cada mapa, para efectos del análisis de cambio se elaboró una leyenda que permitiera tener el mismo número de clases y que éstas representaran las mismas características de los rasgos observados en los diferentes insumos.

Para lograrlo fue necesario llevar a cabo un análisis de los materiales respecto de los elementos que se identificaron en cada uno, el periodo de la fecha de toma tanto de las fotografías aéreas como de las imágenes de satélite, los distintos criterios que se tomaron en cuenta para definir cada una de las clases que se establecieron; así como la importancia de algunas de las clases en términos del posterior análisis de cambio. El resultado fue una leyenda con doce clases de las cuales, la mayoría ya estaban definidas dentro de cada una de las leyendas particulares de cada fecha; y otras clases se agruparon con otra cuyos criterios y características fueran los mismos (Tabla 3.2). Las doce clases establecidas en la leyenda mencionada, se refieren a los diferentes usos de suelo, cubierta vegetal y a la vegetación con desarrollo secundario, así como atributos que pueden o no presentarse en cualquier tipo de cubierta ya que se encuentran relacionados con los procesos hidrodinámicos del área y con la diferencia en la temporalidad de los insumos.

Clase	Descripción
1. Área de cultivos	Se refiere a sitios en donde existe algún tipo de cultivo.
2. Área semi-desmontada	Son áreas que no cuentan con algún tipo de cultivo, ni con vegetación aparente, y que tienen una geometría de propia de sitios donde se cultiva.
3. Área urbana	Lugares en donde existe algún asentamiento humano.
4. Área inundable cubierta parcialmente	Se refiere a lugares que durante algún periodo del año se encuentran cubiertos por agua y en otros periodos no lo están, se estableció que estos lugares deberán tener al menos 60% de cubierta arborea.
5. Área inundable desprovista de vegetación	Se le asigno este nombre a aquellos lugares que no presentan cubierta vegetal de algún tipo y que no están cubiertos por agua.
6. Área inundable	Son lugares en las cercanías de los cuerpos que en ciertos periodos del año se encuentran cubiertos por agua y que no presentan algún tipo de vegetación.
7. Selva en área inundable	Se refiere a aquellos lugares con presencia de selva que en algún periodo del año se encuentran inundados y en otros no, para etiquetar con este nombre se estableció que los lugares delimitados deberían contar con mas del 60% de cubierta arborea.
8. Selva baja subcaducifolia	Cubierta vegetal con características de altura, forma y textura específicas.
9. Selva mediana subperennifolia	Cubierta vegetal con características de altura, forma y textura específicas.
10. Vegetación secundaria	Se le otorgo este nombre a la vegetación existente en aquellos sitios donde ha existido cierta modificación del estrato de vegetación por la acción del hombre.
11. Cuerpo de agua	Cuerpos de agua permanentes.
12. Sin información	Se refiere a aquellos lugares en donde no existe vuelo fotogramétrico de INEGI y donde existe la presencia de nubes y sombras.

Tabla 3.2. Leyenda utilizada en las tres fechas del estudio, después de la generación de sus mapas respectivos.

A continuación se explicará el método utilizado para la generación de los mapas de cubierta vegetal y uso del suelo en cada fecha y se detallarán las técnicas utilizadas para ello.

3.2 Elaboración del mapa para la primera fecha del análisis (1981)

Para la realización del mapa de cubierta vegetal y uso del suelo de la primera fecha se utilizaron un total de cinco líneas de vuelo a escala 1:80,000, mismas que están integradas por 56 fotografías aéreas que cubren la mayor parte del área de estudio. En 23 de ellas se delimitaron unidades homogéneas de vegetación y el uso del suelo mediante las técnicas comunes de fotointerpretación, tomando en cuenta diversos criterios (tono, textura, forma, tamaño, disposición, etc.) que permitieron la identificación de los distintos tipos de cubierta y uso de suelo existentes dentro del área de estudio (fig. 3.4).

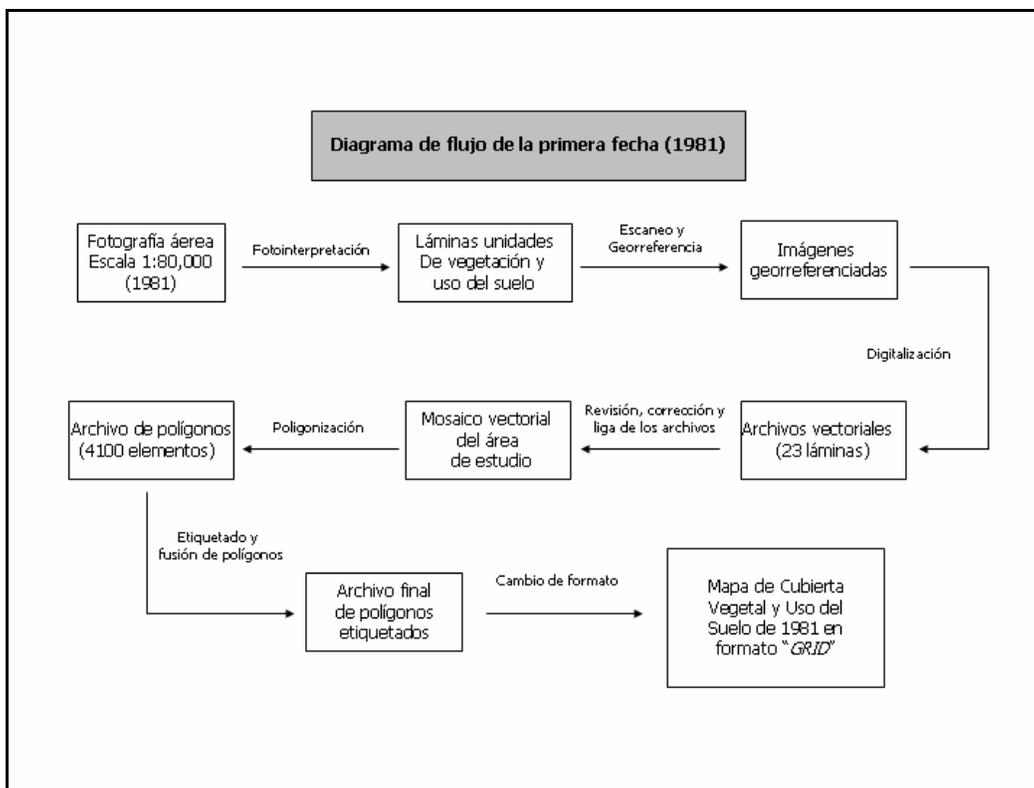


Figura 3.4. Se muestra el diagrama de flujo con los procedimientos que se siguieron en la realización del mapa correspondiente a la primera fecha del estudio.

En esta fase fue necesario establecer criterios que permitieran la delimitación de unidades de vegetación y uso del suelo. Una vez que se definió la leyenda sobre la cual se llevaría a cabo el trazo de dichas unidades y se analizaron varias de las fotografías, dichos trazos se basaron en las características naturales de algunos de los elementos que fueron observados (áreas inundables, cultivadas o desmontadas) para aprovechar al máximo la resolución espacial del material. Por ejemplo, para las clases área de cultivo, semi-desmontada y desmontada se definió como característica principal la presencia o ausencia de cultivos, la forma característica de estas áreas (casi siempre delineada perfectamente), la cercanía de éstos lugares a las áreas urbanas y algunos poblados, así como a cuerpos de agua y áreas con periodos de inundación cortos, pues estas últimas presentan suelos ricos en nutrientes aptos para desarrollar dicha actividad. Las áreas desmontadas fueron diferenciadas de las semi-desmontadas por la ausencia total de todo tipo de vegetación, tanto herbácea como arbórea.

El trabajo en campo fue esencial para que estas tres clases permanecieran en la leyenda de esta fecha, pues se constató durante el recorrido la presencia de estas clases y se observó además que las áreas semi-desmontadas a diferencia de las desmontadas, tenían presencia de vegetación herbácea con desarrollo menor y los llamados "tocones", mientras que las áreas desmontadas carecían de todo tipo de vegetación.

Otras clases para las que se tuvo que definir ciertos criterios en su delimitación fueron las áreas inundables cubiertas parcialmente, las selvas en área inundable y la vegetación acuática superficial. Para el caso de las primeras dos se estableció como una característica principal las depresiones o bajos (akalche), sitios cercanos a las áreas de inundación y lagunas; además, una y otra clase se diferenciaron entre sí dependiendo la proporción de vegetación arbórea que contenía el polígono trazado,, es decir, si éste estaba cubierto en menos del 60% se establecía como un área inundable cubierta parcialmente, pero si el rasgo identificado se encontraba cubierto más del 60% se estableció como selva en área inundable.

Para el caso de la clase vegetación acuática superficial se tuvo cuidado de reconocer los manchones de vegetación que se encontraban dentro de un área inundada en forma de islas (por ejemplo la laguna de Bacalar); la razón por la cual no fueron considerados selva en área inundable, es que durante el proceso de fotointerpretación estos pequeños manchones podían ser delimitados y se les asoció con vegetación de tipo Tular, misma que es representativa de áreas inundables.

Una vez concluida la fase de fotointerpretación, las láminas correspondientes a las fotografías aéreas interpretadas fueron escaneadas en formato de imagen con tonos de gris. Posteriormente se exportaron a un sistema de información geográfica (en este caso ILWIS versión 3.0) con el fin de otorgarles georreferencia mediante la transferencia de puntos de control a partir de una base cartográfica, en este caso fue la imagen correspondiente a la segunda fecha de este estudio (1993), la cual, fue georreferenciada previamente. El sigma que se estableció como límite máximo fue de tres pixeles de error medio cuadrático, aunque la mayoría de las imágenes tuvieron un sigma mucho menor.

La siguiente etapa consistió en la digitalización en pantalla de las unidades trazadas en las láminas fotointerpretadas, se optó por generar un archivo vectorial para cada una de las láminas y así asegurar un buen trabajo de digitalización, después de esto se llevó a cabo la unión de todos los archivos para generar un mosaico (ver Figura 3.5). Este archivo tuvo que ser editado para eliminar las fronteras entre cada lámina y asegurarse que los rasgos entre cada una de estas estuvieran completos y sin desfase con el fin de integrar la base vectorial correspondiente a la primera fecha. Esta base vectorial fue exportada a formato shape y posteriormente procesada en ArcInfo (Workstation 8.1) de tal forma que no tuviera vectores sueltos, abiertos o dobles, para finalmente asignar la topología correspondiente y generar polígonos.

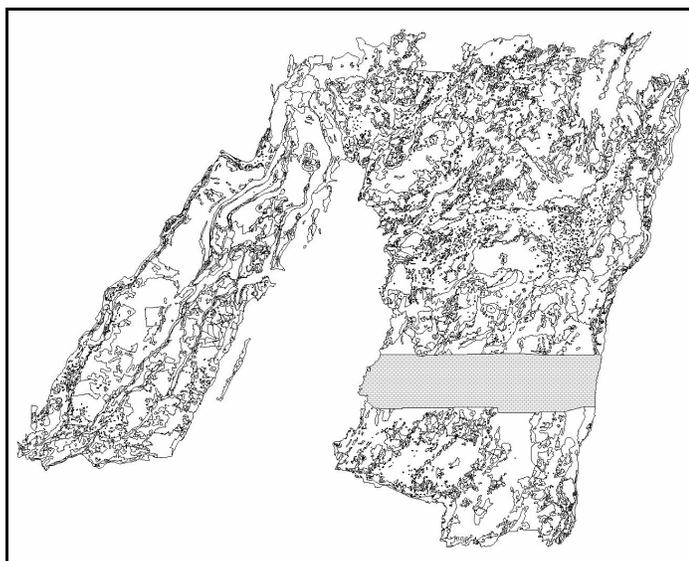


Figura 3.5. Mapa vectorial de las unidades homogéneas de vegetación y el uso del suelo fotointerpretadas, para el año 1981. El área sombreada no contiene información debido a la falta de cobertura fotogramétrica.

El número total de polígonos que se obtuvieron fue de 4,100 (ver Figura 3.6), mismos que se etiquetaron en el sistema de información Arcview, a partir de la leyenda generada con anterioridad. Una vez que se etiquetaron todos los polígonos se utilizó el módulo llamado "Patch Analyst" con el fin de fusionar aquellos polígonos que fueran de la misma clase y eliminar las fronteras dobles; cabe mencionar que durante la fase de etiquetado se continuó con la corrección de aquellas fronteras que aun estaban incorrectas; de esta forma hubo la

necesidad de migrar de Arcview a Arcinfo y viceversa, cada vez que se editaban las fronteras del archivo vectorial.

Finalmente se tuvieron 16 clases; aclarando que una de ellas, la clase "Sin Cobertura fotográfica" se refiere a un vacío en la información producido por la falta de cubrimiento aerofotográfico en el vuelo de INEGI. Ante esta situación se decidió continuar con la fotointerpretación dejando esta parte con la etiqueta mencionada. De esta forma ya con el archivo final de polígonos, éste se convirtió a formato "grid" asignándole un tamaño de píxel igual al de las otras dos fechas (28.5 x 28.5 m), y dejarlo listo para el procedimiento de unificación de la leyenda única para las tres fechas.

3.3 Elaboración del mapa para la segunda fecha del análisis (1993)

La elaboración del mapa de la cubierta vegetal y el uso del suelo para la segunda fecha presentó las siguientes etapas: el pre-procesamiento, procesamiento y la clasificación supervisada de la imagen de satélite Landsat TM del año 1993 (ver Figura 3.7), estas etapas permitieron determinar las diferentes clases espectrales que existen en la escena, ayudando a distinguir los diversos tipos de cubierta vegetal y usos de suelo presentes en el área. Con el procesamiento de la imagen los valores espectrales de la misma, fueron clasificados para obtener la localización, distribución, extensión y cuantificación de las superficies que corresponden a cada tipo de cubierta vegetal y uso de suelo para el año 1993.

La imagen fue georreferenciada a partir de las coordenadas UTM de una base topográfica a escala 1:50,000 previamente digitalizada, utilizando 365 puntos de control se obtuvo un sigma de 0.998 píxel de error medio cuadrático, en la asignación de las coordenadas. Una vez aplicada la georreferencia se continuó con el estiramiento del histograma de forma lineal (*stretch linear*) para cubrir el rango total de la imagen; de tal forma que los valores de la imagen fuesen desplegados en un rango de 0 a 255 tonos de gris con el fin de distinguir mejor la información que ella contiene.

De igual forma se probaron varios filtros de paso alto, los cuales permitieron realzar algunos rasgos de la imagen que tienen alta variabilidad, con el fin de su mejoramiento al

momento de efectuar el análisis visual de las mismas. Las imágenes a las que se aplicó este proceso de filtrado no fueron utilizadas para llevar a cabo la clasificación.

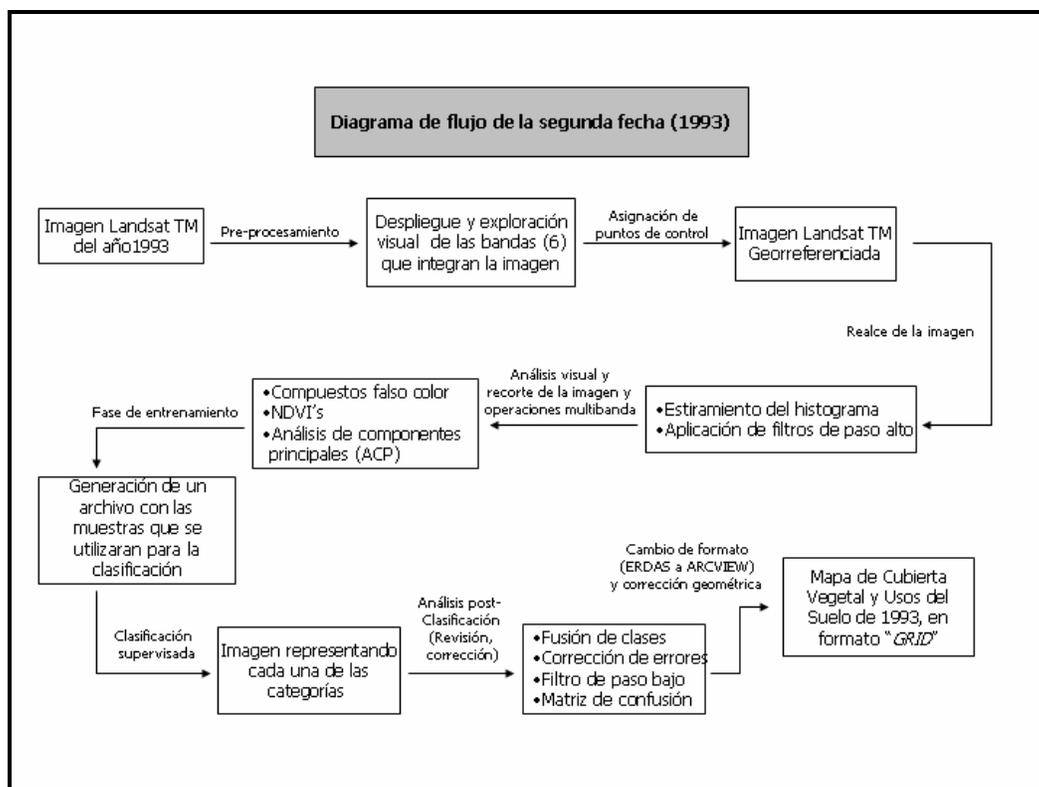


Figura 3.7. Diagrama de flujo con los procedimientos que se siguieron en la realización del mapa correspondiente al año 1993.

La imagen de este año fue recortada con el límite del área de estudio, para evitar que los rasgos que se encuentran fuera y los cuerpos de agua fueran clasificados y, tener así el mismo límite para todas las fechas. Por otro lado, se generaron diversos compuestos en color con el fin de determinar cuales de ellos servirían de referencia para visualizar mejor la información presente en el área de estudio en el momento de la toma de muestras durante la fase de entrenamiento; los compuestos utilizados fueron 432, 541, 437, 574, 472 y 741.

También fueron generadas operaciones multi-banda como los índices de vegetación normalizada (NDVI's) y el análisis de componentes principales (ACP) para la extracción de rasgos de la imagen que no fueron detectados de forma visual mediante los compuestos en falso color. De esta forma se tiene que los NDVI's sirvieron como indicadores sensibles de la presencia y condición de vegetación verde, mientras que los componentes principales

resaltaron aquellas bandas en las cuales no existe información redundante, esto significa que cada componente contiene información no correlacionada con los anteriores.

Posterior al pre-procesamiento y al procesamiento de las bandas que componen la imagen del año 1993, se efectuó la toma de campos de entrenamiento utilizando para ello el sistema de información geográfica ERDAS, tomando en cuenta todas las bandas del espectro que integran a la imagen Landsat TM; esta actividad tuvo como fin seleccionar suficientes píxeles a través de campos de entrenamiento, que representaran adecuadamente a las categorías de interés de acuerdo a la leyenda establecida para esta fecha.

Una vez concluida la fase de selección de campos de entrenamiento se elaboró un archivo que contiene los valores de los patrones espectrales de cada muestra en todas las bandas de la imagen, asignando a cada una de estas una probabilidad igual a 0.9 para que al llevar a cabo la clasificación supervisada, el sistema tomara en cuenta la misma probabilidad de que cada firma se encuentre en la imagen, de acuerdo al rango de valores numéricos de todos los píxeles que integran la imagen. Chuvieco (2002) menciona que "la fase de entrenamiento resulta ciertamente compleja, pues se trata de definir con rigor cada una de las categorías que pretendan discriminarse, teniendo en cuenta su propia variabilidad en el área de estudio".

De esta forma una vez obtenidos los campos de entrenamiento (60 muestras para 29 clases) se realizó una clasificación supervisada, la cual tuvo como característica la extracción de la información contenida en la imagen, mediante el análisis de la respuesta espectral de cada píxel en todas las bandas que la integran, asignando los píxeles con respuesta espectral similar, a alguna de las categorías establecidas. Se optó por llevar a cabo una clasificación supervisada partiendo del análisis de la cartografía que existe para este tema, la cual, aportó información valiosa que junto con la exploración de las fotografías aéreas y los diversos compuestos de color brindaron un conocimiento mayor del área de estudio que ayudó a definir los sitios en los que se llevaría a cabo la toma de los campos de entrenamiento.

El método de clasificación que se utilizó fue el de Máxima verosimilitud (*Maximum Likelihood*), el cual evalúa cuantitativamente la varianza y la covarianza de los patrones de respuesta espectral de las categorías, cuando es clasificado un píxel desconocido, asumiendo que la distribución de los puntos de las nubes que forman los datos de las categorías muestreadas es normal, por lo que evalúa la estadística probable de que un píxel con valor dado, pueda existir como miembro de una clase particular de cobertura del terreno (Lillesand y Kiefer, 2000).

El resultado fue una imagen clasificada con 29 clases diferentes que se refieren a la leyenda que se estableció previamente. Se llevó a cabo una revisión visual de la imagen clasificada comparándola con los compuestos 541 y 432 de las bandas originales y con la información obtenida en la primera fecha; para descubrir si existían píxeles que hubieran sido clasificados erróneamente, además de corroborar que la mayoría de los píxeles hayan sido asignados a la clase correcta. También se determinó la exactitud de la clasificación generando una matriz de error espectral, cuyo fin fue determinar la veracidad de la información clasificada, identificando y cuantificando los posibles errores.

Esta revisión arrojó dos clases que se encontraban mezcladas entre sí debido, sobre todo, a que el sistema no pudo discriminarlas correctamente al presentar valores espectrales muy similares dentro del rango establecido para la clase área inundable cubierta parcialmente. Debido a esto, se determinó corregir esos errores utilizando una opción de ERDAS llamada "Fill", la cual, da la oportunidad de rellenar los píxeles seleccionados de aquellas clases que presentan una etiqueta distinta a la que debería ser y le asigna la correcta; cabe aclarar que esta opción solamente fue utilizada en dos de las clases con este problema, las clases área de cultivo y área semi-desmontada.

Conjuntamente las clases que no presentaron algún problema, fueron re-agrupadas dentro de otra con el fin de tener solamente las clases ya establecidas para esta fecha (12 clases). Durante la fase de entrenamiento, cada una de las muestras tomadas fue llamada con el nombre de la clase y un carácter numérico sucesivo, de esta forma al terminar esa fase, se tuvieron varias clases que se referían al mismo elemento clasificado por lo que, se re-agruparon en clases similares. Después de lo anterior se aplicó un filtro de paso bajo llamado "Majority" de

3x3, con el cual se pretendió homogeneizar la clasificación final y eliminar aquellos píxeles que se encontraban dispersos.

Una vez obtenido el archivo final la clasificación de vegetación y uso del suelo para el año 1993, se llevó a cabo la corrección geométrica del mismo para obtener una imagen libre de distorsiones; correlacionando las coordenadas de la imagen distorsionada (renglones y columnas) y las coordenadas correctas geométricamente. Finalmente este archivo fue exportado a formato *GRID* con un tamaño de celda igual al de la primera fecha y, posteriormente elaborar la leyenda única con la que se llevó a cabo el análisis de cambio.

3.4 Elaboración del mapa para la tercera fecha del análisis (2002)

Para la elaboración del mapa respectivo a la tercera fecha del estudio (ver Figura 3.9); se procedió a asignar el mismo sistema de coordenadas de las fechas 1981 y 1993. Para esta fecha se determinó asignar la georreferencia a partir de la imagen de 1993 (segunda fecha), para lo cual se identificaron un total de 150 puntos de control, obteniendo un sigma de 0.395 píxeles de error medio cuadrático. Una vez que la imagen estuvo georreferida, se procedió a elaborar un recorte con el polígono del área de estudio para eliminar aquellas áreas que no se encontraban dentro del límite y los cuerpos de agua mayores (como la Bahía de Chetumal) y evitar que se clasificaran áreas que no interesaban o que su presencia provocara cierto ruido, como es el caso del cuerpo de agua de la bahía, en la cual se distinguían “plumas” de sedimentos y diferentes tonalidades de acuerdo con la profundidad.

Se revisaron los histogramas de las bandas que integran la imagen, después de esta revisión se optó por hacer un “estiramiento” del mismo, con esto se logró que los valores de la imagen fuesen desplegados en tonos en que se distinguiese mejor la información que contiene (mayor nitidez). Asimismo se aplicó un filtro de paso alto sobre los valores originales con una matriz de 3 x 3, la cual se aplicó a sucesivamente a todos los píxeles de la imagen, provocando que se acentuaran “las graduaciones radiométricas” (Chuvienco op. cit.).

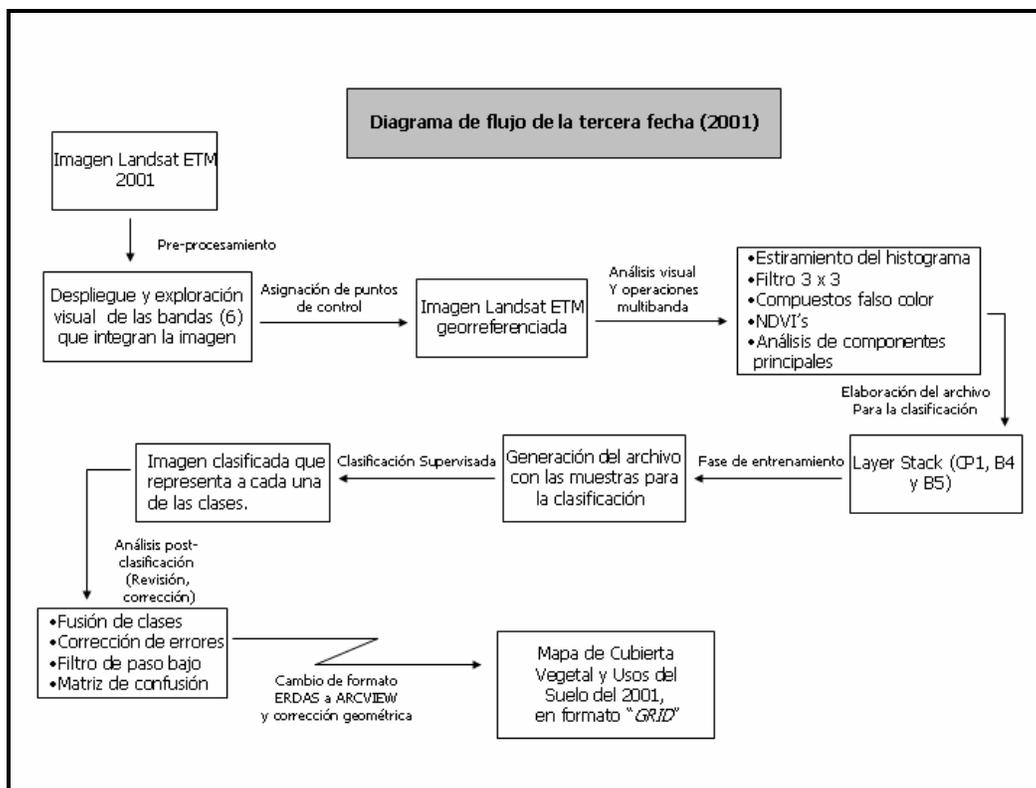


Figura 3.9. Diagrama de flujo con los procedimientos que se siguieron para la realización del mapa de vegetación y uso del suelo de 2001.

Al igual que la segunda fecha, se hizo una exploración visual de las bandas mediante la elaboración de diversos compuestos en falso color, una vez que fueron definidos los compuestos idóneos para la distinción de las coberturas y los usos de suelo, se procedió a generar el análisis de componentes principales (ACP), pidiendo al sistema que se generaran solamente dos, buscando resumir la información que contiene el conjunto de variables que integra la imagen Landsat ETM (6 bandas) y tener así solamente aquella información necesaria; lo anterior es característico sobre bandas adyacentes (bandas visibles), ya que, los tipos de cubierta tienden a presentar un comportamiento similar en longitudes de onda próximas, provocando que algunas de estas presenten una correlación importante y por lo tanto que sean irrelevantes (Chuvienco, 2002). Además fue generado el NDVI con las bandas 3 y 4, este último solamente se utilizó como apoyo en el análisis visual.

Después de haber analizado el área de estudio y generado tanto los componentes como el NDVI, se continuó con la creación de un archivo (*layer stack*) integrado por las bandas 4, 5 y

el primer componente principal (CP1); sobre este archivo posteriormente se llevó a cabo la fase de entrenamiento. Se establecieron estos insumos debido a que durante la revisión de la matriz de autovectores, en la cual, se evidencia la asociación entre cada componente y las bandas originales. De este modo, se detectó que las bandas del infrarrojo medio y lejano (banda 5 y 7, respectivamente) tendían a mezclar demasiado algunas clases y con la ausencia de alguna de ellas, podían ser discriminados sin mayor problema varios elementos; de esta forma utilizando ciertos insumos se logró discriminar además las clases Área Destinada a Cultivos (ADC) y Área de Cultivos (AC).

Una vez creado el archivo con las bandas y el componente elegido, se procedió a tomar las muestras para la fase de entrenamiento. Esta fase, al igual que la segunda fecha consistió en recabar varias muestras para aquellas clases que querían ser discriminadas. El total de muestras recabadas fue de 108 para 15 clases preliminares, además se obtuvo la matriz de error espectral, misma que fue revisada para observar la calidad de las muestras que fueron tomadas en los campos de entrenamiento.

El paso siguiente fue obtener una imagen clasificada, para ello, al sistema se le pidió que utilizara las probabilidades que se establecieron para las muestras durante la fase de entrenamiento (0.9) y que llevara a cabo una clasificación supervisada. Al archivo clasificado se le aplicó un filtro de paso bajo con una matriz de 3 x 3 llamado vecino más cercano (*Neighbourhood*) de tipo "*Majority*" para eliminar los píxeles dispersos mediante un proceso de suavizado y se analizó con diversos compuestos de color para evaluar su exactitud.

De nueva cuenta fueron dos clases las que tuvieron problemas de confusión con otras, las clases nubes y sombras provocaron que muchos de los píxeles que se encontraban cercanos a estas, fueran clasificados de forma equivocada o que el sistema las dejara sin clasificar. Las clases que no tuvieron ningún problema fueron re-agrupadas, aplicando el mismo criterio de la fecha anterior. Entretanto para aquellas clases que resultaron con problemas y que fueron descubiertas durante la revisión, se determinó si los píxeles de esas clases (cuerpos de agua, la selva baja subcaducifolia y las áreas parcialmente cubiertas), que fueron clasificados como nubes y sombras, podían ser rectificadas mediante la utilización de la opción "*Fill*" de ERDAS, para asignarlos a las clases correspondientes.

En el sistema de información ERDAS se llevó a cabo su corrección tomando en cuenta solamente aquellos pixeles que presentaron este problema, siempre y cuando se estuviera seguro de que correspondían a una de las clases mencionadas; para lo cual, se utilizaron varios compuestos en color en el mismo momento. Después se corrió de nuevo un filtro de paso bajo (*Majority*) para eliminar aquellos pixeles aislados producto de la corrección de este archivo. El archivo que se obtuvo fue una clasificación con 12 clases, a la cual se le hizo la corrección geométrica correspondiente para tener así, esta fecha perfectamente orientada con el norte. Finalmente se convirtió el archivo final a formato "GRID" con el mismo tamaño de celda que los anteriores.

3.5 Trabajo de campo

Durante el trabajo de campo se llevaron a cabo, una serie de recorridos por el área de estudio en los alrededores de la ciudad de Chetumal, Calderitas, Río Hondo, Laguna Bacalar y Laguna Guerrero, Raudales, Oxtanka, entre otros (ver Figura 3.10), con el fin de obtener información que permitiera conocer la veracidad de la información resultante de la interpretación de las fotografías aéreas del año 1981. Asimismo, se utilizaron impresiones de algunos compuestos en falso color de las imágenes Landsat TM del año 1993 y Landsat ETM+ del año 2002, en los que se hicieron anotaciones de información que ayudara en la generación de campos de entrenamiento para la posterior clasificación de las imágenes.

