

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**"EVALUACIÓN DE LOS PATRONES DE CAMBIO DE LA  
CUBIERTA VEGETAL Y USO DE SUELO DE LA PARTE CENTRAL  
DEL ESTADO DE SONORA DURANTE EL PERÍODO DE 1970-1992  
UTILIZANDO IMÁGENES LANDSAT MSS"**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**EN MANEJO DE ECOSISTEMAS  
DE ZONAS ÁRIDAS**



**PRESENTA**

**Gertrudis Yanes Arvayo**

**Ensenada Baja, California.**

**Octubre, 1999.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**"EVALUACIÓN DE LOS PATRONES DE CAMBIO DE LA CUBIERTA  
VEGETAL Y USO DEL SUELO DE LA PARTE CENTRAL DEL ESTADO DE  
SONORA DURANTE EL PERÍODO DE 1970-1992  
UTILIZANDO IMÁGENES LANDSAT MSS"**

**TESIS**


**QUE PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**PRESENTA**

**Gertrudis Yanes Arvayo**

**APROBADA POR:**

  
**Dr. Alejandro Emilio Castellanos Villegas**  
**Director de Tesis**

  
**Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal**  
**Sinodal**

  
**M.S. Diego Valdez Zarnudio**  
**Sinodal**

Ensenada, B.C.

Octubre, 1999.

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la clasificación y el análisis de la escena 3540 de las imágenes de satélite Landsat MSS para tres décadas (1973-1975, 1983 y 1992). Lo que representa una sexta parte del estado de Sonora y refleja la dinámica de los procesos económicos y ecológicos de la porción central. Las imágenes se clasificaron de manera no supervisada utilizando los programas Erdas Imagine versión 8.3.1 e Idrisi versión 2 para Windows, además de apoyarse en cartografía digitalizada. Para integrar y analizar la información, se diseñó un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el programa ArcView versión 3.1. Se analizan los cambios en la cubierta vegetal que ocurrieron en los últimos 20 años. El área de estudio presenta diez tipos de vegetación distribuidos en un gradiente de humedad. En el extremo Oeste ocurre la vegetación de dunas, de halófitas y matorrales desérticos, en el límite Este se encuentra la selva baja caducifolia y entre ellos se distribuye el matorral subtropical transicional. Los tipos de cubierta vegetal se dividieron en sistemas naturales (mezquital de zonas planas, mezquital ripario, matorral sarcocaulé, matorral subtropical, matorral micrófilo, selva baja caducifolia, selva baja espinosa, vegetación halófitas, vegetación de dunas y encino) y artificiales (agricultura activa, agricultura inactiva, buffel, desmontes, urbano-suburbano y los cuerpos de agua). La tasa de cambio de la cubierta vegetal entre 1975 y 1983 fué de 4.1%, y de 17% entre 1975-1992. El mezquital de zonas planas y el ripario fueron los más afectados. El primero disminuyó durante la década de estudio 1975 a 1983, perdiendo 46,291.32 has (4.2%) y en el siguiente período se redujo 11.4% (81,989.64 has), por lo que la tasa de disminución promedio fué de 7,126 has/año en los 20 años. Para el ripario se calculó una tasa de pérdida de 1,037 has/año. Los cambios ocurrieron principalmente por los desmontes, por el establecimiento de praderas de zacate buffel, por la agricultura y en menor escala por el crecimiento urbano. Se analizaron algunas aplicaciones del SIG como herramienta para estudios de ecología del paisaje. Se presentan interpretaciones de fragmentación en cuatro áreas de interés ecológico y económico, en una unidad administrativa y en una subcuenca hidrográfica.

## ABSTRACT

In this work, classification and analysis were carried out from scene 3540 of the images of Landsat MSS satellite for three decades (1973-1975, 1983 y 1992). It represents the sixth part of Sonora's state, and reflects the dynamics of economicals and ecologicals processes of the central portion. The images were classified using an unsupervised classification. Programs: Erdas Imagine version 8.3.1 and Idrisi version 2 for Windows. A digital data was used for support. In order to integrate and analyze the data, a Geographical Information System (GIS) was designed, with the ArcView version 3.1 program. Changes on the land cover that have happened during the last 20 years are analyzed. The study shows ten types of vegetation distributed along a humidity gradient. In the West part, dunes, halophytes and desert communities are found. In the edge East, thorny shrubs communities are found, and among them transicional subtropical communities. Land cover types were divided in natural and artificial systems. Land cover's change rate between the period of 1975 and 1983 was 4.1% and a 17% from 1975-1992. Mesquitals on the plane zone and riparian were the most affected. The first decrease occurred during the study decade of 1975 to 1983, losing 46,291.32 ha (4.2%) and in the next period decrease 11.4% (81,989.64 ha), that's why the average decrease rate was 7,126 ha/year for a 20 year study period. For the riparian mesquital a rate of loss of 1,037 ha/year was calculated. The changes happened mainly because of the clearing down of thousand of hectareas for buffel grass praires, agriculture fields and in a minor scale the urban growth. Some GIS applications were analyzed as tools for the study of landscape ecology. Evaluation for four areas of economical and ecological interest are presented, and also for an administrative and a watershed units.

*DEDICATORIA*

*A MIS PADRES, CON CARIÑO,  
QUE REPRESENTAN PARA MÍ UN EJEMPLO DE ESFUERZO Y TENACIDAD A  
SEGUIR.*

*A MIS HERMANAS  
POR SU APOYO Y CONFIANZA .*

*A HUGO  
POR TODO SU AMOR..TE AMO.*

*A LOS AMIGOS.*

## **AGRADECIMIENTOS**

- Agradezco profundamente al Dr. Alejandro E. Castellanos Villegas por su valioso apoyo y paciencia en el desarrollo de la Tesis.
- A la Dra Ileana Espejel y al M.S. Diego Valdez Zamudio, por sus críticas y comentarios para mejorar el contenido del trabajo de Tesis.
- Al personal de IMADES por apoyarme con su experiencia en el manejo de sistemas de información geográfica, así como por el apoyo logístico brindado. En especial al Ecol. Gonzalo Luna, Ecol. María Luisa Fernández, Lic. Marina Galaz.
- A CONACYT por el otorgamiento de beca-crédito brindado para cursar los estudios de maestría mediante la beca número 72205. Durante agosto 1995 a agosto de 1997.
- A Fish & Wildlife Service-SEMARNAP por el apoyo económico mediante la beca número: 14-48-0009-96-1264.
- A mis compañeros de generación Yanet Guerrero, Luz del Carmen Gastelum, Enrique Sánchez y Bernardino de Jesús, por todas las experiencias compartidas durante los estudios de maestría.
- A todas las personas que de alguna u otra forma participaron en el desarrollo del presente trabajo, en especial a Patty Silva por su apoyo.

**¡MIL GRACIAS.....!!!**

# ÍNDICE

Contenido	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<i>i</i>
<b>ABSTRACT</b>	<i>ii</i>
<b>DEDICATORIA</b>	<i>iii</i>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<i>iv</i>
<b>ÍNDICE</b>	<i>v</i>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<i>viii</i>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<i>x</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
2.1 ESTUDIOS RELACIONADOS CON CAMBIO EN EL USO DEL SUELO Y DETERIORO AMBIENTAL. CONCEPTOS DE DESERTIFICACIÓN Y FRAGMENTACIÓN.	3
2.2 IMPORTANCIA ECOLÓGICA DE LA VEGETACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DE LA REGIÓN CENTRAL.	6
2.3 IMPACTO DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS EN LA PARTE CENTRAL DE SONORA.	7
2.4 CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO.	10
2.5. APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PERCEPCIÓN REMOTA EN ESTUDIOS DE CAMBIO EN LOS PATRONES DE USO DEL SUELO Y DE LA CUBIERTA VEGETAL.	13
2.6 EL ANÁLISIS DE ECOLOGÍA DEL PAISAJE Y SU RELACIÓN CON EL ESTUDIO DEL CAMBIO Y USO DEL SUELO.	15
<b>3. OBJETIVO GENERAL</b>	<b>18</b>
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	18
3.2 HIPÓTESIS.	18
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>19</b>
4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	19
4.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	19
4.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA.	22
4.3.1 Hidrología Superficial.	22
4.3.2 Hidrología Subterránea.	24

4.3.3 Geología.	27
4.3.4 Edafología .	28
4.3.5 Fisiografía.	30
4.3.6 Climatología.	30
4.4 CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA.	32
4.4.1 Provincias florísticas y de vegetación de la parte central del Estado de Sonora.	32
4.4.2 Conservación	35
4.5 METODOLOGÍA.	38
4.5.1 Procesamiento de las imágenes.	38
4.5.2 Clasificación de imágenes.	40
4.5.3 Descripción de las bandas utilizadas.	41
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>49</b>
5.1 SITUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN LA DÉCADA DE 1970.	49
5.2 CAMBIOS EN LA CUBIERTA VEGETAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO DURANTE TRES DÉCADAS.	54
5.2.1 Cambios en los tipos de vegetación en el área durante el periodo de estudio.	55
5.2.2 Cambios en la cubierta vegetal por uso del suelo.	57
5.2.3 Tasas de cambio anual (has/año).	60
5.3 DESCRIPCIÓN DE CUATRO ÁREAS DE INTERÉS.	61
5.3.1 Análisis del área de interés Hermosillo.	62
5.3.2 Análisis del área de interés en la Costa de Hermosillo.	64
5.3.3 Análisis del área de interés zona de transición Norte.	65
5.3.4 Análisis de la zona de transición Sur.	66
5.4 ANÁLISIS DE ECOLOGÍA DEL PAISAJE EN EL MUNICIPIO DE HERMOSILLO Y LA SUBCUENCA PUNTA DE AGUA	67
5.4.1 Municipio de Hermosillo.	67
5.4.2 Subcuenca Punta de Agua.	72
5.5 CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO POR DESMONTES.	76
5.5.1 Análisis de precipitación y su relación con la actividad de desmontes.	77
5.5.2 Análisis de los datos de COTECOCA para praderas de buffel y su relación con el presente estudio.	82
5.6 IMPLICACIONES PARA MANEJO.	83
5.6.1 Efectos ecológicos debidos al cambio en los patrones de uso del suelo.	83
5.6.2 Fragmentación.	85
5.6.3 Importancia de los estudios de cambio en la cubierta vegetal y el uso del suelo para estudios de cambio global.	86

5.6.4 Relación con políticas de manejo.	87
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>92</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>94</b>

## LISTA DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla I. Distribución actual de la tenencia de la tierra en el área de estudio.	9
Tabla II. Especies de plantas bajo algún estatus de conservación de acuerdo al Diario Oficial de la Federación.	36
Tabla III. Resultados de la clasificación en el área de estudio para las tres décadas. Superficie en hectáreas.	50
Tabla IV. Tasa promedio de cambio entre las diferentes décadas expresado en porcentaje.	54
Tabla V. Porcentaje de cambio de la cubierta vegetal en los dos períodos de estudios.	56
Tabla VI. Superficie de tres tipos de vegetación a nivel Estado y área de estudio.	57
Tabla VII. Superficie en hectáreas para cada tipo de uso de suelo, en las cuatro áreas de interés.	62
Tabla VIII. Usos del suelo y tipos de vegetación para el municipio de Hermosillo. Se muestra el número de fragmentos para cada uso del suelo y tipo de vegetación por década.	70
Tabla IX. Usos del suelo y tipos de vegetación para el municipio de Hermosillo. Se muestra la superficie en hectáreas para cada uso del suelo y tipo de vegetación por década.	72
Tabla X. Usos del suelo y tipos de vegetación para la subcuenca Punta de Agua. Se muestra el número de fragmentos para cada uso del suelo y tipo de vegetación por década.	75
Tabla XI. Usos del suelo y tipos de vegetación para la subcuenca Punta de Agua. Se muestra la superficie en hectáreas para cada uso del suelo y tipo de vegetación por década.	76

Tabla XII. Precipitación total anual en mm. de seis estaciones climatológicas para el área de estudio. 78

Tabla XIII. Superficie de praderas de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) en el área de estuio para 1989, 1996 y 1998. 83

Tabla XIV. Índice de similitud estimado según Jaccard (1928) para las comunidades vegetales de la región central del Estado de Sonora. 85

## LISTA DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1.- Localización del área de estudio.	20
Figura 2. Municipios y las principales localidades en el área de estudio.	21
Figura 3. Cuencas hidrológicas que comprende el área de estudio.	25
Figura 4. Distribución de los tipos de suelo dentro del área de estudio.	29
Figura 5. Fisiografía del área de estudio.	31
Figura 6. Principales climas del área de estudio.	33
Figura 7. Delimitación de las áreas naturales protegidas que se encuentran el área de estudio.	37
Figura 8. Imagen Multiespectral Landsat MSS, de la zona central del Estado de Sonora, escena 3540 para 1973 y 1975.	44
Figura 9. Imagen Multiespectral Landsat MSS del la zona central del Estado de Sonora, escena 3540 para 1983.	45
Figura 10. Imagen Multiespectral Landsat MSS, de la zona central del Estado de Sonora, escena 3540 para 1992.	46
Figura 11. Localización de las cuatro áreas de interés.	47
Figura 12. Diagrama metodológico y diseño del Sistema de Información Geográfica.	48
Figura 13. Resultado de la clasificación de la imagen de satélite para la década de 1970.	51
Figura 14. Resultado de la clasificación de la imagen de satélite para 1983.	52
Figura 15. Resultado de la clasificación para la imagen de satélite de 1992.	53

Figura 16. Superficie de praderas de buffel, desmontes y la suma de buffel más desmontes para las diferentes décadas.	59
Figura 17. Resultado de la clasificación para el Municipio de Hermosillo para los años 1975, 1983 y 1992.	68
Figura 18. Resultado de la clasificación en la subcuenca Punta de Agua para 1975, 1983 y 1992.	74
Figura 19. Valores de precipitación total anual para la estación El Carrizal en el municipio de Hermosillo durante el período de 1958 a 1996.	79
Figura 20. Valores de precipitación total anual para la estación Hermosillo para el período de 1965 a 1998.	79
Figura 21. Valores de precipitación total anual para la estación Carbó durante el período de 1960 a 1997.	80
Figura 22. Valores de precipitación total anual para la estación El Cajón en el municipio de San Miguel de Horcasitas durante el período de 1974 a 1998.	80
Figura 23. Valores de precipitación total anual para la estación Mazatán para el período de 1987 a 1997.	81
Figura 24. Valores de precipitación total anual para la estación Punta de Agua en el período 1960 a 1998.	81

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el noroeste mexicano ha sufrido un activo deterioro en las condiciones originales de su cubierta vegetal. En gran medida esto obedece al incremento de desarrollos agrícolas en planicies aluviales, a las actividades ganaderas en todo tipo de terrenos, así como de las forestales en superficies montañosas y/o desérticas.

En el Estado de Sonora, en las últimas décadas, ha habido cambios relevantes en los patrones de uso del suelo y de las comunidades vegetales, los cuales ameritan reflexión (Castellanos, 1992). Las estrategias de desarrollo económico en el Estado se han basado en la utilización no sustentable de los recursos naturales. Esto ha provocado un consumo a un ritmo mayor que su potencial de recuperación. Esta situación evidentemente disminuye la base de los recursos sobre la que se apoya la actividad económica y provoca pérdidas en la biodiversidad, alteran el flujo de los nutrientes y disminuyen la fertilidad del suelo (Martínez, 1998).

Para ejemplificar este proceso, se evalúan los cambios ocurridos sobre la cubierta vegetal en el área que abarca la escena 3540 de las imágenes de satélite Landsat MSS, la cual queda comprendida en la región central del Estado de Sonora. Esta región central es importante tanto ecológica como económicamente, debido a que en la zona se encuentran comunidades de tipo transicional o ecotonos entre las comunidades de matorrales desérticos y selva baja, que para efectos del presente trabajo se denominan como comunidades transicionales. Otra importancia de la región es la presencia de él límite Norte de porciones de selva baja caducifolia y, donde se presenta una mayor diversidad de especies (Castellanos, 1992)

Por otra parte, en estas comunidades transicionales es donde se ejerce un gran impacto por actividades ganaderas y agrícolas principalmente (Castellanos, 1992). A pesar de la importancia biológica y ecológica que presenta la zona, no ha escapado a la problemática general de degradación de los ecosistemas y cubierta vegetal. De hecho, en las últimas décadas, el área de estudio se ha visto afectada por la introducción de pastos no nativos, como es el caso del zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*), así como por las prácticas de manejo de agostaderos, lo que ha provocado cambios drásticos en la cubierta vegetal.

El presente estudio surge de la necesidad de resolver preguntas sobre los cambios en la cubierta vegetal y en el uso del suelo. También, dada la problemática económica y ecológica que genera el deterioro de los recursos naturales, debidos en gran medida a los programas de manejo equivocados que se han aplicado en los diferentes ecosistemas. Este tipo de estudios son indispensables para conocer cuantitativamente los cambios que se presentan en los diferentes tipos de vegetación, para con base en ello, proponer planes de manejo o políticas de manejo que permitan un desarrollo más equilibrado que tenga consecuencias menos drásticas sobre los ecosistemas y se alcance un mejor desarrollo económico a más largo plazo.

Actualmente existen tres líneas bien definidas y relacionadas con el manejo del paisaje. La primera consiste en la planificación y tiene una base asentada sólidamente en las ciencias naturales y ecológicas. La segunda actividad es la planificación en los terrenos y en este contexto se sitúa el diseño de paisaje, y por último, el diseño detallado que consiste en la selección y combinación de componentes para resolver problemas concretos y definidos (Enckerlin Hoeflich, *et al.*, 1997).

## 2. ANTECEDENTES

Dentro de las principales causas de deterioro de los ecosistemas en México, se encuentran la modificación del paisaje por la remoción y pérdida de la cubierta vegetal debido al sobrepastoreo, a los desmontes con fines agrícolas y pecuarios, la sobreexplotación de los mantos acuíferos, la minería y la utilización de especies vegetales como combustible (Minckley, 1991).