Los sitios que se visitaron fueron entre otros, aquellos en donde se presentan características tales como la transición entre los tipos de cubierta vegetal, transición entre cubierta y uso de suelo específico, y áreas con características homogéneas (ver Figura 3.11). El trabajo de campo constó de dos tareas principales: la de reconocimiento, que sirvió para obtener una visión más clara acerca de la cubierta vegetal y el uso del suelo que existen en esta parte del área de estudio, lo cual posteriormente sirvió de base para re-definir las leyendas de cada una de las fechas, así como la leyenda única que se manejó durante la parte de la determinación del cambio de uso.

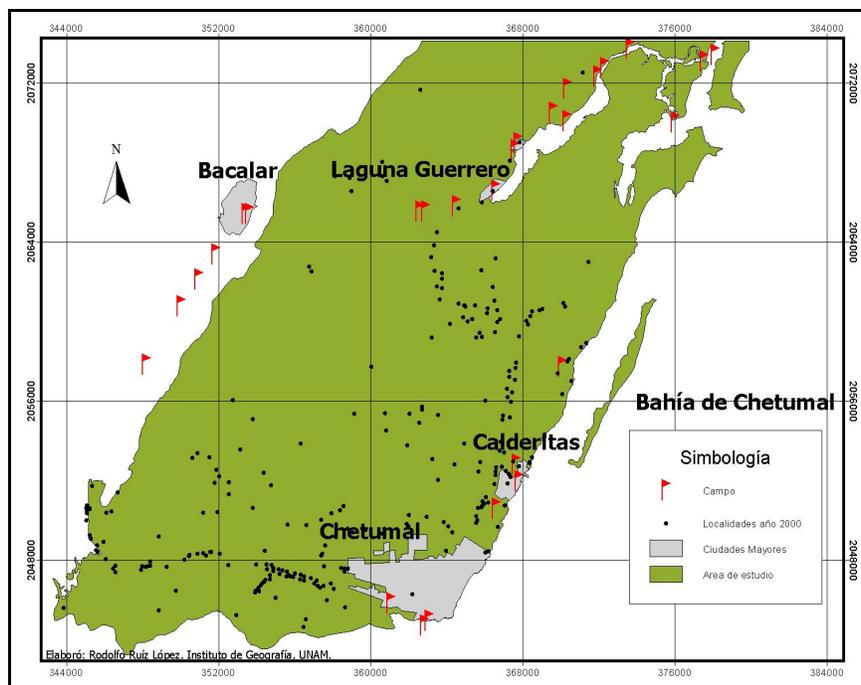


Figura 3.10. Localización de los sitios de evaluación en campo.

La siguiente tarea consistió en corroborar los resultados preliminares en estos sitios para cada una de las fechas, mismos que posteriormente, en gabinete, fueron tomados en cuenta para modificar solamente aquellas fronteras en las unidades de vegetación y uso del suelo, que presentaran algún problema.

El periodo del año en que se visitaron estos sitios corresponde a la época de lluvias (agosto del año 2003), durante el trabajo de campo se observó, como característica principal, una marcada heterogeneidad del espacio natural, producto de una intensa actividad agropecuaria y forestal llevadas a cabo en el estado. Esta fragmentación que se muestra, es muy importante en cuanto a la variación en los estadios de la vegetación y usos del suelo presentes, especialmente en las cercanías de la ciudad de Chetumal y el poblado de Calderitas y, refleja la dinámica de aprovechamiento de recursos forestales en el sureste del estado de Quintana Roo.

Por otra parte, los sitios que se recorrieron tienen tipos de cubierta vegetal, tales como vegetación acuática, selva en área inundable, manglar y selva mediana subperennifolia, que también se encuentran en aquella parte del área de estudio que no fue visitada (E de la bahía de Chetumal). De esta forma en la exploración visual de las fotografías aéreas y las imágenes

de satélite, se observaron características similares, lo que hizo posible su identificación en el trabajo de gabinete.

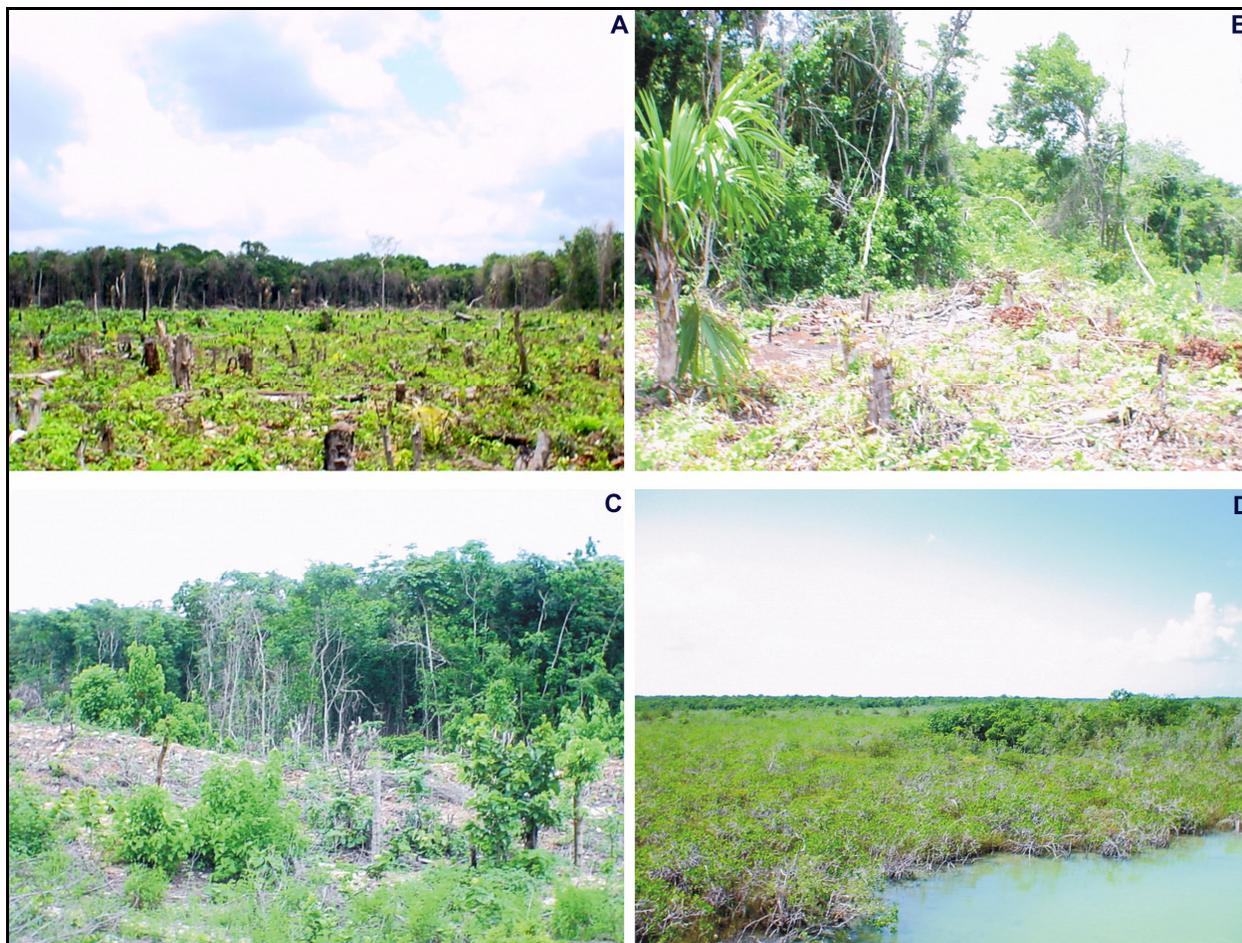


Figura 3.11. La figura muestra algunas fotografías que fueron tomadas durante el trabajo en campo. A) se aprecia un área recientemente desmontada que será posteriormente utilizada para la introducción de algún tipo de cultivo, B) la fotografía muestra la transición entre un área semi-desmontada y otra con vegetación secundaria, C) En esta fotografía se aprecia al fondo vegetación desarrollada y conservada de selva mediana subperennifolia, la cual se ve amenazada por el desmonte del área adyacente. D) Ejemplo de un área con vegetación de manglar chaparro.

3.6 Análisis de cambio

Para la generación de los mapas de cambio y tipo de cambio fue necesario hacer que los mapas de cada una de las fechas tuvieran la misma cantidad de clases, para ello se procedió a homologar las clases agrupándolas de acuerdo a sus características y la importancia que representan dentro del área de trabajo. De esta forma la leyenda del año 1981, paso de 16 a 12 clases; después de agrupar las clases área desmontada con área semi-desmontada,

selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria con selva mediana subperennifolia, área desprovista de vegetación con área inundable desprovista de vegetación y finalmente la clase vegetación acuática superficial fue agrupada con la clase selva en área inundable en las leyendas correspondientes a los años 1981 y 1993. Para la fecha 2002, únicamente fue agrupada la clase sombras con la clase nubes a fin de tener en una sola clase aquellos elementos que no fueron contemplados para el análisis de cambio donde se consideraron las tres fechas.

El análisis de cambio fue realizado para el área de estudio delimitada originalmente en el periodo 1981-1993 y, no fue considerado el mapa de la fecha 2002 ya que presenta una importante presencia de nubes hacia el Este de la bahía de Chetumal. Sin embargo, para continuar con el objetivo de elaborar un análisis de cambio en el que fueran consideradas las tres fechas planteadas, se definió una sub-área a partir de rasgos naturales identificados sobre las fotografías aéreas del año 1981. El área delimitada se encuentra en la parte Oeste de la bahía de Chetumal y presenta una marcada fragmentación de la cubierta vegetal, así como amplias zonas con diversos usos de suelo entre los que destacan las actividades agrícolas y ganaderas llevadas a cabo por los diversos poblados asentados en esta parte de la bahía; así como por el crecimiento de áreas urbanas como Chetumal y Calderitas. Debido a lo anterior esta área al norte de la ciudad de Chetumal, ha experimentado cambios importantes a lo largo de 21 años, mismos que motivaron la delimitación de esta subárea.

3.7 Análisis de cambio para el periodo 1981-1993

De esta forma fue elaborado en una primera instancia el mapa de cambio para el periodo 1981-1993 y detectar los sitios en donde se presentarían cambios en la cubierta vegetal y el uso del suelo. En el año 1981 existe una franja que no contiene información (de la cual se hizo referencia en los capítulos anteriores), la cual fue extraída y utilizada para recortar del mapa de la segunda fecha, la información que sería utilizada y así tener la misma extensión cubierta por información en los dos mapas. Una vez listos estos mapas, en el sistema de información Arcview se utilizó un operador de condición y comparación para obtener un nuevo mapa con valores en cero (0) para aquellos píxeles que no cambiaron y de uno (1), para aquellos que presentaron cambios en el periodo que se menciona. La sintaxis empleada fue:

$$(([\text{Limite}] = 1) \text{ and } ([\text{Veguso81}] = [\text{Veguso93}]))$$

Esto significa que el nuevo mapa contiene dos valores para las celdas que lo integran, cero (0) para aquellas celdas cuyos valores sean los mismos, y uno (1) para aquellas celdas que tengan los valores diferentes en las dos fechas de comparación. La condición de que en el mapa "Límite" el valor tiene que ser igual a uno, es para seleccionar y comparar solamente aquellos píxeles que se encuentren dentro del área de estudio, es decir, las celdas con valor uno en el mapa "Límite" se encuentran dentro del área de interés, y por lo tanto son los únicos que serán comparados.

El mapa resultado se reclasificó asignándole el valor uno a aquello que no tuvo cambio alguno y dos para los píxeles que cambiaron de información durante el periodo 1981-1993, después fueron determinados los porcentajes de cobertura que tiene cada clase de información.

También fue obtenido el mapa de tipos de cambio para este mismo periodo aplicando sucesivamente operadores de comparación y condición, así como operaciones simples para conseguir todas las variantes del tipo de cambio posibles mediante la siguiente sintaxis:

$$(([\text{Limite}] = 1) \text{ and } (([\text{Veguso81}] = \text{SMSp}) \text{ and } ([\text{Veguso93}] \neq \text{SMSp})))$$

En este caso, el sistema trabajó comparando los dos mapas a partir de una sola clase, es decir si en el mapa "Veguso81" el valor de las celdas es igual a la clase SMSp y en el mapa "Veguso93" es diferente a esa misma clase, entonces existirá un cambio; por el contrario si en el mapa "Veguso93" el valor de las celdas es igual a SMSp, entonces no habrá existido algún cambio. El resultado a esta ecuación será un mapa con valores cero para aquellos sitios que no se cumpla con la condición y, uno donde sí sea cumplida. Existe una condición más, la cual establece que la ecuación se aplique solamente para aquellas celdas con valor a uno del mapa llamado "Límite", pues ese valor corresponde a las celdas que se encuentran dentro del área de estudio.

Después de haber obtenido y analizado los mapas de cambio para cada una de las clases (excepto la clase llamada "sin información") a estos se les redefinió el tipo de cambio que experimentaron, para lograrlo se llevó a cabo una operación en la cual se utilizaron el mapa que resultó del paso anterior y el mapa de la segunda fecha. La sintaxis fue la siguiente:

$$([\text{Mapa1}]) * ([\text{Veguso93}])$$

Asimismo se obtuvo para cada uno de los mapas (11 en total) el tipo de cambio en el periodo 1981-1993. La base de datos de cada uno de estos mapas fue modificada eliminando los valores en cero ya que estos correspondían a celdas que no tuvieron cambio alguno, los demás valores fueron reemplazados por un valor sucesivo en todas las tablas; por lo que fueron ubicadas 108 variantes de tipo de cambio. Finalmente se utilizó la opción "*mosaic grid*" en Arcview, para elaborar un mosaico de todos los mapas al cual, en su base de datos, se le asignó la etiqueta del tipo de cambio que le correspondía. Posteriormente fueron calculados los porcentajes de cada uno de los tipos de cambio para seleccionar aquellos que fueran más representativos y agrupar los restantes en una clase llamada "Otros".

3.8 Análisis de cambio para los periodos 1981-1993, 1993-2002 y 1981-2002

Como se menciona líneas arriba, se delimito una sub-área hacia el interior del área original, con el fin de aprovechar los mapas de las tres fechas que se realizaron; de este modo se procedió a recortar la información que tenían los mapas de las fechas ya mencionadas con este nuevo limite. Como la tercera fecha aún contenía nubes, éstas fueron extraídas y con ellas se generó un archivo con el cual se elaboró una máscara para las dos primeras fechas; con esto se pretendió que los tres archivos tuvieran la misma superficie.

Posteriormente se elaboraron los mapas de cambio y tipo de cambio para los periodos 81-93, 93-02 y 81-02, para ello se utilizaron los operadores de condición y comparación anteriormente descritos, y una vez que se tuvieron todos los mapas se extrajeron los valores estadísticos necesarios para calcular el cambio ocurrido para estos periodos.

En el siguiente capítulo se describirán los cambios que ocurrieron durante el periodo 1981-1993, para el área originalmente delimitada; y aquellos que se originaron para los periodos 1981-1993, 1993-2002 y 1981-2002 en la sub-área que se definió posteriormente.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

4.1 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la superposición de los mapas de cubierta y uso del suelo elaborados con anterioridad, los mapas de cambio para los periodos mencionados, una breve explicación del cambio temático en el contenido de cada uno, así como el porcentaje que ocupa cada clase dentro del área de estudio. Además se compara las superficies que presentan las clases en los periodos ya conocidos.

4.2 Mapa de cubierta vegetal y uso del suelo 1981

Fueron identificadas un total de 16 clases mediante técnicas de fotointerpretación, sobre pares estereoscópicos a escala 1:80,000 (ver Figura 4.1), cada nombre de las clases que lo componen se definió de acuerdo con ciertas características que se observaron durante el análisis de las fotografías aéreas y partiendo de la clasificación que llevó a cabo Miranda (1959) para la península de Yucatán.

El área de estudio se encuentra cubierta en su mayoría por Selva Mediana Subperennifolia, este tipo de vegetación se encuentra sobre suelo del tipo rendzina el cual tiene como característica que se desarrolla sobre roca caliza y además es poco profundo, al E y SE de la bahía de Chetumal, establecida también sobre este tipo de suelo, se encuentra la clase Selva Baja Subcaducifolia. Las clases Área Inundable, Área Inundable Cubierta Parcialmente, Área inundable desprovista de vegetación, selva en Área Inundable y Vegetación Acuática Superficial; se localizan sobre suelos de tipo regosol calcárico, los cuales son delgados y se desarrollan sobre material no consolidado, se localizan sobre todo en áreas lacustres.

Por otra parte se tiene que las clases Área de Cultivo, Área desmontada y Área semi-desmontada se presentan en una amplia área al Norte de la ciudad de Chetumal y al Oeste del poblado de Calderitas, es aquí en donde se ha desarrollado más intensamente la actividad agropecuaria. También se encuentran algunas de esas unidades de uso de suelo, aunque en menor grado, en los alrededores del poblado de Majahual, al Noroeste del área de estudio.

Se obtuvo la superficie que ocupa cada clase respecto a la extensión total del área de estudio; además se determinó la clase a la que cambiaron los píxeles en el periodo 1981-2001. El área de estudio tiene una extensión de 3208.8 km², para esta fecha cinco de estas 16 clases ocupan el 78.93% del área total, mismo que se distribuye de la siguiente forma: la Selva Mediana Subperennifolia (**SMsp**) cubre el 39.29% siendo la vegetación que más predomina en el área, le sigue la clase Áreas de Inundación (**AI**) con 13.82%, las clases Selva Baja Subcaducifolia (**SBSc**) y Selva en Área de Inundación (**SAI**) ocupan el 8.76% y, las Áreas de Inundación Cubiertas Parcialmente (**AICp**) presentan el 8.29% de superficie ocupada.

Cabe aclarar que una de las seis clases con mayor superficie corresponde a la que se llamó "**Sin Información**", la cual es una franja de 232.1 km² (7.23%) que no contiene información debido a que el vuelo del año 1981 que se adquirió en INEGI, no tiene línea de vuelo en esa parte. De esta forma las seis clases mencionadas representan el 86.16% de área total, el 13.84% restante está distribuido en las 10 clases restantes (ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Superficie ocupada por clase en el año 1981.

	Clases	km²	%
SMSp	Selva Mediana Subperennifolia	1260.7	39.29
SMSpVS	Selva Mediana Subperennifolia con VS	122.6	3.82
SBSc	Selva Baja Subcaducifolia	281.2	8.76
SAI	Selva en Area Inundable	281.3	8.76
AC	Area de Cultivo	21.2	0.66
ASD	Area Semi-desmontada	75.2	2.34
AD	Area Desmontada	20.9	0.65
VS	Vegetación Secundaria	56.1	1.75
AU	Area Urbana	19.6	0.61
ADV	Area Desprovista de Vegetación	11.9	0.37
AI	Area de Inundación	443.6	13.82
AIDV	Area Inundable Desprovista de Vegetación	10.9	0.34
AICp	Area Inundable Cubierta Parcialmente	265.9	8.29
VASp	Vegetación Acuática Superficial	39.9	1.24
CA	Cuerpo de Agua	65.8	2.05
SinInf	Sin Información	232.1	7.23
	Total	3208.8	100

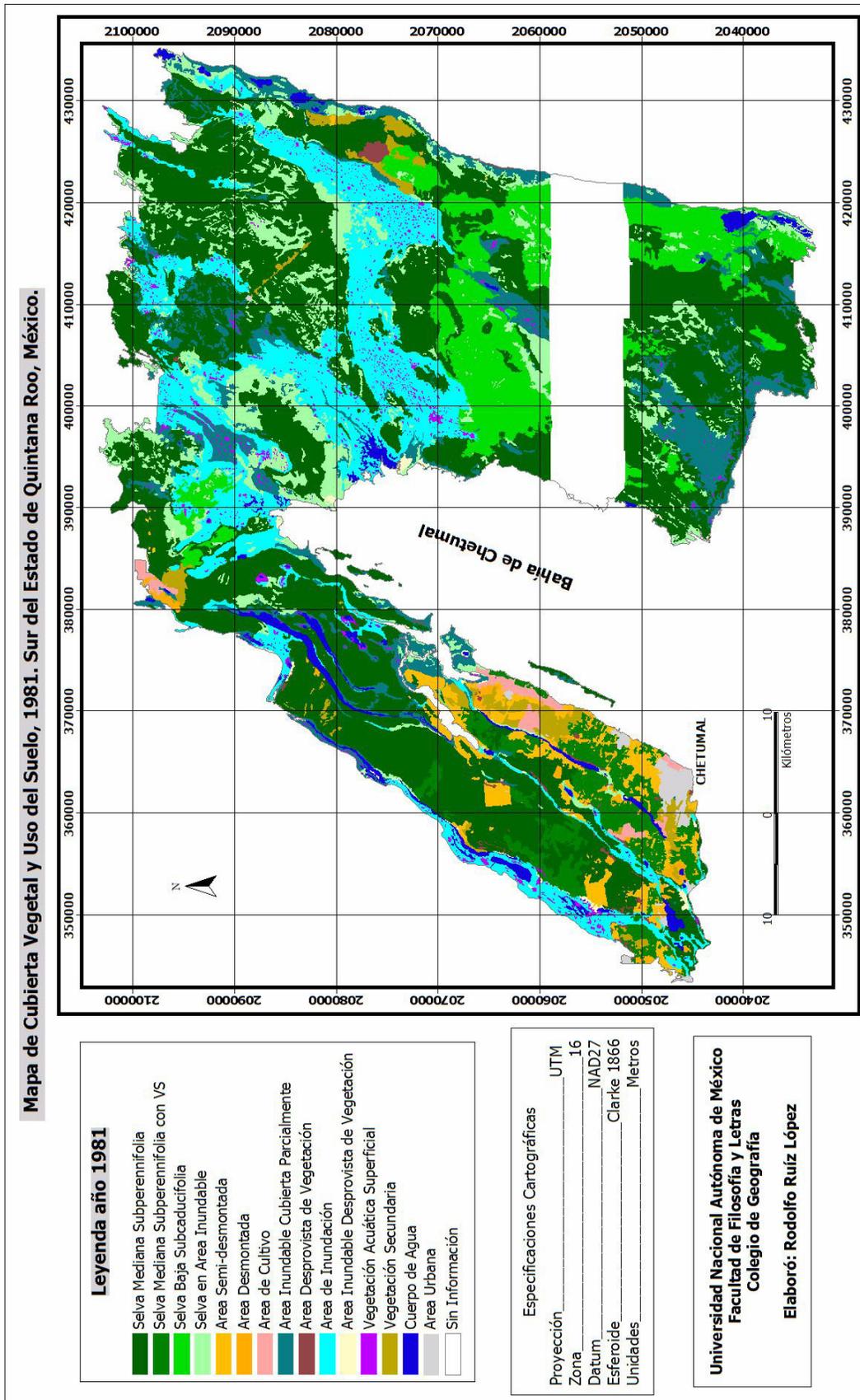


Figura 4.1 Mapa de cubierta vegetal y uso del suelo para el año 1981.

4.3 Mapa de cubierta vegetal y uso del suelo 1993

La segunda fecha de este trabajo fue obtenida a partir de una clasificación supervisada de la imagen Landsat TM, resultando el mapa de cubierta vegetal y uso del suelo del año 1993 (ver Figura 4.2). Fueron definidas 12 clases en total, la presencia de las comunidades vegetales y los diferentes usos de suelo coinciden en su totalidad con los rasgos edáficos y geológicos. En esta fecha la temporalidad jugó un papel importante, fue registrada en el mes de abril, en temporada de secas; lo que provocó que aquellos tipos de vegetación que se desarrollan en áreas sujetas a inundación tuvieran una disminución importante en cuanto al porcentaje del área que cubren.

Para esta fecha solamente cuatro clases ocupan la mayor parte del área total (83.37%), siendo la clase Selva Mediana Subperennifolia (**SMSp**) aquella con mayor extensión, pues ella sola cubre el 56.39% del área total, ocupando 1,809.3 km². Las tres clases que le siguen, de acuerdo con el porcentaje de superficie ocupado son: la Selva Baja Subcaducifolia (**SBS**) con 9.64%, la clase Área Inundable Desprovista de Vegetación (**AIDV**) con 9.44% y, la clase Área de Inundación (**AI**) con 7.91% del área total, el 16.63% restante se distribuye en entre las 68 clases restantes (ver Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Superficie ocupada por clase en el año 1993.

	Clases	km ²	%
SMSp	Selva Mediana Subperennifolia	1809.3	56.39
SBS	Selva Baja Subcaducifolia	309.2	9.64
SAI	Selva en Area Inundable	91.9	2.87
AC	Area de Cultivo	64.3	2.00
ASD	Area Semi-desmontada	29.0	0.90
VS	Vegetación Secundaria	27.1	0.84
AUI	Area Urbana e Infraestructura	30.6	0.95
AICp	Area Inundable Cubierta Parcialmente	146.3	4.56
AIDV	Area Inundable Desprovista de Vegetación	303.1	9.44
AI	Area de Inundación	253.7	7.91
VASp	Vegetación Acuática Superficial	37.8	1.18
CA	Cuerpo de Agua	93.3	2.91
SinClas	Sin Clasificar	13.2	0.41
	Total	3208.8	100

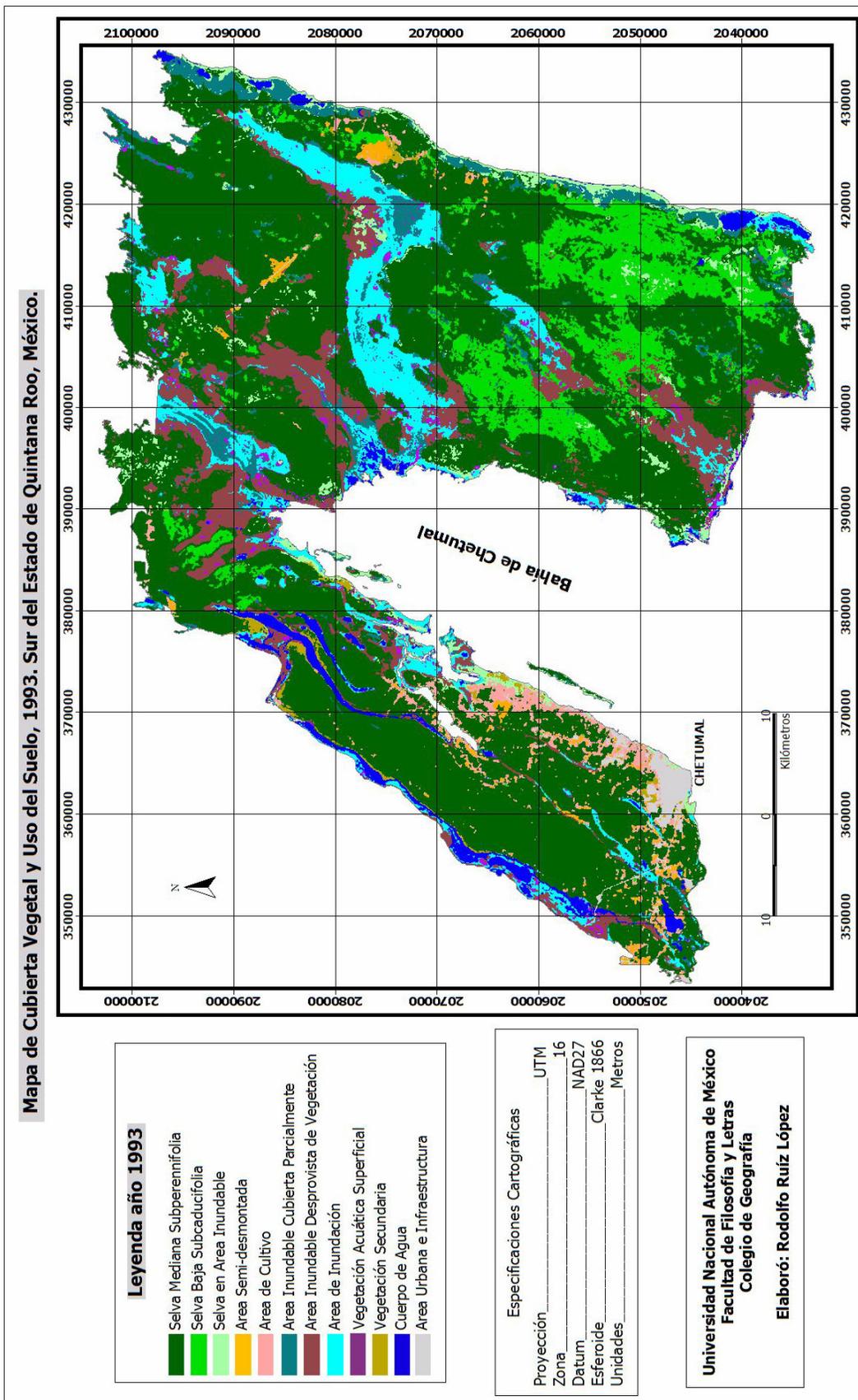


Figura 4.2 Mapa de cubierta vegetal y uso de suelo para el año 1993.

4.4 Mapa de cubierta vegetal y uso del suelo 2002.

El mapa de cubierta vegetal y uso del suelo del año 2002 (ver Figura 4.3) se obtuvo de la clasificación supervisada de una escena Landsat ETM+ con fecha de toma de diciembre de 2001. El periodo de en el que el sensor hizo la toma de la imagen, es después de la temporada de lluvias (diciembre), mediante esta clasificación se lograron discriminar un total de 13 clases, de las cuales, cuatro son las que tienen mayor presencia dentro del área de estudio. Esta fecha tuvo como inconveniente la presencia de nubes y sombras en buena parte del área de estudio, aún así se generó el mapa, además en la parte que corresponde al norte de la ciudad de Chetumal, la cantidad de nubes no es significativa y pudo ser utilizada para un análisis de cambio considerando las tres fechas.

La clase que predominó, de nueva cuenta es la Selva Mediana Subperennifolia (**SMSp**), la cual tiene una extensión de 1,014.3 km² mismo que representa el 31.61% del área total. Para esta fecha se establecieron las clases Sombras (**SOM**) y nubes (**NUB**) debido a que buena parte de la imagen se encontraba cubierta por ellas; de esta forma se tiene que el porcentaje de superficie que ocupan estas dos clases es de 13.78% y 15.90% respectivamente. La cuarta clase con un porcentaje importante de superficie ocupada es la Selva Baja Subcaducifolia (**SBSsc**), la cual tiene 351.0 km² de extensión, los cuales representan el 10.94% el área total. Estas cuatro clases representan el 72.23% del total, el resto (27.67%) se distribuye entre las otras ocho clases (ver Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Superficie ocupada por clase en el año 2002.

	Clases	km²	%
SMSp	Selva Mediana Subperennifolia	1014.3	31.61
SBSsc	Selva Baja Subcaducifolia	351.0	10.94
SAI	Selva en Area Inundable	227.6	7.09
AC	Area de Cultivo	18.7	0.58
ASD	Area Semi-desmontada	28.5	0.89
VS	Vegetación Secundaria	77.9	2.43
AUI	Area Urbana e Infraestructura	32.0	1.00
AICp	Area Inundable Cubierta Parcialmente	127.1	3.96
AIDV	Area Inundable Desprovista de Vegetación	211.2	6.58
AI	Area de Inundación	88.5	2.76
CA	Cuerpo de Agua	69.9	2.18
NUB	Nubes	510.1	15.90
SOM	Sombras	442.2	13.78
SinClas	Sin Clasificar	9.8	0.30
	Total	3208.8	100

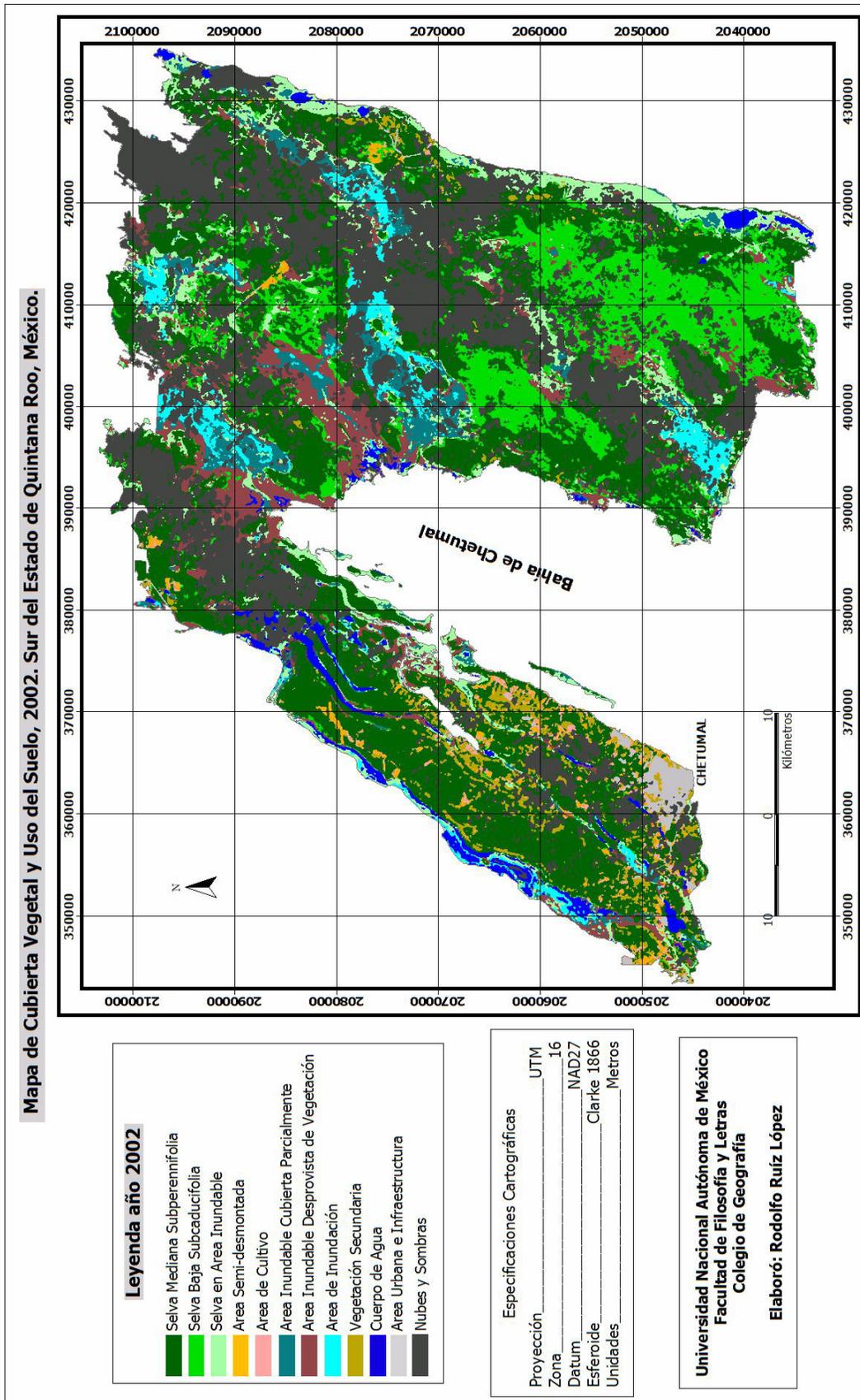


Figura 4.3 Mapa de cubierta vegetal y uso de suelo para el año 2002.

4.5 Mapa de cambio para el periodo 1981-1993

Una vez obtenidos los tres mapas se procedió a elaborar el mapa de cambio de vegetación y uso de suelo tomando en cuenta únicamente las dos primeras fechas; debido a que la tercera de estas fechas se encuentra cubierta por una franja amplia de nubes y sombras se decidió no utilizarla para la elaboración de este primer mapa de cambio general. De esta forma se obtuvo el mapa representado en la Figura 4.4.

De acuerdo con lo anterior, el porcentaje del área que presentó cambio durante los 12 años que comprenden el periodo 1981-1993 (ver Tabla 4.4), fue de 42.14% del área total, lo que representa 1352.3 km². Esto indica que menos de la mitad de la superficie que corresponde al área de estudio presentó algún cambio durante este periodo, cabe suponer que existieron diversas causas que motivaron parte de estos cambios; mismas que se explicarán al final del capítulo.

Tabla 4.4. Superficie en el periodo 1981-1993.

Clase	Area en m ²	%	Area en km ²
Sin cambio	1856530390	57.86	1856.5
Con cambio	1352269245	42.14	1352.3
Totales	3208799635	100	3208.8

Después de haber determinado la superficie general que presentó cambio en el periodo 1981-1993, se procedió a agrupar las clases con el fin de definir si la cubierta forestal tuvo cambios o no durante el periodo mencionado. Los grupos que se formaron son cuatro: forestal, no forestal, perturbada y otras cubiertas. La tabla 4.5 muestra cuales clases fueron incluidas en los grupos mencionados.

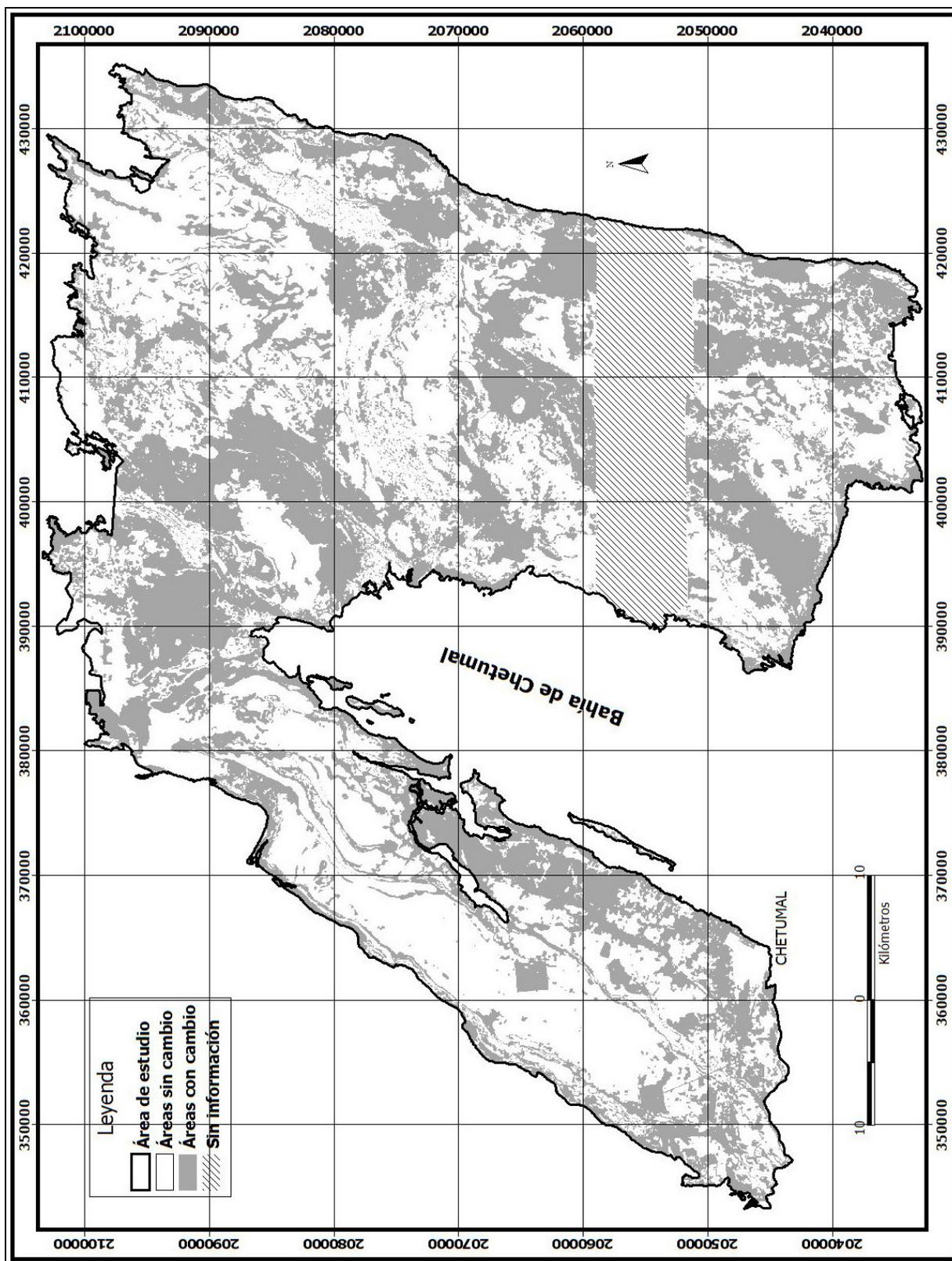


Figura 4.4 Mapa cambio correspondiente al periodo 81-93.

Tabla 4.5 Grupos y clases que los integran.

Grupo	Clase
Forestal	Selva en área inundable Selva mediana subperennifolia Selva baja subcaducifolia Área inundable cubierta parcialmente
No forestal	Área de cultivos Área urbana Área semi-desmontada
Perturbada	Vegetación secundaria
Otras cubiertas	Área de inundación Área inundable desprovista de vegetación Cuerpos de agua

Los grupos mencionados fueron establecidos a partir de las características y atributos de cada una de las clases de la leyenda y se utilizaron tanto para el área de estudio original como para la sub-área delimitada posteriormente. De esta forma se tiene que todas las cubiertas arbóreas fueron agrupadas como "forestal", y las clases que indican un uso del suelo presente en el área de estudio, se agruparon como "no forestal". La clase vegetación secundaria se agrupó como "perturbada", la cual, se refiere a sitios en donde se presenta vegetación de tipo arbóreo y herbáceo que en algún momento fueron utilizados para algún tipo de actividad humana, es decir, no es propiamente selva y tampoco tiene un uso en el momento en que fueron tomadas las fotografías aéreas y la imagen de satélite. Finalmente están las clases que tienen un atributo relacionado con la presencia permanente o no de agua, las cuales fueron agrupadas como "otras cubiertas".

Los cuatro grupos mencionados se pueden observar en la Figura 4.5, mismos que se refieren a los mapas de antes y después durante el periodo 1981-1993 para el área originalmente delimitada. Posteriormente fueron calculados los cambios que sufrieron en sus superficies (ver tabla 4.6).

Tabla 4.6 Cambios en la superficie de las clases agrupadas.

Clase 81-93	Area km² 1981	Area km² 1993	Cambios km²
Forestal	885.0	835.6	49.4
No forestal	117.0	92.6	24.4
Otras cubiertas	296.6	406.4	-109.8
Perturbada	53.7	17.7	35.9
Total	1352.3	1352.3	

El grupo denominado forestal redujo su superficie 49.4 km², lo que representa una pérdida del 5.6% de la superficie que cubría en el año 1981. El siguiente grupo, llamado no forestal tuvo una pérdida de 24.4 km² en su superficie, el cual representa el 20.9% de la superficie que presentaba en el año 1981; asimismo el grupo llamado otras cubiertas aumentó la superficie sobre la que se encuentra presente, la cual pasó de 296.6 km² en el año 1981 a 406.4 km² para el año 1993. Finalmente el grupo al cual se llamó perturbada redujo su superficie 35.9 km² durante este periodo.

Como se observa en los resultados, tres de los cuatro grupos redujeron sus superficies y uno la aumentó durante los doce años que comprende este periodo. Los motivos que explican estos cambios son la diferencia en los periodos en los que fueron tomados los insumos de ambas fechas; post-lluvias para el año 1981 y secas para el año 1993. De esta forma la diferencia en la superficie que cubren los cuerpos de agua y en las áreas de inundación durante la segunda fecha, provocó variaciones en la superficie que cubren los demás grupos.

Por otro lado, la superficie que perdió el grupo forestal posiblemente se debió a que las áreas que en algún momento fueron dedicadas para cultivo en el transcurso de doce años dejaron de utilizarse con esos fines, lo que provocó el crecimiento de vegetación arbórea. Asimismo, el crecimiento de las áreas urbanas que de acuerdo a los datos, para el año 1981 la superficie que cubrían estas áreas fue de 4.46 km² mientras que para el año 1993 la superficie de las mismas aumentó a 15.69 km², es decir incremento su superficie en un 352%; ganando superficie al terreno que ocupaban las clases que integran este grupo, área de cultivo y áreas semi-desmontadas.

Finalmente hay que observar que en el norte de la ciudad de Chetumal durante el año 1981, existían extensas áreas que presentaban vegetación secundaria, estas áreas para el año 1993 cambian de forma radical hacia al grupo forestal y algunas otras hacia el grupo que se refiere a áreas perturbadas. La razón de este cambio se encuentra en el hecho de que la vegetación secundaria que se tenía en 1981 tuvo 12 años para aumentar en su desarrollo, de esta forma durante la clasificación, los pixeles de esos sitios reflejaron hacia el sensor una actividad fotosintética muy similar a la reflejada por la comunidades de selva impidiendo la discriminación entre esas clases.

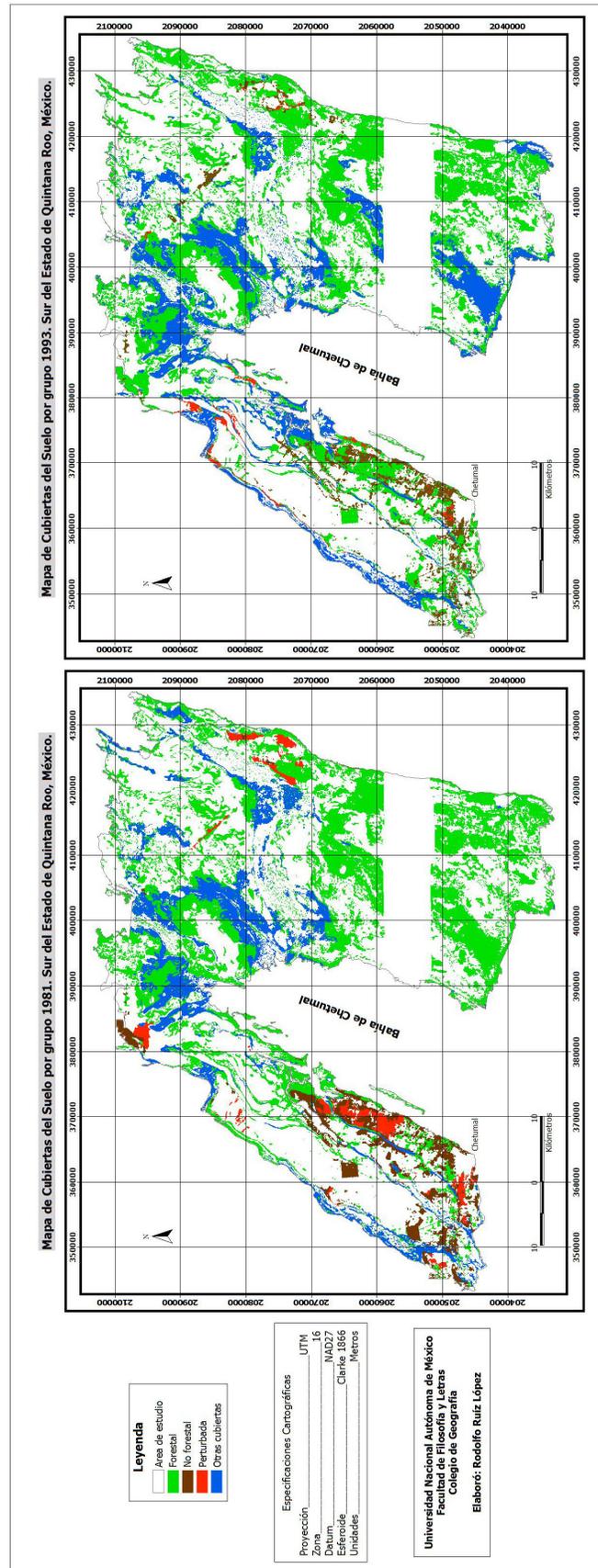


Figura 45 Mapas de la superficie ocupada por grupo para el periodo 81-93.

4.6 Tipo de cambio en el periodo 1981-1993

Se elaboró una lista con los tipos de cambio que tuvieron lugar en este periodo, para todos fueron determinados sus porcentajes con el fin de conocer de forma más específica cuales fueron esos cambios. De acuerdo al porcentaje de cambio en cada caso, se optó por tomar en cuenta aquellos cuyo porcentaje fuera mayor al 1%, de esta forma se encontró que 20 tipos de cambio engloban el 86% del total de la superficie que cambió, 31 tipos que representan el 12.45% y 57 tipos de cambio que no son representativos pues juntos suman apenas el 1.37% de los cambios que se originaron.

Los tipos de cambio que se presentaron en total son 108, estos se muestran en la figura 4.6, en la cual, la leyenda se refiere a la clase hacia la que cambiaron al termino del periodo mencionado. Del total de esos cambios, 20 se encuentran entre el 1 y el 12.97% (ver Tabla 4.5), el resto tienen porcentajes que están entre el 0% y 0.88%. Los cambios a los que se hará referencia en adelante serán los 20 tipos que resultaron más representativos.

Tabla 4.5 Tipos de cambio mayores al 1%.

# de pixeles	Tipo de cambio	km ²	%
29812	SMSp-AC	24.22	1.79
48693	SMSp-SAI	39.56	2.93
98323	SMSp-SBSc	79.87	5.91
196424	SBSc-SMSp	159.57	11.80
28013	SAI-AI	22.76	1.68
36043	SAI-AICp	29.28	2.17
32072	SAI-AIDV	26.05	1.93
31848	SAI-SBSc	25.87	1.91
211247	SAI-SMSp	171.61	12.69
57097	AICp-AI	46.38	3.43
86428	AICp-AIDV	70.21	5.19
31728	AICp-SAI	25.77	1.91
72174	AICp-SMSp	58.63	4.34
26636	ASD-AC	21.64	1.60
78603	ASD-SMSp	63.85	4.72
29476	AI-SMSp	23.95	1.77
17540	AI-Agua	14.25	1.05
62099	AI-AICp	50.45	3.73
215972	AI-AIDV	175.45	12.97
44405	VegSec-SMSp	36.07	2.67

Algunos de estos cambios se refieren a las características propias de la cubierta, como la clase área de inundación (AI); los valores sombreados se refieren a los tipos de cambio más altos.

4.6.1 Cambio de área de inundación (AI) hacia otros

Las áreas de inundación (AI) se encuentran condicionadas a los procesos hidrológicos propios de las zonas costeras, a la temporada de lluvias, así como a las características topográficas del terreno; debido a esto los cambios en la cubierta vegetal que se presentan en estas áreas, en su totalidad son de carácter natural. Dentro del área de estudio, en específico aquellos lugares en donde los desniveles en la topografía dan lugar a sitios inundables fueron cuatro los cambios presentados, la clase Área de Inundación (AI) cambió a las clases "agua" (CA), "área inundable cubierta parcialmente" (AICp), "área inundable desprovista de vegetación" (AIDV) y "selva mediana subperennifolia" (SMSp).

AI-Agua. Este cambio se presentó en su mayoría en las orillas de la laguna de Bacalar y la bahía de Chetumal, debido sobre todo, a la hidrodinámica que presenta la bahía. Además de que en la temporada de lluvias estos cuerpos tienden a aumentar su nivel provocando dichos cambios. **AI-AICp.** Se presenta en algunas de las áreas de inundación cercanas al río Hondo y aquellas que se encuentran en el lado este del área de estudio. Tiene como característica principal la presencia de manchones de vegetación debido al tipo de suelo y a que en estas áreas la presencia de agua es estacional. **AI-AIDV.** Se dan en la parte sur de la laguna Bacalar, al norte de la bahía de Chetumal y en las áreas de inundación que se encuentran al este de la bahía, en áreas con ausencia total de vegetación. **AI-SMSp.** Este cambio se encuentra distribuido en las áreas cercanas a zonas que se inundan en temporada de lluvias y cuya vegetación adyacente es de Selva Mediana Subperennifolia, la cantidad de píxeles que tienen este tipo de cambio no son extensos y específicamente se refieren a los diferentes periodos de cada una de los mapas; lluvias para 1981 y secas para 1993.

4.6.2 Cambio de área inundable cubierta parcialmente (AICp) hacia otros

Los cambios que presentó la clase área inundable cubierta parcialmente (AICp) son de cuatro tipos; este cambio también tiene que ver con los procesos hidrodinámicos motivados por la presencia de lluvias en el año 1981 y la ausencia de la misma para el año 1993. Cabe recordar que esta clase fue establecida de acuerdo con ciertos criterios para diferenciarla de la clase selva en área inundable (SAI) y la clase área inundable desprovista de vegetación (AIDV). Las variantes que se encontraron para esta clase son las siguientes:

AICp–AI. Se encuentran en la línea de costa por la desembocadura de la laguna Guerrero, en las áreas de inundación al este y norte de la bahía y en algunas porciones de la laguna Bacalar; su presencia se dá en aquellas áreas en donde la vegetación que existe no tiene una presencia permanente. **AICp–AIDV.** Se localizan en áreas de inundación aunque los diferencia el periodo del año en que se presentan y la presencia y ausencia de algún tipo de cubierta.

AICp–SAI. Se encuentran sobre la línea de costa del Caribe y en algunas partes bajas cercanas a la bahía de Chetumal, estos sitios son producto de la presencia de manchones de vegetación de dimensión considerable, se localizan sobre todo en bajos o “akalche” y en la costa noreste de la bahía de Chetumal. **AICp – SMSp.** Se encuentran en su mayoría al NE de la bahía y en menor proporción al E de la ciudad de Chetumal y al N de laguna Guerrero.

4.6.3 Cambio de área semi-desmontada (ASD) hacia otros

Para este tipo de cambio solamente se presentaron dos variables, la clase área semi-desmontada tuvo un cambio hacia área de cultivos (AC) y hacia selva mediana subperennifolia (SMSp). En el primer caso se debe a que en el año 1981 esos sitios se encontraban en descanso, desmontados y/o los estaban preparando para la introducción de algún tipo de cultivo por lo que en el año 1993 estas áreas se encontraban cultivadas.

En lo que se refiere a la segunda variante, el cambio de ASD hacia la clase selva mediana subperennifolia (SMSp), se tiene que durante la fase de etiquetado de los polígonos de la primera fecha, se estableció la clase selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria (SMSp-VS) gracias a que la resolución espacial de las fotografías aéreas ayudó a tener mayor detalle en la fotointerpretación de los rasgos. En el mapa de la segunda fecha se omitió esa clase debido a la resolución espacial de la imagen de satélite y a que, durante la colecta de muestras en la fase de entrenamiento, en esos sitios la confusión entre firmas espectrales era amplia y los resultados no eran los esperados. De esta forma se piensa que ese tipo de cambio debió referirse en realidad a que los pixeles de la clase área semi-desmontada cambiaron hacia una asociación entre selva mediana subperennifolia y vegetación secundaria.

ASD–AC. Se encuentran localizados al norte de la bahía de Chetumal y al este de laguna Bacalar, justamente en el área agrícola que se ve influenciada por los poblados de Calderitas, Raudales,

Laguna Guerrero y la ciudad de Chetumal, además de algunas otras localidades menores cuya actividad económica es la extracción de madera, la agricultura y ganadería. **ASD-SMSp**. Se localizan en áreas que anteriormente fueron ASD, y que pudieron presentar durante doce años cierta regeneración. Así es que la etiqueta que se debió usar era VS para que existiera coherencia entre la primera y segunda fecha. Ahora bien, se puede pensar que estas áreas en un periodo de 12 años tuvieron descanso y esto permitió que se desarrollara una vegetación de acahual con un desarrollo importante combinado con selva mediana.

4.6.4 Cambio de selva en área inundable (SAI) hacia otros

Los sitios que tienen este tipo de cambio son aquellos que bordean las áreas de inundación, mismas que están claramente influenciadas por la presencia y ausencia de lluvias y, además por procesos hidrodinámicos que son más marcados durante la época de lluvias.

SAI-AI. Este tipo de cambio como ya se mencionó está influenciado por procesos hidrodinámicos y estacionales, se localizan al N y NE de la bahía de Chetumal y a lo largo de la costa del Caribe aunque en menor proporción. **SAI-AICp**. Se encuentran en algunos sitios a lo largo de la costa del mar Caribe y en una zona de gran influencia por procesos hidrodinámicos; al NE de la bahía de Chetumal.

SAI-AIDV. Se localizan al norte de la bahía, en la porción media del extremo este del área de estudio. Su presencia tendría origen en una confusión en las firmas espectrales recabadas durante la fase de entrenamiento de la imagen de la segunda fecha. **SAI-SBSc**. Al igual que el tipo de cambio anterior la confusión en las firmas espectrales pudo haber jugado un papel importante para que se presentaran. Se encuentran al Norte de la bahía y en la porción Sureste del área de estudio; a un costado de áreas inundables. **SAI-SMSp**. Localizados al noreste del área de estudio en un área claramente influenciada por bajos. Estos cambios también se deben a la diferencia de épocas de los insumos y a la diferencia de métodos utilizados en el trabajo.

4.6.5 Cambio de selva baja subcaducifolia (SBSc) hacia otros

En este caso el tipo de cambio que se presentó fue de **SBSc–SMSp**, el cual, se debe en realidad a los diferentes criterios y métodos utilizados para la preparación de los mapas de vegetación y uso del suelo. Hay que recordar que las fotografías aéreas, a diferencia de las imágenes de satélite, permitieron tener una mejor resolución espacial que se vio reflejada al momento de analizar visualmente los dos insumos y, posteriormente en un mejor detalle en cuanto a la cantidad y calidad de elementos que se delimitaron. Estos sitios localizados en la parte Este del área de estudio y al Norte de la bahía en menor proporción.

4.6.6 Cambio de selva mediana subperennifolia (SMSp) hacia otros

Estos cambios se presentan por tres motivos: el primero de ellos debido a la acción del hombre mediante el desmonte de áreas que se destinaron a la agricultura, el segundo se debió a factores naturales como la presencia y ausencia de lluvias en las dos fechas y el último, es producto de los criterios en el etiquetado y los métodos utilizados en la generación de los mapas base. Las variantes que se presentan son las siguientes:

SMsp–AC. Este tipo de cambio se presenta al norte de la ciudad de Chetumal y el poblado de Calderitas, así como a lo largo de la carretera que lleva de Chetumal a Laguna Guerrero y, adelante del poblado llamado Raudales. **SMsp–SAI.** Se localiza en áreas de inundación y en la Isla Tamalcab, su origen ya se mencionó líneas arriba. **SMsp–SBSc.** Se localizan en la parte este del área de estudio y al norte de la bahía en menor proporción.

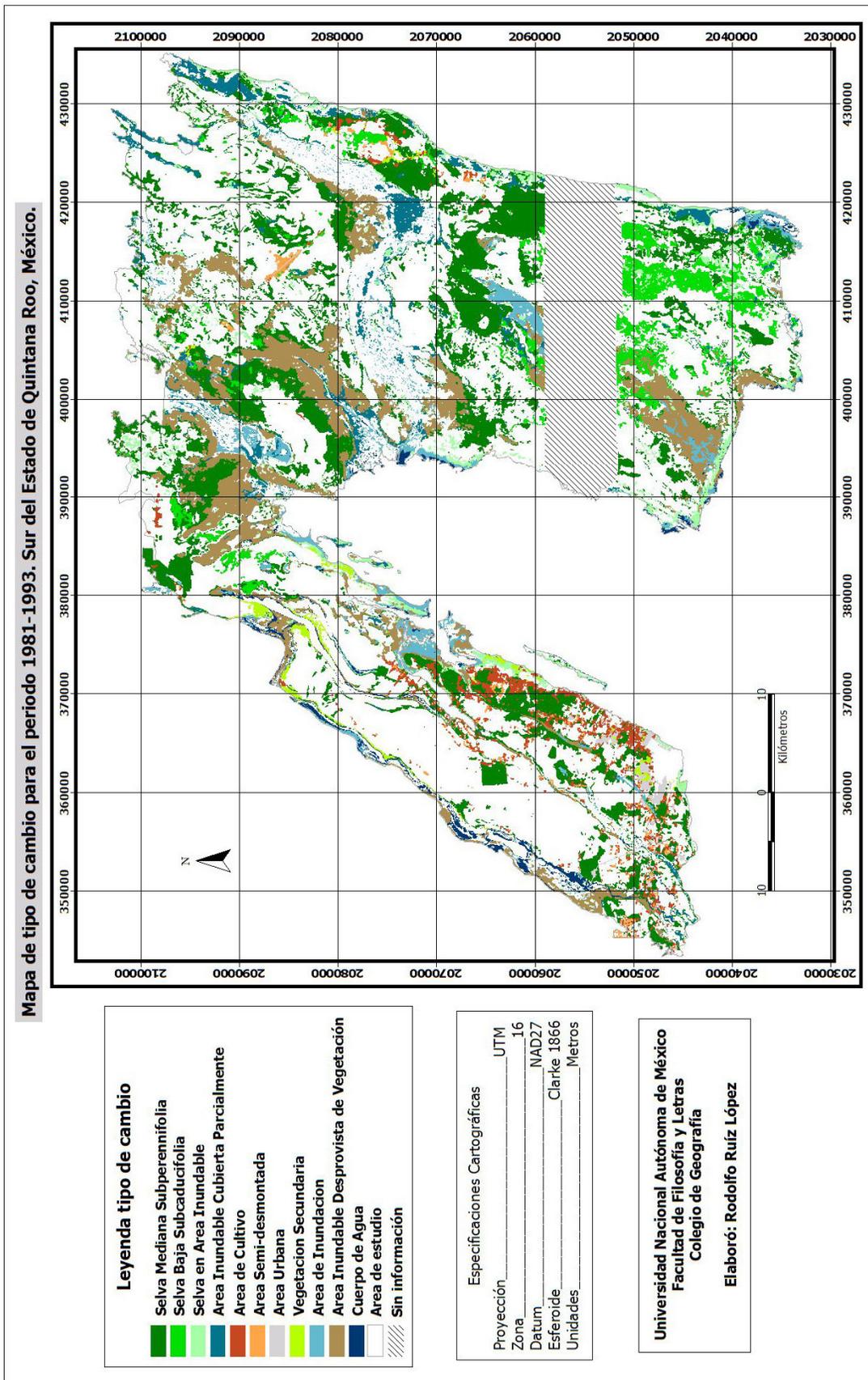


Figura 4.6 Tipo de cambio para el periodo 1981-1993.

4.7 Evaluación de cambio en la Sub-área de estudio

Históricamente el estado de Quintana Roo ha sufrido la pérdida de importantes volúmenes de maderas motivado por la extracción de este recurso por parte de los pobladores de su territorio. Esta extracción tuvo como área de acción la porción suroeste (SW) del estado, específicamente entre la laguna de Bacalar y la bahía de Chetumal; hablando estrictamente del área de estudio de este trabajo. Muchos fueron los poblados que subsistieron durante mucho tiempo de esta actividad además de otras como la pesca, y más recientemente el turismo.

Chetumal es una de las ciudades que han jugado un papel importante para la modificación del espacio sobre todo hacia el norte de esta, además las localidades de Calderitas, Río Hondo, Laguna Guerrero, han aumentado la superficie sobre la que se asientan ganando terreno ya sea a las áreas forestales o incluso a áreas que anteriormente se utilizaban para alguna otra actividad. Por otro lado, las localidades menores a 100 mil habitantes, aunque no hay evidencia de un crecimiento en su extensión, si se puede mencionar que la cantidad de estas se ha incrementado y que su actividad económica principal es la agricultura y la ganadería en menor proporción; lo cual, sin duda ha motivado que el espacio sobre el que se asientan sea modificado. Por otra parte, con la apertura de los caminos que comunican a las localidades pequeñas en décadas pasadas, se permitió que la madera extraída fuera trasladada con mayor facilidad hacia aquellos lugares –como Río Hondo- en donde ésta era comercializada; las facilidades otorgadas por este tipo de infraestructura estimuló el desmonte de extensiones amplias de selva.

Cabe aclarar que la extracción de madera para su venta no era el único motivo para el desmonte de amplias áreas, la introducción de sistemas agrícolas y el posterior aprovechamiento de esos lugares para la introducción de ganado, también tuvieron mucha influencia en el cambio del espacio. Sin embargo se tiene que decir que las actividades antes mencionadas no son más que el resultado del crecimiento de la población y la necesidad de productos para su desarrollo después de que se llevó a cabo colonización dirigida cuyo objetivo fue proveer a los nuevos colonos de tierras agrícolas e infraestructura.