### **2.1 Estudios relacionados con cambio en el uso del suelo y deterioro ambiental. Conceptos de desertificación y fragmentación.**

La importancia de los estudios de cambio en el uso del suelo y la cubierta vegetal en los últimos años han sido uno de los enfoques principales de la comunidad científica dedicada al estudio del cambio global. Dada la importancia de este tipo de estudios se han desarrollado programas exclusivamente enfocados a evaluar el cambio en el uso del suelo y la cubierta vegetal (International Geosphere-Biosphere Programme y Human Dimensions of Global Environmental Change Programme, 1995).

Los trabajos de deterioro ambiental han sido enfocados principalmente al estudio de la dinámica de poblaciones más que a estudios que determinen el efecto de las actividades humanas sobre la cubierta vegetal (Mladenoff, *et al.* 1993).

En México, la degradación de los recursos naturales debido al cambio en el uso del suelo ha sido poco documentada (Landa *et al.*, 1997). Sin embargo, existen trabajos relacionados con el efecto de las actividades humanas sobre

los ecosistemas y la cubierta vegetal (Carabias y Arizpe, 1993; SEDESOL, 1994; Kepner, *et al.*, 1997; Landa *et al.*, 1997).

A nivel estatal en Sonora, existen aun menos estudios relacionados con el cambio de la cubierta vegetal y el uso del suelo (Yanes-Arvayo y Castellanos, 1997). Valdez (1994), realizó un trabajo relacionado con los cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en la parte noroeste del Estado, utilizando imágenes de satélite Landsat MSS, encontrando que entre 1972 y 1992, cerca del 40 % de la cubierta del suelo cambió y los cultivos agrícolas presentaron la tasa de cambio más elevada provocando la modificación en más del 60 % de las áreas riparias.

El cambio en los patrones de uso del suelo y la degradación de la cubierta vegetal ha sido frecuentemente asociada al proceso de desertificación. El término desertificación frecuentemente es asociado al concepto de deterioro ambiental. En 1983 Glantz define la desertificación como un proceso de cambio en los patrones de uso y degradación de la vegetación nativa de un lugar dado. Por otra parte, Borrow (1990) la define como la disminución de la productividad primaria y/o diversidad de especies en zonas áridas. Sin embargo, la desertificación también incluye la erosión de los suelos tropicales y templada, así como también la degradación de los ecosistemas de regiones áridas y semiáridas. Reining (1978) define la desertificación como un fenómeno que involucra al clima, al suelo, la flora, la fauna y al hombre, que puede ser reconocido como una forma de deterioro de los ecosistemas debido al cambio de presión de los sistemas humanos. Por lo que se puede decir que la desertificación, es un proceso de reducción del potencial biológico de los ecosistemas originado por los sistemas de explotación que el hombre practica (Estrada, 1995).

Los procesos que conducen a la desertificación son una combinación de factores ambientales y antropogénicos. Dentro de las causas naturales se consideran las épocas de sequía que por cuestiones climáticas afectan algunas áreas, dando por consecuencia una disminución de la biomasa. Entre las causas antropogénicas se encuentra la presencia del hombre, considerado como un importante catalizador del proceso de alteración de los ecosistemas; su acción nociva la ejerce por la tala inmoderada de árboles, por el cultivo de tierras no aptas para el uso agrícola, los incendios, el pastoreo excesivo, deficiente manejo del recurso agua, excesiva mecanización agrícola, contaminación del suelo y del agua causada por la industria y la ciudad (FAO, 1984. En: Estrada, 1995)

Entre los indicadores físicos de la degradación se tiene: disminución en la profundidad del suelo, eliminación de materia orgánica, disminución en la fertilidad del suelo, la formación de costras y compactación del suelo, salinización, alcalinización, disminución en la calidad y cantidad del agua del subsuelo y superficial, alteración en la reflectancia relativa de la tierra. Entre los indicadores biológicos de la desertificación se tienen la disminución en la cobertura vegetal, alteración en la frecuencia y distribución de las especies clave, tanto de fauna como de flora, así como la disminución en la capacidad de producción forestal, agrícola y ganadera.

Otros indicadores son de índole social y económico. Entre los principales se tiene el cambio en el uso del agua y del suelo, el abandono de las tierras, estadísticas de migración, salud humana, el incremento de los conflictos entre grupos sociales y, el grado de marginalización (Barrow, 1990).

Los cambios derivados del uso del suelo se reflejan en la fragmentación del hábitat o del paisaje (Spellerberg, 1981; Noss, 1987), con la creación artificial de unidades ambientales muy diferentes a las originales (Landa, *et al.*, 1997). Forman (1997) define fragmentación como el proceso de partición del hábitat, del ecosistema o del uso del suelo en parcelas más pequeñas y lo considera como uno de los diversos procesos espaciales que influye en la transformación del paisaje. La fragmentación es una forma de medir el deterioro de los recursos naturales. Además, las actividades humanas pueden aumentar o disminuir la heterogeneidad del paisaje dependiendo de los parámetros y escala espacial a la que son evaluados (Mladenoff, *et al.*, 1993).

## **2.2 Importancia ecológica de la vegetación de los ecosistemas de la región central.**

La parte central de Sonora es un área de gran interés ecológico por ser el límite Norte de la selva baja caducifolia, así como también, por presentarse una diversidad biológica en la zona transicional entre la selva baja caducifolia y los matorrales desérticos. Ubicados en un transecto de Este a Oeste en la porción central del Estado y dentro del área de estudio, existe un aumento creciente en las condiciones de aridez, determinante a gran escala del establecimiento de comunidades cada vez más desérticas.

En el área de estudio y en los ecosistemas presentes, se han implementado programas de manejo de agostaderos para incrementar la productividad de forraje y, como un caso extremo, se tienen los "aclareos" de las tierras para crear pastizales inducidos (Johnson y Navarro, 1992). Este manejo de tierras con la presencia de aclareos y siembra de zacate buffel son responsables del deterioro del hábitat por invasión y desplazamiento de especies nativas. A la

fecha se han publicado varios estudios en relación a la invasión de comunidades naturales por especies introducidas (Luken y Thieret, 1996). Aunque no existen suficientes estudios que prueben la invasión por especies en los sistemas naturales del área de estudio y en las comunidades del Desierto Sonorense. Saucedo-Monarque (1994) menciona que en el Desierto Sonorense las comunidades vegetales están siendo invadidas por zacate buffel, cambiando la composición y abundancia de especies de estas comunidades.

Por otro lado, Johnson y Navarro (1992) mencionan que es indiscutible que el establecimiento de praderas de zacate buffel ha tenido un impacto negativo sobre los ecosistemas. Estos mismos autores mencionan que el desmonte de miles de hectáreas para la siembra de buffel ha modificado la cubierta vegetal, mientras que la alta tasa de reproducción y agresividad del zacate buffel propicia la invasión y su establecimiento dentro de diferentes comunidades vegetales, donde no ha sido sembrado.

La invasión de especies no nativas a comunidades naturales es una problemática a nivel mundial, como es en el caso de Australia, gran parte de Sudamérica (Ojeda y Balmore, 1980) y Norte América (Woods, 1997).

### **2.3 Impacto de actividades productivas en la parte central de Sonora.**

De acuerdo a Camoú (1991), en el área de estudio se presentaron tres períodos importantes en el desarrollo de las actividades productivas. El primer período comprende hasta antes de los años cincuenta y se caracterizó por la presencia de una agricultura rural de subsistencia y ganadería extensiva dominada por unos cuantos propietarios ganaderos. El segundo período, comprende desde finales de los años cuarenta hasta finales de la década de

los sesentas, se caracterizó por la apertura de tierras irrigadas, la presencia de explotaciones agrícolas en la Costa de Hermosillo y es en este período cuando se da el mayor reparto de tierras ejidales. El tercer período comprende desde el inicio de la década de los setenta hasta la actualidad y es cuando se da la incorporación de un gran número de ejidos a la producción ganadera.

Es importante revisar la evolución de tenencia de la tierra en el área de estudio, ya que es diferente el manejo que se les da a las tierras si son de tipo ejidal, privado o social, por lo que en seguida se presenta una descripción de la distribución de las tierras.

En el área de estudio, la mayor parte de la superficie es de régimen ejidal, pero sigue existiendo también el régimen de propiedad privada (Tabla I). En esta región, en la década de los cuarentas, se dotaron varios ejidos como: La Colorada, Mátape y Nacori Grande en 1946 y Onavas en 1950 (Camoú, 1991).

En el área de estudio, se localizan 13 municipios de los cuales Hermosillo y Guaymas son de los que presentan una mayor superficie 1,499,530 has y 826,870 has respectivamente. La Colorada, Ures, San Pedro de la Cueva, y Carbó con una superficie mayor a 200,000 has (Tabla I).

En la mayoría de los municipios la distribución de la tierra se encuentra en el sector privado, como es el caso de Hermosillo donde el 75 % de la superficie total se encuentra en el sector privado, mientras que el 25% restante se encuentra en el sector social (Tabla I). Cabe mencionar que las actividades de manejo de agostaderos se iniciaron y se dieron con más fuerza en los ranchos privados.

**Tabla I. Distribución actual de la tenencia de la tierra en el área de estudio.**

MUNICIPIO	SUPERFICIE MUNICIPAL (has)	SECTOR SOCIAL		SECTOR PRIVADO	
		No.	Superficie (has)	No.	Superficie (has)
Hermosillo	1,499,530	47	284,310	397	1,129,827
Guaymas	826,870	64	716,410	115	100,000
La Colorada	375,018	7	56,045	109	317,955
Ures	261,856	11	94,533	92	165,000
San Pedro de la Cueva	240,500	6	124,052	54	115,000
Carbó	214,000	2	8,473	76	204,445
Villa Pesquera	124,180	5	50,520	95	73,300
Rayón	110,654	5	31,518	24	78,896
Soyopa	108,762	6	72,308	30	36,000
San Miguel de Horcasitas	107,000	5	54,615	33	48,856
San Javier	78,812	2	12,157	27	66,069
Mazatán	72,603	3	23,153	16	48,162
Empalme	70,853	7	11,683	65	56,149

Fuente. COTECOCA, 1996.

## **2.4 Cambios en el uso del suelo.**

En la década de los años cincuentas, las principales actividades en el área de estudio eran la agricultura y la ganadería. La agricultura se practicaba en las riberas o vegas de los ríos, produciendo maíz, frijol, calabaza, sandía y melón para autoconsumo, mientras que la ganadería se desarrollaba haciendo uso extensivo de los agostaderos y esta era una actividad común realizada en ranchos privados. Se utilizaba ganado criollo en la producción, sin embargo, en el inicio de la década de los cincuentas se introdujo ganado cebú, específicamente en la región de Mátape (hoy Villa Pesqueira) y a finales de la misma década se introdujo en la región de Soyopa (Camoú, 1991).

A finales de los años cincuenta en el área se empezó a perfilar el uso de praderas de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) (Aguirre, 1994). La introducción de este pasto africano para uso en áreas de agostadero constituyó el inicio de una verdadera revolución en la ganadería sonorense. Los primeros experimentos con praderas artificiales se realizaron en los ranchos privados, mientras que los ejidos permanecieron marginados de esta innovación hasta finales de la década de los setenta (Camoú, 1991).

Para principios de los años sesentas se presenta un aumento en el precio del ganado, lo cual convirtió a la ganadería en la actividad más ventajosa para la economía rural, esto hizo que se diera una disminución en la actividad agrícola. Para 1978 empieza el apoyo del gobierno principalmente para ejidatarios, con financiamientos para el desmonte y nivelación de terrenos agrícolas y de agostadero para su transformación en praderas artificiales de zacate buffel (Camoú, 1991). Se empezó a sustituir la producción de granos

básicos para autoconsumo por forraje para consumo animal, proceso que llegó a su culminación en la década de los ochentas.

En el inicio de la década de los noventas, se dio una disminución en la actividad ganadera, debido en gran parte a las malas condiciones de los agostaderos, falta de agua, sequía, así como también por la época de crisis económica que se presentó en el Estado. Sin embargo, la ganadería y la agricultura siguen siendo las actividades principales de la región central, aunque en los últimos años se ha visto un incremento en las actividades mineras.

El inicio de la ganadería como actividad principal en el Estado de Sonora data de 1670 (Navarro, 1985). Actualmente, dicha actividad se lleva a cabo en un 83 % de la superficie estatal. Esta actividad en los últimos cincuenta años ha tenido un crecimiento acelerado en los hatos y un inadecuado manejo por sobrecarga animal, que ha provocado la destrucción de mucha de las especies forrajeras y el desarrollo de plantas oportunistas, que desplazan y provocan una disminución en las plantas nativas, así como también pérdida del suelo y degradación de los ecosistemas desérticos (Navarro, 1985; CIPES, 1989; Saucedo-Monarque, 1994; Aguirre, *et al.*, 1994).

Otra de las actividades relevantes dentro del área de estudio, es la agricultura, que se lleva a cabo en una superficie aproximada de 261,424 has, la cual enfrenta problemas tales como sobreexplotación del manto acuífero, intrusión salina, erosión, contaminación de suelos por agroquímicos y pérdida de fertilidad.

La zona de producción agrícola más importante dentro del área de estudio es la Costa de Hermosillo, ubicada dentro del Distrito de Riego # 51 donde se encuentran aproximadamente 50,000 has abandonadas por problemas de contaminación salina, abatimiento del acuífero, así como también por problemas económicos y la falta de apoyo crediticio (Martínez y Castellanos, 1997).

En la década de los años cuarentas se abrieron los primeros campos de cultivo en la Costa de Hermosillo, llegando a conformarse como una de las zonas agrícolas más importantes del Estado (West, 1993). En esta región de la Costa de Hermosillo el rápido desarrollo de la agricultura altamente tecnificada produjo un proceso de desertificación que inició con la destrucción de la cubierta vegetal en cientos de hectáreas, la alteración de la estructura física y química del suelo y una grave disminución en el recurso agua (Martínez, 1998). De acuerdo a este mismo autor la zona Sur es la más impactada de la Costa de Hermosillo por el avance de la intrusión salina y donde se registra un mayor número de campos agrícolas abandonados. En esta zona, entre los años 1970 y 1996 la superficie sembrada se redujo en poco más del 50 % (SARH, 1995).

Para 1998, Martínez indica que aproximadamente una superficie de 60,000 hectáreas se encuentran sin cultivar en la Costa de Hermosillo y/o en abandono o dedicadas a otra actividad como lo es la ganadería de tipo marginal, presentando deterioro del suelo y un mínimo de cobertura vegetal.

En esta zona la ganadería ha ganado terreno al área agrícola a costa de los campos abandonados, provocando una mayor erosión de los suelos debido principalmente al tipo de ganadería marginal que se presenta. Así mismo se registra una mayor superficie dedicada a la siembra de forrajes y el libre

pastoreo de los residuos de las cosechas lo que esta provocando un mayor empobrecimiento y compactación de los suelos (Martínez, 1993).

Debido al constante cambio y uso del suelo que se ha dado en el área de estudio, ha provocado la degradación de los suelos (Martínez, 1998), disminución en la productividad y, en general, esta zona se encuentra en un proceso de desertificación o deterioro de los recursos naturales.

## **2.5. Aplicación de los sistemas de información geográfica y percepción remota en estudios de cambio en los patrones de uso del suelo y de la cubierta vegetal.**

Los estudios de detección de cambios en la cubierta vegetal reconocen que los componentes bióticos y abióticos de la biosfera están directamente relacionados (Hobbs, 1990). Por lo tanto, cambios en alguno de estos componentes de la biosfera pueden potencialmente tener efecto sobre otro (Mouat *et al.*, 1993).

Los estudios de detección de cambio en la cubierta vegetal pueden ser utilizados para proveer un programa de monitoreo integral, el cual incorpore el uso de bases de datos históricas, espaciales y espectrales. Estas bases de datos pueden ser utilizadas para evaluar el cambio en la vegetación, propiedades del suelo, albedo, evapotranspiración, uso del suelo, cobertura, entre otros más. La habilidad de monitorear y evaluar esos cambios sobre una escala regional, es posible únicamente a través del uso de datos obtenidos por medio de la percepción remota (Mouat, *et al.*, 1993).

Para evaluar el cambio, es necesario establecer una línea ecológica base que pueda servir como un parámetro de comparación temporal, en este caso el

estudio de la vegetación es considerada como el equivalente funcional de los ecosistemas terrestres (Graetz, 1990), por lo que la vegetación es un indicador primario para los tipos de ecosistemas presentes (pastizales, bosques, desiertos). La caracterización de la vegetación generalmente ofrece información sobre su localización geográfica, condiciones ecológicas y puede proveer información sobre cambios previos que han ocurrido en un ecosistema.

Los estudios de cambio en la cubierta vegetal requieren de técnicas que permitan mantener a la vez de un registro espacialmente georeferenciado, una descripción minuciosa de la composición de las especies y de la estructura de las comunidades. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los sensores remotos son convencionalmente utilizados como técnicas de estudio para el monitoreo de los cambios en la vegetación y de la deforestación (Langran, 1992; MacLean, 1992). Junto con modelos matemáticos, son útiles para la proyección de escenarios potenciales de distintas políticas de uso del suelo en los paisajes de una región dada (Aspinall, 1993).

El SIG puede facilitar el cálculo de la capacidad de carga de las actividades humanas y el diseño de medidas que pueden minimizar la fragmentación u otros efectos indeseables de las actividades de aprovechamiento de recursos naturales (Goetting, 1984; Suryana y Benitez, 1992; Cawrse, 1994).

Milne (1988) menciona que los tipos de cambio detectables con datos de percepción remota son asociados con el desmonte de la vegetación natural, incrementos en áreas de cultivo, expansión urbana, cambios en los niveles de agua superficiales, regeneración de la vegetación después de un fuego y, las perturbaciones del suelo resultantes de la minería, agricultura y sobrepastoreo. Thomas y Ustin (1987) encontraron que el uso de técnicas de percepción

remota permiten a los ecólogos y manejadores de recursos la oportunidad de monitorear la condición de la vegetación, patrones y tendencias en regiones áridas donde la rugosidad del terreno, el pobre acceso, y condiciones climáticas extremas, hacen difícil la investigación en campo.

El registro de cambios en el uso del suelo a través del tiempo es quizá una de las aplicaciones más importantes de los datos de sensores remotos digitales (Christensen *et al.*, 1988). Por ejemplo, la conversión del uso del suelo de rural a urbano, puede ser detectada utilizando una comparación de cambios espaciales con datos de imágenes de satélite o fotografía aérea. Los datos obtenidos de sensores remotos pueden ser utilizados como una herramienta para detectar, monitorear y evaluar los cambios para desarrollar estrategias de manejo de los recursos de un ecosistema.