De esta forma se identificó un área extensa en la cual es evidente el cambio de cubierta que se presentó durante el periodo de 1981 a 2002. A partir de estas características se decidió delimitar una sub-área en la parte oriental del área de estudio general y generar los mapas de cambio y tipo de cambio para los periodos 1981-1993, 1993-2002 y 1981-2002 (ver Figuras 4.7, 4.8 y 4.9).

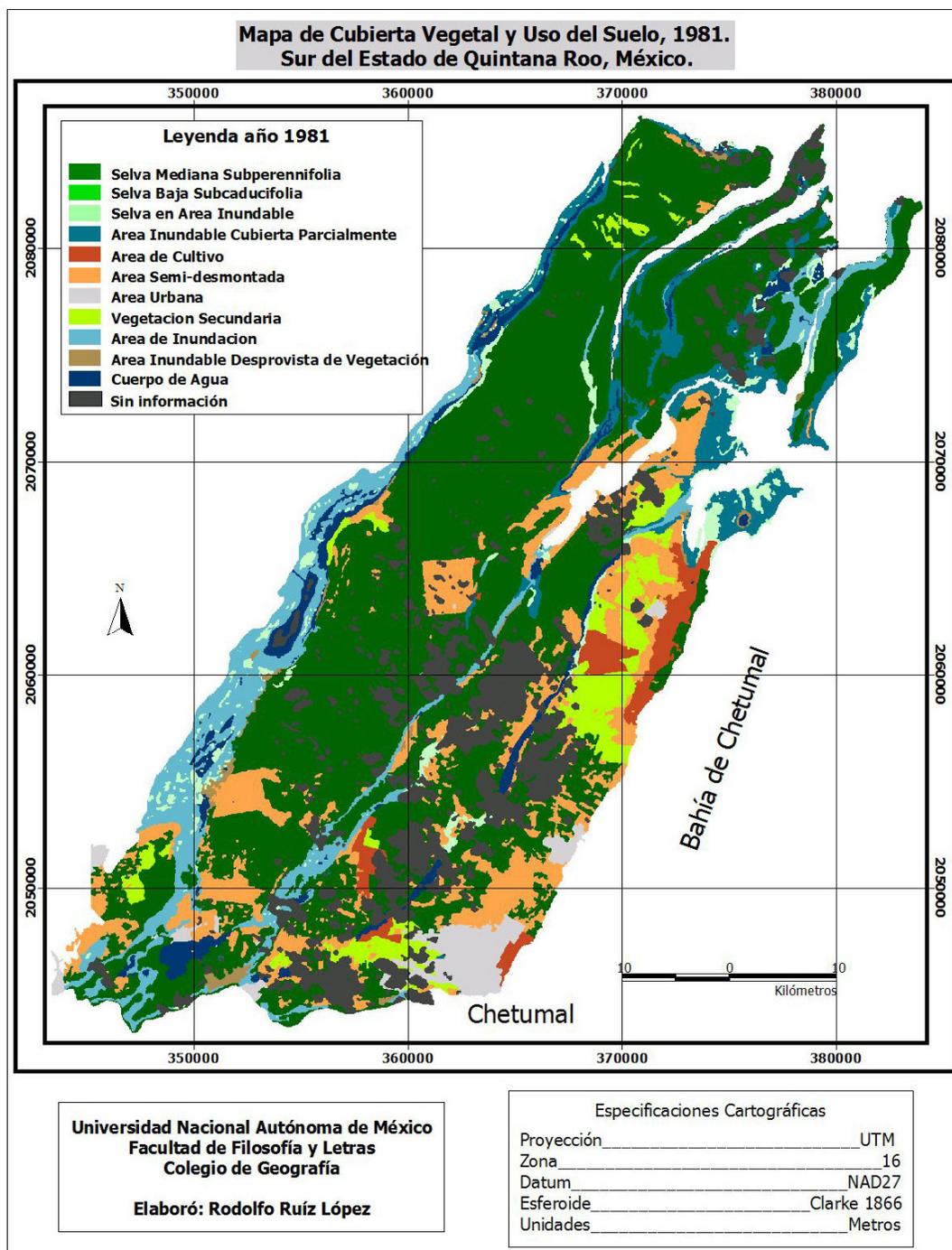


Figura 4.7 Cubierta vegetal y Uso del Suelo en la sub-área de estudio para el año 1981.

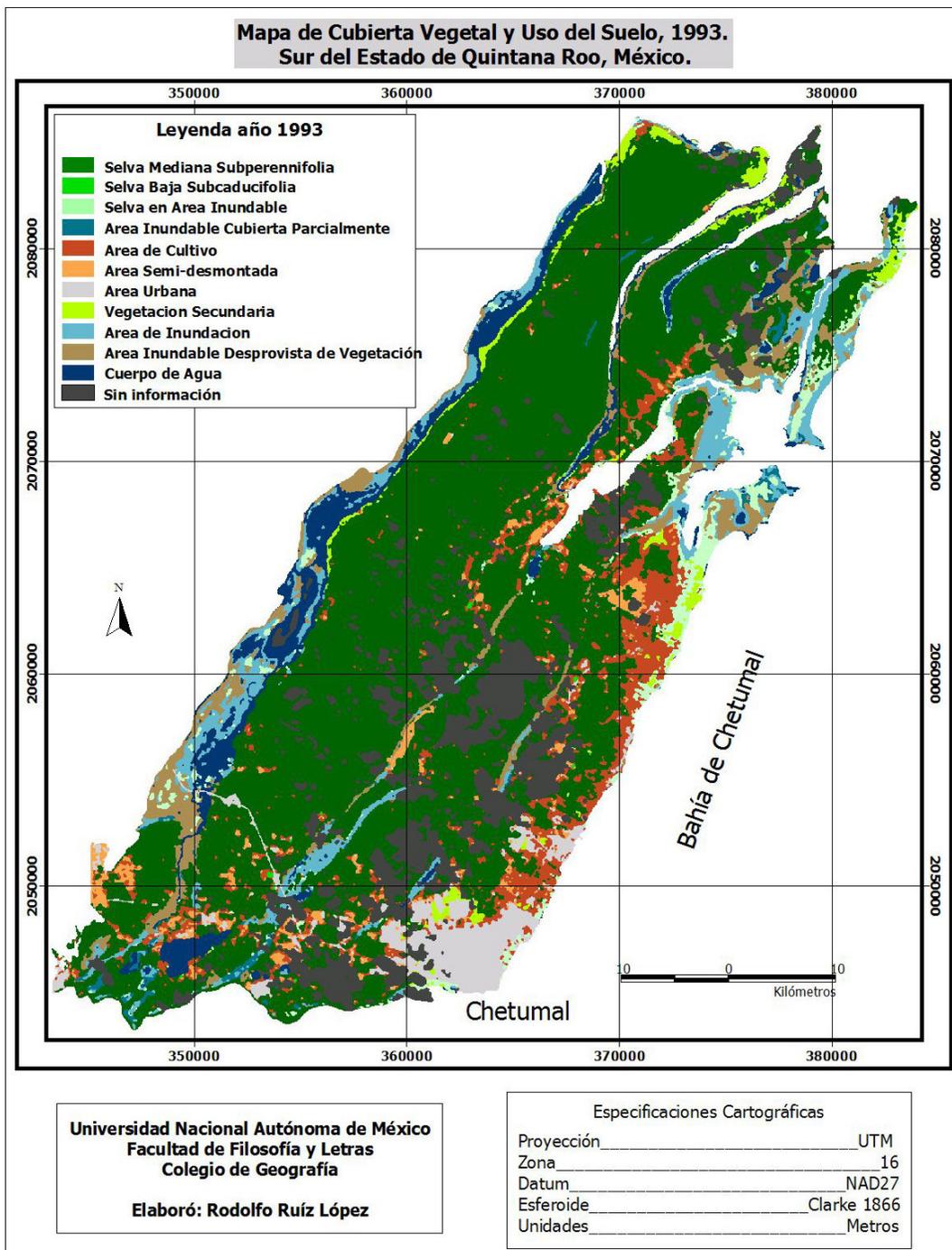


Figura 4.8 Cubierta vegetal y Uso del Suelo en la sub-área de estudio para el año 1993.

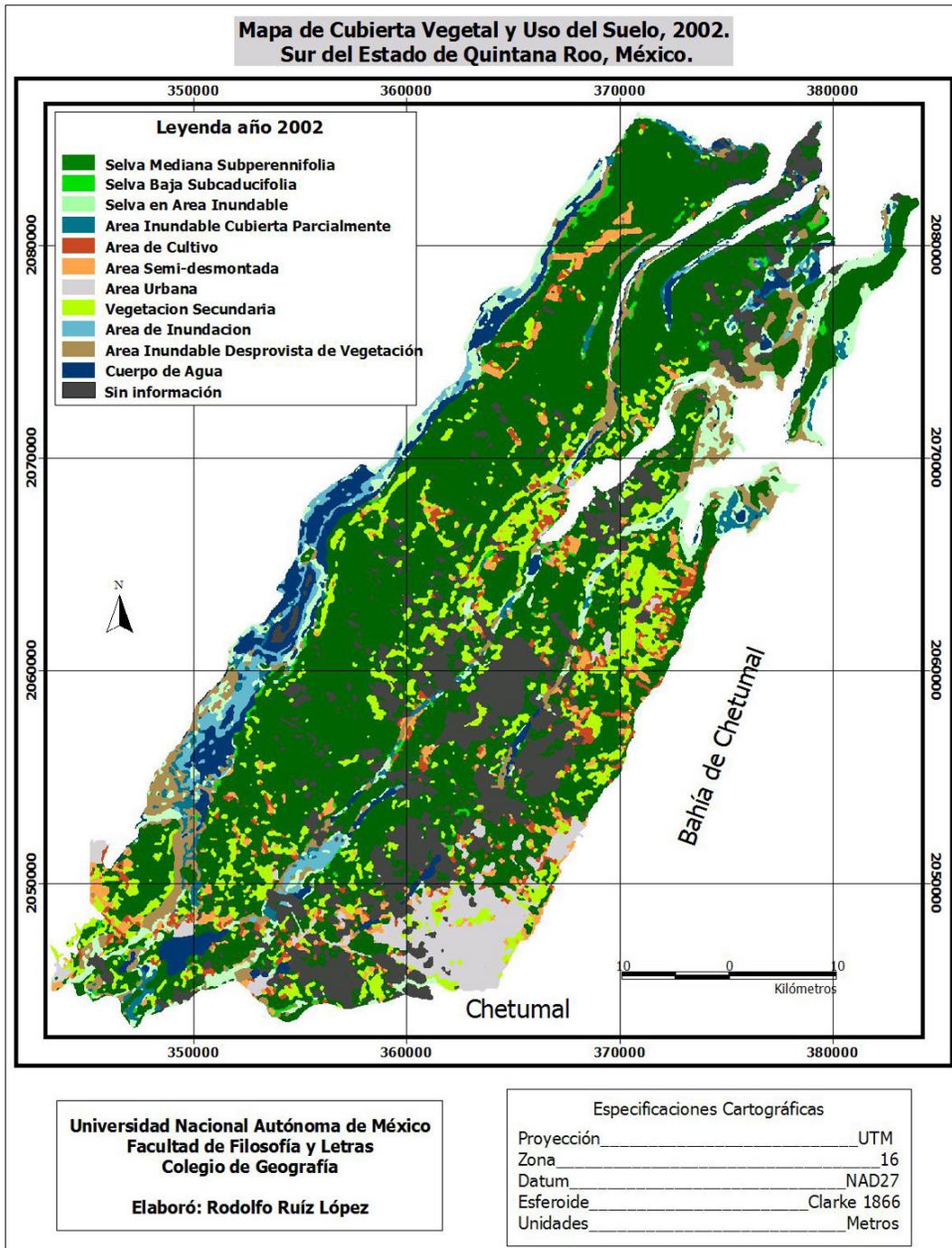


Figura 4.9 Cubierta vegetal y Uso del Suelo en la sub-área de estudio para el año 2002.

A continuación se proporcionan los resultados de cambio obtenidos para los periodos mencionados, en una primera aproximación se agruparon las clases en cuatro grupos de acuerdo a las características propias de cada una de las clases, y en segunda instancia se proporcionan los resultados del tipo de cambio que se obtuvo para cada clase pero solamente tomando en cuenta aquellos que estuvieron por encima del 1% en los tres periodos.

4.8 Resultados para la sub-área de estudio en el periodo 1981-1993

La superficie total de la sub-área es de 645.60 km², de los cuales 263.22 km² presentaron cambio durante el lapso de 12 años que integran este periodo (ver Figura 4.10 y Tabla 4.6).

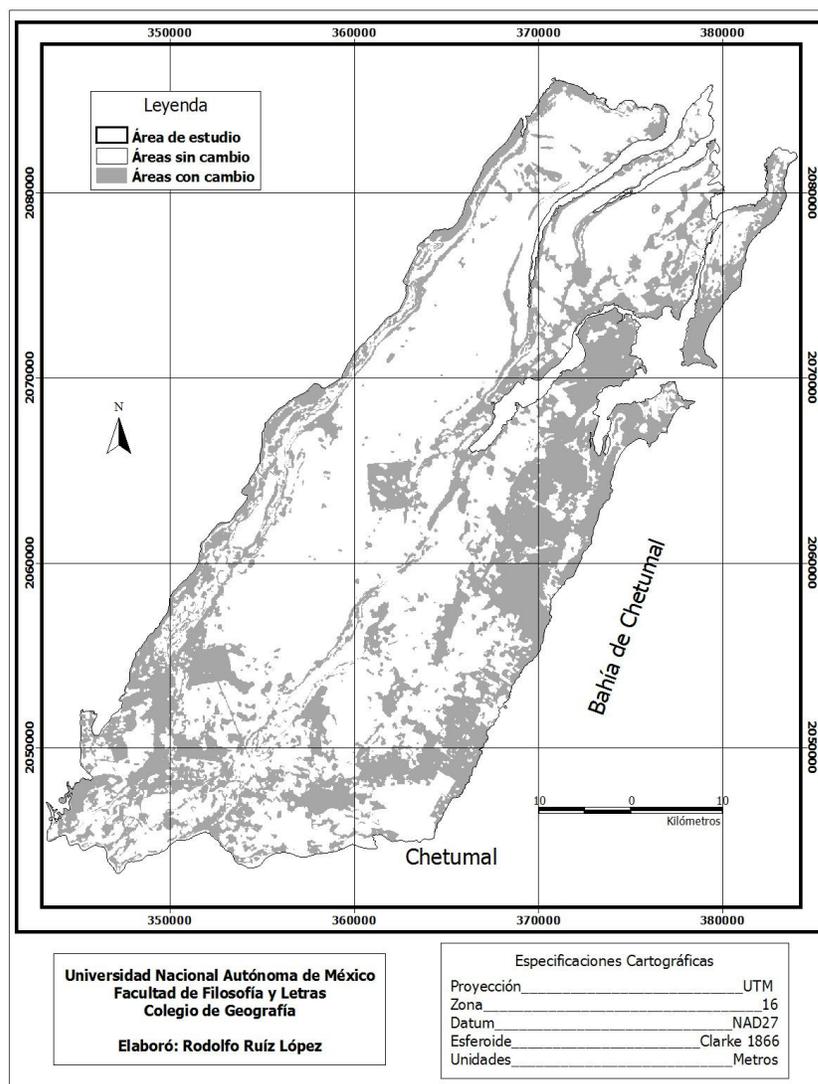


Figura 4.10 Mapa de cambio en la sub-área de estudio para el periodo 81-93.

Tabla 4.6. Superficies en el periodo 81-93 para la sub-área.

Clase	Area en m ²	%	Area en km ²
Sin cambio	382375674.9	59.23	382.38
Con cambio	263220559.8	40.77	263.22
Totales	645596234.7	100	645.60

Los resultados que se obtuvieron con las clases agrupadas en el periodo 1981-1993 muestran que el grupo forestal aumentó su superficie de 95.8 km² a 111.3 km², lo que representa un incremento del 16.2% de su superficie respecto del año 1981. El grupo no forestal en el año 1981 ocupaba una superficie de 91 km², para el año 1993 disminuyó esa superficie en un 29% ocupando 64.6 km².

Por otra parte el grupo llamado otras cubiertas tuvo un aumento en la superficie donde se estableció, durante el año 1981 ocupó 47.9 km², para el año 1993 este grupo cubrió una superficie de 76 km², lo que nos indica el aumento de la misma en 56.7%.

En lo que se refiere al grupo perturbada en el año 1981 este grupo ocupó una superficie de 28.5 km², esta extensión disminuyó para el año 1993 en el cual cubrió solamente 11.4 km²; lo que representa una disminución de esa superficie del 60% respecto del primer año (ver tabla 4.7). La figura 4.11 muestra las diferencias en la superficie que cubren los grupos mencionados.

Tabla 4.7. Resultados por grupo en el periodo 81-93.

Clase 81-93	Area km ² 1981	Area km ² 1993	Cambios km ²
Forestal	95.8	111.3	-15.5
No forestal	91.0	64.6	26.4
Otras cubiertas	47.9	76.0	-28.1
Perturbada	28.5	11.4	17.1
Total	263.2	263.2	

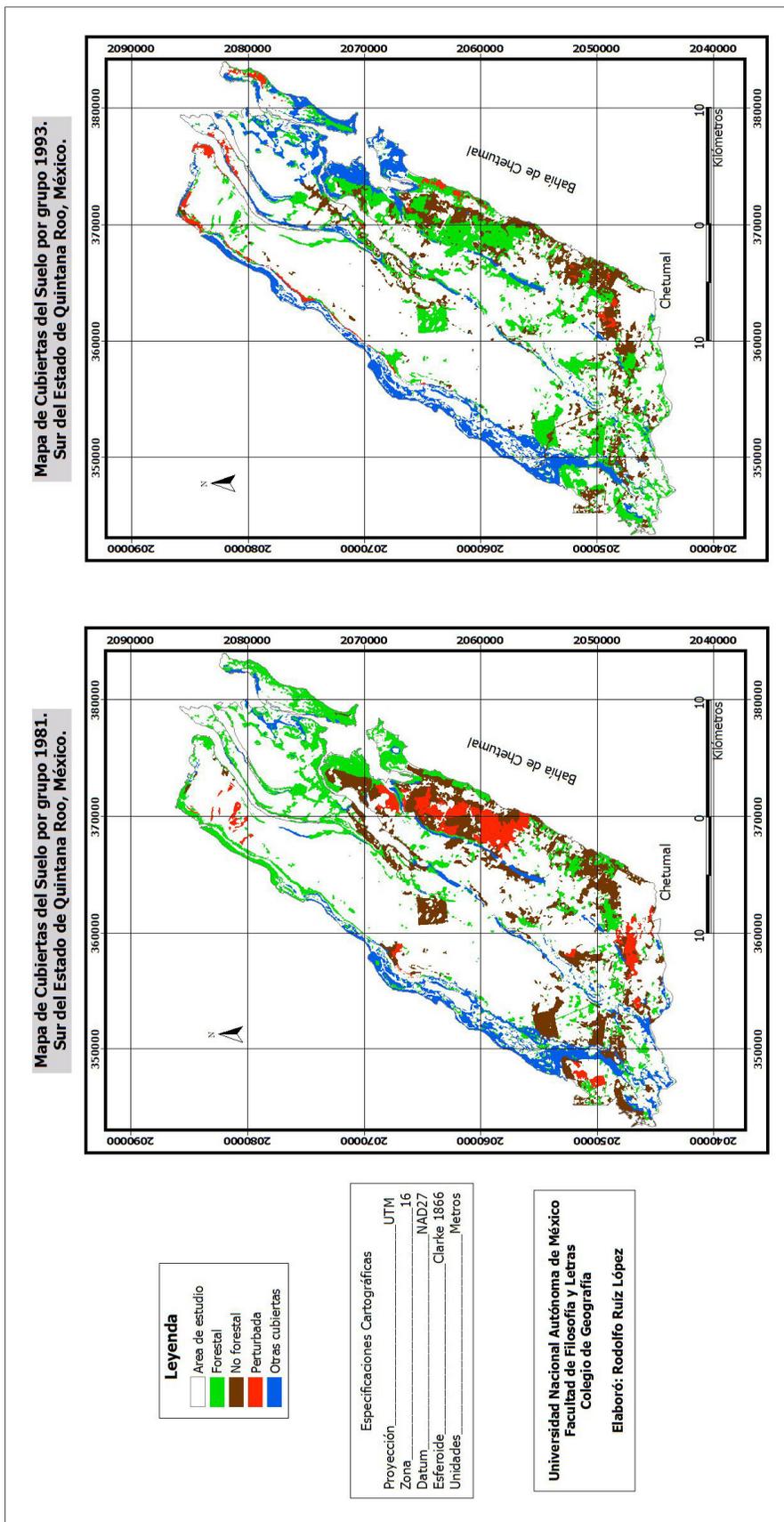


Figura 4.11 Mapas de la superficie ocupada por grupo para el periodo 81-93.

4.9 Tipo de cambio en el periodo 1981-1993

En este periodo se tuvieron 95 diferentes tipos de cambio, los más representativos (mayores al 1%) fueron 22, mismos que en conjunto suman 221.9 km², lo que representa el 84.3% de los cambios ocurridos; el resto de los cambios no fue representativo y corresponden al 15.7% de la superficie que cambio (ver Tabla 4.8).

Los cambios que se observan corresponden a aquellos que tienen su origen con la actividad humana, además algunos otros se deben a diferencias en la temporalidad de los insumos y al detalle que ofrecieron estos; para apreciar en dónde se presentaron éstos, se elaboró el mapa de tipos de cambio para este periodo y se obtuvieron sus estadísticas (ver Figura 4.12).

Tabla 4.8 Tipos de cambio mayores a 1% en el periodo 1981-1993.

Tipo de Cambio	Area km²	%
SMSp-Urbano	5.01	1.90
SMSp-AC	16.04	6.09
SMSp-ASD	5.24	1.99
SMSp-VegSec	8.00	3.04
SMSp-SAI	5.64	2.14
SMSp-AIDV	3.29	1.25
SAI-SMSp	3.94	1.50
SAI-AI	3.04	1.15
AICp-SMSp	6.05	2.30
AICp-AI	12.31	4.68
AICp-AIDV	9.83	3.74
AICp-Agua	4.97	1.89
AC-SAI	3.63	1.38
AC-SMSp	5.58	2.12
ASD-Urbano	3.75	1.43
ASD-AC	17.78	6.75
ASD-SMSp	50.29	19.11
VegSec-AC	6.42	2.44
VegSec-SMSp	17.28	6.56
AI-SMSp	5.34	2.03
AI-AIDV	18.20	6.91
AI-Agua	10.30	3.91
Total	221.9	84.3

Los resultados muestran cambios importantes en siete de las doce clases, estos cambios, al igual que los descritos en apartados anteriores, son producidos por las actividades humanas y por la diferencia de temporalidad entre las dos fechas. A continuación se explicarán cada uno de estos grupos.

4.9.1 Cambio de área de cultivo (AC) hacia otros

Son dos variantes las que se presentan en este caso, corresponden al cambio de área de cultivos (AC) hacia selva en área inundable (SAI) y hacia selva mediana subperennifolia (SMSp). Los dos casos pudieron ser producidos al dejar descansar algunas de las áreas destinadas a cultivos originando un proceso de vegetación secundaria.

4.9.2 Cambio de área inundable (AI) y área inundable cubierta parcialmente (AICp) hacia otros

Estos dos grupos tienen la característica particular de pertenecer a un área inundable cubierta parcialmente o no. Las variantes en los dos grupos son las siguientes, para el primer grupo se presentaron tres variantes, los sitios cuya clase fue área inundable (AI) en el año 1981 pasaron a ser en el año 1993 cuerpos de agua (CA), área inundable desprovista de vegetación (AIDV) y selva mediana subperennifolia (SMSp). El segundo grupo presentó las mismas variantes que el primero más el paso de área inundable cubierta parcialmente hacia área inundable (AI). Estos cambios son de carácter estacional pues el paso de una clase a otra se explica por el aumento o disminución en el nivel de los cuerpos de agua, debido a esto es posible encontrar áreas desprovistas de vegetación y cuerpos de agua.

4.9.3 Cambio de área semi-desmontada (ASD) hacia otros

Las áreas semi-desmontadas que fueron delimitadas en la primera fecha, para el año 1993 se tuvieron cambios que en porcentaje son de los mayores. Esta clase cambió hacia área de cultivo, lo cual es un cambio lógico ya que después del desmonte estas áreas son utilizadas en ciertas épocas para la introducción de cultivos. Por otro lado también se tiene que existió un cambio hacia áreas urbanas lo que indica la presión a la que se sometieron los recursos en este periodo de años. Finalmente el cambio que tuvieron las áreas semi-desmontadas hacia selva mediana subperennifolia no está del todo claro, ya que en la segunda y tercera fecha no se pudieron discriminar los manchones de este tipo de selva asociados con vegetación secundaria

como en la primera de estas fechas. Aún así estos cambios suman 27.3% del cambio total que se dio en este periodo.

4.9.4 Cambio de selva en área inundable (SAI) hacia otros

Los cambios que presenta esta clase solamente tienen dos variables, la primera hacia la clase área inundable (AI) y la segunda hacia selva mediana subperennifolia (SMSp); estos cambios se deben a causas naturales pues como se recuerda, la clase selva en área inundable (SAI) se encuentra asociada a los cambios que presentan los cuerpos de agua.

4.9.5 Cambio de selva mediana subperennifolia (SMSp) hacia otros

En este grupo existen cambios que se deben a la influencia del hombre, primero el desmonte de áreas para introducir algún tipo de cultivo y después dejar descansar esas áreas; de esta forma tenemos que la clase selva mediana subperennifolia pasó a ser áreas semi-desmontadas, áreas de cultivo y finalmente el desarrollo de una vegetación de tipo secundario. Por otro lado se presenta el cambio de selva hacia la clase áreas urbanas, lo que indica que hubo desmontes que fueron motivados por un crecimiento poblacional que demandó la apertura de nuevos espacios para habitar. Estos cuatro tipos de cambio en su conjunto reúnen el 13% de los cambios que ocurrieron en el transcurso de este periodo.

4.9.6 Cambio de vegetación secundaria (VegSec) hacia otros

Los cambios que tuvo esta clase son de dos tipos, el primero de ellos fue hacia áreas de cultivo (AC) y se presenta en áreas que ya antes habían sido utilizadas para llevar a cabo esta actividad, el porcentaje de ocurrencia es de 2.4%. El segundo tipo de cambio fue hacia la clase selva mediana subperennifolia (SMSp), en sitios donde se permitió que la vegetación se regenerara.

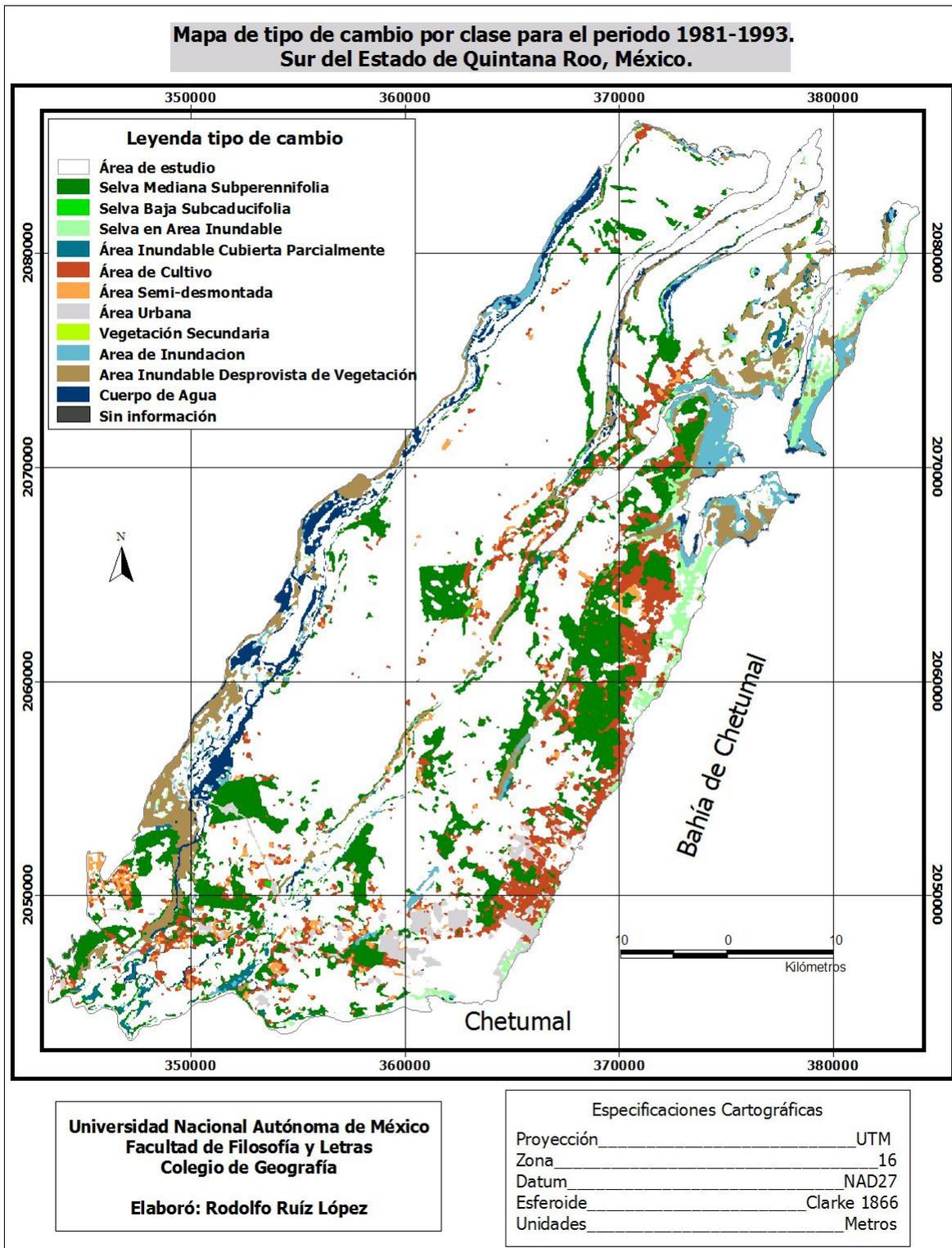


Figura 4.12 Tipo de cambio para el periodo 81-93.

4.10 Resultados para la sub-área de estudio en el periodo 1993-2002

En este periodo la superficie que presentó cambios fue de 241.85 km² (ver Figura 4.13 y Tabla 4.9), en esa superficie se obtuvieron 105 tipos diferentes de cambio mismos que fueron ordenados de acuerdo al porcentaje de la superficie que cambio, y posteriormente se eligieron aquellos cambios mayores al 1%; de esta forma se tienen 26 cambios distintos que engloban el 85.89% de la superficie total de cambio.