Este tipo de estudios de evaluación de los cambios surge dado la problemática que estos ocasionan tanto a nivel global como a nivel local, como es el caso de la degradación de los recursos naturales, la disminución en la capacidad de producción agrícola, ganadera y forestal.

## **2.6 El análisis de ecología del paisaje y su relación con el estudio del cambio y uso del suelo.**

En los últimos años, la ecología del paisaje se ha desarrollado ampliamente y es una herramienta importante para la planificación del uso del suelo y arquitectura del paisaje (Dramstad, *et al.*, 1996).

La ecología de paisaje esta basada en paradigmas integrativos generados por la utilización de la teoría ecológica y las aplicaciones prácticas.

Específicamente, la ecología del paisaje considera el desarrollo y dinámica de la heterogeneidad espacial y temporal, el manejo de esta heterogeneidad para el beneficio y la sobrevivencia de la sociedad. Los estudios de paisaje representan una nueva aproximación holística para resolver los problemas de manejo de recursos (Barret y Bohlen, 1991).

El término de ecología de paisaje empezó a ser utilizado cuando se tuvo una mayor disponibilidad de las fotografías aéreas. Algunos conceptos claves en ecología del paisaje son: fragmentación de hábitat y conservación, corredores y conectividad, parches, mosaicos, heterogeneidad (Dramstad, *et al.*, 1996).

En lo que refiere a la fragmentación del hábitat es considerado por los biólogos y ecólogos como una de las más grandes amenazas para la biodiversidad o diversidad biológica. Muchas de las especies incluyendo mamíferos y aves, no pueden mantener poblaciones viables en parches pequeños, lo cual los conduce a la extinción y pérdida de biodiversidad (Forman, 1997).

Muchos de los efectos de las actividades humanas sobre la diversidad involucran cambios en la conectividad de los fenómenos biológicos. Las actividades humanas pueden incrementar o disminuir la conectividad de los ecosistemas. Por un lado, se pueden crear barreras artificiales para la dispersión de las especies y en otros casos, pueden eliminar barreras naturales. Para el primer caso, se crean comunidades o poblaciones aisladas las cuales son más susceptibles de extinción y deterioro genético. Para el segundo caso, la eliminación de las barreras naturales hace más fácil la invasión y dispersión

de especies exóticas a comunidades naturales y como resultado se tiene la homogenización de la flora y fauna de los ecosistemas (Noss, 1991).

La integración de los conceptos de ecología de paisaje con herramientas tales como los sistemas de información geográfica y datos digitales de sensores remotos, pueden apuntalar futuras decisiones para el manejo de los recursos naturales (Barret y Bohlen, 1991).

En México, esta disciplina es relativamente nueva y se ha dado principalmente en estudios de ecología regional. El análisis del paisaje en el País refleja el mal manejo de los sistemas naturales, los cuales muchas veces no son de origen estrictamente ecológico sino que son expresiones de políticas de manejo equivocadas. Aunque hay varios trabajos muy puntuales o muy generales, todavía es necesario desarrollar más estudios en los cuales se implementen nuevas tecnologías y preguntas de investigación para el análisis de la dinámica sociedad-naturaleza (Mora *et al*, 1999).

### **3. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los cambios en la cubierta vegetal como resultado de los patrones de uso del suelo en la parte central del Estado de Sonora, durante un período de 20 años, utilizando imágenes de satélite Landsat MSS.

#### **3.1 Objetivos Específicos**

- Determinar la velocidad del cambio en la cobertura vegetal
- Establecer como han influido las actividades antropogénicas en los cambios en la cobertura vegetal.
- Analizar cuatro áreas de interés con base en las diferentes actividades productivas y uso del suelo.
- Aplicar los principios de ecología de paisaje para el análisis de dos áreas: una unidad administrativa (municipio) y otra unidad ecológica (subcuenca).

#### **3.2 Hipótesis**

El área de estudio localizada en la parte central del Estado de Sonora, se encuentra en un proceso de cambio acelerado en la composición y asociación de la cubierta vegetal, debido principalmente a los patrones de uso del suelo.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Localización del área de estudio.**

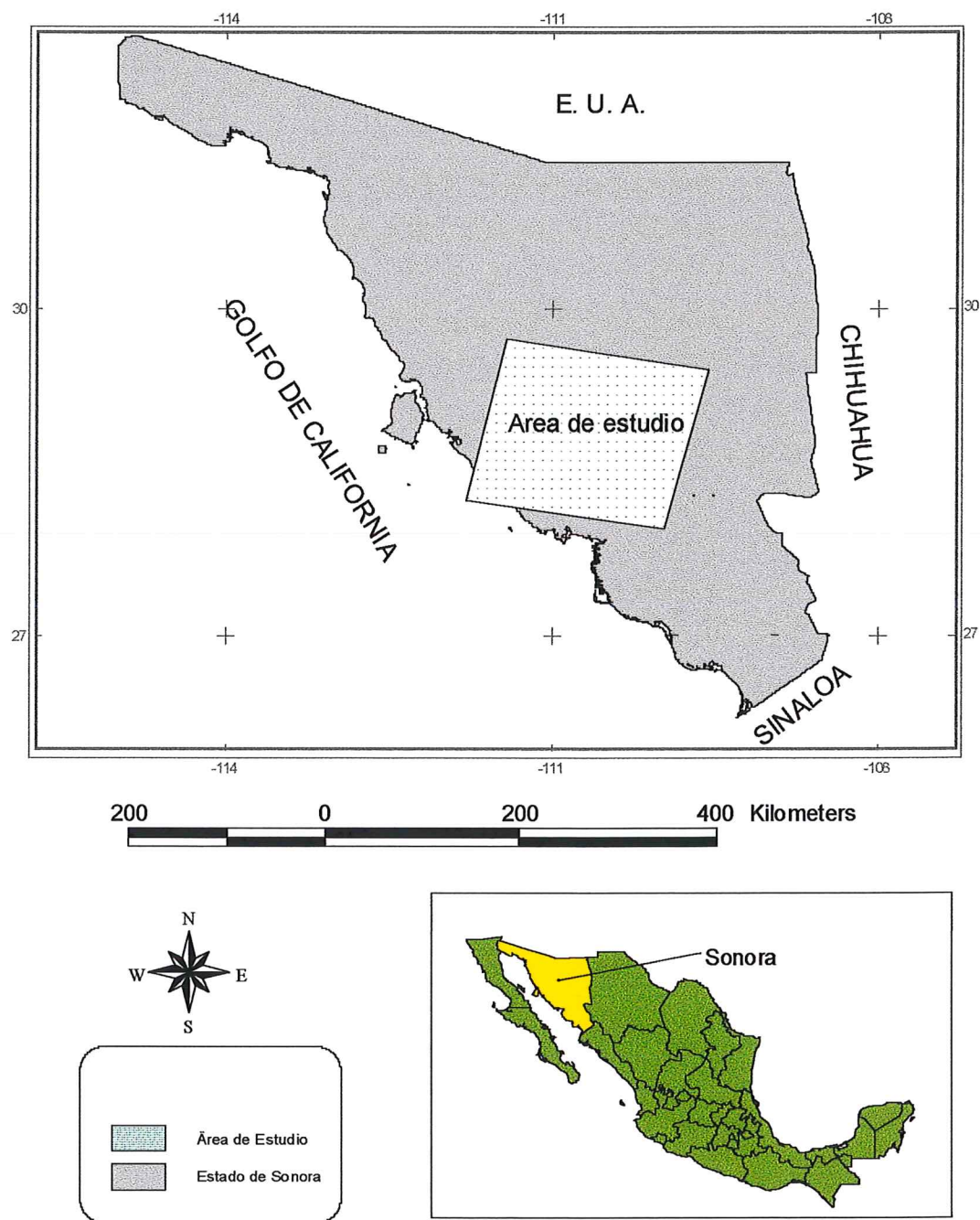
En la Figura 1 se muestra la delimitación del área de estudio, la cual corresponde a la región que abarca la escena 3540 de las imágenes de satélite Landsat MSS.

En el Estado de Sonora el área de estudio se encuentra ubicada entre los paralelos 28° y 30° de Latitud Norte, y entre los meridianos 109° y 112° de Longitud Oeste (Figura 1).

### **4.2 Descripción del área de estudio.**

La parte central del Estado de Sonora comprende una superficie de 5,032,910 has, que representan el 27.55 % del total estatal. Dentro de esta área queda comprendida la escena 3540 de las imágenes multiespectrales del satélite Landsat que representa el área de estudio del presente trabajo y cubre una superficie de aproximadamente 3,049,138.92 has.

Dentro de la escena de estudio se encuentran ubicados alrededor de 20 municipios, de los cuales, únicamente La Colorada, Villa Pesqueira (Mátape), Mazatán, San Miguel de Horcasitas, San Pedro de la Cueva y Ures se encuentran completamente dentro del área de estudio, mientras que los municipios restantes sólo una parte de su superficie queda dentro. Sin embargo, los municipios de Hermosillo y Guaymas tienen la mayor parte de la superficie municipal dentro de la escena de estudio (Figura 2).



Fuente: Mapas de INEGI, 1980.

**Figura 1.- Localización del área de estudio.**

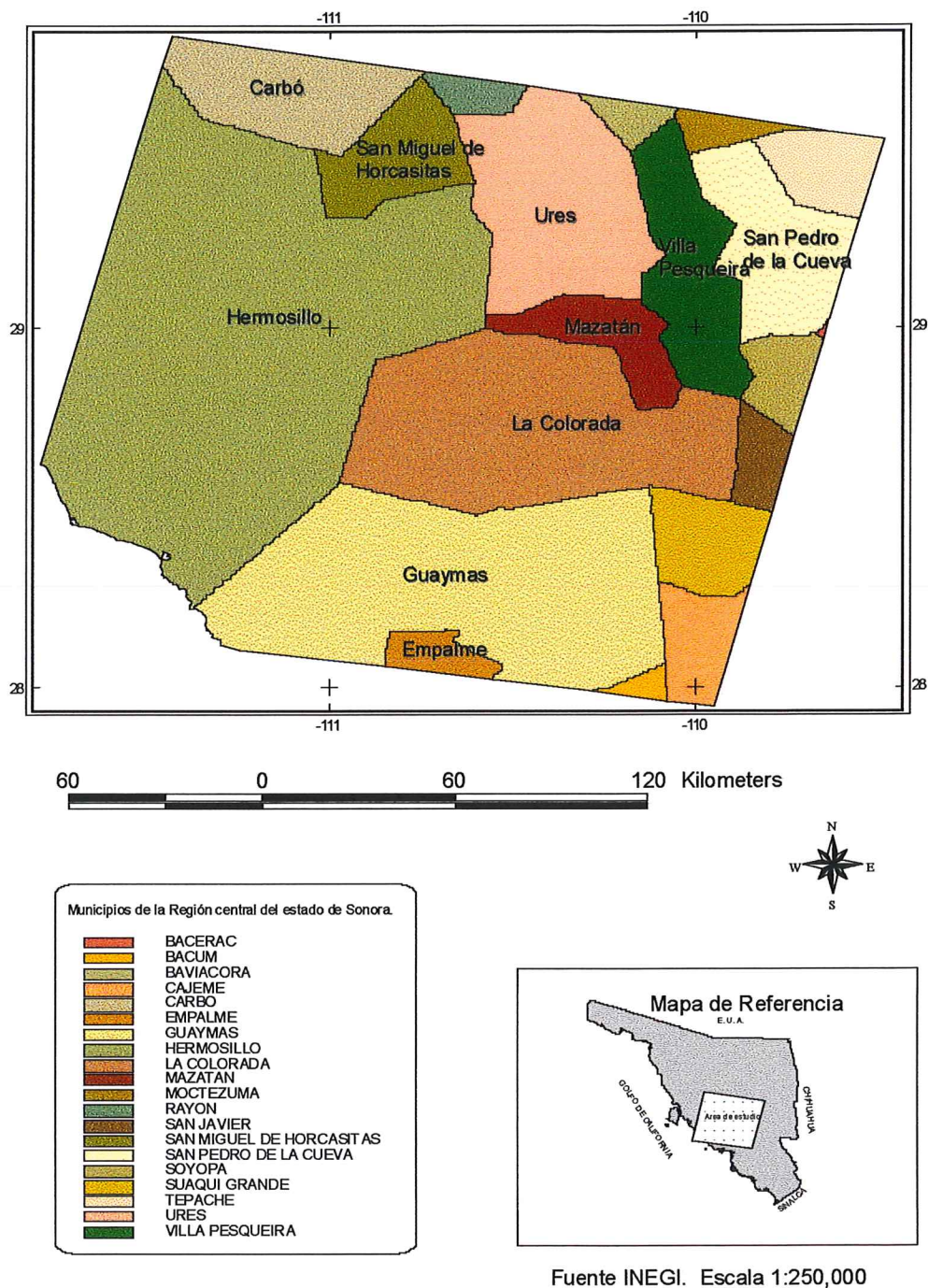


Figura 2. Municipios y las principales localidades en el área de estudio.

### **4.3 Caracterización Física.**

#### **4.3.1 Hidrología Superficial.**

Dentro del área de estudio se tienen ocho ríos importantes: Yaqui, Sonora, Mátape, Moctezuma, San Miguel, Zanjón, Bacoachi y Aros. Dentro de esta área también se localizan cuatro cuencas hidrológicas, que corresponden a las cuencas del R. Yaqui (b), R. Mátape(c), R. Sonora(d) y R. Bacoachi (e), dentro de la Región Hidrológica Sonora Sur (RH9). Se encuentran también algunas presas de almacenamiento como la Presa Abelardo L. Rodríguez, Teopari, Elías Calles (El Novillo), La Haciendita, Las Calabazas, Cajón de Onapa e Ignacio L. Alatorre (INEGI, 1993) (Figura 3).

La superficie de la región de estudio se encuentra dividida de la siguiente manera: el 43.03 % del área queda comprendida en la cuenca del Río Sonora, el 17.63 % en la cuenca del Río Yaqui, el 24.66 % en la Cuenca del Río Mátape y el 14.37 % en la cuenca del Río Bacoachi y un 0.3 % es parte del sistema de presas.

Cuenca del Río Yaqui: Esta cuenca abarca una amplia franja de orientación Norte-Sur-Sudoeste, ubicada al oriente del Estado y de la RH9, la precipitación media anual es de 527 mm y posee una pendiente general que varía de fuerte a baja. 501,940 has quedan dentro del área de estudio.

Las corrientes más importantes son las del Río Yaqui, Bavispe y Moctezuma, este último queda dentro del área en estudio. El Río Moctezuma tiene una longitud de 125 km desde el Norte de Cumpas hasta su confluencia

con el Río Yaqui, mantiene una pendiente media de 0.32 % y una dirección Norte-Sur. Las principales obras hidráulicas de la cuenca las constituyen la Presa Alvaro Obregón y Plutarco Elías Calles (Figura 3) (INEGI, 1993).

Cuenca Río Mátape: Se encuentra en el área de estudio, y al Oeste de la región RH9, comprende un área de 9,043 km<sup>2</sup> localizada íntegramente en el Estado de Sonora. En el área de estudio quedan comprendidas 702,015 has con una precipitación media anual de 342 mm y pendiente general que oscila de media a baja (Figura 3).

El dren principal de la cuenca es el Río Mátape, el cual tiene su nacimiento al Sudeste de la localidad de Mazatán, tiene una longitud de 82 km hasta descargar sus aguas en el vaso de la Presa Ignacio L Alatorre, para que posteriormente su cauce se aproveche en la zona agrícola del valle de Guaymas, durante este recorrido el Río Mátape observa una pendiente media de 0.38 % y dirección general Noreste-Suroeste, siendo sus afluentes una gran cantidad de arroyos intermitentes. La única estación hidrométrica en la cuenca es Punta de Agua, se sitúa sobre el Río Mátape a 9 km aguas arriba del vaso de la Presa Ignacio L Alatorre, registra un volumen promedio de 35.7 m<sup>3</sup> anuales (Figura 4). Las presas Ignacio L Alatorre y La Haciendita, ambas sobre el Río Mátape, representan las obras de mayor importancia para la cuenca.

Cuenca Río Sonora: Esta situada en la porción centro-septentrional de Sonora y al Oeste de la región RH9, cubre una extensión de 26,010 km<sup>2</sup> de los cuales 1,224,994 has quedan comprendidas en el área de estudio. Posee una precipitación anual de 376 mm y una pendiente general que va de fuerte en el extremo Norte, a baja en el Suroeste de la cuenca.

El rasgo hidrográfico más importante es el Río Sonora, originado en la sierra de Cananea, el cual recorre 294 km hasta verter sus aguas en la Presa Abelardo L Rodríguez, lugar donde se le une por el margen derecho el Río San Miguel de Horcasitas. Durante su desarrollo el Río Sonora conserva una pendiente media de 0.38 % y dirección preferencial Norte-Sur hasta Mazocahui donde cambia al Suroeste hasta llegar a la ciudad de Hermosillo.

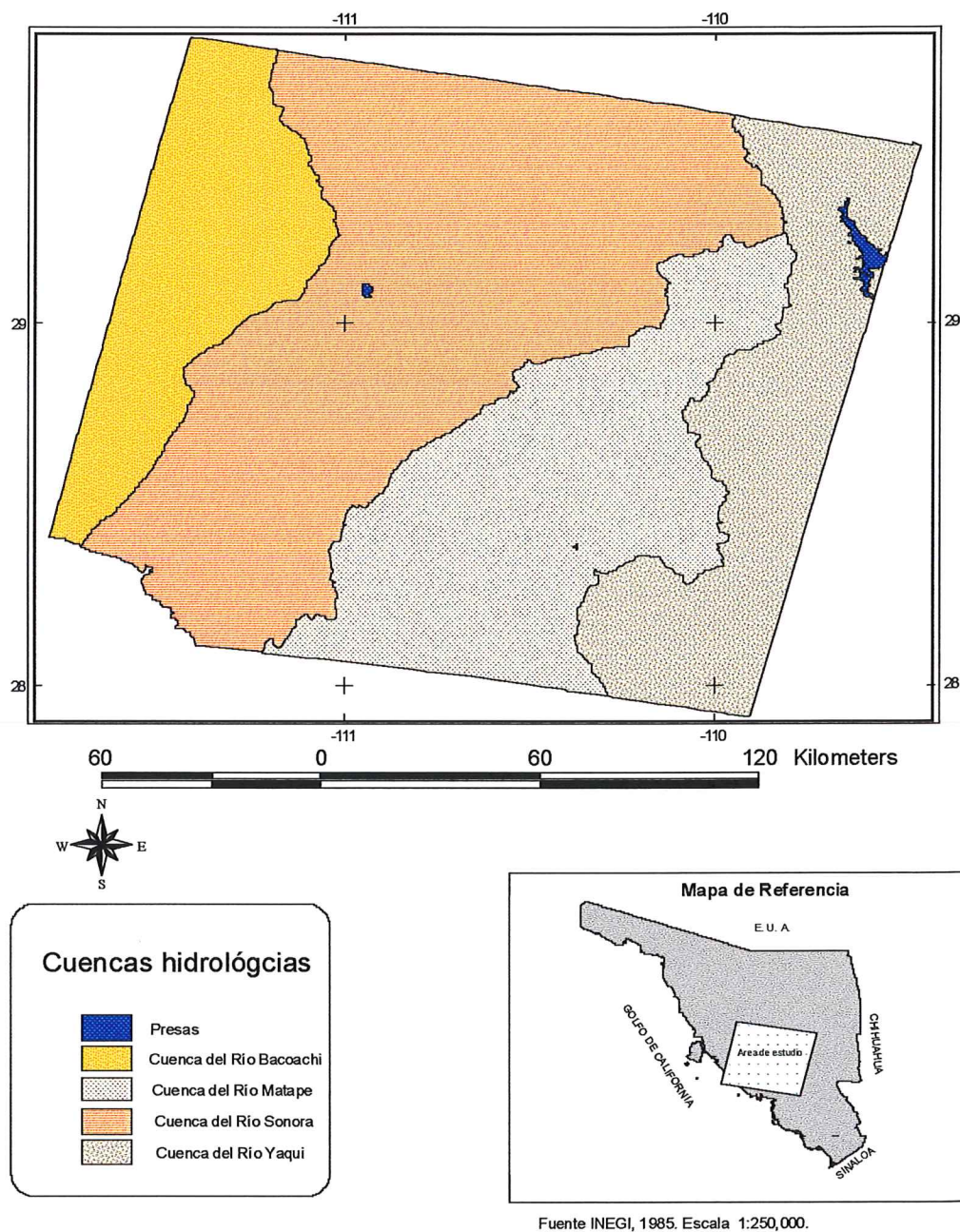
El Río San Miguel de Horcasitas nace al Norte de la población de Cucurpe. Tiene una orientación Norte-Sur hasta las cercanías de Rayón donde cambia al Suroeste hasta la ciudad de Hermosillo, el afluente de mayor relevancia es el Río Zanjón, captada por el margen derecho.

Dentro de la cuenca operan dos estaciones hidrométricas, ambas sobre el Río Sonora. La estación El Orégano, 28 Km aguas arriba del vaso de la Presa Abelardo L Rodríguez y la estación Hermosillo, al oriente de la ciudad, reporta un volumen medio anual de 216.3 millones de m<sup>3</sup>.

Cuenca Río Bacoachi: Se extiende al Oeste del Estado y de la región RH9, en un área de 12,733 km<sup>2</sup>, de las cuales 409,128 has se localizan en el área del presente trabajo, y se registra una precipitación media anual de 207 mm y pendiente general baja (INEGI, 1993).

#### **4.3.2 Hidrología Subterránea.**

En el área de estudio se encuentran ocho zonas geohidrológicas: Río Zanjón, Río San Miguel, Río Sonora, Río Moctezuma, Costa de Hermosillo, Mesa del Seri, Sahuaral y Guaymas.



**Figura 3. Cuencas hidrológicas que comprende el área de estudio.**

Zona Río Zanjón. Se localiza en la parte centro-septentrional de Sonora y al Noroeste de la región RH9, Sonora Sur, con una extensión de 985 km<sup>2</sup>. El valle del Río Zanjón es de forma alargada con orientación Norte-Sur, sus flancos están constituidos por una serie de sierras pequeñas y cerros, que representan las barreras geohidrológicas (INEGI, 1993).

Zona Río San Miguel. Se ubica en la región centro-septentrional de Sonora y en la región RH9, Sonora Sur, posee una superficie de 97 km<sup>2</sup>. El valle del Río San Miguel de Horcasitas tiene forma alargada de orientación Noroeste-Sureste, presenta como fronteras laterales las sierras de Los Locos y Aconchi.

Zona Río Sonora. Tiene una extensión de 281 km<sup>2</sup>, se ubica en la parte centro-septentrional del Estado y al Norte de la región RH9. El valle del Río Sonora presenta una forma alargada de orientación Norte-Sur-Suroeste. Lateralmente esta rodeada por elevaciones impermeables entre las que sobresalen las sierras el Bellotal y Verde, en el extremo Este.

Zona Río Moctezuma. Se sitúa en el Noreste de Sonora y al Norte de la RH9, Sonora Sur, con una superficie de 96 km<sup>2</sup>. El valle del Río Moctezuma presenta una forma alargada con orientación Norte-Sur.

Zona Costa de Hermosillo. Enclavada dentro de la región RH9, Sonora Sur, y hacia la porción centro-occidental de la entidad, se encuentra la Costa de Hermosillo con 2,833 km<sup>2</sup>, se contempla como uno de los complejos agrícolas más importantes del País. Conformar una amplia planicie costera de forma irregular, este valle colinda al Oeste con el Golfo de California, mientras que en el resto del área se encuentra rodeada por cerros aislados y sierras de poca extensión, que representan las barreras laterales del agua subterránea.

Por la relación entre recarga y extracción se ha clasificado esta zona como sobreexplotada, característica que ha propiciado un significativo descenso en los niveles estáticos y la consiguiente intrusión salina (INEGI, 1993).

Zona Mesa del Seri. Se localiza al oriente de la ciudad de Hermosillo, en el centro del Estado, posee una extensión de 118 km y el flujo regional del agua es hacia el Oeste. La condición hidrológica que prevalece es de sobreexplotación.

Zona Sahuaral. Se localiza en la porción centro-occidente del Estado y al Oeste de la región RH9, Sonora Sur, con una superficie de 194 km<sup>2</sup>. El valle El Sahuaral colinda al Norte y Noreste con la Costa de Hermosillo, al Este con el cerro El Testerazo y sierra Tinaja del Carmen, al Sur la sierra El Aguaje y al Oeste con un pequeño cordón montañoso que sirve como barrera entre esta zona y el Golfo de California. Se cataloga este acuífero como sobreexplotado.

Zona Guaymas. Esta zona abarca una superficie de 844 km<sup>2</sup>, se localiza en la parte centro-meridional del Estado de Sonora. El valle de Guaymas presenta límites bien definidos, al Norte colinda con la sierra San Antonio, al Este con la sierra Santa Ursula y El Pozo.

#### **4.3.3 Geología.**

La región esta representada en lo general por montañas complejas constituidas con rocas ígneas y sedimentarias principalmente. Estas estructuras morfológicas se encuentran dispuestas de manera semiparalela, con una orientación general Norte-Sur y están separadas por una serie de valles de origen tectónico (SPP; 1982).

#### **4.3.4 Edafología .**

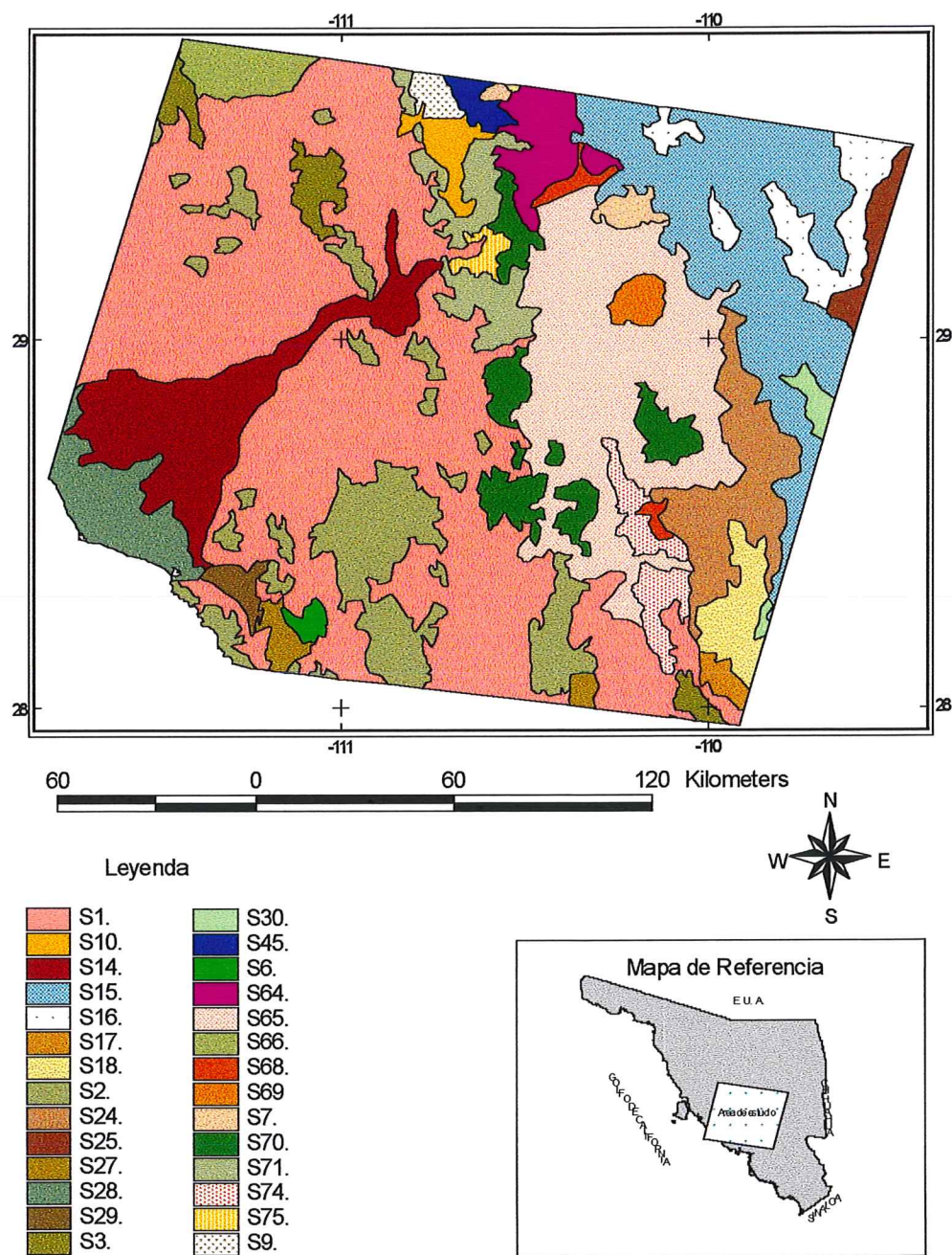
Entre los principales suelos en la porción central del Estado de Sonora, se encuentran, Yermosol, Xerosol, Regosoles, Cambisol, Luvisol, Feozem (Figura 4).

El suelo con mayor distribución en el área de estudio es el Regosol, seguido por Yermosoles, Xerosoles y Litosoles. En las partes cercanas a la costa se presentan suelos Solonchak. En lo que corresponde al área comprendida entre Tecoripa y Guisamopa se presentan predominantemente suelos Litosol y Cábico. En la región de la Sierra Madre Occidental se presentan mayormente el suelo tipo Luvisol (Figura 4).

El suelo Yermosol se caracteriza por tener un gran contenido de arena y es de textura media, pobre en materia orgánica, libre de sales y una profundidad que varía entre 20 y 100 cm (SPP, 1983).

Los suelos Cambisol eútrico, Regosol eútrico, Luvisol vértico, Feozem háplico y Xerosol háplico son suelos de textura media, profundos, frecuentemente pedregosos (SPP, 1983).

Se encuentran también algunos suelos de textura media, delgados, limitados por roca coherente como son: Cambisol eútrico, Feozem háplico, Litosol, Luvisol crómico, Regosol calcáreo, Regosol eútrico, Vertisol crómico,



Fuente: INEGI, 1970-1982. Escla 1:250,000.

**Figura 4. Distribución de los tipos de suelo dentro del área de estudio.**

Rendzina y Luvisol órtico, representan suelos de textura gruesa, profundos pueden presentar gravas y/o piedras en la superficie. Yermosol háplico, Regosol calcárico, Regosol eútrico, Fluvisol calcárico, Fluvisol eútrico (SPP, 1983).

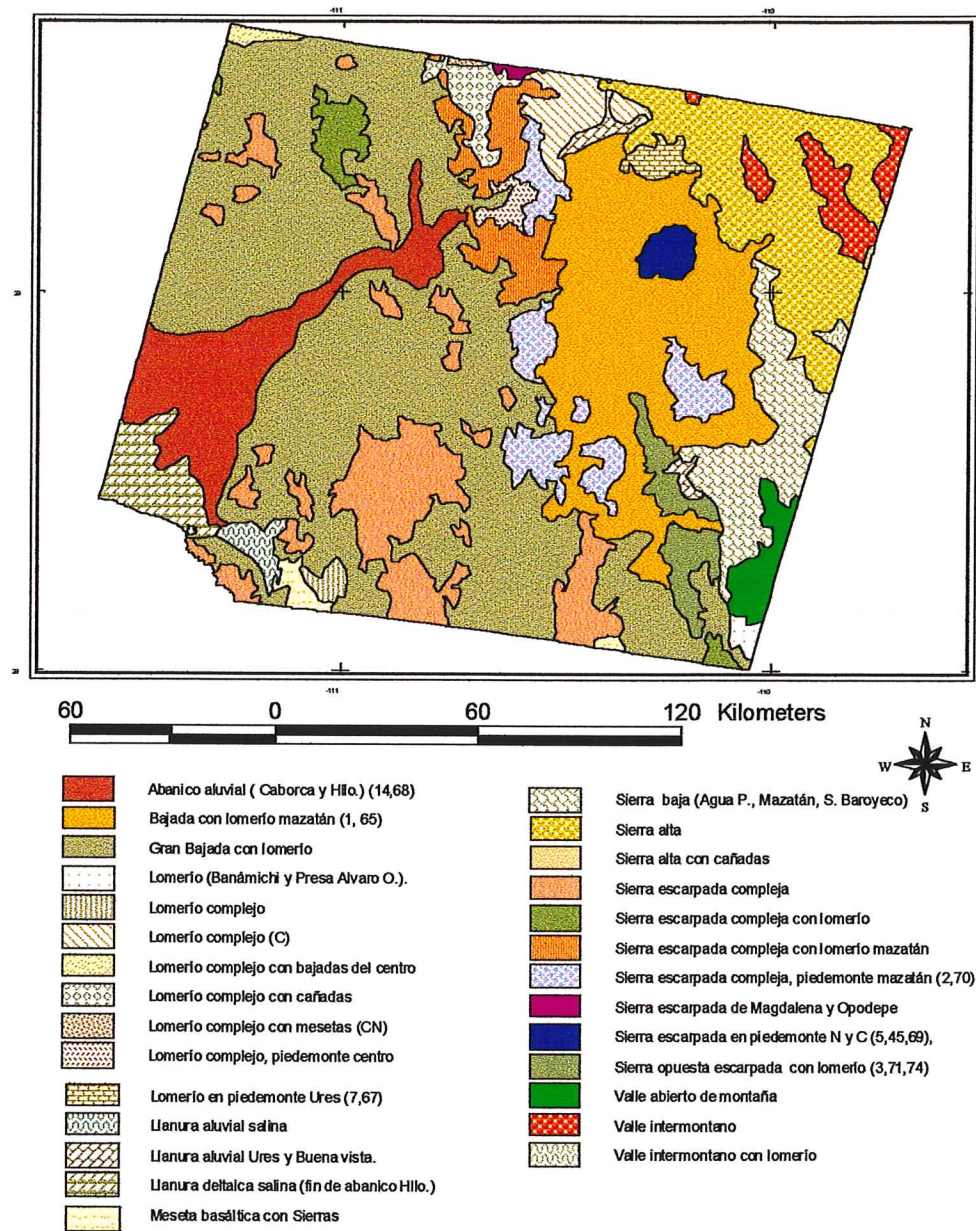
#### **4.3.5 Fisiografía.**

Dentro del área de estudio se presentan altitudes de cero hasta 4000 msnm. Las altitudes más bajas se encuentran en las subdivisiones de Costa Central del Golfo y Planicies de Sonora (Shreve y Wiggins, 1964). Las altitudes cercanas a 4000 msnm se encuentran en la parte serrana, lo que corresponde a la Sierra Madre Occidental.

El relieve del área esta constituido por extensas planicies, por bajadas con lomeríos, lomeríos aluviales y lomeríos complejos con cañadas. Aproximadamente el 51 % del área queda en categoría de Gran Bajada con lomerío. El 49 % restante se caracteriza por la presencia de sierra escarpada y sierra alta, se localiza principalmente en la zona Este de la imagen (Figura 5).

#### **4.3.6 Climatología.**

En cuanto a climas dentro del área de estudio (Figura 6), el 55% de la superficie presenta climas muy secos  $BWhw(x')$  y  $BW(h')hw$ , que abarca desde la Costa de Hermosillo hasta el municipio de La Colorada y San Miguel de Horcasitas. Los climas secos  $BSohw(x')$  y  $BSo(h')hw$  se encuentran en 30% del área y se localizan desde el poblado de La Colorada hasta el de Tecoripa,



Fuente INEGI, Escala 1:250,000

Figura 5. Fisiografía del área de estudio.

Cobachi y Ures. La región comprendida entre las Sierras de Mazatán y Sahuaripa presentan un clima BS1hw(x') y, en lugares más elevados de la misma zona ocurren climas BS1kw(x') que abarcan aproximadamente el 15 % del área de estudio (SPP, 1982).