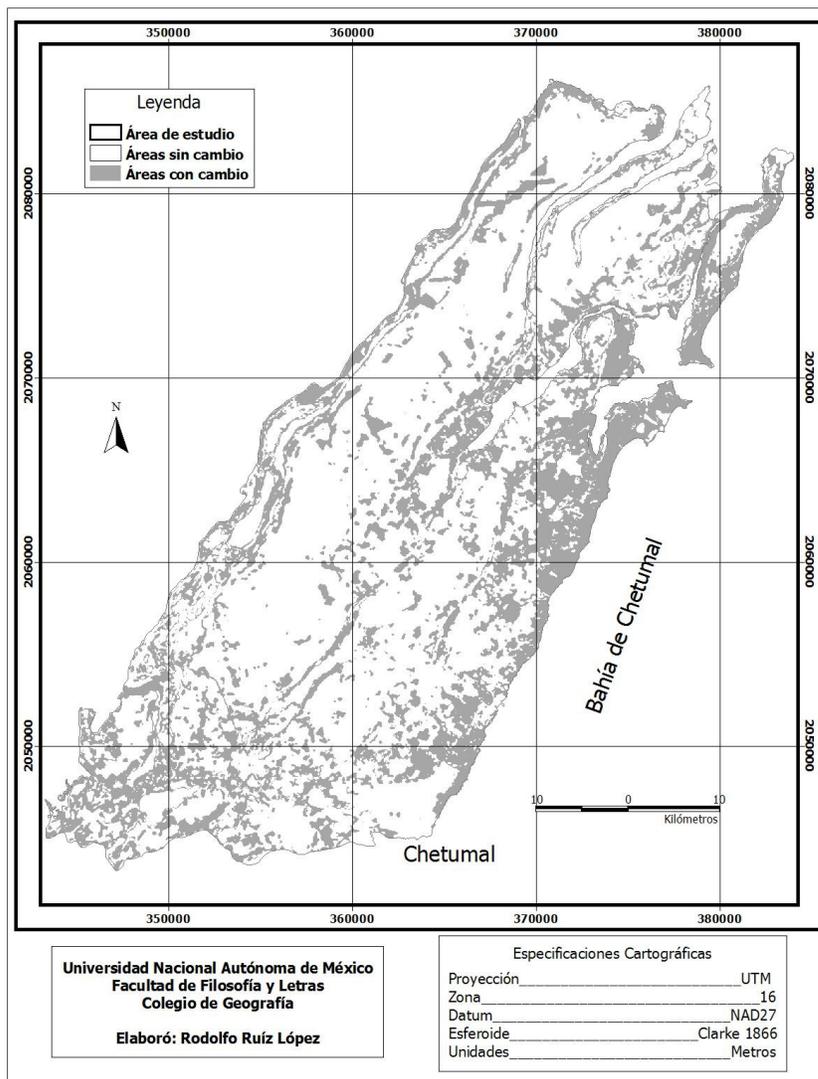


Figura 4.13 Mapa de cambio en la sub-área de estudio para el periodo 93-02.

Tabla 4.9. Superficies en el periodo 93-02 para la sub-área.

Clase	Área en m ²	%	Área en km ²
Sin cambio	403748971.8	62.54	403.75
Con cambio	241847262.9	37.46	241.85
Totales	645596234.7	100	645.60

Los resultados de los grupos durante este periodo fueron los siguientes (ver tabla 4.10): el grupo forestal en el primero de esos años ocupó una superficie de 104.8 km², mientras que para el año 2002 esa superficie aumento a 106.2 km², es decir, este grupo obtuvo un incremento del 1.2% en su extensión. Por su parte el grupo no forestal disminuyó su superficie en un 37.8% durante los 9 años que comprende este periodo, ya que de 63.5 km² de la superficie que cubría en el año 1993, para el año 2002 se redujo a 39.5 km².

El grupo otras cubiertas en el año 1993 cubría una superficie de 62.4 km², para el año 2002 esa superficie se redujo a 31.9 km², lo que representa una pérdida del 48.9% de la superficie sobre la que se encontraba. Finalmente el grupo que se refiere a las zonas perturbadas cubría una superficie de 11.2 km² en el año 1993, misma que pasó a ser de 64.3 km² en el año 2002, esto indica que ese grupo aumentó su superficie en un 475%. En la Figura 4.14 se pueden observar las superficies que ocupaban los grupos en los años 1993 y 2002.

Tabla 4.10. Resultados por grupo en el periodo 81-93.

Clase 93-02	Área km ² 1993	Área km ² 2002	Cambios km ²
Forestal	104.8	106.2	-1.3
No forestal	63.5	39.5	24.0
Otras cubiertas	62.4	31.9	30.5
Perturbada	11.2	64.3	-53.2
Total	241.8	241.8	

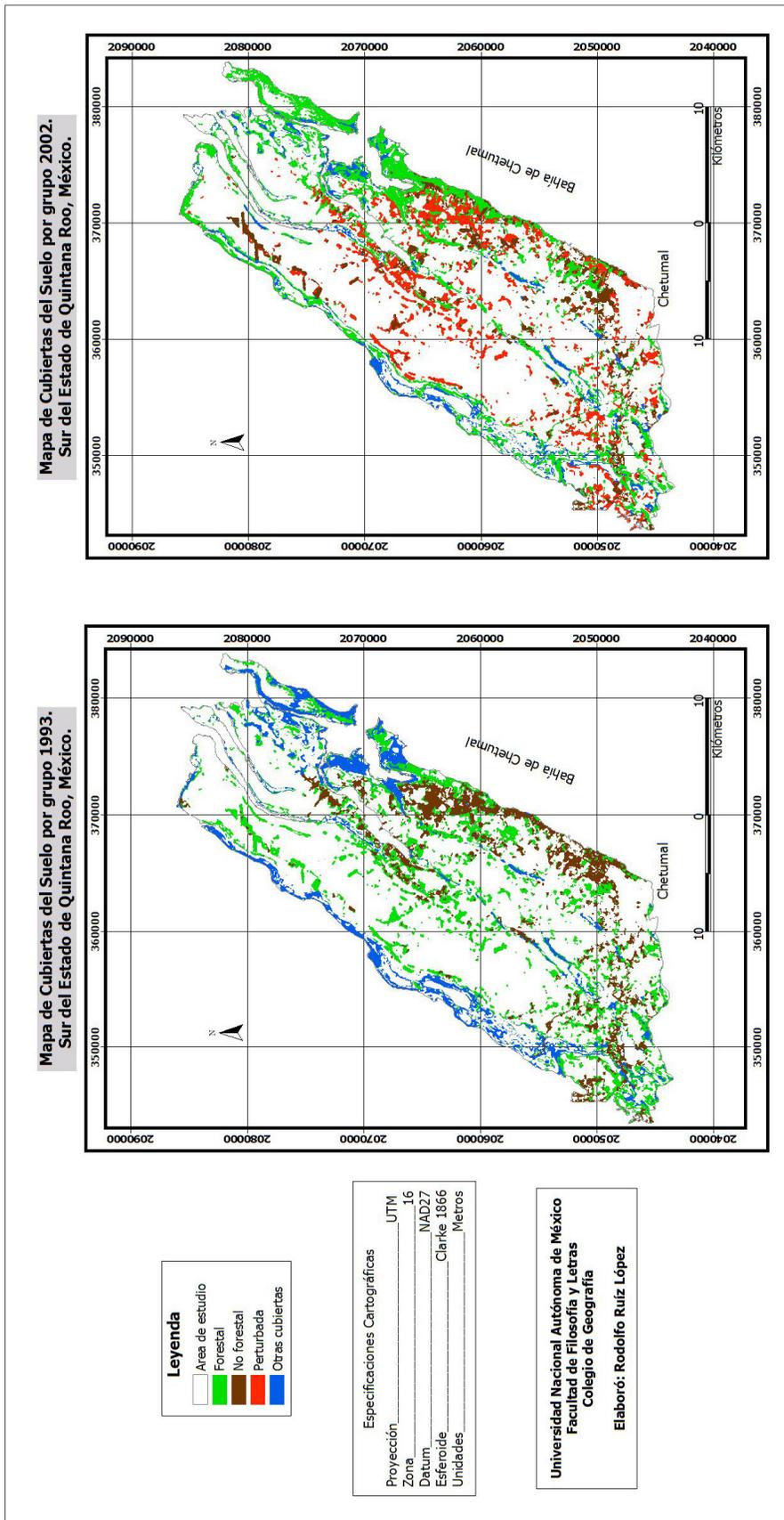


Figura 4.14 Mapas de la superficie ocupada por grupo para el periodo 93-02.

4.11 Tipo de cambio en el periodo 1993-2002

A continuación se proporciona una breve descripción de los 26 tipos de cambio mayores al 1% para este periodo, asimismo en la Figura 4.14 se podrá apreciar en dónde se presentaron estos cambios; así como sus estadísticas (ver Figura 4.15 y Tabla 4.11). Los resultados muestran que en ocho de las 12 clases se presentaron cambios importantes, estos cambios, al igual que los descritos en apartados anteriores, son producidos por las actividades humanas y por la diferencia de temporalidad entre las dos fechas. A continuación se explicarán cada uno de estos cambios.

Tabla 4.11 Tipos de cambio mayores a 1% en el periodo 1993-2002.

Tipo cambio	Área en km²	%
SMSp-Urbano	3.04	1.26
SMSp-AC	7.22	2.99
SMSp-ASD	11.27	4.66
SMSp-SAI	8.11	3.35
SMSp-SBSc	4.41	1.82
SMSp-VegSec	40.78	16.86
SMSp-AIDV	5.46	2.26
SAI-SMSp	11.02	4.56
Ac-Urbano	2.86	1.18
Ac-ASD	4.70	1.94
Ac-SMSp	18.42	7.62
Ac-VegSec	15.86	6.56
ASD-AC	2.43	1.01
ASD-SMSp	3.73	1.54
ASD-VegSec	4.79	1.98
VegSec-SMSp	8.12	3.36
AI-Agua	3.42	1.41
AI-AICp	3.87	1.60
AI-AIDV	4.80	1.98
AI-SAI	17.47	7.22
AIDV-Agua	3.13	1.30
AIDV-AICp	5.08	2.10
AIDV-SAI	6.83	2.82
AIDV-SMSp	2.65	1.09
Agua-SAI	4.63	1.92
Agua-AI	3.62	1.50
Total	207.7	85.9

4.11.1 Cambio de área de cultivo (AC) hacia otros

Para este periodo se tiene que la clase área de cultivo (AC) tuvo cuatro cambios diferentes, tres de ellos pertenecen a los diversos estadios que presentan cuando alguna área es elegida para esta actividad. El primero de estos cambios es hacia área semi-desmontada (ASD), el cual puede ser explicado por una limpia casi total de esos lugares como preparación para su posterior uso agrícola. El siguiente cambio se debe al crecimiento urbano que experimentan tanto la ciudad de Chetumal como el poblado de Calderitas y otros de menor proporción, ya que el área agrícola del sur de Quintana Roo se presenta en una franja que se ve influenciada por muchas localidades menores y algunas medianas como Bacalar, Laguna Guerrero, Raudales, etc.

Los dos siguientes cambios son: por un lado el cambio de esta clase hacia la clase selva mediana subperennifolia asumiendo que los espacios ocupados para la actividad agrícola fueron destinados a la recuperación de este tipo de selva. El último cambio se dió hacia la clase vegetación secundaria (vegsec), el cual, se explica por que existen lugares que fueron utilizados con anterioridad para la actividad agrícola y después son abandonados dando oportunidad al desarrollo de otras especies que son propias de la vegetación secundaria.

4.11.2 Cambio de Agua y área inundable (AI) hacia otros

Estos cambios tienen su origen en la diferencia de los periodos en que fueron tomadas las escenas Landsat. La clase agua tuvo cambios hacia áreas de inundación (AI) y hacia selva en área inundable (SAI) como resultado de fluctuaciones en el nivel de los cuerpos de agua, así como en la presencia y ausencia de especies vegetales.

En el caso de los cambios que presentó la clase área inundable (AI) en este periodo de tiempo, tenemos que fueron muy parecidos a los cambios que presentó la clase agua; en términos de causalidad. Esta clase exhibió cuatro variantes, hacia agua, AICP, AIDV y SAI; estos cambios son el resultado de los factores arriba descritos, además de la presencia (después) de especies vegetales cuya presencia se explica de acuerdo a las características edáficas y de humedad de los lugares en que sucedieron esos cambios.

4.11.3 Cambio de área inundable desprovista de vegetación (AIDV) hacia otros

Los cambios ocurridos en esta clase son cuatro mismos que pueden ser englobados en tres grupos diferentes de acuerdo al rasgo sobre el cual están asentados, es decir, a las características del terreno donde se encuentran. El primero de ellos es el paso de pixeles clasificados como área inundable desprovista de vegetación (AIDV) hacia agua, hacia área inundable cubierta parcialmente y hacia selva en área inundable; estas tres clases se encuentran en lugares con cierto desnivel en donde además existe la presencia de suficiente humedad y cierto tipo de cubierta edáfica que posibilita el crecimiento de algunas especies vegetales, por lo tanto para que se presenten dichos cambios es importante tener presente la existencia de estos factores y entender que su presencia o no, condiciona la existencia de estos cambios durante un periodo de tiempo.

Finalmente se tiene el segundo grupo donde está el cambio de AIDV hacia selva mediana subperennifolia (SMSp), el cual se explica si en los nueve años posteriores a la primera fecha, se hayan regenerado algunas de éstas áreas. En todo caso es mejor determinar la existencia de esos cambios de acuerdo a los lugares en donde estos han ocurrido y recordar que en el mapa de la primera fecha se consiguió delimitar varios manchones de selva mediana subperennifolia con asociación de vegetación secundaria; por lo que este tipo de cambio pudo deberse a la ausencia de esta clase en las fechas posteriores.

4.11.4 Cambio de selva en área inundable (SAI) y selva mediana subperennifolia (SMSp) hacia otros

El único cambio de selva en área inundable (SAI) se dio hacia la clase selva mediana subperennifolia y es un cambio que se da entre los límites de los manchones de estas clases. De la misma forma se tiene un tipo de cambio que sufrió la clase selva mediana subperennifolia (SMSp) hacia selva en área inundable (SAI); el cual tiene su explicación en el mismo fundamento que el tipo de cambio planteado anteriormente.

Por otro lado la clase selva mediana subperennifolia además presenta otros seis tipos de cambio distintos (AC, AIDV, ASD, SBSc, Urbano y vegsec), esta clase fue la que mayor variedad de cambios y la que mayor superficie de cambio presentó. Dentro de esta variedad se pueden distinguir cuatro tipos que tienen que ver de alguna forma con procesos antrópicos, resultado del uso a que fueron destinadas estas áreas. El primero de ellos es el paso de esta clase hacia

áreas semi-desmontadas (ASD), etapa previa a la introducción de cultivos cambio que se presenta en áreas que ya están funcionando como tales.

Después se tiene el paso de esta clase hacia la clase vegetación secundaria (VegSec) cuya característica es la presencia de especies arbóreas y herbáceas con cierto desarrollo, una vez que las áreas anteriormente destinadas a la introducción de algún tipo de cultivo son abandonadas; cabe destacar que este tipo de cambio es el que mayor porcentaje tiene (16.86%) de los 26 tipos que se dieron en este periodo. Finalmente el cambio hacia la clase urbano se hace presente en los alrededores de la ciudad de Chetumal y poblados con tendencia al crecimiento provocado por la demanda de espacios y servicios básicos.

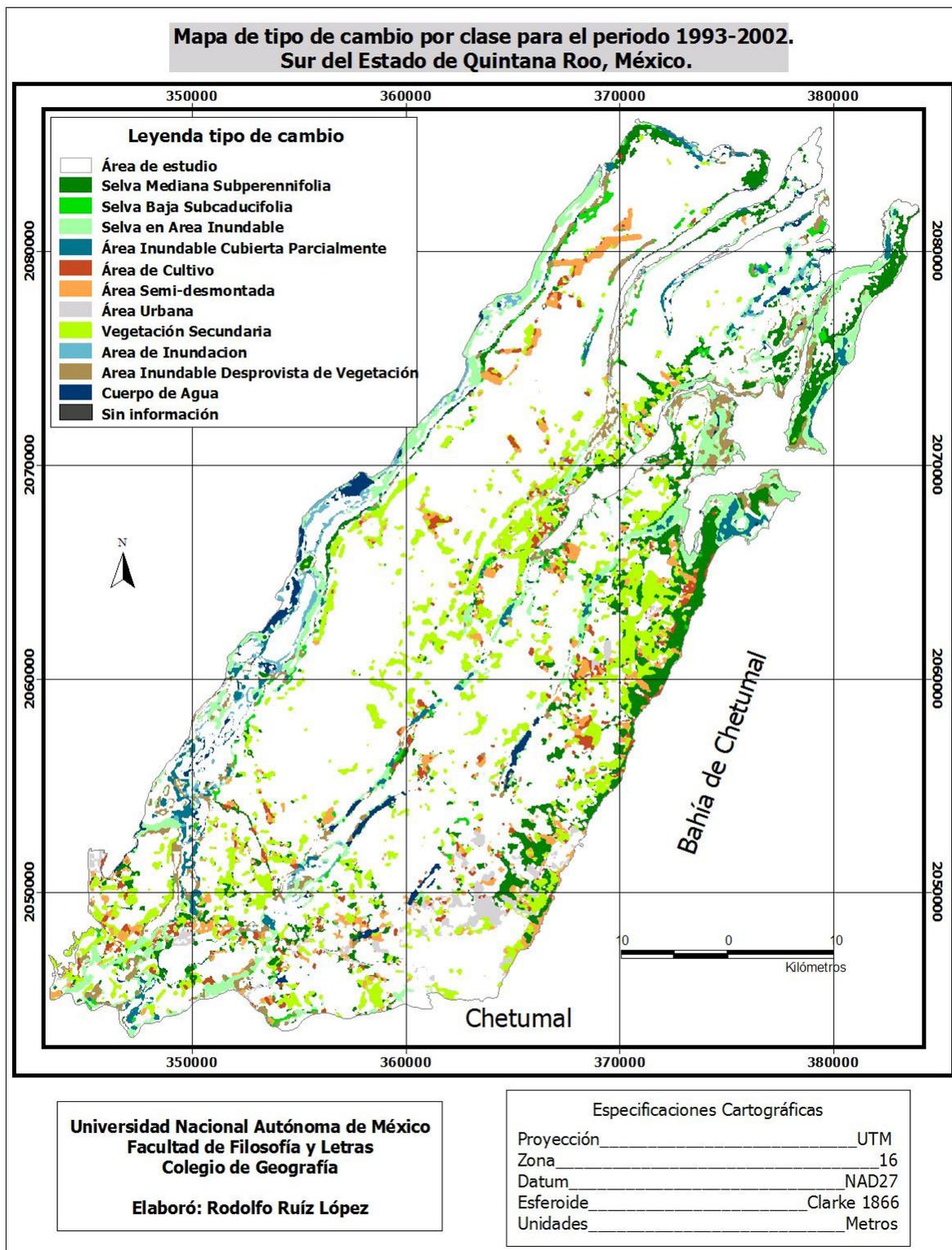


Figura 4.15 Tipo de cambio para el periodo 93-02.

4.12 Resultados para la sub-área de estudio en el periodo 1981-2002

La superficie que presentó cambio en este periodo es de 287.88 km² (ver Figura 4.16 y tabla 4.12), los diferentes tipos de cambio fueron agrupados de acuerdo con sus características en cuatro grupos y fueron calculadas la superficie en kilómetros cuadrados y el porcentaje que esta representa respecto de la superficie total de la sub-área. En total se tienen 93 tipos de cambio diferentes, de los cuales, veintiuno estuvieron por encima del 1% (ver Tabla 4.14).

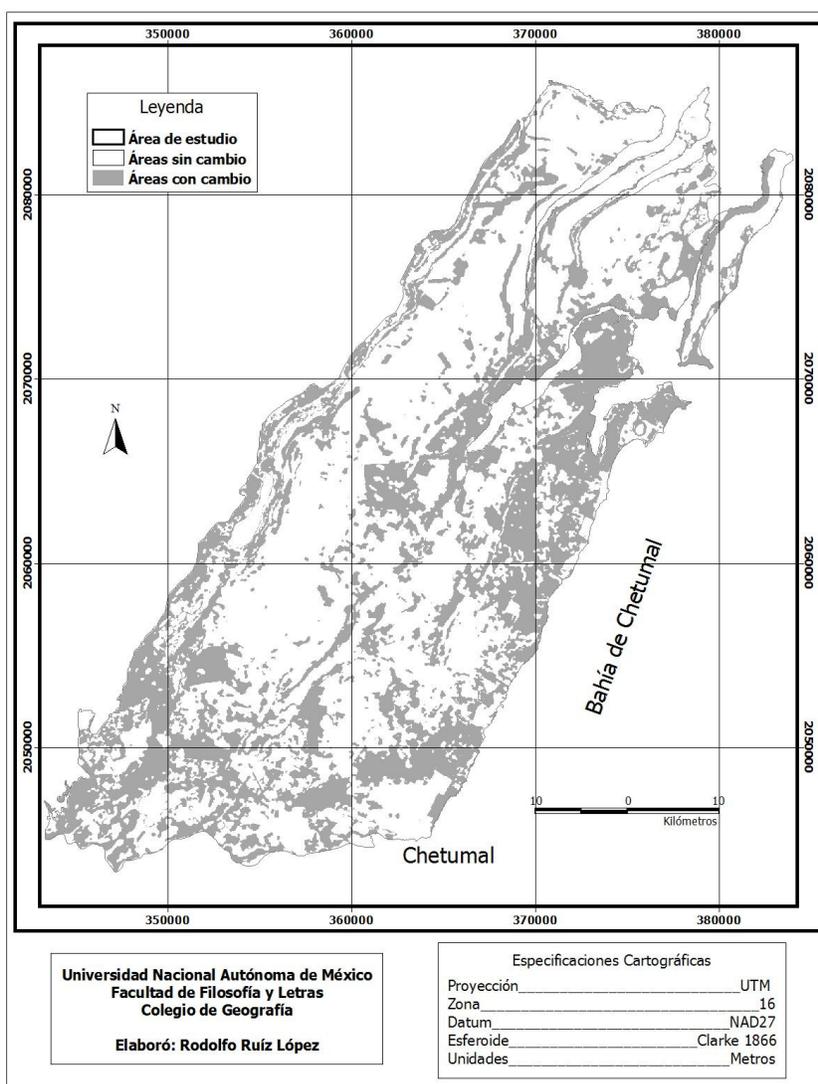


Figura 4.16 Mapa de cambio en la sub-área de estudio para el periodo 81-02.

Tabla 4.12. Superficies en el periodo 81-02 para la sub-área.

Clase	Area en m ²	%	Area en km ²
Sin cambio	356724469.1	55.26	356.72
Con cambio	288871765.6	44.74	288.87
Totales	645596234.7	100	645.60

Los resultados para cada grupo se muestran en la tabla 4.13. En este periodo, el grupo forestal ocupaba una superficie de 118.9 km² en el año 1981, para el año 2002 esa superficie aumentó a 135.7 km², es decir, tuvo un incremento del 14.1% en la superficie que cubría. En lo que respecta a el grupo no forestal este cubrió una superficie de 94.1 km² durante el año 1981, cifra que disminuyó a 43.7 km² para el año 2002, este grupo tuvo una pérdida del 53.6% en un periodo de 21 años.

Por su parte el grupo otras cubiertas pasó de 54.8 km² durante el primer año de este periodo, a 52.4 km² en el año 2002, es decir disminuyó 2.4 km²; apenas el 4.3% de la superficie que originalmente cubría. Finalmente el grupo que se refiere a las áreas perturbadas en el año de 1981 cubría una superficie de 21.1 km², para el año 2002 esa superficie se incremento en un 270%, cubriendo de esta forma una superficie de 57.1 km². En la figura 4.17 se puede apreciar la superficie ocupada por cada grupo en los años 1981 y 1993.

Tabla 4.13. Resultados por grupo en el periodo 81-02.

Clase 81-02	Area km ² 1981	Area km ² 2002	Cambios km ²
Forestal	118.9	135.7	-16.8
No forestal	94.1	43.7	50.4
Otras cubiertas	54.8	52.4	2.4
Perturbada	21.1	57.1	-36.0
Total	288.9	288.9	

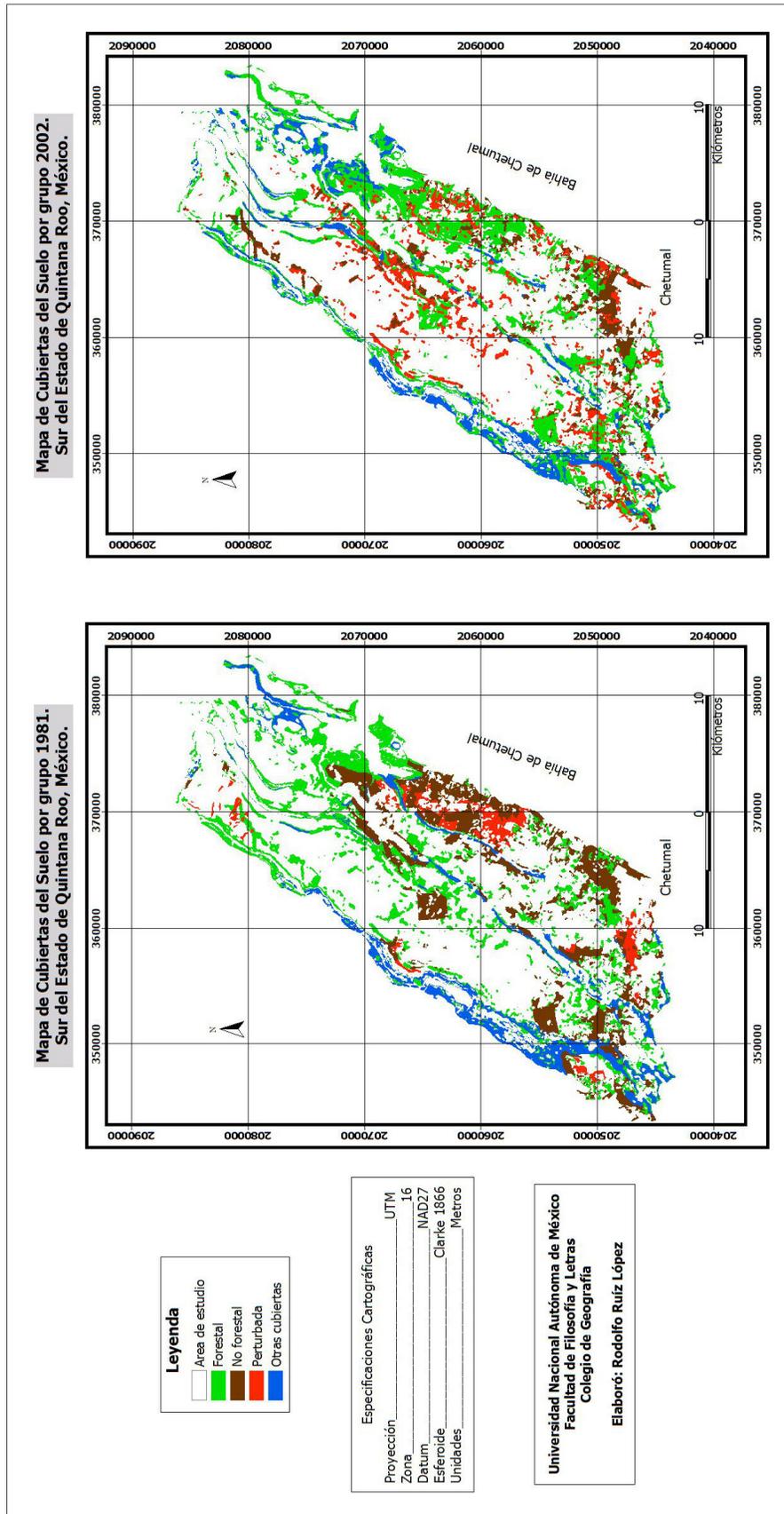


Figura 4.17. Mapas de la superficie ocupada por grupo para el periodo 81-02.

4.13 Tipo de cambio en el periodo 1981-2002

Como se menciona en este periodo fueron 21 tipos diferentes de cambio mayores al 1%, estos cambios se dieron en siete de las doce clases que se tienen (ver Tabla 4.14), los cuales, son producidos por las actividades humanas y por la diferencia de temporalidad entre las dos fechas. Para apreciar cuáles y en dónde se presentaron estos cambios se elaboró el mapa de tipos de cambio para este periodo (ver Figura 4.18); a continuación se explicarán cada unos de estos tipos.

Tabla 4.14 Tipos de cambio mayores a 1% en el periodo 1981-2002.

Tipo Cambio	Area en km ²	%
SMSp-SAI	5.63	1.95
SMSp-SBSc	3.85	1.33
SMSp-Urbano	4.42	1.53
SMSp-AC	7.35	2.54
SMSp-ASD	10.98	3.80
SMSp-VegSec	34.62	11.98
SAI-SMSp	6.00	2.08
AICp-AIDV	11.38	3.94
AICp-SAI	13.53	4.68
AICp-SMSp	4.46	1.54
AC-SMSp	7.17	2.48
AC-VegSec	3.47	1.20
ASD-AC	4.65	1.61
ASD-SMSp	45.81	15.86
ASD-Urbano	4.82	1.67
ASD-VegSec	17.31	5.99
VegSec-SMSp	15.04	5.21
AI-Agua	9.72	3.36
AI-AICp	6.27	2.17
AI-AIDV	14.23	4.93
AI-SAI	13.97	4.84
Total	244.7	84.7

4.13.1 Cambio de área de cultivo (AC) hacia otros

Este tipo de cambio durante este periodo específicamente, tuvo dos variantes, hacia selva mediana subperennifolia (SMSp) en donde el porcentaje de ocurrencia fue del 2.48%, y el otro cambio fue hacia la clase vegetación secundaria (VegSec) en áreas que anteriormente fueron destinadas a esa actividad posteriormente son abandonadas y permiten el desarrollo de ciertas especies arbóreas y herbáceas propias de una vegetación de tipo secundario.

4.13.2 Cambio de área inundable (AI) hacia otros

Para este periodo se tiene que los pixeles antes clasificados como área inundable (AI) cambiaron hacia cuatro clases diferentes; agua, área inundable cubierta parcialmente (AICp), área inundable desprovista de vegetación (AIDV) y selva en área inundable (SAI). A partir de las características en donde se encuentran estas clases se definieron dos grupos que deben su origen a que estos se encuentran entre el límite una clase y otra, es decir, en primer término se encuentra el cambio que ocurrió de área inundable hacia la clase agua; este se produce por un cambio natural en el nivel de los cuerpos de agua entre la toma de las fotografías aéreas y la imagen landsat TM de la última fecha.

Por otra parte, el paso de AI hacia un área inundable cubierta parcialmente, mismo que puede explicarse por la razón que antes se mencionó; además de suponer la presencia de manchones de vegetación presentes gracias a las condiciones edáficas y de humedad que se tienen en sitios ubicados en la margen de los cuerpos de agua. Dentro de este mismo grupo se encuentra los pixeles que cambiaron hacia área inundable desprovista de vegetación, mismos que se deben a el cambio natural en el nivel de los cuerpos de agua pero que en algunos sitios no presentaron las características mínimas que propiciarán el desarrollo de algún tipo de vegetación.

Finalmente el cambio hacia la clase selva en área inundable (SAI) en sitios que son límite entre clase y además tienen las características necesarias para permitir el crecimiento de especies vegetales suficientemente desarrolladas en su estructura y en la cantidad de estas para haber sido clasificadas como selva en área inundable.

4.13.3 Cambio de área inundable cubierta parcialmente (AICp) hacia otros

Los cambios que presenta esta clase son similares a los de otros periodos y se deben a factores naturales. En primer término el tipo de cambio hacia área inundable desprovista de vegetación (AIDV) como ya se ha dicho es producido por el cambio en el nivel de los cuerpos de agua con la característica de que hay sitios en donde no se cuenta con cubierta y se tiene un suelo desnudo. El cambio hacia selva en área inundable (SAI) y selva mediana subperennifolia es dado sobre todo en los límites entre esas clases.

4.13.4 Cambio de área semi-desmontada (ASD) hacia otros

Esta clase en principio tiene un origen antrópico y los tipos de cambio que presenta en este periodo son motivados igualmente por la acción del hombre. El primero de ellos es el paso de áreas semi-desmontadas (ASD) hacia áreas de cultivo (AC); después el cambio que hubo hacia la clase urbano, lo que indica un crecimiento de las áreas utilizadas para los asentamientos humanos. Los siguientes tipos de cambio, vegetación secundaria (VegSec) y selva mediana subperennifolia (SMSp), son producto del destino que suelen tener estas áreas, ya que muchas veces son desmontadas para utilizar la madera y no para introducir algún tipo de cultivo; de este modo las áreas antes desmontadas tienen oportunidad de regenerarse aunque ya no con las mismas especies.