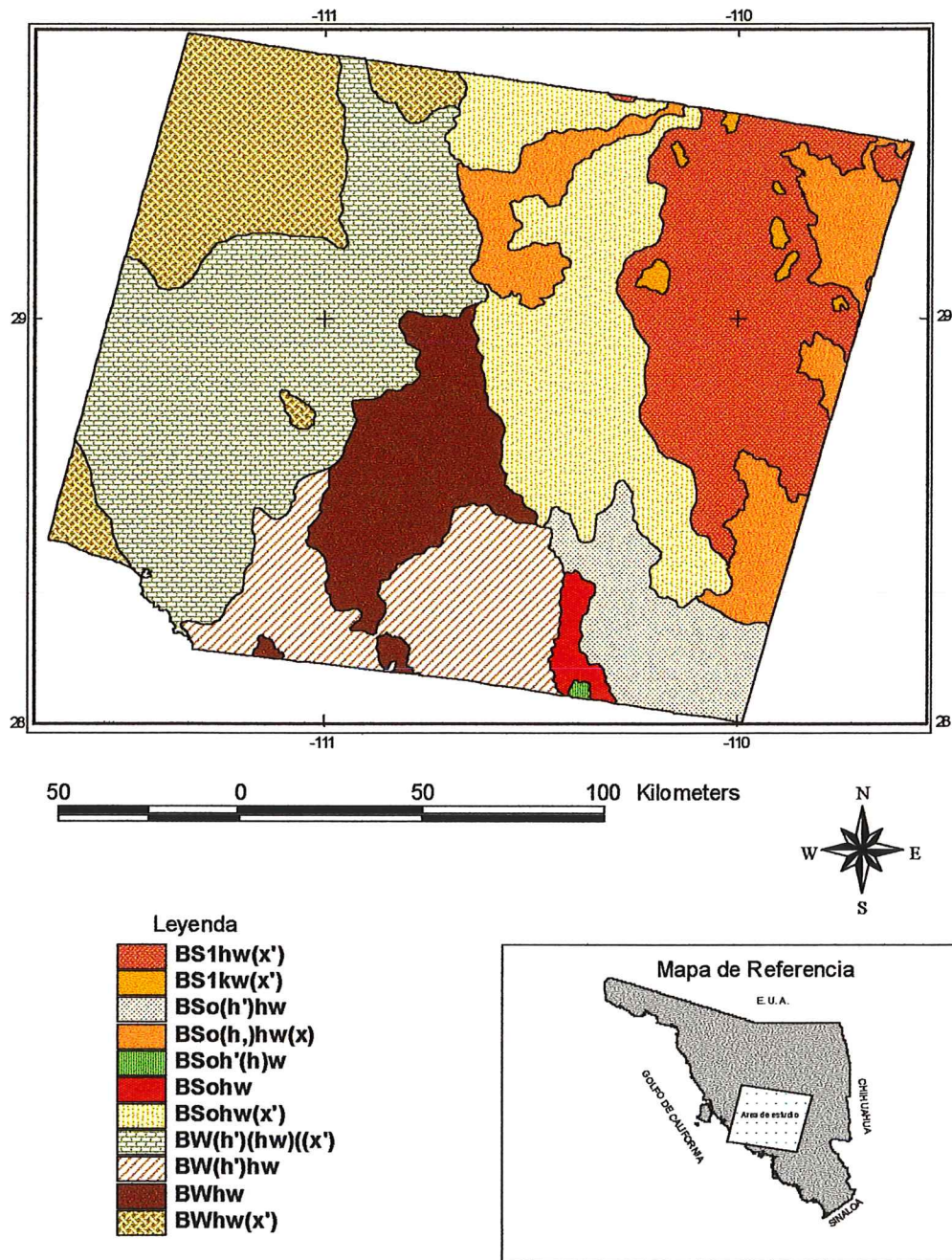
En la zona Oeste del área, se presentan temperaturas promedio anuales que varían de 20° a 26°C, aunque suelen registrarse temperaturas entre los 18 y 20 grados en las regiones más elevadas como es el caso de Sierra Libre. Dentro del área comprendida entre Tecoripa y Guisamopa se observa una mezcla de temperaturas que varían de 16° a 26°C, registrándose las temperaturas más altas en los municipios de San Pedro de la Cueva, Tepache y Soyopa, las temperaturas menores se registran en las regiones más elevadas, como la Sierra de San Javier. Las áreas ubicadas en la Sierra Madre Occidental presentan temperaturas menores de 20°C.

La precipitación promedio anual en la parte central del Estado va de 100 a 700 mm, incrementando de Oeste a Este, conforme aumenta la altitud. Las precipitaciones menores (100-200 mm) se reciben en la zona costera y las mayores en la zona serrana (INEGI, 1982).

#### **4.4 Caracterización Ecológica.**

##### **4.4.1 Provincias florísticas y de vegetación de la parte central del Estado de Sonora.**

El área de estudio se encuentra ubicada en las siguientes provincias florísticas, Planicie Costera del Noroeste, Sierra Madre Occidental y una pequeña franja de la provincia florística Costa Pacífica (Rzedowski, 1978). De acuerdo a este mismo autor, en la zona de estudio se encuentra una transición entre los Reinos Holártico y Neotropical.



Fuente: INEGI, 1980. Escala 1:250,000

Figura 6. Principales climas del área de estudio.

La provincia florística de Sierra Madre Occidental queda comprendida dentro de la Región Mesoamericana de Montaña, la cual Rzedowski define como una región que no pertenece al Reino Holártico ni al Neotropical, pues participan en ella los elementos de ambos reinos en proporciones importantes, quedando como una zona de transición.

La provincia florística Planicie Costera del Noroeste queda comprendida en la Región Xerofítica Mexicana y según Rzedowski (1978) queda dentro del Reino Neotropical, aunque señala la existencia de discrepancias en este sentido.

Por último, la provincia florística de la Costa Pacífica queda dentro de la Región Caribeña, la cual se extiende en forma angosta en el Este de Sonora hasta Chiapas. Los tipos de vegetación más frecuentes son el bosque tropical caducifolio y el subcaducifolio. Igualmente, la Provincia Costera del Noroeste ocupa la mayor parte del Estado de Sonora y tiene un número elevado de elementos comunes con la Región Caribeña.

Según Shreve y Wiggins (1964), dentro del área se encuentran las siguientes subdivisiones de vegetación: Costa Central del Golfo (Central Gulf Coast), Pie de Montes de Sonora (Foothills of Sonora), Planicies de Sonora (Plains of Sonora) y una pequeña porción del Bajo Río Colorado (Lower Colorado Valley).

Las clasificaciones de tipos de vegetación varían de acuerdo al autor, por ejemplo, de acuerdo a SARH-COTECOCA (1974) en el área de estudio se encuentran 15 tipos de vegetación tales como: matorral arborescente, selva baja caducifolia, matorral alto espinoso, bosque esclerofilo caducifolio, pastizal

amacollado arbosufrutescente, matorral sarcocauléscente subinérme, bosque caducifolio, vegetación halófito, manglar y vegetación de dunas. Por su parte, SPP(1970) maneja para esta misma área, los siguientes tipos de vegetación: mezquital, matorral desértico microfilo, vegetación de dunas, vegetación halófito, matorral sarco-crasicaule, matorral subtropical y selva baja caducifolia. La distribución de los tipos de vegetación en el área y de acuerdo a las subdivisiones de Shreve y Wiggins (1964) se presenta de la siguiente manera vegetación de dunas, halófitas y manglares, en la parte de la costa. En la Subdivisión de Costa Central del Golfo, se presenta el matorral sarcocauléscente. Dentro de la porción central se encuentra también matorral desértico microfilo subinérme, distribuido en manchones aledaños a la zona agrícola de la Costa de Hermosillo. En la región comprendida entre Hermosillo y Tecoripa se presentan los siguientes tipos de vegetación: mezquital, selva baja caducifolia, matorral subtropical y en la región de la Sierra Madre Occidental se presenta bosque de encino y pino.

#### **4.4.2 Conservación**

En cuanto a conservación, en el área quedan comprendidos cuatro zonas sujetas a conservación que ocupan aproximadamente el 5 % de la superficie que comprende el presente trabajo. Entre las áreas sujetas a algún estatus de conservación se encuentran El Cajón del Diablo, Sistema de Presas, Agualurca y La Sierra de Mazatán (Figura 7).

En esta región de un total de 414 especies cuyos rangos de distribución han sido descritos por Turner y Col (1995), un total de 163 especies (casi un (40 %) se encuentran restringidas o tienen sus límites de distribución en esta porción central del Estado de Sonora. De este total, el 32 % de las especies son

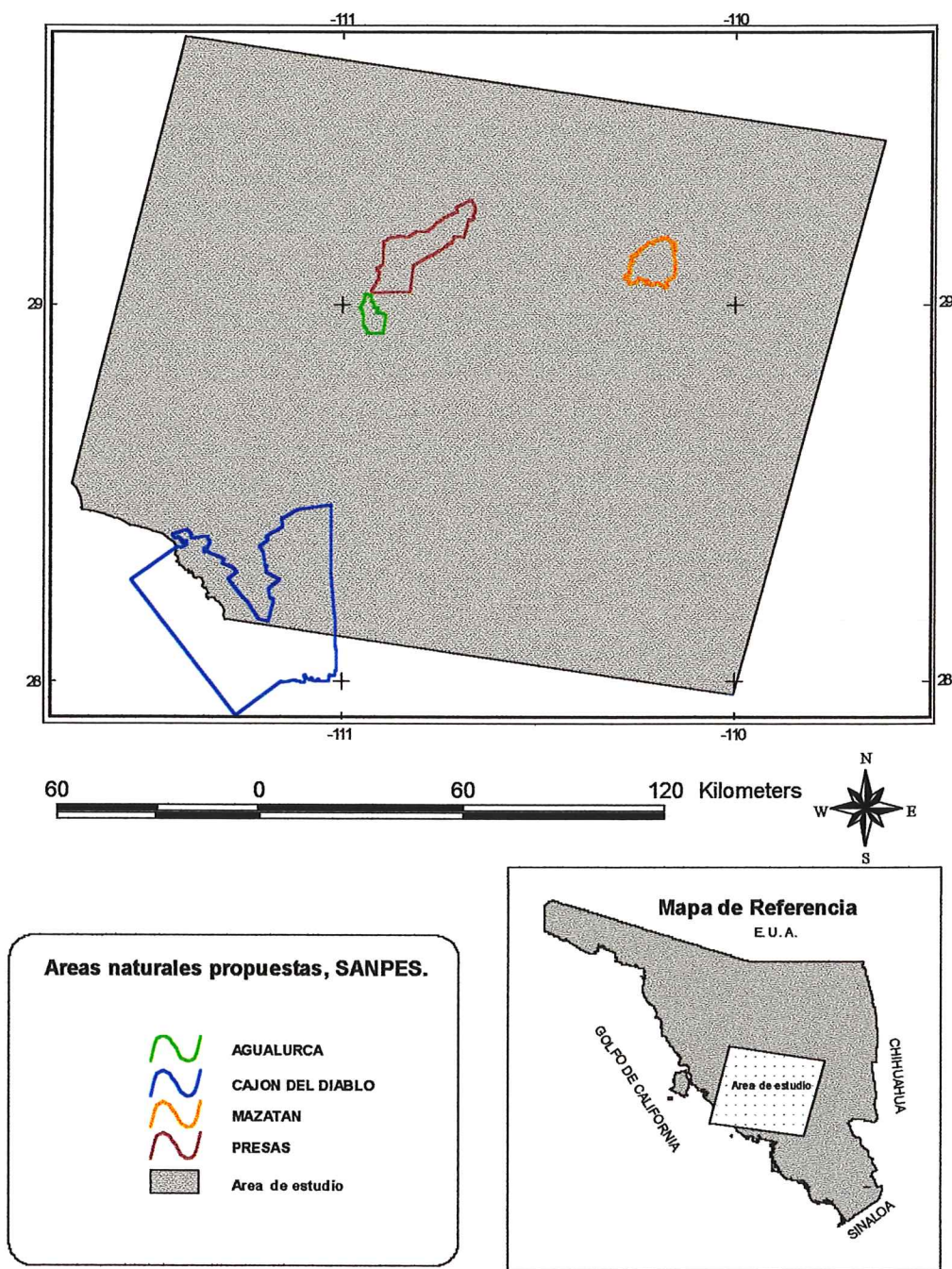
endémicas. Aproximadamente 61 especies tienen su límite Norte en esta región de estudio y para 50 especies, la región representa su límite Sur de distribución.

Dentro del área en estudio se tienen 12 especies de plantas que se encuentran bajo protección según el Diario Oficial del 16 de Mayo de 1994 (Tabla II). De las cuales, se enlistan siete especies amenazadas, dos raras, dos con protección especial y una en peligro de extinción (SEDESOL, 1994).

**Tabla II. Especies de plantas bajo algún estatus de conservación de acuerdo al Diario Oficial de la Federación.**

<b>Especie</b>	<b>Categoría</b>
<i>Lophocereus schottii</i>	Rara
<i>Bouteloua eriostachya</i>	Rara
<i>Tabebuia palmeri</i>	Amenazada
<i>Dioon tomasellii tomasellii</i>	Amenazada
<i>Pinus ponderosa</i>	Amenazada
<i>Erythea aculeata</i>	Amenazada
<i>Distichlis palmeri</i>	Amenazada
<i>Erythea elegans, Erythea roezlii</i>	Amenazada
<i>Olneya tesota</i>	Protección especial
<i>Guaiacum coulteri</i>	Protección especial
<i>Dioon tomasellii</i>	En peligro de extinción

Fuente. SEDESOL, 1994.



**Figura 7. Delimitación de las áreas naturales protegidas que se encuentran el área de estudio.**

## **4.5 Metodología.**

En este estudio se utilizaron como herramientas de trabajo los sistemas de información geográfica, imágenes de satélite MSS, bases de datos puntuales, trabajo de campo e información histórica y ecológica de la cubierta vegetal para el área que comprende la imagen 3540 del satélite Landsat MSS, que fué definida como la zona de estudio.

### **Trabajo de Gabinete (Figura 12).**

#### **4.5.1 Procesamiento de las imágenes.**

Para la evaluación del cambio en la cubierta vegetal se utilizaron imágenes multispectrales (MSS, Landsat) con una resolución de 60 metros y que constan de 4 bandas: azul, verde, rojo e infrarojo cercano. El procesamiento de las imágenes fué utilizando el programa ERDAS Imagine versión 8.3.1 (Erdas, Inc, 1997) y el programa IDRISI para Windows versión 2 (Eastman, 1992).

Las escenas utilizadas para este estudio fueron adquiridas a través del proyecto North American Land Characterization (NALC), las cuales se tienen para tres décadas, correspondientes al "path" 35 y "row" 40. Para completar la escena para la década de 1970 se utilizaron dos imágenes (1973 y 1975), las cuales fueron clasificadas cada una por separado y después se unieron utilizando los módulos de unión de capas "layer stack" dentro del programa Erdas Imagine 8.3.1.

Las imágenes para la década de 1970 fueron obtenidas en marzo 16 de 1975 y abril 12 de 1973 (Figura 8). La fecha de la imagen de la década de los

ochentas es del 23 de abril de 1983 (Figura 9) y por último la fecha de la imagen del noventa corresponde al 1 de mayo de 1992 (Figura 10).

Como un análisis exploratorio de las posibles clases espectrales en las imágenes se realizó una clasificación no supervisada. Posteriormente, las cartas temáticas resultantes de este proceso de clasificación fueron analizadas en conjunto con mapas topográficos y de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 (SPP, 1970).

En la clasificación no supervisada se obtuvieron 16 tipos de cubierta vegetal y uso del suelo. Los tipos de cubierta vegetal fueron diez: mezquital de zonas planas, mezquital ripario, matorral sarcocaula, matorral subtropical, matorral micrófilo, selva baja caducifolia, selva baja espinosa, vegetación halófila, vegetación de dunas, encinares, así como para los usos del suelo se tiene agricultura activa, agricultura inactiva, praderas de buffel, áreas con desmontes, urbano-suburbano y por último los cuerpos de agua. Los criterios utilizados para definir los tipos de uso de suelo se basaron principalmente en los valores de reflectancia, además se tomó en cuenta la forma de las parcelas que se diferencian de la vegetación natural por presentar formas regulares (cuadrados o círculos). También se tomó en cuenta la topografía del área, así como algunas características relevantes del terreno, como son ríos y arroyos.

Como apoyo para la clasificación de las imágenes de satélite se utilizaron las imágenes obtenidas por video aéreo, georeferenciadas utilizando un sistema de posicionador global (GPS) las cuales se tienen para la época de crecimiento (Octubre de 1993) y, época seca (Junio de 1996).

#### **4.5.2 Clasificación de imágenes.**

La clasificación se refiere a la interpretación de las imágenes de satélite con ayuda de algoritmos. La mayoría de las rutinas de clasificación están basadas únicamente en detección de las formas espectrales, aunque algunas rutinas son capaces de incorporar información como textura y contexto (Erdas Inc, 1997).

Un paso importante en el proceso de clasificación es la evaluación de la precisión de las imágenes finales. Se tienen que seleccionar un conjunto de localidades en campo, visitarlos y verificar tipos de vegetación y usos del suelo.

##### **Clasificación no supervisada.**

La clasificación no supervisada no requiere de información sobre las clases de interés. La lógica con la cual trabaja la clasificación no supervisada es conocida como análisis de "cluster" o de grupos, es necesario reconocer que cada grupo que se produce en la clasificación no supervisada no son clases de información, pero sí clases espectrales. Por ello es necesario realizar una recodificación de las clases espectrales dentro de clases de información.

##### **Clasificación supervisada.**

En contraste a la clasificación no supervisada la clasificación supervisada requiere de la identificación previa de clases de información (tipos de cobertura, usos de suelo). Estos sitios se denominan sitios de control.

### **Imágenes Landsat MSS.**

Los sensores de los barredores multiespectrales Landsat MSS, han adquirido datos desde julio de 1972 hasta septiembre de 1992. Estos datos han sido almacenados en forma digital y pueden utilizarse para análisis cuantitativos.