4.13.5 Cambio de selva mediana subperennifolia (SMSp) hacia otros

La clase que mayor cantidad de tipos de cambio presentó es la selva mediana subperennifolia (SMSp), la cual sufrió cambios hacia 6 clases diferentes; mismas que serán mencionadas a continuación. Algunas áreas fueron desmontadas para comercializar la madera por lo que fueron abiertas áreas a través de desmontes esos pixeles fueron clasificados como áreas semi-desmontadas (ASD) en la segunda fecha de este periodo. Las áreas desmontadas no siempre son semidesmontadas, también son desprovistas totalmente de la cubierta original para la introducción de ciertos cultivos, es así como algunas otras áreas en la segunda fecha son clasificadas como áreas de cultivo (AC).

Por otro lado cuando las áreas son desmontadas y no son limpiadas debido a que únicamente se extrajo la madera, con el paso del tiempo esas áreas presentan cierta regeneración, se trata de áreas con vegetación secundaria (VegSec) que aparecen en la segunda fecha. Algunas otras ocasiones tenemos que existen áreas que se desmontan y también esos espacios son aprovechados para el establecimiento de asentamientos humanos, lo que provoca que las áreas urbanas crezcan, este es el caso en que las áreas que antes fueron cubiertas por selva mediana subperennifolia se convierten después en áreas urbanas.

Por otra parte, se tiene un caso en que la selva mediana pasa de ser subperennifolia a caducifolia sobre todo en los límites entre estas dos clases. En último lugar se tiene el tipo de cambio de la clase selva mediana hacia selva en área inundable (SAI), el cual, se debió a que

los pixeles que sufrieron este tipo de cambio se encontraban en los límites entre esas dos clases.

4.13.6 Cambio de vegetación secundaria (VegSec) hacia otros

Esta clase presenta un tipo de cambio hacia la clase selva mediana subperennifolia (SMSp), ya que durante 21 años que son los que comprende este periodo, las áreas que en el año de 1981 fueron clasificadas como vegetación secundaria, durante el transcurso de ese lapso esas mismas áreas tuvieron la oportunidad de regenerarse.

4.13.7 Cambio de selva en área inundable (SAI) hacia otros

La clase selva en área inundable presenta para este periodo un tipo de cambio hacia selva mediana subperennifolia el cual sucede en los límites entre estas dos clases por lo tanto no es un cambio que sea significativo pues se debe a la diferencia en la ubicación de los límites entre esas dos clases.

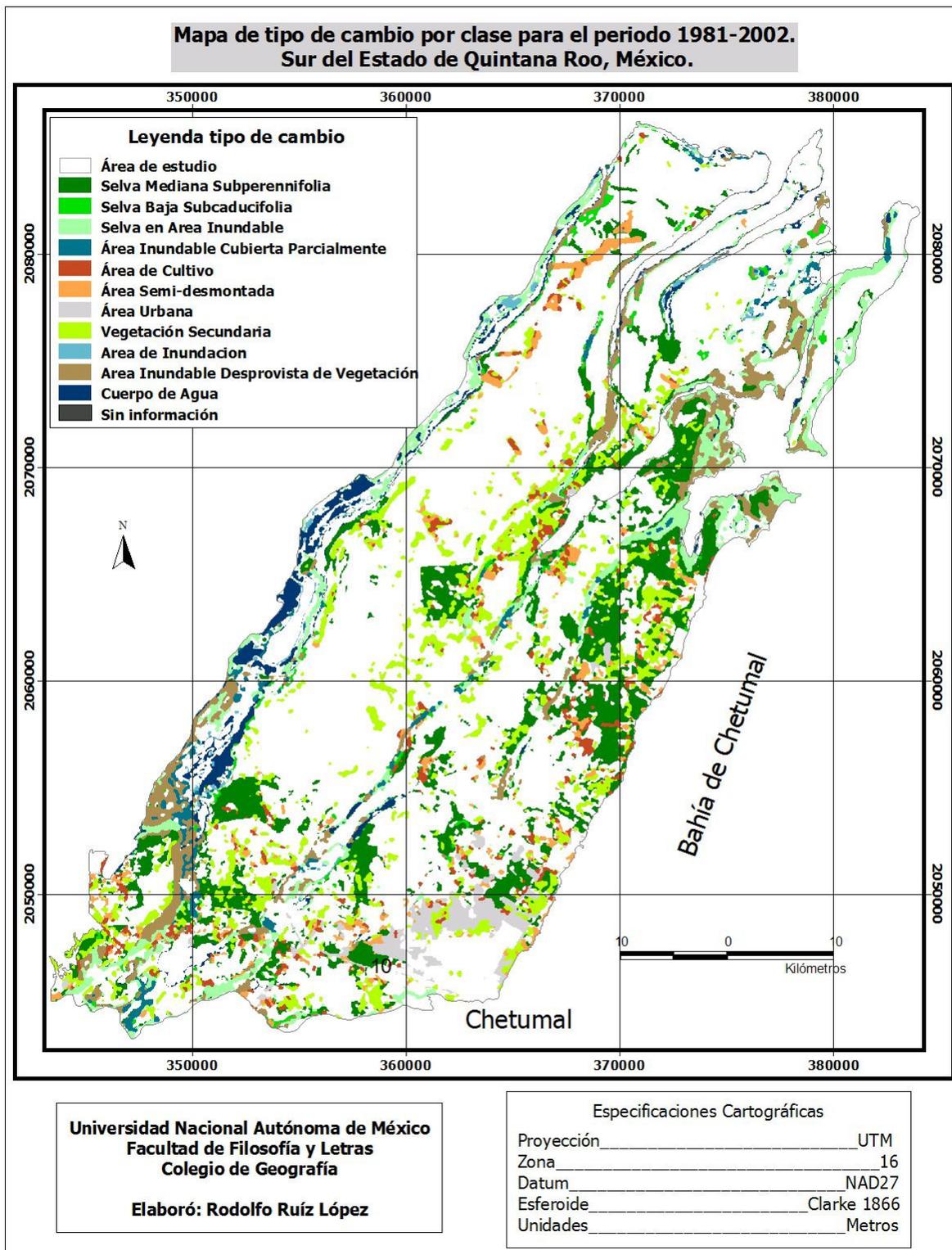


Figura 4.18 Tipo de cambio para el periodo 81-02.

Como pudo apreciarse en los apartados anteriores del capítulo de resultados, los cambios que se presentaron en los diferentes periodos pueden ser divididos en dos bloques, en el primero de ellos tenemos que existieron cambios motivados por las actividades humanas, esos cambios estuvieron entre el 30 y 35% del área total de cambio en los tres periodos ya descritos. Se presentaron diversos tipos de cambio, muchos de los cuales fueron motivados por el desarrollo de actividades tales como la agricultura y la ganadería. La característica inicial de estas dos actividades se refiere al desmonte de grandes áreas de terreno, ya sea para su posterior utilización en la introducción de cierto tipo de cultivo ó de ganado. Un claro ejemplo es la zona hacia el norte de la ciudad de Chetumal, la cual, se vio modificada sobre todo por la presencia de áreas de cultivo y áreas desmontadas.

En segundo bloque, se encuentran los cambios que se produjeron a partir de la temporalidad de los insumos utilizados, es decir, son cambios que se llevan a cabo de forma natural; provocados por procesos hidrológicos, propios de las zonas costeras, a la temporada de lluvias, así como a las características topográficas del terreno. Estos cambios son los que tuvieron mayor porcentaje de superficie que cambio de una clase a otra, presentándose entre el 50 y 54% en los mismos periodos (ver Figura 4.19).

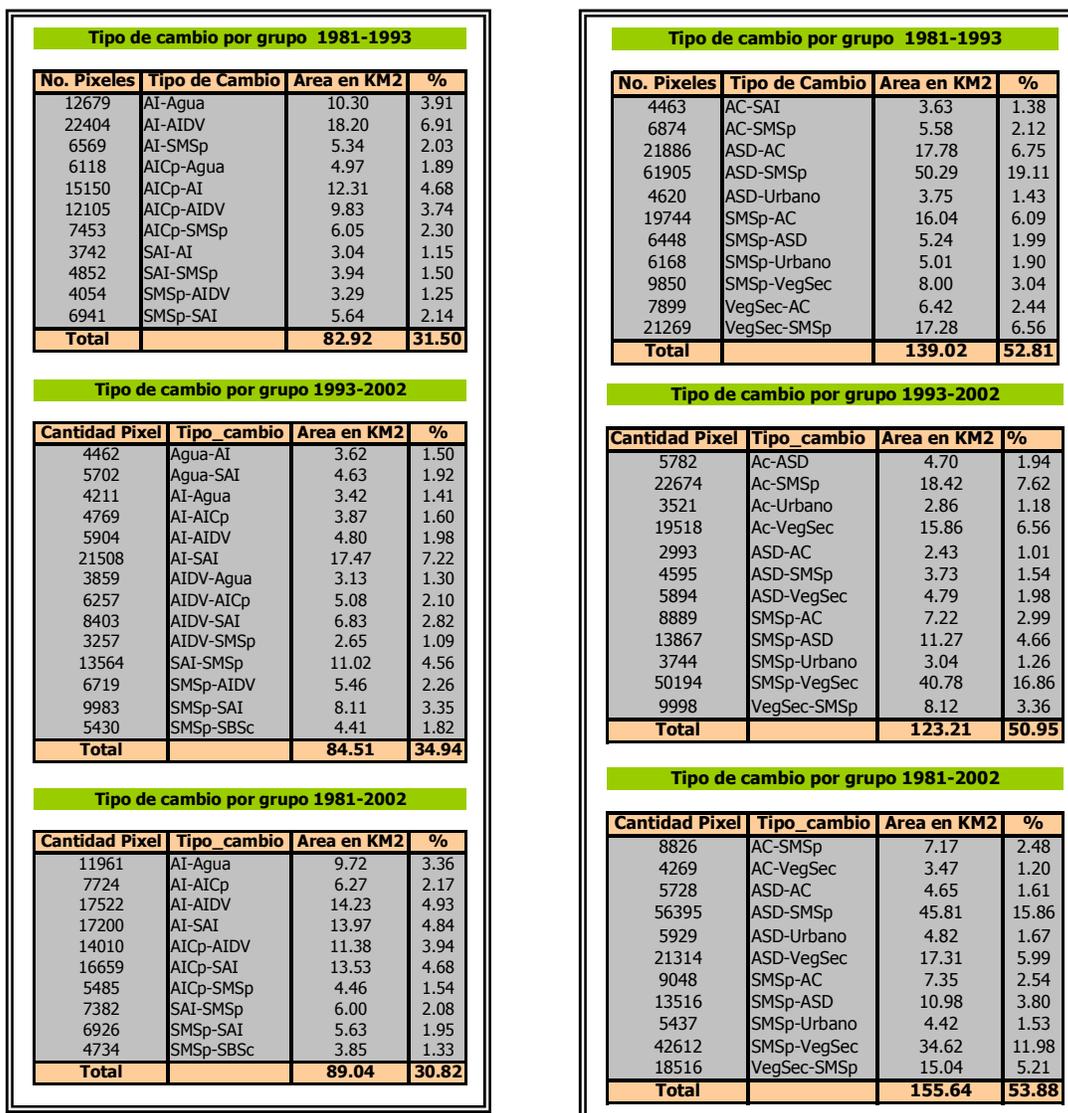


Figura 4.19. En la columna del lado derecho se muestra el grupo de cambios antrópicos y en la columna del lado izquierdo el grupo de cambios de tipo naturales que se presentaron en todos los periodos de este trabajo.

Conclusiones

Este trabajo tuvo como objetivo principal la evaluación de cambios en la cubierta vegetal y el uso del suelo en el sur del estado de Quintana Roo, para lograrlo fueron creados diferentes mapas para tres fechas distintas y con ellos los mapas respectivos de cambio y tipo de cambio para periodos diferentes. La aplicación de diferentes métodos para la creación de cartografía y su posterior uso para generar otro tipo información a partir de estos, proporcionó cierto conocimiento de cómo se fue modificando el espacio en un periodo de 21 años, a través de la influencia que ejercen diversos factores y el papel que juegan estos para dar lugar a ciertos cambios, así como la importancia que estos procesos tienen para entender el futuro de los recursos naturales en esta región del país.

Es innegable el papel preponderante que juegan las variables físicas y ciertos procesos en el establecimiento de las comunidades vegetales y su distribución; de esta forma se puede mencionar la relación que existe entre los procesos hidrológicos, las características geológicas, las variaciones en el relieve y las características edafológicas (pH, salinidad), así como el clima y la humedad que caracterizan a la península de Yucatán como parte fundamental para la presencia de la amplia variedad de especies y comunidades vegetales. Prácticamente todo el territorio del estado cuenta con una amplia y homogénea cubierta selvática; la selva mediana ocupa la mayor parte del estado, existiendo también selvas bajas y manglares, lo que ha permitido llevar a cabo un importante aprovechamiento forestal desde la conformación primero del territorio y después del estado de Quintana Roo.

Actualmente se tiene como característica principal en el sur del estado de Quintana Roo, específicamente en el área de estudio, una marcada heterogeneidad del espacio natural producto de una intensa actividad agropecuaria y forestal, así como por el establecimiento de asentamientos humanos; llevados a cabo históricamente en el estado. Esta fragmentación que se presenta, es muy importante en cuanto a la presencia de áreas perturbadas y el desarrollo de especies vegetales de tipo secundario y los usos del suelo que dan especialmente en las cercanías de la ciudad de Chetumal y el poblado de Calderitas donde se refleja la dinámica de aprovechamiento de recursos forestales en el sureste del estado.

Por lo que respecta a la metodología utilizada en este trabajo, esta presentó como característica principal la utilización de dos técnicas diferentes para la elaboración de cada mapa. Por un lado el uso de técnicas fotogramétricas convencionales permitió aprovechar al máximo las ventajas que otorgan las fotografías aéreas para delimitar rasgos que de otra forma resulta más complicado. Por otro lado, la implementación de técnicas de clasificación de imágenes de satélite no es algo nuevo en el estudio de los recursos naturales, pues éstas han tomado gran importancia a nivel mundial para su aplicación en un sin fin de temas y problemáticas. Las imágenes de satélite brindan información valiosa acerca de los objetos que se encuentran en la superficie terrestre y estos son presentados en forma de datos de acuerdo a la reflectancia que cada uno tiene dentro del espectro electromagnético; de tal forma que la información que se puede obtener a partir de este tipo de insumo es vasta y los resultados que se obtienen son, por lo general, satisfactorios.

Asimismo se contó con insumos diferentes, lo que sirvió como referencia para la comparación de los resultados que se obtuvieron con cada uno de estos. Por un lado los beneficios de las fotografías aéreas en cuanto al detalle proporcionado y el control que se tiene al delimitar cada unidad, y por el otro, la extensión de terreno que se puede trabajar con imágenes de satélite es mayor y la automatización de los procesos también beneficia al usuario en términos del tiempo que se lleva generar información cartográfica con uno y otro insumo.

Sin embargo, para este trabajo los inconvenientes que se presentaron con la utilización de los insumos mencionados son: 1) el área de estudio general no fue cubierta por el vuelo fotogramétrico realizado por el INEGI y tampoco se contó con otro vuelo para esa zona, 2) la poca información útil en la tercera fecha debido a la presencia de nubes en la imagen Landsat ETM+, y 3) si bien, se tuvo un buen detalle para la generación del mapa de cubierta vegetal y uso del suelo de la primera de las fechas, al estar terminado el mapa, este tuvo que ser generalizado para poder sobreponerse con las dos fechas restantes, reduciéndose los beneficios que brinda este insumo.

Finalmente, los objetivos que se plantearon en este trabajo se cumplieron. En primer lugar se representó cartográficamente las diversas cubiertas y los usos del suelo en tres fechas mediante la implementación de técnicas distintas, en función de las características de la información de partida. Asimismo, se determinó el cambio y el tipo de cambio en la superficie de esas cubiertas y la distribución que presentaron esos cambios durante los periodos que se establecieron. Por otro lado fueron descritos los resultados obtenidos y se mencionaron los factores que dieron lugar a los cambios reportados. Los objetivos anteriores finalmente sirvieron para determinar la dinámica de cambio en un periodo de 21 años en el sur del estado de Quintana Roo.

Bibliografía

Bierwirth, P. N., Lee, T., Burne, R. V., 1992. Shallow sea-floor reflectance and water depth derived by unmixing multispectral imagery. Proceedings of the First Thematic Conference, Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, New Orleans.

Cabrera Edgar, (Inedito). La Vegetación en el Sistema Lagunar de Bacalar, Municipio de Othón P. Blanco, Estado de Quintana Roo.

Camarena-Luhrs, T. & Salazar S., 1991. Estudios Ecológicos Preliminares de la Zona Sur de Quintana Roo. Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México. 231 Págs.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1999. "Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO". Escala 1: 1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.

Cortina Villar S. H., 1994. Cambios en el aprovechamiento de la tierra quintanarroense. Revista Caribe No.3, pp. 37-48, CIQROO.

Cortina Villar S., Macario Mendoza P. y Ogneva-Himmelberger Y.; 1999. Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. Investigaciones Geográficas, Boletín 38. Instituto de Geografía, UNAM, México. Pp. 41-56.

Chuvieco, E., 1995. Fundamentos de Teledetección Espacial. Editorial Rialp, España.

Dachary C. A. y Arnaiz Burne S. M.; 1990. Biblioteca de las Entidades Federativas, Quintana Roo. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, UNAM. México.

Estado de Quintana Roo, 1985. Datos Físicos y Condición Geográfica. En: Monografía del Estado de Quintana Roo. Cáp. 1. Gobierno del Estado de Quintana Roo. Pp. 15-25.

Fuentes Aguilar, L., 1980. La Colonización como Factor de Cambio en el Uso del Suelo en Quintana Roo, México. En: Memorias del Simposio: Quintana Roo. Problemática y Perspectiva. Instituto de Geografía, UNAM y CIQRO. pp. 1-25.

García E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3ª. Edición; México. Pp. 217.

Gasca R. Y Castellanos I., 1993. Zooplancton de la Bahía de Chetumal, Mar Caribe, México. Revista Biol. Tropical, 41(3): 619-625.

Gobierno del Estado de Quintana Roo. Enciclopedia de Quintana Roo, 1998. Tomo 1. Pp. 194-201.

Gobierno del Estado de Quintana Roo. Enciclopedia de Quintana Roo, 1998. Tomo 7. Pp. 169-179 y 287-292.

INEGI, 1987. Cartografía Topográfica, escala 1:50 000, (clave E16A56, E16A57, E16A66, E16A67, E16A76, E16A77, E16A87. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1987. Carta Geológica, escala 1:250 000, Chetumal E16-4-7. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1987. Carta Geológica, escala 1:250 000, Felipe Carrillo Puerto E16-1. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1987. Carta Geológica, escala 1:250 000, Bahía Ascensión E16-2-5. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1987. Carta Edafológica, escala 1:250 000, Chetumal E16-4-7. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1987. Carta Edafológica, escala 1:250 000, Felipe Carrillo Puerto E16-1. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1987. Carta Edafológica, escala 1:250 000, Bahía Ascensión E16-2-5. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1995. Carta Vegetación y Uso de Suelo, escala 1:250 000, Chetumal E16-4-7. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1995. Carta Vegetación y Uso de Suelo, escala 1:250 000, Felipe Carrillo Puerto E16-1. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1995. Carta Vegetación y Uso de Suelo, escala 1:250 000, Bahía Ascensión E16-2-5. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1989. Enciclopedia de los Estados de México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

INEGI, 1997. Anuario Estadístico de Quintana Roo. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia.

IGG-UNAM, SEMARNAP, INEGI; 2000. Carta de Cubierta Vegetal, Felipe Carrillo Puerto E16-1. Inventario Nacional Forestal. Instituto de Geografía, SEMARNAP, INEG

IGG-UNAM, SEMARNAP, INEGI; 2000. Carta de Cubierta Vegetal, Bahía Ascensión E16-25. Inventario Nacional Forestal. Instituto de Geografía, SEMARNAP, INEGI.

IGG-UNAM, SEMARNAP, INEGI; 2000. Carta de Cubierta Vegetal, Chetumal E16-47. Inventario Nacional Forestal. Instituto de Geografía, SEMARNAP, INEGI.

ITC, 1998. ILWIS User's Guide and ILWIS 2.1 for Windows. The Integrated Land and Water Information System Enschede, The Netherlands. 511pp.

Lambin E.F., 1997. Modeling and Monitoring Processes of Change of Covering Of Land in Tropical Regions. *Progress in Physical Geography* 21, 3. pp. 375-393.

Leff E.; 1990. Medio Ambiente y Desarrollo en México. Enrique Leff (Coordinador). Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades (CIIH), UNAM. Volúmenes 1 y 2. México.

Lillesand M. and Kiefer W. R.; 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Third edition. Ed. Wiley, USA. 750pp.

López G.M.J. y Caselles V. 1991. Introducción a la Teledetección. Páginas 33-40. En: Gandia S. y Melia J. La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos Renovables. Agricultura. Curso de Posgrado. Universitat de Valencia, Estudi General. Departament de Termodinàmica. Unidad de Investigación de Percepción Remota. Valencia. 25 de febrero-9 de marzo, España. Pp. 409.

López Ramos, E., 1981. Geología de México. Tomo III, segunda edición, México. Pp.263-295.

López G. E. M., Bocco G. y Mendoza C. M. E.; 2001. Predicción del Cambio de Cobertura y Uso del Suelo. El caso de la ciudad de Morelia. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 45, UNAM. México. pags. 56-76.

Lugo, A. E., Schmidt, R. and Brown, S.; 1981. Tropical Forest in the Caribbean. *Ambio* 10, 318-324.

Lugo-Hubp J.; 1992. Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán. UNAM, Instituto de Geología, *Revista* Vol. 10, No.2, pp.143-150.

Mackey E.C. and Tudor G.J.; 2000. Land Cover Changes in Scotland over the Past 50 Years. *Vegetation Mapping: From Patch to Planet*. Edited by Roy Alexander and Andrew C. Millington. Pp. 235-258.

Mas, F. J. y Ramírez, R. I.; 1996. Mejoramiento de las Clasificaciones Espectrales de Cubiertas de Suelo por medio de un Sistema de Información Geográfica. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, Núm. Especial 4. México.

Miranda, F., 1959. Vegetación de la Península Yucateca. Serie de sobretiros No. 2, Colegio de Posgraduados, escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. Pp. 163-271.

Ortíz Pérez, M.A. y Méndez Linares, A. P., 1995. Estructuras Tectónicas de Hundimiento en Chetumal y Sian Ka'an, Quintana Roo. Evidenciadas a partir de imágenes de satélite y modelos digitales. En: Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota SELPER. Puerto Vallarta 5-10 Nov.

Pérez P. R. y Segura V. R.; 1980. Investigación de Recursos Minerales y Suelos en el Estado de Quintana Roo. En: Quintana Roo. Problemática y Perspectiva. Instituto de Geografía, UNAM y CIQRO, Simposio: "Quintana Roo, Problemática y Perspectiva". Cancún, México. Pp. 81-95.

Pérez V. G., 1980. EL Clima y los Incendios Forestales en Quintana Roo. En: Quintana Roo. Problemática y Perspectiva, Cancún, México. Instituto de Geografía, UNAM y CIQRO. Pp. 65-77.

Ramírez, G. P., Ocaña, N. D y López-Blanco, J.; 1995. Procesamiento de Información Landsat TM y Fotografía Aérea para la Evaluación de la Comunidad de Manglar en la desembocadura del Río Santiago, Nayarit, México. Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota SELPER. Puerto Vallarta 5-10 Nov. Pp. 276-285.

Restrepo, I., 1995. Desarrollo sustentable en el Golfo y el Caribe de México. Centro de Ecología y Desarrollo.

Rzedowski, J.; 1994. Vegetación en México. Limusa/Noriega editores. México. 432pp.

Sader, S. A.; and Joyce T. A.; 1988. Deforestation Rates and Trends in Costa Rica, 1940 to 1983. Biotropica 20 (1): 11-19.

Sánchez Crispín A., 1980. Características Generales del Medio Físico de Quintana Roo. En: Memorias del Simposio: Quintana Roo, Problemática y Perspectiva. Cancún, México. pp. 29-36.

Segundo A., Macario P., de Alba R. y Cortina H.S.; 1998. Cambios en la Vegetación y Uso del Suelo en el Sur de la Laguna Bacalar, Quintana Roo. Revista Mexicana del Caribe 6, año III. Chetumal, Quintana Roo. Pp. 165-192.

Sommer S., J. Hill and J. Mégier; 1998. The Potential of Remote Sensing for Monitoring Rural land use changes and their effects on soil conditions. Agriculture, Ecosystems and Environment 67, Pp. 197-209.

Soto Mora, C. y Soto Mora, A., 1980. Población y Poblamiento de Quintana Roo. En: Memorias del Simposio: Quintana Roo, Problemática y Perspectiva. Cancún, México. pp. 29-36.

Southgate et. Al., 1991. The causes of tropical deforestation in Ecuador: a statistical analysis. World Development. Vol. 19. No. 9. Pp. 1145-1151.

Téllez V. O., Cabrera E. y Souza S. M.; 1980. Inventario de los Recursos Vegetales de Quintana Roo. En: Memorias del Simposio: Quintana Roo. Problemática y Perspectiva. Instituto de Geografía, UNAM y CIQRO. Pp. 97-104.

Vázquez Rangel G. y Ramírez López J., 1995. Quintana Roo. En: Marginación y Pobreza en México. Edit. Ariel, México. Pp. 269-279.

Veldkamp A. and Lambin E.F.; 2001. Predicting land-Use Change. Agriculture, Ecosystems and Environment 85, Pp. 1-6.

Anexo

Contiene las tablas que indican los valores estadísticos de todas las fechas y periodos, dichas estadísticas fueron obtenidas en las siguientes etapas: generación de cada mapa base y después de aplicar un operador de condición y comparación dentro de un sistema de información. Además se presenta un esquema con los pasos que se siguieron para homologar la leyenda final que fue utilizada en los mapas de vegetación y uso del suelo en las fechas 1981, 1993 y 2002.

Tablas de valores del periodo 1981-1993

MATRIZ DE TIPO DE CAMBIO EN EL PERIODO 981-1993 (área de estudio completa)												
	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	Total
SMSp	0	196424	211247	44405	13204	78603	72174	2448	29476	2175	1289	651445
SBSc	98323	0	31848	782	6	160	11078	410	175	56	0	142838
SAI	48693	8323	0	1487	4465	3495	31728	752	12047	893	37	111920
VegSec	14587	1491	1763	0	560	2309	573	44	80	141	263	21811
AC	29812	606	1073	10440	0	26636	1011	55	776	129	2514	73052
ASD	13455	216	405	4839	321	0	735	190	136	32	1266	21595
AICp	11035	10300	36043	77	2	288	0	693	62099	1844	0	122381
AIDV	12265	3329	32072	117	9	635	86428	0	215972	3314	8	354149
AI	4664	946	28013	116	35	534	57097	2332	0	6806	6	100549
Agua	2106	154	8117	86	3	421	12852	4170	17540	0	104	45553
Urbano	7718	84	117	3699	1349	5489	535	62	251	13	0	19317
Total	242658	221873	350698	66048	19954	118570	274211	11156	338552	15403	5487	1664610
LO QUE PERMANECIÓ												
SMSp	3707295											
SBSc	3728080											
SAI	3599255											
VegSec	3883905											
AC	3929999											
ASD	3831383											
AICp	3675742											
AIDV	3938797											
AI	3611401											
Agua	3934550											
Urbano	3944466											
Sin Cambio	2285343											

CellSize 812.364004

Matriz de Cambio en M2

F1/F2	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	Total
SMSp	0	159567787.1	171609458.8	36073023.6	10726454.31	63854247.81	58631559.62	1988667.082	23945241.38	1766891.709	1047137.201	529210468.6
SBSc	79874065.97	0	25872168.8	635268.6511	4874.184024	129978.2406	8999368.436	333069.2416	142163.7007	45492.38422	0	645246918.2
SAI	39556440.45	6761305.605	0	1207985.274	3627205.278	2839212.194	25774685.12	610897.731	9786549.156	725441.0556	30057.46815	736166697.5
VegSec	11849953.73	1211234.73	1432197.739	0	454923.8422	1875748.485	465484.5743	35744.01618	64989.12032	114543.3246	213651.7331	753885168.8
AC	24218195.69	492292.5864	871666.5763	8481080.202	0	21638127.61	821300.008	44680.02022	630394.4671	104794.9565	2042283.106	813229984
ASD	10930357.67	175470.6249	329007.4216	3931029.415	260768.8453	0	597087.5429	154349.1608	110481.5045	25995.64813	1028452.829	830772984.7
AICp	8964436.784	8367349.241	29280035.8	62552.02831	1624.728008	233960.8332	0	562968.2548	50446992.28	1497999.223	0	930190903.9
AIDV	9963644.509	2704359.769	26054138.34	95046.58847	7311.276036	515851.1425	70210996.14	0	175447878.7	2692174.309	6498.912032	1217888804
AI	3788865.715	768496.3478	22756752.84	94234.22446	28432.74014	433802.3781	46383547.54	1894432.857	0	5528949.411	4874.184024	1299571192
Agua	1710838.592	125104.0566	6593958.62	69863.30434	2437.092012	342005.2457	10440502.18	3387557.897	14248864.63	0	84485.85642	1336576809
Urbano	6269825.383	68238.57634	95046.58847	3004934.451	1095879.041	4459066.018	434614.7421	50366.56825	203903.365	10560.73205	0	1352269245
Total	197126624.5	377368263.1	662262694.6	715917712.4	732127623.7	828449623.6	1051208770	1060271502	1335298961	1347811803	1352269245	11012382067

Matriz de Tipo de Cambio en KM2

F1/F2	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano
SMSp	0	159.57	171.61	36.07	10.73	63.85	58.63	1.99	23.95	1.77	1.05
SBSc	79.87	0	25.87	0.64	0.00	0.13	9.00	0.33	0.14	0.05	0.00
SAI	39.56	6.76	0	1.21	3.63	2.84	25.77	0.61	9.79	0.73	0.03
VegSec	11.85	1.21	1.43	0	0.45	1.88	0.47	0.04	0.06	0.11	0.21
AC	24.22	0.49	0.87	8.48	0	21.64	0.82	0.04	0.63	0.10	2.04
ASD	10.93	0.18	0.33	3.93	0.26	0	0.60	0.15	0.11	0.03	1.03
AICp	8.96	8.37	29.28	0.06	0.00	0.23	0	0.56	50.45	1.50	0.00
AIDV	9.96	2.70	26.05	0.10	0.01	0.52	70.21	0	175.45	2.69	0.01
AI	3.79	0.77	22.76	0.09	0.03	0.43	46.38	1.89	0	5.53	0.00
Agua	1.71	0.13	6.59	0.07	0.00	0.34	10.44	3.39	14.25	0	0.08
Urbano	6.27	0.07	0.10	3.00	1.10	4.46	0.43	0.05	0.20	0.01	0
Total	197.13	180.24	284.89	53.66	16.21	96.32	222.76	9.06	275.03	12.51	4.46

Matriz de Tipo de Cambio en %

F1/F2	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano
SMSp	0	42.28	25.91	5.04	1.47	7.71	5.58	0.19	1.79	0.13	0.08
SBSc	40.52	0	3.91	0.09	0.00	0.02	0.86	0.03	0.01	0.00	0.00
SAI	20.07	1.79	0	0.17	0.50	0.34	2.45	0.06	0.73	0.05	0.00
VegSec	6.01	0.32	0.22	0	0.06	0.23	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02
AC	12.29	0.13	0.13	1.18	0	2.61	0.08	0.00	0.05	0.01	0.15
ASD	5.54	0.05	0.05	0.55	0.04	0	0.06	0.01	0.01	0.00	0.08
AICp	4.55	2.22	4.42	0.01	0.00	0.03	0	0.05	3.78	0.11	0.00
AIDV	5.05	0.72	3.93	0.01	0.00	0.06	6.68	0	13.14	0.20	0.00
AI	1.92	0.20	3.44	0.01	0.00	0.05	4.41	0.18	0	0.41	0.00
Agua	0.87	0.03	1.00	0.01	0.00	0.04	0.99	0.32	1.07	0	0.01
Urbano	3.18	0.02	0.01	0.42	0.15	0.54	0.04	0.00	0.02	0.00	0
Total	100										