El registro de la radiación electromagnética se realiza en cuatro bandas. Las imágenes MSS tienen una resolución espacial de 56 x 79 m. La resolución radiométrica es de 6 bit, pero es almacenada en 8 bit (Lilleasend y Kiefer 1987, En: Erdas Inc, 1997). La superficie que comprende cada una de las imágenes Landsat MSS es de aproximadamente 185 km de ancho x 170 km de largo.

#### **4.5.3 Descripción de las bandas utilizadas.**

La siguiente descripción de las diferentes bandas se hace con base en Jensen 1996 (Erdas Inc., 1997).

**Banda 1:** 0.50 - 0.60  $\mu\text{m}$  (Verde). Esta banda es sensible a los rangos de la clorofila entre el azul y el rojo. Es útil para detectar el grado de salud de las plantas, así como también para "mapear" cuerpos de agua.

**Banda 2:** 0.60 - 0.70  $\mu\text{m}$  (Rojo). Esta es la banda que detecta la clorofila roja y representa una de las bandas más importantes para la discriminación de la vegetación.

**Banda 3:** 0.70 - 0.80  $\mu\text{m}$  (Infrarrojo). Esta banda es útil para diferenciar tipos de cultivos.

**Banda 4:** 0.80 - 1.10  $\mu\text{m}$  (Infrarrojo). Esta banda es útil para estudios de vegetación.

**Sistemas de Información Geográfica (SIG).** Se diseñó un sistema de información geográfica utilizando el programa Arc View versión 3.1, que permite combinar diferentes niveles de información, como datos climatológicos, información temática de cartografía existente e información del análisis de las imágenes multiespectrales.

Para el presente trabajo se utilizaron diferentes niveles de información, tales como cartas temáticas de INEGI, las cuales fueron proporcionadas en formato digital a través del Área de Desarrollo Sustentable del Instituto del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (IMADES), las cuales previamente fueron digitalizadas utilizando el programa ILWIS versión 1.43. Se utilizó también información sobre vegetación y ganadería generada por la Comisión Técnica Consultiva para la determinación de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA) para el Estado de Sonora. También se utilizaron datos puntuales como temperatura, precipitación los cuales fueron proporcionados por la Comisión Nacional de Agua (CNA), para seis estaciones que se encuentran comprendidas en el área de estudio. Las estaciones son: El Cajón dentro del municipio de San Miguel de Horcasitas, Carbó en el municipio del mismo nombre, El Carrizal, Punta de Agua I y Hermosillo en el municipio de Hermosillo y por último, Mazatán en el municipio de Mazatán. Las estaciones utilizadas para el análisis se encuentran distribuidas de Este a Oeste entre isoyetas que van desde los 600 mm hasta 200 mm. La estación climatológica de El Carrizo se encuentra ubicada entre las isoyetas de 200 y 300 mm, mientras que las estaciones de Hermosillo, Carbó y El Cajón se encuentran

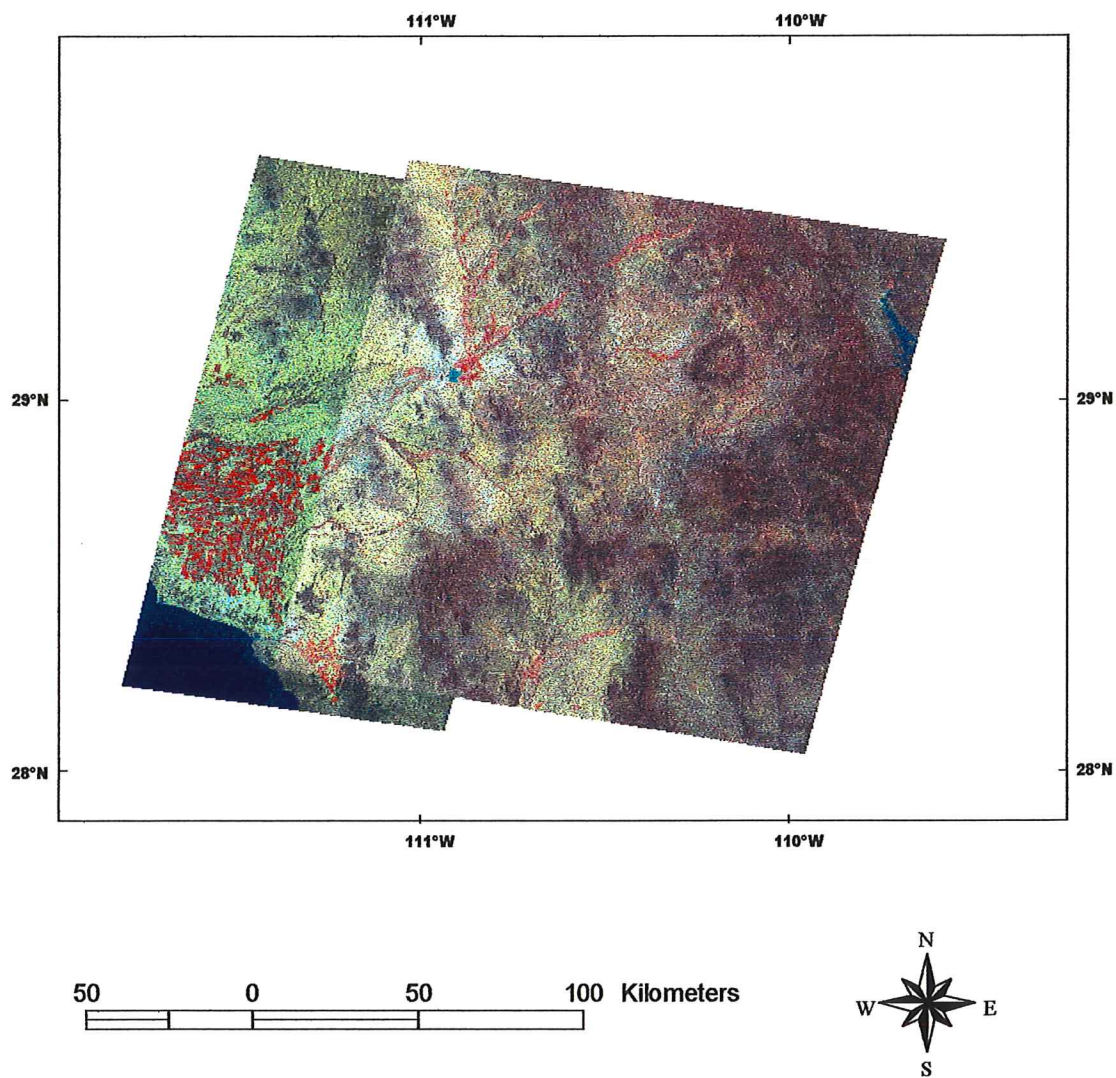
entre las isoyetas de 300 y 400 mm, Punta de Agua entre los 400 y 500 mm, por último, la estación de Mazatán esta localizada entre los 500 y 600 mm, cubriendo así todo un gradiente de humedad.

Para identificar y contrastar los diferentes usos del suelo en el área de estudio, se seleccionaron cuatro áreas de interés. Una ubicada al nivel de la Costa de Hermosillo y Sahuaral, una segunda a nivel del la ciudad de Hermosillo y áreas aledañas, y otras dos en la zona de transición entre los matorrales desérticos y la selva baja caudicifolia, denominándolas como zona de transición Sur y zona de transición Norte. La superficie que comprende cada una de las áreas de interés es de 373,779.36 has (Figura 11).

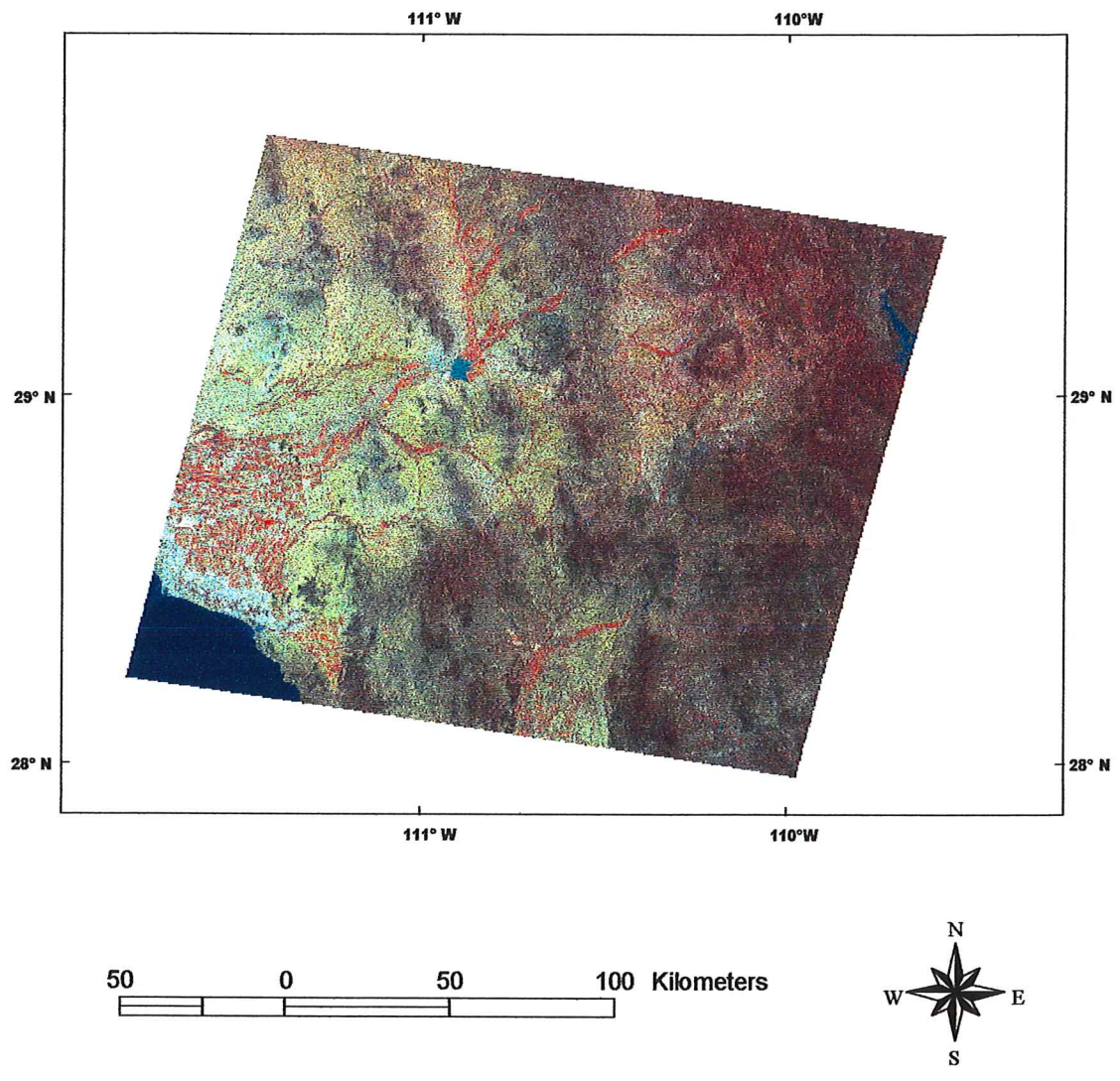
Para la aplicación del análisis de ecología de paisaje se seleccionaron una unidad administrativa (municipio de Hermosillo) y una unidad ecológica (subcuenca Punta de Agua) (Figura 12).

Se realizó un análisis de "summary" o resumen, utilizando el programa de Erdas Imagine versión 8.3.1, cruzando las imágenes de 70-80, 70-90 y 80-90, donde se obtuvo como resultado una tabla con datos estadísticos, que muestran la superficie que comprende cada clase en 1970 y el porcentaje de cambio para 1980 y 1990. Esto se realizó para la imagen completa así como para cada una de las cuatro áreas de interés.

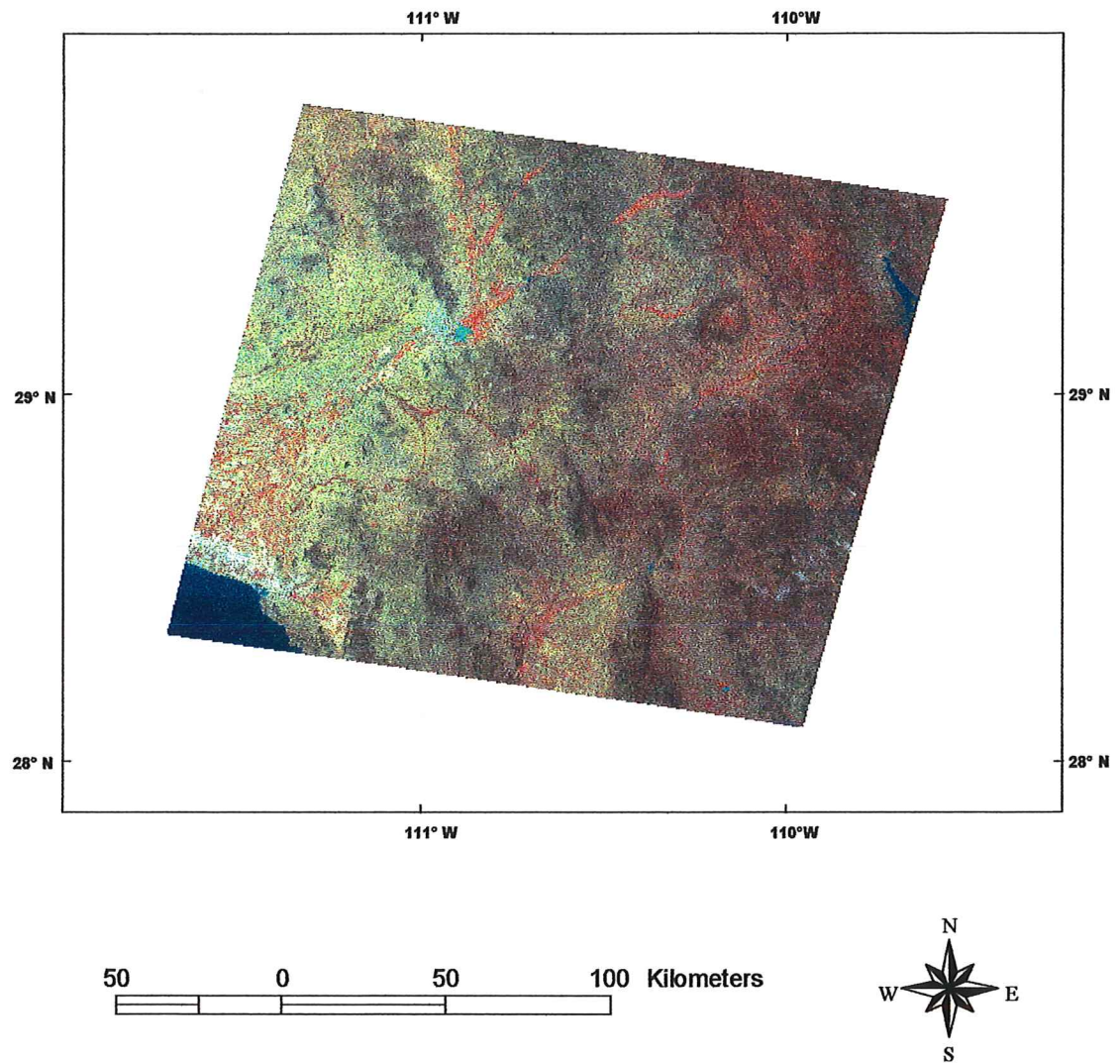
**Trabajo de Campo.** Para corroboración del resultado de la clasificación de las imágenes de satélite se realizaron visitas de campo donde se tomaron varios puntos georeferenciados. Después en el laboratorio se capturó la información en una base de datos.



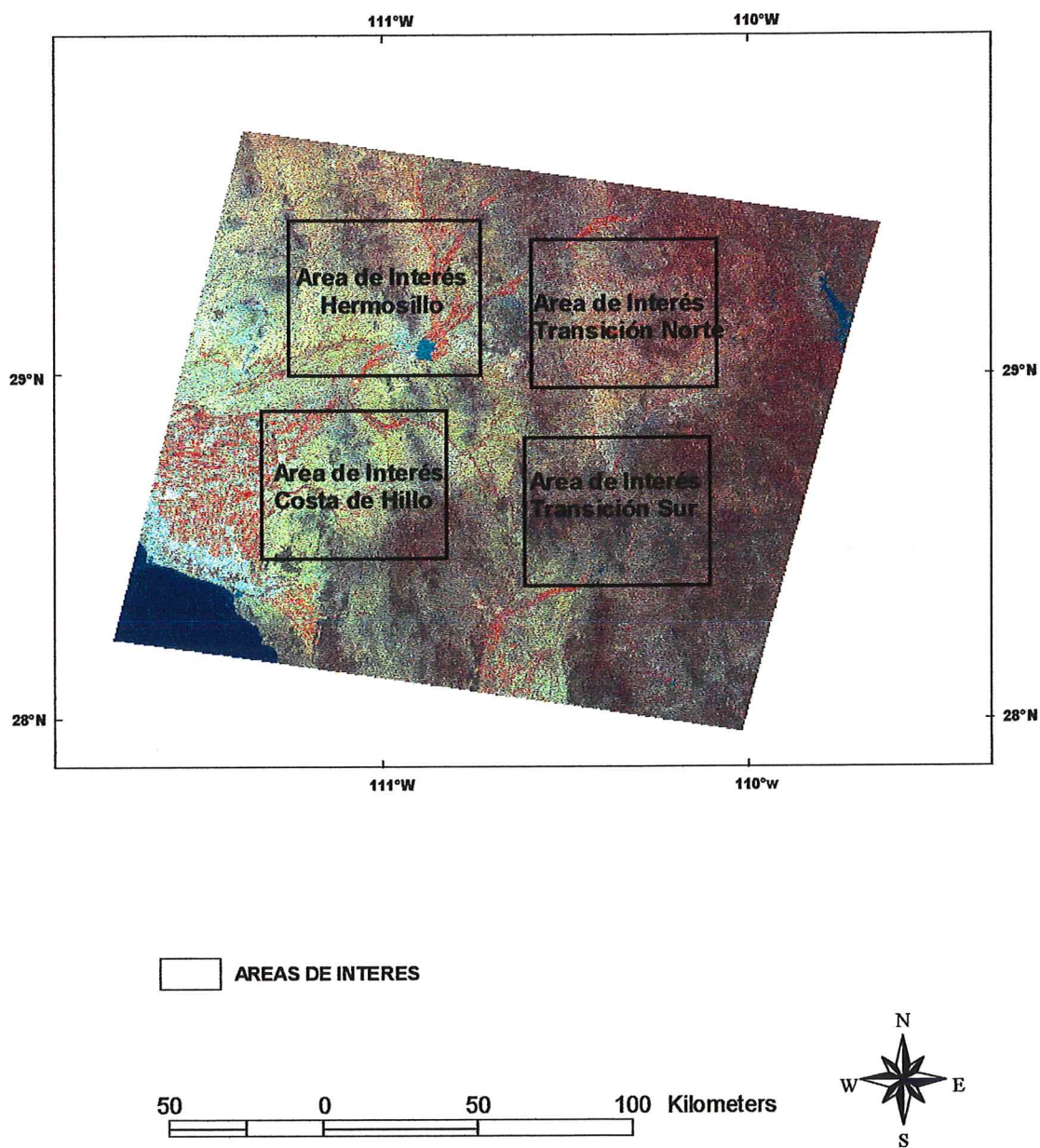
**Figura 8. Imagen Multiespectral Landsat MSS, de la zona central del Estado de Sonora, escena 3540 para 1973 y 1975.**



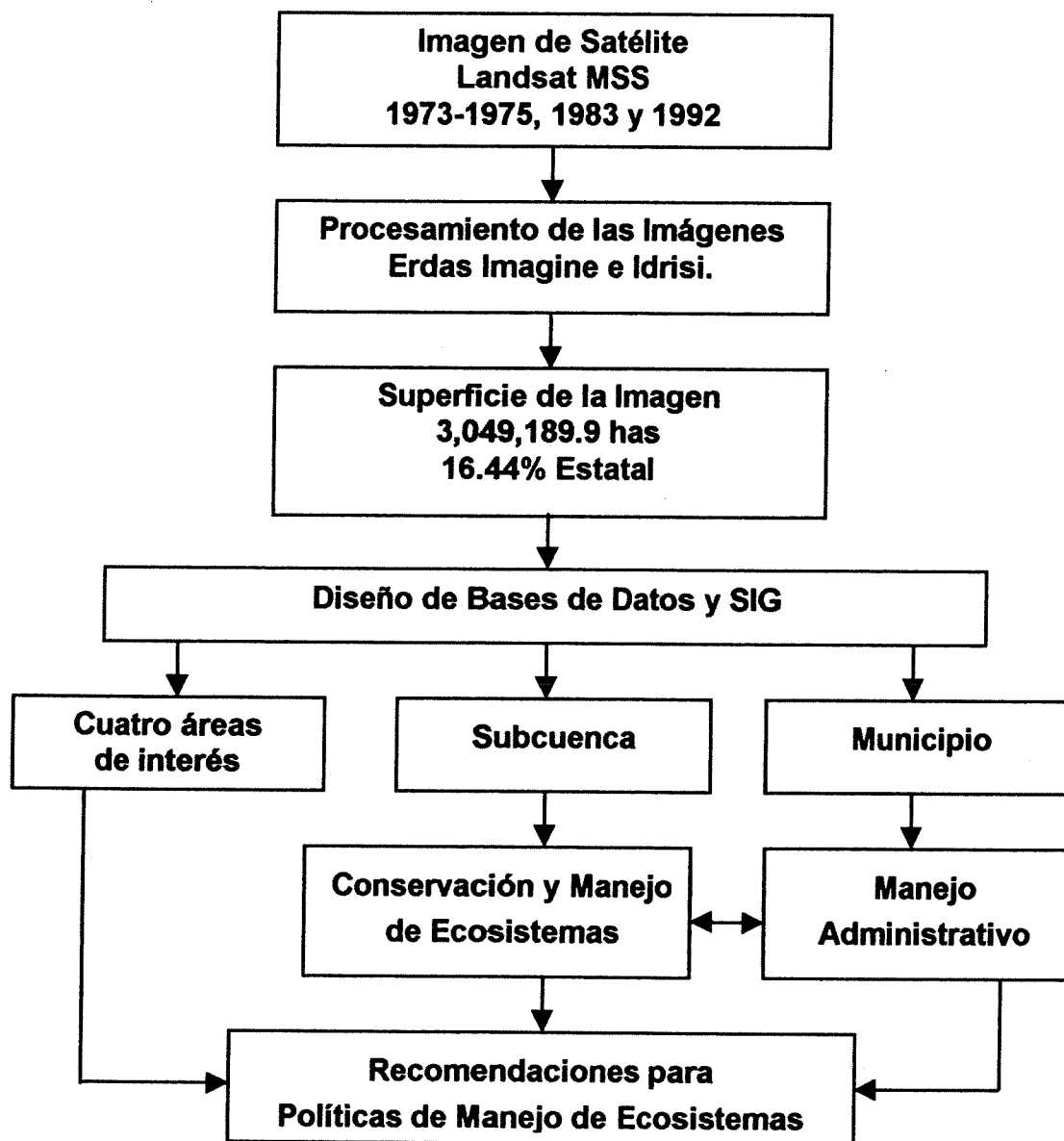
**Figura 9. Imagen Multiespectral Landsat MSS del la zona central del Estado de Sonora, escena 3540 para 1983.**



**Figura 10. Imagen Multiespectral Landsat MSS, de la zona central del Estado de Sonora, escena 3540 para 1992.**



**Figura 11. Localización de las cuatro áreas de interés.**



**Figura 12. Diagrama metodológico y diseño del Sistema de Información Geográfica.**

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1 Situación del área de estudio en la década de 1970.**

Como línea base para el presente trabajo se tomaron los datos resultado de la clasificación de la imagen de satélite del área de estudio para 1970, que comprende una superficie de 3,049,189.92 has y representa la sexta parte de la superficie estatal.

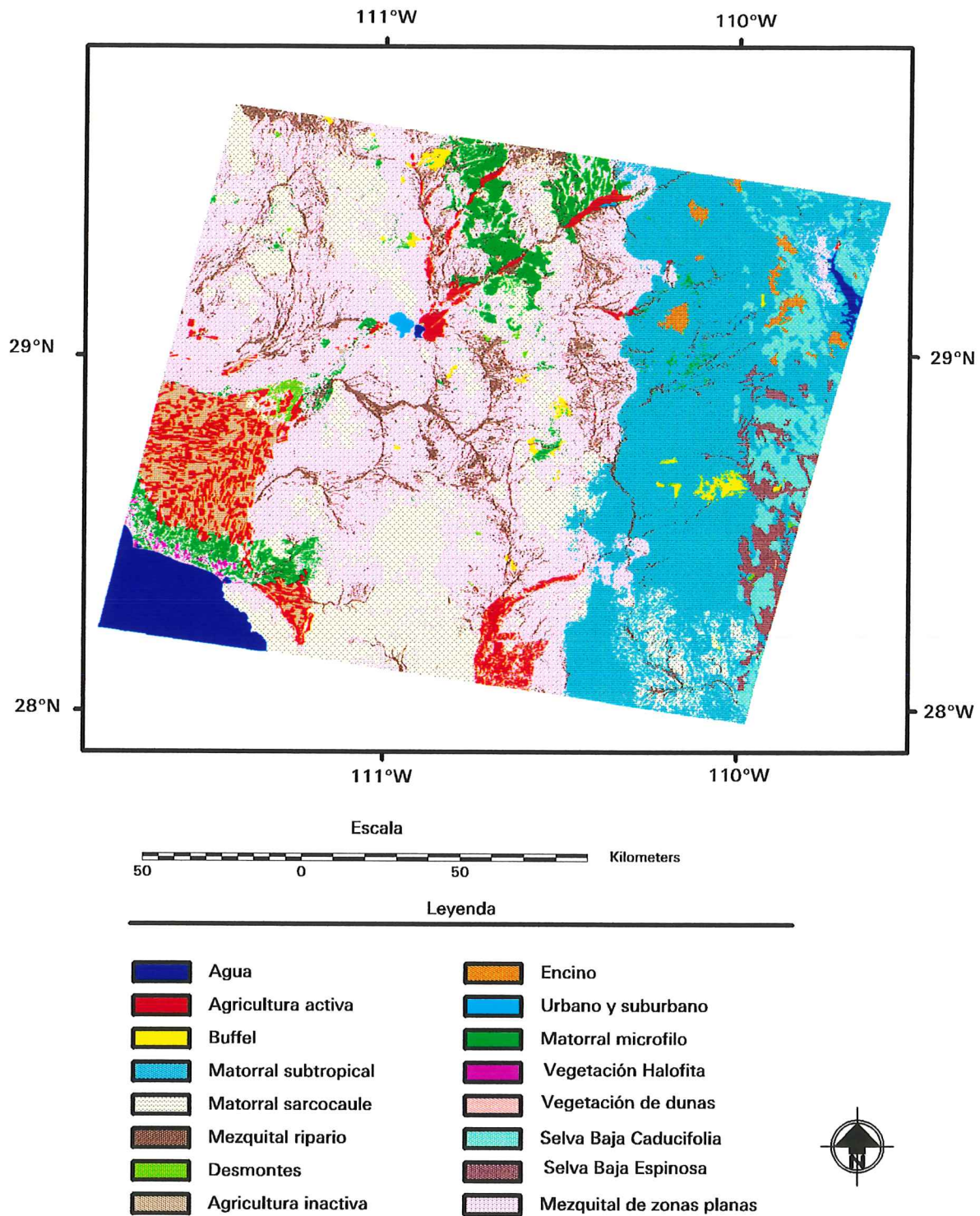
En el área bajo estudio, en la década de 1970 se tienen tanto ecosistemas naturales como artificiales. Dentro de los ecosistemas naturales se encontraron diez tipos de vegetación que se distribuyen en una superficie de 2,724,927.48 has y representan el 89.37% del área de estudio. Dentro de los principales tipos de vegetación en cuanto a la superficie que ocupan se tiene al mezquital de zonas planas con superficie de 1,118,954.52 has, en segundo lugar el matorral subtropical con 697,687.2 has, seguido por el matorral sarcocaulé con 448,683.48 has, mezquital ripario con una superficie de 173,067.12 has, matorral microfilo con 111,043.08 has y el tipo de vegetación con menor superficie dentro del área de estudio es la vegetación de dunas con 948.6 has (Tabla III).

El resultado de las actividades productivas primarias en el área de estudio durante la década de los setentas resultó en la caracterización dentro de los ecosistemas artificiales correspondientes a la agricultura activa e inactiva y a la ganadería o uso pecuario como desmontes y buffel, además de las zonas urbanas y suburbanas. Estos ecosistemas artificiales sumaban en ese entonces una superficie de 324,217.44 has, esto es, cerca del 7.43% del total del área de estudio, al cual habría que sumar el 3.2% que correspondería a los embalses de agua ubicados dentro del área de estudio. Para esta década, cerca del 90% del uso del suelo diferenciado como parte de los ecosistemas artificiales correspondió a actividades relacionadas con la agricultura.

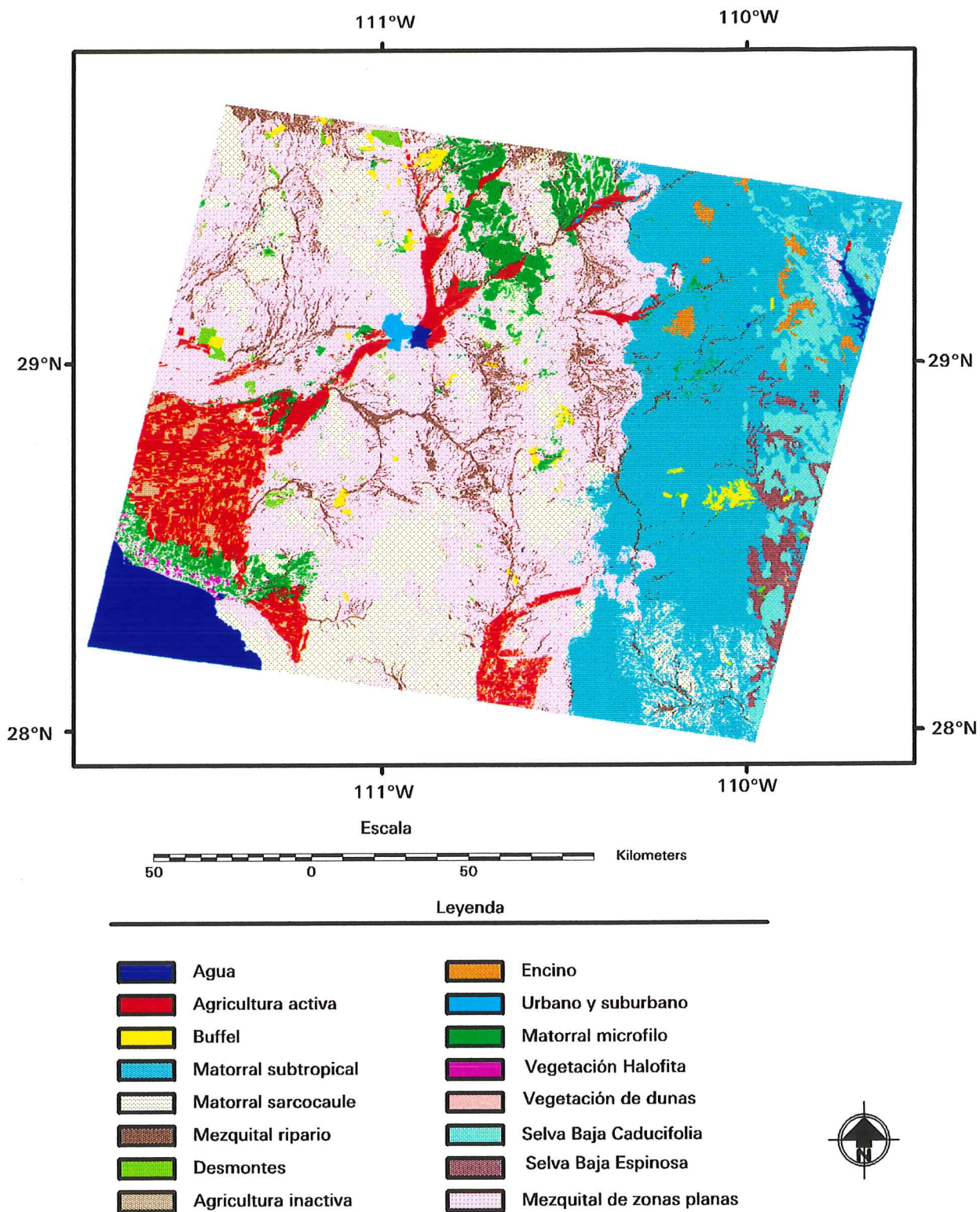
**Tabla III. Resultados de la clasificación en el área de estudio para las tres décadas. Superficie en hectáreas.**

<b>Clase</b>	<b>1975</b>	<b>1983</b>	<b>1992</b>
Urbano y suburbano	4,014.00	7,568.64	14,944.32
Desmontes	2,354.04	13,285.80	110,027.16
Buffel	16,963.92	23,337.72	25,128.72
<b>Subtotal</b>	<b>19,317.96</b>	<b>36,623.52</b>	<b>135,155.88</b>
Agricultura activa	120,450.24	201,407.40	179,868.96
Agricultura inactiva	82,816.56	43,229.16	67,867.56
<b>Subtotal</b>	<b>203,266.8</b>	<b>244,636.56</b>	<b>247,736.52</b>
Mezquital de zonas planas	1,118,954.52	1,072,663.2	990,673.56
Matorral subtropical	697,687.20	695,493.36	690,262.92
Matorral sarcocaulé	448,683.48	447,826.32	440,926.92
Mezquital ripario	173,067.12	164,173.68	154,397.16
Matorral microfilo	111,043.08	105,779.16	103,213.80
Selva baja caducifolia	105,794.28	105,791.04	105,515.64
Selva baja espinosa	47,670.48	46,820.88	44,696.88
Encino	18,229.68	18,118.44	18,272.16
Vegetación halófito	2,894.04	2,853.56	2,985.12
Vegetación de dunas	948.60	982.44	945.00
<b>Subtotal</b>	<b>2,724,972.48</b>	<b>2,660,502.08</b>	<b>2,551,889.16</b>
Cuerpos de agua	97,618.68	99,858.24	99,331.92
<b>TOTAL</b>	<b>3,049,189.92</b>	<b>3,049,189.04</b>	<b>3,049,057.80</b>

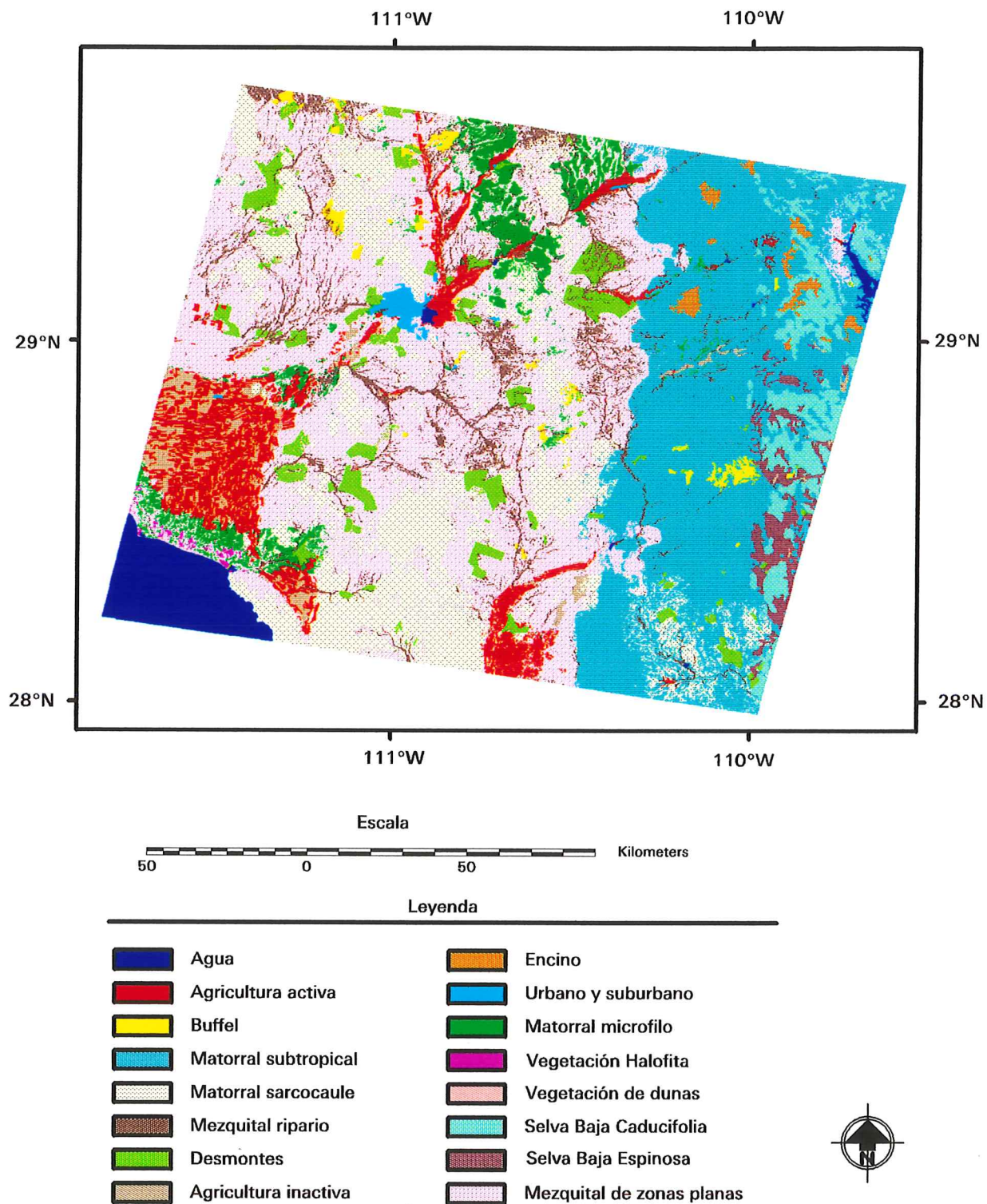
En la Tabla III se muestra los datos obtenidos de la clasificación de la imagen de satélite para la década de los setentas, que fueron los datos que se seleccionaron como iniciales para el presente trabajo (Figuras 13). En la Figura 14 y 15 se muestran las imágenes resultado de la clasificación para 1983 y 1992.