Tabla que muestra el tipo de cambio			
CLASE	CANT. PIXEL	TIPO DE CAMBIO	VALOR FINAL
SMSp	3707295	Sin Cambio	0
1 a 2	98323	SMSp-SBSc	1
1 a 3	48693	SMSp-SAI	2
1 a 4	14587	SMSp-VegSec	3
1 a 5	29812	SMSp-AC	4
1 a 6	13455	SMSp-ASD	5
1 a 7	11035	SMSp-AICp	6
1 a 8	12265	SMSp-AIDV	7
1 a 9	4664	SMSp-AI	8
1 a 10	2106	SMSp-Agua	9
1 a 12	7718	SMSp-Urbano	10
SBSc	3728080	Sin Cambio	0
2 a 1	196424	SBSc-SMSp	11
2 a 3	8323	SBSc-SAI	12
2 a 4	1491	SBSc-VegSec	13
2 a 5	606	SBSc-AC	14
2 a 6	216	SBSc-ASD	15
2 a 7	10300	SBSc-AICp	16
2 a 8	3329	SBSc-AIDV	17
2 a 9	946	SBSc-AI	18
2 a 10	154	SBSc-Agua	19
2 a 11	84	SBSc-Urbano	20
SAI	3599255	Sin Cambio	0
3 a 1	211247	SAI-SMSp	21
3 a 2	31848	SAI-SBSc	22
3 a 4	1763	SAI-VegSec	23
3 a 5	1073	SAI-AC	24
3 a 6	405	SAI-ASD	25
3 a 7	36043	SAI-AICp	26
3 a 8	32072	SAI-AIDV	27
3 a 9	28013	SAI-AI	28
3 a 10	8117	SAI-Agua	29
3 a 11	117	SAI-Urbano	30
VegSec	3883905	Sin Cambio	0
4 a 1	44405	VegSec-SMSp	31
4 a 2	782	VegSec-SBSc	32
4 a 3	1487	VegSec-SAI	33
4 a 5	10440	VegSec-AC	34
4 a 6	4839	VegSec-ASD	35
4 a 7	77	VegSec-AICp	36
4 a 8	117	VegSec-AIDV	37
4 a 9	116	VegSec-AI	38
4 a 10	86	VegSec-Agua	39
4 a 11	3699	VegSec-Urbano	40

CLASE	CANT. PIXEL	TIPO DE CAMBIO	VALOR FINAL
AC	3929999	Sin Cambio	0
5 a 1	13204	AC-SMSp	41
5 a 2	6	AC-SBSc	42
5 a 3	4465	AC-SAI	43
5 a 4	560	AC-VegSec	44
5 a 6	321	AC-ASD	45
5 a 7	2	AC-AICp	46
5 a 8	9	AC-AIDV	47
5 a 9	35	AC-AI	48
5 a 10	3	AC-Agua	49
5 a 11	1349	AC-Urbano	50
ASD	3831383	Sin Cambio	0
6 a 1	78603	ASD-SMSp	51
6 a 2	160	ASD-SBSc	52
6 a 3	3495	ASD-SAI	53
6 a 4	2309	ASD-VegSec	54
6 a 5	26636	ASD-AC	55
6 a 7	288	ASD-AICp	56
6 a 8	635	ASD-AIDV	57
6 a 9	534	ASD-AI	58
6 a 10	421	ASD-Agua	59
6 a 11	5489	ASD-Urbano	60
AICp	3675742	Sin Cambio	0
7 a 1	72174	AICp-SMSp	61
7 a 2	11078	AICp-SBSc	62
7 a 3	31728	AICp-SAI	63
7 a 4	573	AICp-VegSec	64
7 a 5	1011	AICp-AC	65
7 a 6	735	AICp-ASD	66
7 a 8	86428	AICp-AIDV	67
7 a 9	57097	AICp-AI	68
7 a 10	12852	AICp-Agua	69
7 a 11	535	AICp-Urbano	70
AIDV	3938797	Sin Cambio	0
8 a 1	2448	AIDV-SMSp	71
8 a 2	410	AIDV-SBSc	72
8 a 3	752	AIDV-SAI	73
8 a 4	44	AIDV-VegSec	74
8 a 5	55	AIDV-AC	75
8 a 6	190	AIDV-ASD	76
8 a 7	693	AIDV-AICp	77
8 a 9	2332	AIDV-AI	78
8 a 10	4170	AIDV-Agua	79
8 a 11	62	AIDV-Urbano	80

CLASE	CANT. PIXEL	TIPO DE CAMBIO	VALOR FINAL
AI	3611401	Sin Cambio	0
9 a 1	29476	AI-SMSp	81
9 a 2	175	AI-SBSc	82
9 a 3	12047	AI-SAI	83
9 a 4	80	AI-VegSec	84
9 a 5	776	AI-AC	85
9 a 6	136	AI-ASD	86
9 a 7	62099	AI-AICp	87
9 a 8	215972	AI-AIDV	88
9 a 10	17540	AI-Agua	89
9 a 11	251	AI-Urbano	90
AGUA	3934550	Sin Cambio	0
10 a 1	2175	Agua-SMSp	91
10 a 2	56	Agua-SBSc	92
10 a 3	893	Agua-SAI	93
10 a 4	141	Agua-VegSec	94
10 a 5	129	Agua-AC	95
10 a 6	32	Agua-ASD	96
10 a 7	1844	Agua-AICp	97
10 a 8	3314	Agua-AIDV	98
10 a 9	6806	Agua-AI	99
10 a 11	13	Agua-Urbano	100
URBANO	3944466	Sin Cambio	0
11 a 1	1289	Urbano-SMSp	101
11 a 3	37	Urbano-SAI	102
11 a 4	263	Urbano-VegSec	103
11 a 5	2514	Urbano-AC	104
11 a 6	1266	Urbano-ASD	105
11 a 8	8	Urbano-AIDV	106
11 a 9	6	Urbano-AI	107
11 a 10	104	Urbano-Agua	108

CANT. PIXEL	TIPO DE CAMBIO	VALOR FINAL	Area m ²	Area en Ha	Area en km ²	%	
1	2	AC-AICp	46	1624.73	0.16	0.00	0.00
2	3	AC-Agua	49	2437.09	0.24	0.00	0.00
3	6	AC-SBSc	42	4874.18	0.49	0.00	0.00
4	6	Urbano-AI	107	4874.18	0.49	0.00	0.00
5	8	Urbano-AIDV	106	6498.91	0.65	0.01	0.00
6	9	AC-AIDV	47	7311.28	0.73	0.01	0.00
7	13	Agua-Urbano	100	10560.73	1.06	0.01	0.00
8	32	Agua-ASD	96	25995.65	2.60	0.03	0.00
9	35	AC-AI	48	28432.74	2.84	0.03	0.00
10	37	Urbano-SAI	102	30057.47	3.01	0.03	0.00
11	44	AIDV-VegSec	74	35744.02	3.57	0.04	0.00
12	55	AIDV-AC	75	44680.02	4.47	0.04	0.00
13	56	Agua-SBSc	92	45492.38	4.55	0.05	0.00
14	62	AIDV-Urbano	80	50366.57	5.04	0.05	0.00
15	77	VegSec-AICp	36	62552.03	6.26	0.06	0.00
16	80	AI-VegSec	84	64989.12	6.50	0.06	0.00
17	84	SBSc-Urbano	20	68238.58	6.82	0.07	0.01
18	86	VegSec-Agua	39	69863.30	6.99	0.07	0.01
19	104	Urbano-Agua	108	84485.86	8.45	0.08	0.01
20	116	VegSec-AI	38	94234.22	9.42	0.09	0.01
21	117	SAI-Urbano	30	95046.59	9.50	0.10	0.01
22	117	VegSec-AIDV	37	95046.59	9.50	0.10	0.01
23	129	Agua-AC	95	104794.96	10.48	0.10	0.01
24	136	AI-ASD	86	110481.50	11.05	0.11	0.01
25	141	Agua-VegSec	94	114543.32	11.45	0.11	0.01
26	154	SBSc-Agua	19	125104.06	12.51	0.13	0.01
27	160	ASD-SBSc	52	129978.24	13.00	0.13	0.01
28	175	AI-SBSc	82	142163.70	14.22	0.14	0.01
29	190	AIDV-ASD	76	154349.16	15.43	0.15	0.01
30	216	SBSc-ASD	15	175470.62	17.55	0.18	0.01
31	251	AI-Urbano	90	203903.37	20.39	0.20	0.02
32	263	Urbano-VegSec	103	213651.73	21.37	0.21	0.02
33	288	ASD-AICp	56	233960.83	23.40	0.23	0.02
34	321	AC-ASD	45	260768.85	26.08	0.26	0.02
35	405	SAI-ASD	25	329007.42	32.90	0.33	0.02
36	410	AIDV-SBSc	72	333069.24	33.31	0.33	0.02
37	421	ASD-Agua	59	342005.25	34.20	0.34	0.03
38	534	ASD-AI	58	433802.38	43.38	0.43	0.03
39	535	AICp-Urbano	70	434614.74	43.46	0.43	0.03
40	560	AC-VegSec	44	454923.84	45.49	0.45	0.03
41	573	AICp-VegSec	64	465484.57	46.55	0.47	0.03
42	606	SBSc-AC	14	492292.59	49.23	0.49	0.04
43	635	ASD-AIDV	57	515851.14	51.59	0.52	0.04
44	693	AIDV-AICp	77	562968.25	56.30	0.56	0.04
45	735	AICp-ASD	66	597087.54	59.71	0.60	0.04
46	752	AIDV-SAI	73	610897.73	61.09	0.61	0.05
47	776	AI-AC	85	630394.47	63.04	0.63	0.05
48	782	VegSec-SBSc	32	635268.65	63.53	0.64	0.05
49	893	Agua-SAI	93	725441.06	72.54	0.73	0.05
50	946	SBSc-AI	18	768496.35	76.85	0.77	0.06
51	1011	AICp-AC	65	821300.01	82.13	0.82	0.06
52	1073	SAI-AC	24	871666.58	87.17	0.87	0.06
53	1266	Urbano-ASD	105	1028452.83	102.85	1.03	0.08
54	1289	Urbano-SMSP	101	1047137.20	104.71	1.05	0.08
55	1349	AC-Urbano	50	1095879.04	109.59	1.10	0.08
56	1487	VegSec-SAI	33	1207985.27	120.80	1.21	0.09
57	1491	SBSc-VegSec	13	1211234.73	121.12	1.21	0.09

1.37

58	1763	SAI-VegSec	23	1432197.74	143.22	1.43	0.11
59	1844	Agua-AICp	97	1497999.22	149.80	1.50	0.11
60	2106	SMSp-Agua	9	1710838.59	171.08	1.71	0.13
61	2175	Agua-SMSP	91	1766891.71	176.69	1.77	0.13
62	2309	ASD-VegSec	54	1875748.49	187.57	1.88	0.14
63	2332	AIDV-AI	78	1894432.86	189.44	1.89	0.14
64	2448	AIDV-SMSP	71	1988667.08	198.87	1.99	0.15
65	2514	Urbano-AC	104	2042283.11	204.23	2.04	0.15
66	3314	Agua-AIDV	98	2692174.31	269.22	2.69	0.20
67	3329	SBSc-AIDV	17	2704359.77	270.44	2.70	0.20
68	3495	ASD-SAI	53	2839212.19	283.92	2.84	0.21
69	3699	VegSec-Urbano	40	3004934.45	300.49	3.00	0.22
70	4170	AIDV-Agua	79	3387557.90	338.76	3.39	0.25
71	4465	AC-SAI	43	3627205.28	362.72	3.63	0.27
72	4664	SMSp-AI	8	3788865.71	378.89	3.79	0.28
73	4839	VegSec-ASD	35	3931029.42	393.10	3.93	0.29
74	5489	ASD-Urbano	60	4459066.02	445.91	4.46	0.33
75	6806	Agua-AI	99	5528949.41	552.89	5.53	0.41
76	7718	SMSp-Urbano	10	6269825.38	626.98	6.27	0.46
77	8117	SAI-Agua	29	6593958.62	659.40	6.59	0.49
78	8323	SBSc-SAI	12	6761305.61	676.13	6.76	0.50
79	10300	SBSc-AICp	16	8367349.24	836.73	8.37	0.62
80	10440	VegSec-AC	34	8481080.20	848.11	8.48	0.63
81	11035	SMSp-AICp	6	8964436.78	896.44	8.96	0.66
82	11078	AICp-SBSc	62	8999368.44	899.94	9.00	0.67
83	12047	AI-SAI	83	9786549.16	978.65	9.79	0.72
84	12265	SMSp-AIDV	7	9963644.51	996.36	9.96	0.74
85	12852	AICp-Agua	69	10440502.18	1044.05	10.44	0.77
86	13204	AC-SMSP	41	10726454.31	1072.65	10.73	0.79
87	13455	SMSp-ASD	5	10930357.67	1093.04	10.93	0.81
88	14587	SMSp-VegSec	3	11849953.73	1185.00	11.85	0.88

12.45

89	17540	AI-Agua	89	14248864.63	1424.89	14.25	1.05
90	26636	ASD-AC	55	21638127.61	2163.81	21.64	1.60
91	28013	SAI-AI	28	22756752.84	2275.68	22.76	1.68
92	29476	AI-SMSP	81	23945241.38	2394.52	23.95	1.77
93	29812	SMSp-AC	4	24218195.69	2421.82	24.22	1.79
94	31728	AICp-SAI	63	25774685.12	2577.47	25.77	1.91
95	31848	SAI-SBSc	22	25872168.80	2587.22	25.87	1.91
96	32072	SAI-AIDV	27	26054138.34	2605.41	26.05	1.93
97	36043	SAI-AICp	26	29280035.80	2928.00	29.28	2.17
98	44405	VegSec-SMSP	31	36073023.60	3607.30	36.07	2.67
99	48693	SMSp-SAI	2	39556440.45	3955.64	39.56	2.93
100	57097	AICp-AI	68	46383547.54	4638.35	46.38	3.43
101	62099	AI-AICp	87	50446992.28	5044.70	50.45	3.73
102	72174	AICp-SMSP	61	58631559.62	5863.16	58.63	4.34
103	78603	ASD-SMSP	51	63854247.81	6385.42	63.85	4.72
104	86428	AICp-AIDV	67	70210996.14	7021.10	70.21	5.19
105	98323	SMSp-SBSc	1	79874065.97	7987.41	79.87	5.91
106	196424	SBSc-SMSP	11	159567787.12	15956.78	159.57	11.80
107	211247	SAI-SMSP	21	171609458.75	17160.95	171.61	12.69
108	215972	AI-AIDV	88	175447878.67	17544.79	175.45	12.97

1664610

1352269244.70

135226.92

1352.27

86.18

Celda 812.364004
Total 100.00

Tipo de cambio 1981-1993												
93/81	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	Total
SMSp		0	4852	21269	6874	61905	7453	1461	6569	1478	779	112640
SBSc	361		28	86	6	88	77	0	5	0	0	651
SAI	6941	0		905	4463	2159	2174	268	1718	193	22	18843
VegSec	9850	0	845		560	1948	478	44	45	67	174	14011
AC	19744	0	609	7899		21886	808	54	584	91	2184	53859
ASD	6448	0	151	2314	321		13	190	131	16	1115	10699
AICp	963	0	288	3	0	99		490	2856	160	0	4859
AIDV	4054	0	2732	104	9	552	12105	0	22404	2281	8	44249
AI	1333	0	3742	36	24	447	15150	967	0	2282	2	23983
Agua	1482	0	2847	86	3	344	6118	1608	12679	0	95	25262
Urbano	6168	0	72	2404	1349	4620	66	62	208	13	0	14962
												211378

Tipo de cambio 1981-1993 en m²												
93/81	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	
SMSp		0	3941590.147	17278170	5584190.163	50289393.67	6054548.922	1186863.81	5336419.142	1200673.998	632831.5591	
SBSc	293263.4054		22746.19211	69863.30434	4874.184024	71488.03235	62552.02831	0	4061.82002	0	0	
SAI	5638618.552	0		735189.4236	3625580.55	1753893.885	1766079.345	217713.5531	1395641.359	156786.2528	17872.00809	
VegSec	8001785.439	0	686447.5834		454923.8422	1582485.08	388309.9939	35744.01618	36556.38018	54428.38827	141351.3367	
AC	16039314.89	0	494729.6784	6416863.268		17779398.59	656390.1152	43867.65622	474420.5783	73925.12436	1774202.985	
ASD	5238123.098	0	122666.9646	1879810.305	260768.8453		10560.73205	154349.1608	106419.6845	12997.82406	905785.8645	
AICp	782306.5359	0	233960.8332	2437.092012	0	80424.0364		398058.362	2320111.595	129978.2406	0	
AIDV	3293323.672	0	2219378.459	84485.85642	7311.276036	448424.9302	9833666.268		18200203.15	1853002.293	6498.912032	
AI	1082881.217	0	3039866.103	29245.10414	19496.7361	363126.7098	12307314.66	785555.9919		1853814.657	1624.728008	
Agua	1203923.454	0	2312800.319	69863.30434	2437.092012	279453.2174	4970042.976	1306281.318	10299963.21		77174.58038	
Urbano	5010661.177	0	58490.20829	1952923.066	1095879.041	3753121.698	53616.02426	50366.56825	168971.7128	10560.73205		

Cell size
812.364004

Tipo de cambio 1981-1993 en km²												
93/81	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	
SMSp			3.94	17.28	5.58	50.29	6.05	1.19	5.34	1.20	0.63	
SBSc			0.02	0.07	0.0049	0.07	0.06	0.00	0.0041	0.00	0.00	
SAI	5.64	0.00		0.74	3.63	1.75	1.77	0.22	1.40	0.16	0.02	
VegSec	8.00	0.00	0.69		0.45	1.58	0.39	0.04	0.04	0.05	0.14	
AC	16.04	0.00	0.49	6.42		17.78	0.66	0.04	0.47	0.07	1.77	
ASD	5.24	0.00	0.12	1.88	0.26		0.01	0.15	0.11	0.01	0.91	
AICp	0.78	0.00	0.23	0.00	0.00	0.08		0.40	2.32	0.13	0.00	
AIDV	3.29	0.00	2.22	0.08	0.01	0.45	9.83		18.20	1.85	0.01	
AI	1.08	0.00	3.04	0.03	0.02	0.36	12.31	0.79		1.85	0.00	
Agua	1.20	0.00	2.31	0.07	0.00	0.28	4.97	1.31	10.30		0.08	
Urbano	5.01	0.00	0.06	1.95	1.10	3.75	0.05	0.05	0.17	0.01		

Tabla que muestra el tipo de cambio

Clase	Count	Tipo_cambio	ID final
1 a 2	361	SMSp-SBSc	1
1 a 3	6941	SMSp-SAI	2
1 a 4	9850	SMSp-VegSec	3
1 a 5	19744	SMSp-AC	4
1 a 6	6448	SMSp-ASD	5
1 a 7	963	SMSp-AICp	6
1 a 8	4054	SMSp-AIDV	7
1 a 9	1333	SMSp-AI	8
1 a 10	1482	SMSp-Agua	9
1 a 11	6168	SMSp-Urbano	10
3 a 1	4852	SAI-SMSp	11
3 a 2	28	SAI-SBSc	12
3 a 4	845	SAI-VegSec	13
3 a 5	609	SAI-AC	14
3 a 6	151	SAI-ASD	15
3 a 7	288	SAI-AICp	16
3 a 8	2732	SAI-AIDV	17
3 a 9	3742	SAI-AI	18
3 a 10	2847	SAI-Agua	19
3 a 11	72	SAI-Urbano	20
4 a 1	21269	VegSec-SMSp	21
4 a 2	86	VegSec-SBSc	22
4 a 3	905	VegSec-SAI	23
4 a 5	7899	VegSec-AC	24
4 a 6	2314	VegSec-ASD	25
4 a 7	3	VegSec-AICp	26
4 a 8	104	VegSec-AIDV	27
4 a 9	36	VegSec-AI	28
4 a 10	86	VegSec-Agua	29
4 a 11	2404	VegSec-Urbano	30
5 a 1	6874	AC-SMSp	31
5 a 2	6	AC-SBSc	32
5 a 3	4463	AC-SAI	33
5 a 4	560	AC-VegSec	34
5 a 6	321	AC-ASD	35
5 a 8	9	AC-AIDV	36
5 a 9	24	AC-AI	37
5 a 10	3	AC-Agua	38
5 a 11	1349	AC-Urbano	39
6 a 1	61905	ASD-SMSp	40
6 a 2	88	ASD-SBSc	41
6 a 3	2159	ASD-SAI	42
6 a 4	1948	ASD-VegSec	43
6 a 5	21886	ASD-AC	44
6 a 7	99	ASD-AICp	45
6 a 8	552	ASD-AIDV	46
6 a 9	447	ASD-AI	47
6 a 10	344	ASD-Agua	48
6 a 11	4620	ASD-Urbano	49

Clase	Count	Tipo_cambio	ID final
7 a 1	7453	AICp-SMSp	50
7 a 2	77	AICp-SBSc	51
7 a 3	2174	AICp-SAI	52
7 a 4	478	AICp-VegSec	53
7 a 5	808	AICp-AC	54
7 a 6	13	AICp-ASD	55
7 a 8	12105	AICp-AIDV	56
7 a 9	15150	AICp-AI	57
7 a 10	6118	AICp-Agua	58
7 a 11	66	AICp-Urbano	59
8 a 1	1461	AIDV-SMSp	60
8 a 3	268	AIDV-SAI	61
8 a 4	44	AIDV-VegSec	62
8 a 5	54	AIDV-AC	63
8 a 6	190	AIDV-ASD	64
8 a 7	490	AIDV-AICp	65
8 a 9	967	AIDV-AI	66
8 a 10	1608	AIDV-Agua	67
8 a 11	62	AIDV-Urbano	68
9 a 1	6569	AI-SMSp	69
9 a 2	5	AI-SBSc	70
9 a 3	1718	AI-SAI	71
9 a 4	45	AI-VegSec	72
9 a 5	584	AI-AC	73
9 a 6	131	AI-ASD	74
9 a 7	2856	AI-AICp	75
9 a 8	22404	AI-AIDV	76
9 a 10	12679	AI-Agua	77
9 a 11	208	AI-Urbano	78
10 a 1	1478	Agua-SMSp	79
10 a 3	193	Agua-SAI	80
10 a 4	67	Agua-VegSec	81
10 a 5	91	Agua-AC	82
10 a 6	16	Agua-ASD	83
10 a 7	160	Agua-AICp	84
10 a 8	2281	Agua-AIDV	85
10 a 9	2282	Agua-AI	86
10 a 11	13	Agua-Urbano	87
11 a 1	779	Urbano-SMSp	88
11 a 3	22	Urbano-SAI	89
11 a 4	174	Urbano-VegSec	90
11 a 5	2184	Urbano-AC	91
11 a 6	1115	Urbano-ASD	92
11 a 8	8	Urbano-AIDV	93
11 a 9	2	Urbano-AI	94
11 a 10	95	Urbano-Agua	95

Tabla que representa los 95 tipos de cambio para el periodo 81-93 de la sub-área.

Cantidad Pixel	Tipo cambio	ID final	Area en M2	Area en Ha	Area en KM2	%	
1	2	Urbano-AI	94	1624.73	0.16	0.00	0.00
2	3	VegSec-AICp	26	2437.09	0.24	0.00	0.00
3	3	AC-Agua	38	2437.09	0.24	0.00	0.00
4	5	AI-SBSc	70	4061.82	0.41	0.00	0.00
5	6	AC-SBSc	32	4874.18	0.49	0.00	0.00
6	8	Urbano-AIDV	93	6498.91	0.65	0.01	0.00
7	9	AC-AIDV	36	7311.28	0.73	0.01	0.00
8	13	AICp-ASD	55	10560.73	1.06	0.01	0.00
9	13	Agua-Urbano	87	10560.73	1.06	0.01	0.00
10	16	Agua-ASD	83	12997.82	1.30	0.01	0.00
11	22	Urbano-SAI	89	17872.01	1.79	0.02	0.01
12	24	AC-AI	37	19496.74	1.95	0.02	0.01
13	28	SAI-SBSc	12	22746.19	2.27	0.02	0.01
14	36	VegSec-AI	28	29245.10	2.92	0.03	0.01
15	44	AIDV-VegSec	62	35744.02	3.57	0.04	0.01
16	45	AI-VegSec	72	36556.38	3.66	0.04	0.01
17	54	AIDV-AC	63	43867.66	4.39	0.04	0.02
18	62	AIDV-Urbano	68	50366.57	5.04	0.05	0.02
19	66	AICp-Urbano	59	53616.02	5.36	0.05	0.02
20	67	Agua-VegSec	81	54428.39	5.44	0.05	0.02
21	72	SAI-Urbano	20	58490.21	5.85	0.06	0.02
22	77	AICp-SBSc	51	62552.03	6.26	0.06	0.02
23	86	VegSec-SBSc	22	69863.30	6.99	0.07	0.03
24	86	VegSec-Agua	29	69863.30	6.99	0.07	0.03
25	88	ASD-SBSc	41	71488.03	7.15	0.07	0.03
26	91	Agua-AC	82	73925.12	7.39	0.07	0.03
27	95	Urbano-Agua	95	77174.58	7.72	0.08	0.03
28	99	ASD-AICp	45	80424.04	8.04	0.08	0.03
29	104	VegSec-AIDV	27	84485.86	8.45	0.08	0.03
30	131	AI-ASD	74	106419.68	10.64	0.11	0.04
31	151	SAI-ASD	15	122666.96	12.27	0.12	0.05
32	160	Agua-AICp	84	129978.24	13.00	0.13	0.05
33	174	Urbano-VegSec	90	141351.34	14.14	0.14	0.05
34	190	AIDV-ASD	64	154349.16	15.43	0.15	0.06
35	193	Agua-SAI	80	156786.25	15.68	0.16	0.06
36	208	AI-Urbano	78	168971.71	16.90	0.17	0.06
37	268	AIDV-SAI	61	217713.55	21.77	0.22	0.08
38	288	SAI-AICp	16	233960.83	23.40	0.23	0.09
							0.95

39	321	AC-ASD	35	260768.85	26.08	0.26	0.10
40	344	ASD-Agua	48	279453.22	27.95	0.28	0.11
41	361	SMSp-SBSc	1	293263.41	29.33	0.29	0.11
42	447	ASD-AI	47	363126.71	36.31	0.36	0.14
43	478	AICp-VegSec	53	388309.99	38.83	0.39	0.15
44	490	AIDV-AICp	65	398058.36	39.81	0.40	0.15
45	552	ASD-AIDV	46	448424.93	44.84	0.45	0.17
46	560	AC-VegSec	34	454923.84	45.49	0.45	0.17
47	584	AI-AC	73	474420.58	47.44	0.47	0.18
48	609	SAI-AC	14	494729.68	49.47	0.49	0.19
49	779	Urbano-SMSp	88	632831.56	63.28	0.63	0.24
50	808	AICp-AC	54	656390.12	65.64	0.66	0.25
51	845	SAI-VegSec	13	686447.58	68.64	0.69	0.26
52	905	VegSec-SAI	23	735189.42	73.52	0.74	0.28
53	963	SMSp-AICp	6	782306.54	78.23	0.78	0.30
54	967	AIDV-AI	66	785555.99	78.56	0.79	0.30
55	1115	Urbano-ASD	92	905785.86	90.58	0.91	0.34
56	1333	SMSp-AI	8	1082881.22	108.29	1.08	0.41
57	1349	AC-Urbano	39	1095879.04	109.59	1.10	0.42
58	1461	AIDV-SMSp	60	1186863.81	118.69	1.19	0.45
59	1478	Agua-SMSp	79	1200674.00	120.07	1.20	0.46
60	1482	SMSp-Agua	9	1203923.45	120.39	1.20	0.46
61	1608	AIDV-Agua	67	1306281.32	130.63	1.31	0.50
62	1718	AI-SAI	71	1395641.36	139.56	1.40	0.53
63	1948	ASD-VegSec	43	1582485.08	158.25	1.58	0.60
64	2159	ASD-SAI	42	1753893.88	175.39	1.75	0.67
65	2174	AICp-SAI	52	1766079.34	176.61	1.77	0.67
66	2184	Urbano-AC	91	1774202.98	177.42	1.77	0.67
67	2281	Agua-AIDV	85	1853002.29	185.30	1.85	0.70
68	2282	Agua-AI	86	1853814.66	185.38	1.85	0.70
69	2314	VegSec-ASD	25	1879810.31	187.98	1.88	0.71
70	2404	VegSec-Urbano	30	1952923.07	195.29	1.95	0.74
71	2732	SAI-AIDV	17	2219378.46	221.94	2.22	0.84
72	2847	SAI-Agua	19	2312800.32	231.28	2.31	0.88
73	2856	AI-AICp	75	2320111.60	232.01	2.32	0.88

14.73

74	3742	SAI-AI	18	3039866.10	303.99	3.04	1.15
75	4054	SMSp-AIDV	7	3293323.67	329.33	3.29	1.25
76	4463	AC-SAI	33	3625580.55	362.56	3.63	1.38
77	4620	ASD-Urbano	49	3753121.70	375.31	3.75	1.43
78	4852	SAI-SMSp	11	3941590.15	394.16	3.94	1.50
79	6118	AICp-Agua	58	4970042.98	497.00	4.97	1.89
80	6168	SMSp-Urbano	10	5010661.18	501.07	5.01	1.90
81	6448	SMSp-ASD	5	5238123.10	523.81	5.24	1.99
82	6569	AI-SMSp	69	5336419.14	533.64	5.34	2.03
83	6874	AC-SMSp	31	5584190.16	558.42	5.58	2.12
84	6941	SMSp-SAI	2	5638618.55	563.86	5.64	2.14
85	7453	AICp-SMSp	50	6054548.92	605.45	6.05	2.30
86	7899	VegSec-AC	24	6416863.27	641.69	6.42	2.44
87	9850	SMSp-VegSec	3	8001785.44	800.18	8.00	3.04
88	12105	AICp-AIDV	56	9833666.27	983.37	9.83	3.74
89	12679	AI-Agua	77	10299963.21	1030.00	10.30	3.91
90	15150	AICp-AI	57	12307314.66	1230.73	12.31	4.68
91	19744	SMSp-AC	4	16039314.89	1603.93	16.04	6.09
92	21269	VegSec-SMSp	21	17278170.00	1727.82	17.28	6.56
93	21886	ASD-AC	44	17779398.59	1777.94	17.78	6.75
94	22404	AI-AIDV	76	18200203.15	1820.02	18.20	6.91
95	61905	ASD-SMSp	40	50289393.67	5028.94	50.29	19.11

Total 324018 263220559.85 26322.06 263.22 84.31

Cell size 812.364004 Total 100.00

Tipo de cambio 1993-2002												
2001/1993	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	Total
SMSp		258	13564	9998	22674	4595	846	3257	607	633	2026	58458
SBSc	5430		243	472	647	300	140	445	75	69	19	7840
SAI	9983	87		850	831	169	1876	8403	21508	5702	56	49465
VegSec	50194	237	1359		19518	5894	21	94	67	46	1768	79198
AC	8889	42	1023	332		2993	21	191	21	56	1481	15049
ASD	13867	6	815	213	5782		55	94	61	72	2689	23654
AICp	2338	6	440	178	48	83		6257	4769	780	17	14916
AIDV	6719	7	2336	300	813	120	2327		5904	2688	357	21571
AI	377	0	129	12	14	9	30	2351		4462	37	7421
Agua	1107	0	219	582	126	24	87	3859	4211		5	10220
Urbano	3744	0	210	807	3521	1533	0	4	19	78		9916
												297708

Tipo de cambio 1993-2002 en m²												
2001/1993	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	
SMSp		209590	11018905.35	8122015.312	18419541.43	3732812.598	687259.9474	2645869.561	493104.9504	514226.4145	1645849.472	
SBSc	4411136.542		197404.453	383435.8099	525599.5106	243709.2012	113730.9606	361501.9818	60927.3003	56053.11628	15434.91608	
SAI	8109829.852	70676		690509.4034	675074.4873	137289.5167	1523994.872	6826294.726	17472325	4632099.551	45492.38422	
VegSec	40775798.82	192530	1104002.681		15855720.63	4788073.44	17059.64408	76362.21638	54428.38827	37368.74418	1436259.559	
AC	7221103.632	34119	831048.3761	269704.8493		2431405.464	17059.64408	155161.5248	17059.64408	45492.38422	1203111.09	
ASD	11265051.64	4874.2	662076.6633	173033.5329	4697088.671		44680.02022	76362.21638	49554.20424	58490.20829	2184446.807	
AICp	1899307.041	4874.2	357440.1618	144600.7927	38993.47219	67426.21233		5082961.573	3874163.935	633643.9231	13810.18807	
AIDV	5458273.743	5686.5	1897682.313	243709.2012	660451.9353	97483.68048	1890371.037		4796197.08	2183634.443	290013.9494	
AI	306261.2295	0	104794.9565	9748.368048	11373.09606	7311.276036	24370.92012	1909867.773		3624768.186	30057.46815	
Agua	899286.9524	0	177907.7169	472795.8503	102357.8645	19496.7361	70675.66835	3134912.691	3420864.821		4061.82002	
Urbano	3041490.831	0	170596.4408	655577.7512	2860333.658	1245354.018	0	3249.456016	15434.91608	63364.39231		

cell size
812.364004

Tipo de cambio 1993-2002 en km²												
2001/1993	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	
SMSp			11.02	8.12	18.42	3.73	0.69	2.65	0.49	0.51	1.65	
SBSc			0.20	0.38	0.53	0.24	0.11	0.00	0.06	0.00	0.00	
SAI	8.11	0.00		0.69	0.68	0.14	1.52	6.83	17.47	4.63	0.05	
VegSec	40.78	0.00	1.10		15.86	4.79	0.02	0.08	0.05	0.04	1.44	
AC	7.22	0.00	0.83	0.27		2.43	0.02	0.16	0.02	0.05	1.20	
ASD	11.27	0.00	0.66	0.17	4.70		0.04	0.08	0.05	0.06	2.18	
AICp	1.90	0.00	0.36	0.14	0.04	0.07		5.08	3.87	0.63	0.01	
AIDV	5.46	0.00	1.90	0.24	0.66	0.10	1.89		4.80	2.18	0.29	
AI	0.31	0.00	0.10	0.01	0.01	0.01	0.02	1.91		3.62	0.03	
Agua	0.90	0.00	0.18	0.47	0.10	0.02	0.07	3.13	3.42		0.00	
Urbano	3.04	0.00	0.17	0.66	2.86	1.25	0.00	0.00	0.02	0.06		

Tabla que muestra el tipo de cambio

Clase	Count	Tipo_cambio	ID final
1 a 2	5430	SMSp-SBSc	1
1 a 3	9983	SMSp-SAI	2
1 a 4	50194	SMSp-VegSec	3
1 a 5	8889	SMSp-AC	4
1 a 6	13867	SMSp-ASD	5
1 a 7	2338	SMSp-AICp	6
1 a 8	6719	SMSp-AIDV	7
1 a 9	377	SMSp-AI	8
1 a 10	1107	SMSp-Agua	9
1 a 11	3744	SMSp-Urbano	10
2 a 1	258	SBSc-SMSp	11
2 a 3	87	SBSc-SAI	12
2 a 4	237	SBSc-VegSec	13
2 a 5	42	SBSc-AC	14
2 a 6	6	SBSc-ASD	15
2 a 7	6	SBSc-AICp	16
2 a 8	7	SBSc-AIDV	17
3 a 1	13564	SAI-SMSp	18
3 a 2	243	SAI-SBSc	19
3 a 4	1359	SAI-VegSec	20
3 a 5	1023	SAI-Ac	21
3 a 6	815	SAI-ASD	22
3 a 7	440	SAI-AICp	23
3 a 8	2336	SAI-AIDV	24
3 a 9	129	SAI-AI	25
3 a 10	219	SAI-Agua	26
3 a 11	210	SAI-Urbano	27
4 a 1	9998	VegSec-SMSp	28
4 a 2	472	VegSec-SBSc	29
4 a 3	850	VegSec-SAI	30
4 a 5	332	VegSec-AC	31
4 a 6	213	VegSec-ASD	32
4 a 7	178	VegSec-AICp	33
4 a 8	300	VegSec-AIDV	34
4 a 9	12	VegSec-AI	35
4 a 10	582	VegSec-Agua	36
4 a 11	807	VegSec-Urbano	37
5 a 1	22674	Ac-SMSp	38
5 a 2	647	Ac-SBSc	39
5 a 3	831	Ac-SAI	40
5 a 4	19518	Ac-VegSec	41
5 a 6	5782	Ac-ASD	42
5 a 7	48	Ac-AICp	43
5 a 8	813	Ac-AIDV	44
5 a 9	14	Ac-AI	45
5 a 10	126	Ac-Agua	46
5 a 11	3521	Ac-Urbano	47
6 a 1	4595	ASD-SMSp	48
6 a 2	300	ASD-SBSc	49

Clase	Count	Tipo_cambio	ID final
6 a 3	169	ASD-SAI	50
6 a 4	5894	ASD-VegSec	51
6 a 5	2993	ASD-AC	52
6 a 7	83	ASD-AICp	53
6 a 8	120	ASD-AIDV	54
6 a 9	9	ASD-AI	55
6 a 10	24	ASD-Agua	56
6 a 11	1533	ASD-Urbano	57
7 a 1	846	AICp-SMSp	58
7 a 2	140	AICp-SBSc	59
7 a 3	1876	AICp-SAI	60
7 a 4	21	AICp-VegSec	61
7 a 5	21	AICp-AC	62
7 a 6	55	AICp-ASD	63
7 a 8	2327	AICp-AIDV	64
7 a 9	30	AICp-AI	65
7 a 10	87	AICp-Agua	66
8 a 1	3257	AIDV-SMSp	67
8 a 2	445	AIDV-SBSc	68
8 a 3	8403	AIDV-SAI	69
8 a 4	94	AIDV-VegSec	70
8 a 5	191	AIDV-AC	71
8 a 6	94	AIDV-ASD	72
8 a 7	6257	AIDV-AICp	73
8 a 9	2351	AIDV-AI	74
8 a 10	3859	AIDV-Agua	75
8 a 11	4	AIDV-Urbano	76
9 a 1	607	AI-SMSp	77
9 a 2	75	AI-SBSc	78
9 a 3	21508	AI-SAI	79
9 a 4	67	AI-VegSec	80
9 a 5	21	AI-AC	81
9 a 6	61	AI-ASD	82
9 a 7	4769	AI-AICp	83
9 a 8	5904	AI-AIDV	84
9 a 10	4211	AI-Agua	85
9 a 11	19	AI-Urbano	86
10 a 1	633	Agua-SMSp	87
10 a 2	69	Agua-SBSc	88
10 a 3	5702	Agua-SAI	89
10 a 4	46	Agua-VegSec	90
10 a 5	56	Agua-AC	91
10 a 6	72	Agua-ASD	92
10 a 7	780	Agua-AICp	93
10 a 8	2688	Agua-AIDV	94
10 a 9	4462	Agua-AI	95
10 a 11	78	Agua-Urbano	96
11 a 1	2026	Urbano-SMSp	97
11 a 2	19	Urbano-SBSc	98
11 a 3	56	Urbano-SAI	99
11 a 4	1768	Urbano-VegSec	100
11 a 5	1481	Urbano-AC	101
11 a 6	2689	Urbano-ASD	102
11 a 7	17	Urbano-AICp	103
11 a 8	357	Urbano-AIDV	104
11 a 9	37	Urbano-AI	105
11 a 10	5	Urbano-Agua	106

Tabla que representa los 106 tipos de cambio para el periodo 81-93 de la sub-área.

Cantidad Pixel	Tipo cambio	ID final	Area en M2	Area en Ha	Area en KM2	%	
1	4	AIDV-Urbano	76	3249.46	0.32	0.00	0.00
2	5	Urbano-Agua	106	4061.82	0.41	0.00	0.00
3	6	SBSc-ASD	15	4874.18	0.49	0.00	0.00
4	6	SBSc-AICp	16	4874.18	0.49	0.00	0.00
5	7	SBSc-AIDV	17	5686.55	0.57	0.01	0.00
6	9	ASD-AI	55	7311.28	0.73	0.01	0.00
7	12	VegSec-AI	35	9748.37	0.97	0.01	0.00
8	14	Ac-AI	45	11373.10	1.14	0.01	0.00
9	17	Urbano-AICp	103	13810.19	1.38	0.01	0.01
10	19	AI-Urbano	86	15434.92	1.54	0.02	0.01
11	19	Urbano-SBSc	98	15434.92	1.54	0.02	0.01
12	21	AICp-VegSec	61	17059.64	1.71	0.02	0.01
13	21	AICp-AC	62	17059.64	1.71	0.02	0.01
14	21	AI-AC	81	17059.64	1.71	0.02	0.01
15	24	ASD-Agua	56	19496.74	1.95	0.02	0.01
16	30	AICp-AI	65	24370.92	2.44	0.02	0.01
17	37	Urbano-AI	105	30057.47	3.01	0.03	0.01
18	42	SBSc-AC	14	34119.29	3.41	0.03	0.01
19	46	Agua-VegSec	90	37368.74	3.74	0.04	0.02
20	48	Ac-AICp	43	38993.47	3.90	0.04	0.02
21	55	AICp-ASD	63	44680.02	4.47	0.04	0.02
22	56	Agua-AC	91	45492.38	4.55	0.05	0.02
23	56	Urbano-SAI	99	45492.38	4.55	0.05	0.02
24	61	AI-ASD	82	49554.20	4.96	0.05	0.02
25	67	AI-VegSec	80	54428.39	5.44	0.05	0.02
26	69	Agua-SBSc	88	56053.12	5.61	0.06	0.02
27	72	Agua-ASD	92	58490.21	5.85	0.06	0.02
28	75	AI-SBSc	78	60927.30	6.09	0.06	0.03
29	78	Agua-Urbano	96	63364.39	6.34	0.06	0.03
30	83	ASD-AICp	53	67426.21	6.74	0.07	0.03
31	87	SBSc-SAI	12	70675.67	7.07	0.07	0.03
32	87	AICp-Agua	66	70675.67	7.07	0.07	0.03
33	94	AIDV-VegSec	70	76362.22	7.64	0.08	0.03
34	94	AIDV-ASD	72	76362.22	7.64	0.08	0.03
35	120	ASD-AIDV	54	97483.68	9.75	0.10	0.04
36	126	Ac-Agua	46	102357.86	10.24	0.10	0.04
37	129	SAI-AI	25	104794.96	10.48	0.10	0.04
38	140	AICp-SBSc	59	113730.96	11.37	0.11	0.05
39	169	ASD-SAI	50	137289.52	13.73	0.14	0.06
40	178	VegSec-AICp	33	144600.79	14.46	0.14	0.06
41	191	AIDV-AC	71	155161.52	15.52	0.16	0.06
42	210	SAI-Urbano	27	170596.44	17.06	0.17	0.07
43	213	VegSec-ASD	32	173033.53	17.30	0.17	0.07
44	219	SAI-Agua	26	177907.72	17.79	0.18	0.07
45	237	SBSc-VegSec	13	192530.27	19.25	0.19	0.08
46	243	SAI-SBSc	19	197404.45	19.74	0.20	0.08
47	258	SBSc-SMSP	11	209589.91	20.96	0.21	0.09
							1.30

48	300	VegSec-AIDV	34	243709.20	24.37	0.24	0.10
49	300	ASD-SBSc	49	243709.20	24.37	0.24	0.10
50	332	VegSec-AC	31	269704.85	26.97	0.27	0.11
51	357	Urbano-AIDV	104	290013.95	29.00	0.29	0.12
52	377	SMSp-AI	8	306261.23	30.63	0.31	0.13
53	440	SAI-AICp	23	357440.16	35.74	0.36	0.15
54	445	AIDV-SBSc	68	361501.98	36.15	0.36	0.15
55	472	VegSec-SBSc	29	383435.81	38.34	0.38	0.16
56	582	VegSec-Agua	36	472795.85	47.28	0.47	0.20
57	607	AI-SMSP	77	493104.95	49.31	0.49	0.20
58	633	Agua-SMSP	87	514226.41	51.42	0.51	0.21
59	647	Ac-SBSc	39	525599.51	52.56	0.53	0.22
60	780	Agua-AICp	93	633643.92	63.36	0.63	0.26
61	807	VegSec-Urbano	37	655577.75	65.56	0.66	0.27
62	813	Ac-AIDV	44	660451.94	66.05	0.66	0.27
63	815	SAI-ASD	22	662076.66	66.21	0.66	0.27
64	831	Ac-SAI	40	675074.49	67.51	0.68	0.28
65	846	AICp-SMSP	58	687259.95	68.73	0.69	0.28
66	850	VegSec-SAI	30	690509.40	69.05	0.69	0.29
67	1023	SAI-Ac	21	831048.38	83.10	0.83	0.34
68	1107	SMSp-Agua	9	899286.95	89.93	0.90	0.37
69	1359	SAI-VegSec	20	1104002.68	110.40	1.10	0.46
70	1481	Urbano-AC	101	1203111.09	120.31	1.20	0.50
71	1533	ASD-Urbano	57	1245354.02	124.54	1.25	0.51
72	1768	Urbano-VegSec	100	1436259.56	143.63	1.44	0.59
73	1876	AICp-SAI	60	1523994.87	152.40	1.52	0.63
74	2026	Urbano-SMSP	97	1645849.47	164.58	1.65	0.68
75	2327	AICp-AIDV	64	1890371.04	189.04	1.89	0.78
76	2336	SAI-AIDV	24	1897682.31	189.77	1.90	0.78
77	2338	SMSp-AICp	6	1899307.04	189.93	1.90	0.79
78	2351	AIDV-AI	74	1909867.77	190.99	1.91	0.79
79	2688	Agua-AIDV	94	2183634.44	218.36	2.18	0.90
80	2689	Urbano-ASD	102	2184446.81	218.44	2.18	0.90

12.81

81	2993	ASD-AC	52	2431405.46	243.14	2.43	1.01
82	3257	AIDV-SMSP	67	2645869.56	264.59	2.65	1.09
83	3521	Ac-Urbano	47	2860333.66	286.03	2.86	1.18
84	3744	SMSp-Urbano	10	3041490.83	304.15	3.04	1.26
85	3859	AIDV-Agua	75	3134912.69	313.49	3.13	1.30
86	4211	AI-Agua	85	3420864.82	342.09	3.42	1.41
87	4462	Agua-AI	95	3624768.19	362.48	3.62	1.50
88	4595	ASD-SMSP	48	3732812.60	373.28	3.73	1.54
89	4769	AI-AICp	83	3874163.94	387.42	3.87	1.60
90	5430	SMSp-SBSc	1	4411136.54	441.11	4.41	1.82
91	5702	Agua-SAI	89	4632099.55	463.21	4.63	1.92
92	5782	Ac-ASD	42	4697088.67	469.71	4.70	1.94
93	5894	ASD-VegSec	51	4788073.44	478.81	4.79	1.98
94	5904	AI-AIDV	84	4796197.08	479.62	4.80	1.98
95	6257	AIDV-AICp	73	5082961.57	508.30	5.08	2.10
96	6719	SMSp-AIDV	7	5458273.74	545.83	5.46	2.26
97	8403	AIDV-SAI	69	6826294.73	682.63	6.83	2.82
98	8889	SMSp-AC	4	7221103.63	722.11	7.22	2.99
99	9983	SMSp-SAI	2	8109829.85	810.98	8.11	3.35
100	9998	VegSec-SMSP	28	8122015.31	812.20	8.12	3.36
101	13564	SAI-SMSP	18	11018905.35	1101.89	11.02	4.56
102	13867	SMSp-ASD	5	11265051.64	1126.51	11.27	4.66
103	19518	Ac-VegSec	41	15855720.63	1585.57	15.86	6.56
104	21508	AI-SAI	79	17472325.00	1747.23	17.47	7.22
105	22674	Ac-SMSP	38	18419541.43	1841.95	18.42	7.62
106	50194	SMSp-VegSec	3	40775798.82	4077.58	40.78	16.86

297708 241847262.90 24184.73 241.85 85.89

cell size Total
812.364004 100.00

Tipo de cambio 1981-2002												
2001/1981	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	Total
SMSp		0	7382	18516	8826	56395	5485	518	1459	555	601	99737
SBSc	4734		519	97	133	1241	427	160	478	20	39	7848
SAI	6926	0		364	0	2486	16659	1951	17200	1967	132	47685
VegSec	42612	0	176		4269	21314	653	153	115	37	1011	70340
AC	9048	0	412	2060		5728	19	225	154	24	684	18354
ASD	13516	0	414	2100	2221		106	158	188	114	992	19809
AICp	1441	0	1173	0	0	292		530	7724	608	0	11768
AIDV	3026	0	2622	150	1	1317	14010		17522	1817	57	40522
AI	294	0	1141	19	0	85	1294	283		680	0	3796
Agua	1597	0	2042	60	75	437	3119	818	11961		33	20142
Urbano	5437	0	0	2615	1504	5929	66	5	32	5		15593
												255857

Tipo de cambio 1981-2002 en m²												
2001/1981	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	
SMSp		0	5996871.078	15041731.9	7169924.699	45813268.01	4455816.562	420804.5541	1185239.082	450862.0222	488230.7664	
SBSc	3845731.195		421616.9181	78799.30839	108044.4125	1008143.729	346879.4297	129978.2406	388309.9939	16247.28008	31682.19616	
SAI	5626433.092	0		295700.4975	0	2019536.914	13533171.94	1584922.172	13972660.87	1597919.996	107232.0485	
VegSec	34616454.94	0	142976.0647		3467981.933	17314726.38	530473.6946	124291.6926	93421.86046	30057.46815	821300.008	
AC	7350269.508	0	334693.9696	1673469.848		4653221.015	15434.91608	182781.9009	125104.0566	19496.7361	555656.9787	
ASD	10979911.88	0	336318.6977	1705964.408	1804260.453		86110.58442	128353.5126	152724.4328	92609.49646	805865.092	
AICp	1170616.53	0	952902.9767	0	0	237210.2892		430552.9221	6274699.567	493917.3144	0	
AIDV	2458213.476	0	2130018.418	121854.6006	812.364004	1069883.393	11381219.7		14234242.08	1476065.395	46304.74823	
AI	238835.0172	0	926907.3286	15434.91608	0	69050.94034	1051199.021	229899.0131		552407.5227	0	
Agua	1297345.314	0	1658847.296	48741.84024	60927.3003	355003.0697	2533763.328	664513.7553	9716685.852		26808.01213	
Urbano	4416823.09	0	0	2124331.87	1221795.462	4816506.18	53616.02426	4061.82002	25995.64813	4061.82002		

cell size
812.364004

Tipo de cambio 1981-2002 en km²												
2001/1981	SMSp	SBSc	SAI	VegSec	AC	ASD	AICp	AIDV	AI	Agua	Urbano	
SMSp			6.00	15.04	7.17	45.81	4.46	0.42	1.19	0.45	0.49	
SBSc			0.42	0.08	0.11	1.01	0.35	0.13	0.39	0.02	0.03	
SAI	5.63	0.00		0.30	0.00	2.02	13.53	1.58	13.97	1.60	0.11	
VegSec	34.62	0.00	0.14		3.47	17.31	0.53	0.12	0.09	0.03	0.82	
AC	7.35	0.00	0.33	1.67		4.65	0.02	0.18	0.13	0.02	0.56	
ASD	10.98	0.00	0.34	1.71	1.80		0.09	0.13	0.15	0.09	0.81	
AICp	1.17	0.00	0.95	0.00	0.00	0.24		0.43	6.27	0.49	0.00	
AIDV	2.46	0.00	2.13	0.12	0.00	1.07	11.38		14.23	1.48	0.05	
AI	0.24	0.00	0.93	0.02	0.00	0.07	1.05	0.23		0.55	0.00	
Agua	1.30	0.00	1.66	0.05	0.06	0.36	2.53	0.66	9.72		0.03	
Urbano	4.42	0.00	0.00	2.12	1.22	4.82	0.05	0.00	0.03	0.00		

Tabla que muestra el tipo de cambio

Clase	Count	Tipo_cambio	ID final
1 a 2	4734	SMSp-SBSc	1
1 a 3	6926	SMSp-SAI	2
1 a 4	42612	SMSp-VegSec	3
1 a 5	9048	SMSp-AC	4
1 a 6	13516	SMSp-ASD	5
1 a 7	1441	SMSp-AICp	6
1 a 8	3026	SMSp-AIDV	7
1 a 9	294	SMSp-AI	8
1 a 10	1597	SMSp-Agua	9
1 a 11	5437	SMSp-Urbano	10
3 a 1	7382	SAI-SMSp	11
3 a 2	519	SAI-SBSc	12
3 a 4	176	SAI-VegSec	13
3 a 5	412	SAI-AC	14
3 a 6	414	SAI-ASD	15
3 a 7	1173	SAI-AICp	16
3 a 8	2622	SAI-AIDV	17
3 a 9	1141	SAI-AI	18
3 a 10	2042	SAI-Agua	19
4 a 1	18516	VegSec-SMSp	20
4 a 2	97	VegSec-SBSc	21
4 a 3	364	VegSec-SAI	22
4 a 5	2060	VegSec-AC	23
4 a 6	2100	VegSec-ASD	24
4 a 8	150	VegSec-AIDV	25
4 a 9	19	VegSec-AI	26
4 a 10	60	VegSec-Agua	27
4 a 11	2615	VegSec-Urbano	28
5 a 1	8826	AC-SMSp	29
5 a 2	133	AC-SBSc	30
5 a 3	4269	AC-VegSec	31
5 a 4	2221	AC-ASD	32
5 a 8	1	AC-AIDV	33
5 a 10	75	AC-Agua	34
5 a 11	1504	AC-Urbano	35
6 a 1	56395	ASD-SMSp	36
6 a 2	1241	ASD-SBSc	37
6 a 3	2486	ASD-SAI	38
6 a 4	21314	ASD-VegSec	39
6 a 5	5728	ASD-AC	40
6 a 7	292	ASD-AICp	41
6 a 8	1317	ASD-AIDV	42
6 a 9	85	ASD-AI	43
6 a 10	437	ASD-Agua	44
6 a 11	5929	ASD-Urbano	45
7 a 1	5485	AICp-SMSp	46
7 a 2	427	AICp-SBSc	47
7 a 3	16659	AICp-SAI	48

Clase	Count	Tipo_cambio	ID final
7 a 4	653	AICp-VegSec	49
7 a 5	19	AICp-AC	50
7 a 6	106	AICp-ASD	51
7 a 8	14010	AICp-AIDV	52
7 a 9	1294	AICp-AI	53
7 a 10	3119	AICp-Agua	54
7 a 11	66	AICp-Urbano	55
8 a 1	518	AIDV-SMSp	56
8 a 2	160	AIDV-SBSc	57
8 a 3	1951	AIDV-SAI	58
8 a 4	153	AIDV-VegSec	59
8 a 5	225	AIDV-AC	60
8 a 6	158	AIDV-ASD	61
8 a 7	530	AIDV-AICp	62
8 a 9	283	AIDV-AI	63
8 a 10	818	AIDV-Agua	64
8 a 11	5	AIDV-Urbano	65
9 a 1	1459	AI-SMSp	66
9 a 2	478	AI-SBSc	67
9 a 3	17200	AI-SAI	68
9 a 4	115	AI-VegSec	69
9 a 5	154	AI-AC	70
9 a 6	188	AI-ASD	71
9 a 7	7724	AI-AICp	72
9 a 8	17522	AI-AIDV	73
9 a 10	11961	AI-Agua	74
9 a 11	32	AI-Urbano	75
10 a 1	555	Agua-SMSp	76
10 a 2	20	Agua-SBSc	77
10 a 3	1967	Agua-SAI	78
10 a 4	37	Agua-VegSec	79
10 a 5	24	Agua-AC	80
10 a 6	114	Agua-ASD	81
10 a 7	608	Agua-AICp	82
10 a 8	1817	Agua-AIDV	83
10 a 9	680	Agua-AI	84
10 a 11	5	Agua-Urbano	85
11 a 1	601	Urbano-SMSp	86
11 a 2	39	Urbano-SBSc	87
11 a 3	132	Urbano-SAI	88
11 a 4	1011	Urbano-VegSec	89
11 a 5	684	Urbano-AC	90
11 a 6	992	Urbano-ASD	91
11 a 8	57	Urbano-AIDV	92
11 a 10	33	Urbano-Agua	93

Tabla que representa los 93 tipos de cambio para el periodo 81-02 de la sub-área.

Cantidad Pixel	Tipo_cambio	ID final	Area en M2	Area en Ha	Area en KM2	%	
1	1	AC-AIDV	33	812.36	0.08	0.00	0.00
2	5	AIDV-Urbano	65	4061.82	0.41	0.00	0.00
3	5	Agua-Urbano	85	4061.82	0.41	0.00	0.00
4	19	VegSec-AI	26	15434.92	1.54	0.02	0.01
5	19	AICp-AC	50	15434.92	1.54	0.02	0.01
6	20	Agua-SBSc	77	16247.28	1.62	0.02	0.01
7	24	Agua-AC	80	19496.74	1.95	0.02	0.01
8	32	AI-Urbano	75	25995.65	2.60	0.03	0.01
9	33	Urbano-Agua	93	26808.01	2.68	0.03	0.01
10	37	Agua-VegSec	79	30057.47	3.01	0.03	0.01
11	39	Urbano-SBSc	87	31682.20	3.17	0.03	0.01
12	57	Urbano-AIDV	92	46304.75	4.63	0.05	0.02
13	60	VegSec-Agua	27	48741.84	4.87	0.05	0.02
14	66	AICp-Urbano	55	53616.02	5.36	0.05	0.02
15	75	AC-Agua	34	60927.30	6.09	0.06	0.02
16	85	ASD-AI	43	69050.94	6.91	0.07	0.02
17	97	VegSec-SBSc	21	78799.31	7.88	0.08	0.03
18	106	AICp-ASD	51	86110.58	8.61	0.09	0.03
19	114	Agua-ASD	81	92609.50	9.26	0.09	0.03
20	115	AI-VegSec	69	93421.86	9.34	0.09	0.03
21	132	Urbano-SAI	88	107232.05	10.72	0.11	0.04
22	133	AC-SBSc	30	108044.41	10.80	0.11	0.04
23	150	VegSec-AIDV	25	121854.60	12.19	0.12	0.04
24	153	AIDV-VegSec	59	124291.69	12.43	0.12	0.04
25	154	AI-AC	70	125104.06	12.51	0.13	0.04
26	158	AIDV-ASD	61	128353.51	12.84	0.13	0.04
27	160	AIDV-SBSc	57	129978.24	13.00	0.13	0.04
28	176	SAI-VegSec	13	142976.06	14.30	0.14	0.05
29	188	AI-ASD	71	152724.43	15.27	0.15	0.05
30	225	AIDV-AC	60	182781.90	18.28	0.18	0.06
31	283	AIDV-AI	63	229899.01	22.99	0.23	0.08
32	292	ASD-AICp	41	237210.29	23.72	0.24	0.08
33	294	SMSp-AI	8	238835.02	23.88	0.24	0.08

0.99

34	364	VegSec-SAI	22	295700.50	29.57	0.30	0.10
35	412	SAI-AC	14	334693.97	33.47	0.33	0.12
36	414	SAI-ASD	15	336318.70	33.63	0.34	0.12
37	427	AICp-SBSc	47	346879.43	34.69	0.35	0.12
38	437	ASD-Agua	44	355003.07	35.50	0.36	0.12
39	478	AI-SBSc	67	388309.99	38.83	0.39	0.13
40	518	AIDV-SMSp	56	420804.55	42.08	0.42	0.15
41	519	SAI-SBSc	12	421616.92	42.16	0.42	0.15
42	530	AIDV-AICp	62	430552.92	43.06	0.43	0.15
43	555	Agua-SMSp	76	450862.02	45.09	0.45	0.16
44	601	Urbano-SMSp	86	488230.77	48.82	0.49	0.17
45	608	Agua-AICp	82	493917.31	49.39	0.49	0.17
46	653	AICp-VegSec	49	530473.69	53.05	0.53	0.18
47	680	Agua-AI	84	552407.52	55.24	0.55	0.19
48	684	Urbano-AC	90	555656.98	55.57	0.56	0.19
49	818	AIDV-Agua	64	664513.76	66.45	0.66	0.23
50	992	Urbano-ASD	91	805865.09	80.59	0.81	0.28
51	1011	Urbano-VegSec	89	821300.01	82.13	0.82	0.28
52	1141	SAI-AI	18	926907.33	92.69	0.93	0.32
53	1173	SAI-AICp	16	952902.98	95.29	0.95	0.33
54	1241	ASD-SBSc	37	1008143.73	100.81	1.01	0.35
55	1294	AICp-AI	53	1051199.02	105.12	1.05	0.36
56	1317	ASD-AIDV	42	1069883.39	106.99	1.07	0.37
57	1441	SMSp-AICp	6	1170616.53	117.06	1.17	0.41
58	1459	AI-SMSp	66	1185239.08	118.52	1.19	0.41
59	1504	AC-Urbano	35	1221795.46	122.18	1.22	0.42
60	1597	SMSp-Agua	9	1297345.31	129.73	1.30	0.45
61	1817	Agua-AIDV	83	1476065.40	147.61	1.48	0.51
62	1951	AIDV-SAI	58	1584922.17	158.49	1.58	0.55
63	1967	Agua-SAI	78	1597920.00	159.79	1.60	0.55
64	2042	SAI-Agua	19	1658847.30	165.88	1.66	0.57
65	2060	VegSec-AC	23	1673469.85	167.35	1.67	0.58
66	2100	VegSec-ASD	24	1705964.41	170.60	1.71	0.59
67	2221	AC-ASD	32	1804260.45	180.43	1.80	0.62
68	2486	ASD-SAI	38	2019536.91	201.95	2.02	0.70
69	2615	VegSec-Urbano	28	2124331.87	212.43	2.12	0.74
70	2622	SAI-AIDV	17	2130018.42	213.00	2.13	0.74
71	3026	SMSp-AIDV	7	2458213.48	245.82	2.46	0.85
72	3119	AICp-Agua	54	2533763.33	253.38	2.53	0.88

14.31

73	4269	AC-VegSec	31	3467981.93	346.80	3.47	1.20
74	4734	SMSp-SBSc	1	3845731.19	384.57	3.85	1.33
75	5437	SMSp-Urbano	10	4416823.09	441.68	4.42	1.53
76	5485	AICp-SMSp	46	4455816.56	445.58	4.46	1.54
77	5728	ASD-AC	40	4653221.01	465.32	4.65	1.61
78	5929	ASD-Urbano	45	4816506.18	481.65	4.82	1.67
79	6926	SMSp-SAI	2	5626433.09	562.64	5.63	1.95
80	7382	SAI-SMSp	11	5996871.08	599.69	6.00	2.08
81	7724	AI-AICp	72	6274699.57	627.47	6.27	2.17
82	8826	AC-SMSp	29	7169924.70	716.99	7.17	2.48
83	9048	SMSp-AC	4	7350269.51	735.03	7.35	2.54
84	11961	AI-Agua	74	9716685.85	971.67	9.72	3.36
85	13516	SMSp-ASD	5	10979911.88	1097.99	10.98	3.80
86	14010	AICp-AIDV	52	11381219.70	1138.12	11.38	3.94
87	16659	AICp-SAI	48	13533171.94	1353.32	13.53	4.68
88	17200	AI-SAI	68	13972660.87	1397.27	13.97	4.84
89	17522	AI-AIDV	73	14234242.08	1423.42	14.23	4.93
90	18516	VegSec-SMSp	20	15041731.90	1504.17	15.04	5.21
91	21314	ASD-VegSec	39	17314726.38	1731.47	17.31	5.99
92	42612	SMSp-VegSec	3	34616454.94	3461.65	34.62	11.98
93	56395	ASD-SMSp	36	45813268.01	4581.33	45.81	15.86

355594

288871765.64

28887.18

288.87

84.70

cell size	Total
812.364004	100.00