**Figura 13. Resultado de la clasificación de la imagen de satélite para la década de 1970.**



**Figura 14. Resultado de la clasificación de la imagen de satélite para 1983.**



**Figura 15. Resultado de la clasificación para la imagen de satélite de 1992.**

## 5.2 Cambios en la cubierta vegetal en el área de estudio durante tres décadas.

El nivel de resolución manejado para el presente trabajo permitió detectar la disminución en las superficies ocupadas por los diferentes tipos de vegetación en el área de estudio. Los cambios en los ecosistemas naturales y artificiales sólo fueron detectados cuando involucraron cambios fuertes en la cubierta vegetal, por lo que otros tipos de cambio como aquéllos que involucran cambios en la composición, en la densidad y frecuencia de especies componentes, no son considerados en este trabajo. Es claro que la tala y posterior sustracción de madera en estas comunidades, aún, cuando es de importancia considerable, no fué posible de cuantificar.

En el área de estudio, se concentran algunos tipos de vegetación que por sus características ecológicas y biogeográficas son de gran importancia, como son aquéllos que incluyen elementos neotropicales cuyo límite más Norte de distribución u otras, cuyos límites más Sur ocurren en esta porción del Estado. La tasa promedio de cambio entre los años 1975 y 1983 fué de 4.13%, mientras que entre 1975 y 1992 la tasa de cambio resultó en un 16.99 % (Tabla IV).

**Tabla IV. Tasa promedio de cambio entre las diferentes décadas expresado en porcentaje.**

<b>Década</b>	<b>Tasa promedio de cambio (%)</b>
1975 a 1983	4.13 %
1975 a 1992	16.99 %

### **5.2.1 Cambios en los tipos de vegetación en el área durante el período de estudio.**

Durante el período de estudio la superficie ocupada por los sistemas naturales, disminuyó aproximadamente 173,083.32 has (Tabla III). Este cambio en la superficie ocupada por los diez tipos de vegetación no se presentó de igual forma entre ellos, de los diez tipos de vegetación ocho disminuyeron su superficie y dos la aumentaron.

En el área de estudio el tipo de vegetación que presentó un mayor cambio fué el mezquital de zonas planas ya que entre 1975 a 1983 se reduce aproximadamente 46,291.32 has que representa el 4.2% de la superficie inicial, así como también entre 1983 y 1992 se reduce 81,989.64 has que representa el 11.47% de la superficie inicial (Tabla III y V).

Los otros tipos de vegetación que presentaron reducciones importantes en cuanto a su superficie entre 1975 -1983 son el mezquital ripario (8,893.44 has), el matorral microfilo (5,263.92 has), matorral subtropical (2,193.84 has) y la selva baja espinosa (849.6 has) (Tabla III).

Al contrario de los tipos de vegetación que disminuyeron su superficie, la vegetación halófito presentó un pequeño aumento entre 1975 a 1983 de 33.84 has y el encino registró un aumento de 153.72 has en la superficie entre 1983 y 1992.

De los diez tipos de vegetación evaluados para el área de estudio, existen cuatro que sobresalen, ya sea por la superficie que ocupan o por la relevancia que presentan por ser vegetación de tipo transicional entre los matorrales desérticos y la selva baja. En el caso del mezquital de zonas planas, es el que

presenta una mayor superficie ya que del 89.37% del área ocupada por sistemas naturales el 36.7% corresponde al mezquital de zonas planas.

**Tabla V. Porcentaje de cambio de la cubierta vegetal en los dos períodos de estudios.**

<b>Clase</b>	<b>Diferencia entre 1975-1983 (%)</b>		<b>Diferencia entre 1975-1992 (%)</b>	
Urbano y suburbano	Δ+	88.55	Δ+	272.30
Desmontes	Δ+	464.40	Δ+	4573.97
Buffel	Δ+	37.60	Δ+	48.3
Agricultura activa	Δ+	67.20	Δ+	49.3
Agricultura inactiva	Δ-	48.80	Δ-	18.1
Mezquital de zonas planas	Δ-	4.20	Δ-	11.47
Matorral subtropical	Δ-	0.40	Δ-	1.1
Matorral sarcocaulé	Δ-	0.80	Δ-	1.2
Mezquital ripario	Δ-	5.14	Δ-	10.79
Matorral microfilo	Δ-	4.80	Δ-	7.1
Selva baja caducifolia	Δ-	0.10	Δ-	0.3
Selva baja espinosa	Δ-	1.79	Δ-	6.24
Encino	Δ-	0.70	Δ+	0.23
Vegetación halófito	Δ-	2.10	Δ+	3.14
Vegetación de dunas	Δ+	3.56	Δ-	0.4
Cuerpos de agua	Δ+	2.30	Δ-	1.75

Δ+ indica aumento.  
Δ- indica disminución.

Entre los tipos de vegetación importantes por su relevancia ecológica, dentro del área se encuentra la selva baja caducifolia con 105,794 has y representa el 35.04% de las 301,859 has que se encuentran en el Estado. La selva baja espinosa, en el área de estudio cubre 47,670 has de un total de 827,024 has que ocupa en el Estado, representando el 5.76% (Tabla VI) (SARH y COTECOCA, 1974).

Al igual que la selva baja caducifolia, la selva baja espinosa, es también un tipo de vegetación considerado transicional entre las porciones más áridas del Desierto Sonorense y los tipos de vegetación en regiones más húmedas de

Sonora, como lo es la selva baja caducifolia. Este tipo de vegetación, tiene en la porción de estudio su límite más septentrional en América del Norte.

El matorral subtropical cubre una superficie de aproximadamente 697,687.20 has en el área de estudio (Tabla VI). Mientras que a nivel estatal se localiza en una superficie de 2,818,900 has (SARH-COTECOCA, 1974). El matorral subtropical es otro de los tipos de vegetación importantes, el cual es considerado como transicional entre la selva baja y los matorrales desérticos.

**Tabla VI. Superficie de tres tipos de vegetación a nivel Estado y área de estudio.**

<b>Tipo de Vegetación</b>	<b>Superficie Estado (1)</b>	<b>Resultado imágenes para 1975</b>	<b>(%) Estatal</b>
Selva Baja Caducifolia	301,859 has	105,794	35.04
Selva Baja Espinosa	827,024 has	47,670	5.76
<b>Matorral Subtropical</b>	<b>2'818,900 has</b>	<b>697,687.20</b>	<b>24.75</b>

(1)SARH-COTECOCA (1974)

### **5.2.2 Cambios en la cubierta vegetal por uso del suelo.**

Al igual que los tipos de vegetación o sistemas naturales, los sistemas artificiales sufrieron cambios en cuanto a la superficie que ocupan entre las diferentes décadas, pero al contrario de la vegetación, los usos del suelo presentaron un aumento en su superficie.

Del total del área de estudio para la década de 1970, cerca del 7.3% de la superficie estaba cubierto por sistemas artificiales con actividades de uso del suelo agrícola, pecuario y/o urbano, para 1983 pasó a cubrir el 9.47% y por

último para la década de 1990 la superficie cubierta por este tipo de sistemas pasó a ser el 13.05% (Tabla III) .

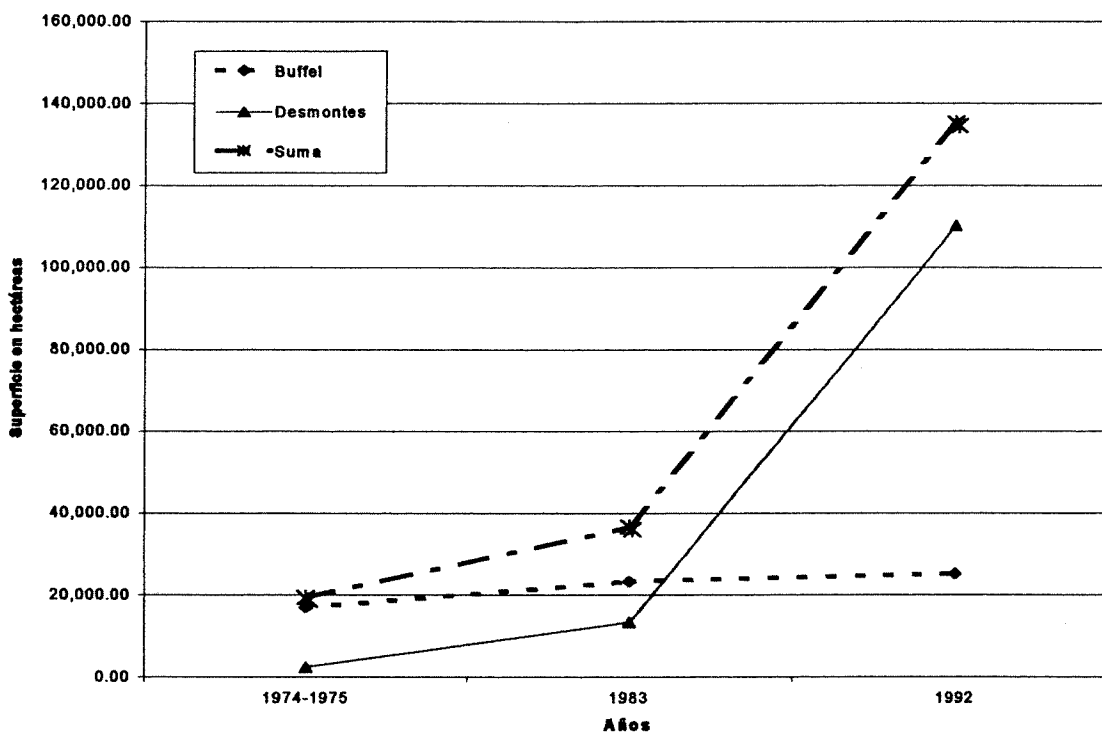
Dentro de las diferentes tipos de uso del suelo el que mayores cambios presentó fué desmontes pasando de una superficie inicial en 1970 de 2,354.04 a 13,285.8 has para el año de 1983 y, aún un mayor cambio presentó éste entre 1983 y 1992, registrándose un aumento de 96,741.36 has (Tabla III), un incremento de aproximadamente 4,500% (Tabla V).

Para buffel entre 1975 y 1983 se da un aumento de 37.6% pasando de una superficie de 16,963.92 has en 1975 a 23,337.72 has en 1983. Entre 1975 y 1992 se registró un aumento de 48.3 % en la superficie con praderas de zacate buffel (Tabla III y V).

Para agricultura activa, se tiene un aumento en la superficie sembrada entre 1975 y 1983, con aproximadamente 120,450.24 has en la década de los setentas y 201,407.40 has en 1983 (Tabla III), lo que representa un aumento de 67.2% (Tabla V). El aumento en la superficie sembrada para 1983 por un lado se explica ya que se presentan mayores zonas agrícolas aledañas a la ciudad de Hermosillo, Ures y en la zona de la sierra en Bacanora, Mazatán y San Pedro de la Cueva, así como también en la parte Sur en la zona de cultivo de Guaymas. Por otro lado, el aumento en las superficies sembradas para 1983 se explica con la disminución en la agricultura inactiva de aproximadamente 48.8% entre 1975 y 1980 (Tabla III y V). Los datos obtenidos para la superficie agrícola activa son congruentes con los datos oficiales de siembra para 1975 reportados por SARH (1995), ya que se reportan aproximadamente 115,000 has.

**Ganadería.** Los cambios en la superficie de los sistemas artificiales correspondientes a desmontes, se pueden considerar como intentos fallidos al

establecer praderas de buffel. Si al incremento en desmontes se suma la tasa de cambio anual entre 1970 y 1992 de las praderas de buffel de 453.6 has por año, el cambio en la cubierta vegetal nativa por la actividad pecuaria registra un cambio total de 6,435.44 has anuales, que hace un total de 135,155.44 has para ambas categorías hasta 1992 (Tabla III) (Figura 16).



**Figura 16. Superficie de praderas de buffel, desmontes y la suma de buffel más desmontes para las diferentes décadas.**

**Agricultura.** En el caso de la agricultura, el incremento en esta actividad impactó fuertemente el área de estudio durante los períodos que se analizaron. Aproximadamente una cuarta parte del incremento en el uso del suelo para la actividad agrícola entre 1975 y 1983, sucedió en áreas que ya previamente se encontraban dedicadas a la agricultura, pero que se encontraban inactivas.

### **5.2.3 Tasas de cambio anual (has/año).**

De acuerdo a las tasas de cambio de la cubierta vegetal durante las tres décadas de estudio, el tipo de vegetación más afectado correspondió al mezquital de zonas planas con una disminución promedio de 7,126 has/año entre las décadas de 1970 y 1990. El segundo tipo de cubierta vegetal más afectado durante el período de estudio con una tasa de pérdida de 1,037 has/año fué el mezquital ripario.

Durante el período de estudio, la tasa de cambio en los diferentes tipos de cubierta vegetal fué diferente. Mientras en el mezquital ripario la tasa de cambio se mantuvo prácticamente constante, el mezquital de zonas planas fué mayormente afectado durante el período 1983 y 1992. Durante la década mencionada, el mezquital de zonas planas disminuyó a una tasa cercana a los 10,250 has/año, casi dos veces mayor que la encontrada en la década anterior.

Los ecosistemas artificiales localizados en el área de estudio están principalmente relacionados a las actividades agrícolas y ganaderas. Al inicio de los años setentas, fecha base en este estudio, gran parte de los cambios de la actividad agrícola sobre la cubierta vegetal ya habían sido establecidos; incluso, algunos de los problemas de sobreexplotación y salinización de los mantos acuíferos subterráneos ya habían sido detectados, por lo que se reconocieron dos categorías, agricultura activa y agricultura inactiva. Es por tal motivo que estas dos categorías mostraron incrementos y decrementos durante el período analizado. En el caso de la agricultura activa con una gran actividad durante la década 1970 y 1980, mostró aumentos cercanos a las 9,000 has/año. Sin embargo, esta misma categoría mostró tasas de disminución mayores a las 2,000 has/año para la década siguiente (1983 a 1992).

Para el caso de las categorías relacionadas a la actividad pecuaria, el aumento en los desmontes durante el período de estudio, promedió una tasa cercana a las 6,000 has/año, sin embargo se detectaron grandes diferencias entre los dos períodos de estudio. Entre los años 1975 y 1983, el aumento tuvo una tasa promedio de 1,214 has/año, mientras que entre 1983 a 1992, la tasa de aumento promedió 10,749 has/año, casi un orden de magnitud mayor.

**Índice de cambio de acuerdo Hulshoff (1995).** En términos del índice de cambio (Hulshoff, 1995), la categoría desmontes supera en dos órdenes de magnitud ( $254 \text{ has/año/km}^2$ ) el índice más cercano de la agricultura activa ( $2.74 \text{ has/año/km}^2$ ). Este índice de cambio es sólo seguido por el índice de crecimiento urbano con una tasa de  $15.1 \text{ has/año/km}^2$ .

Para el caso de los tipos de vegetación, el mezquital de zonas planas, el mezquital ripario, el matorral microfilo y la selva baja espinosa fueron los que presentaron mayor cambio entre 1970 y 1992 con valores de -0.64, -0.60, -0.39 y  $-0.35 \text{ has/año/km}^2$  respectivamente.

### **5.3 Descripción de cuatro áreas de interés.**

Con base en los atributos de uso del suelo y tipos de vegetación se seleccionaron cuatro áreas de interés con el fin de contrastar y analizar los diferentes usos del suelo y los tipos de vegetación dentro del área de estudio (Tabla VII). Estas áreas sirvieron como base para realizar el siguiente análisis.

**Tabla VII. Superficie en hectáreas para cada tipo de uso de suelo, en las cuatro áreas de interés.**

<b>CLASE</b>	<b>Costa de Hermosillo</b>	<b>Hermosillo</b>	<b>Transición Norte</b>	<b>Transición Sur</b>
Urbano y suburbano		2,801.16	959.04	
Buffel	189.36	2,166.84	335.88	5,778.72
Desmontes	3,814.56	671.04		154.08
Agricultura activa	25,549.20	13,194.73	8,475.12	3,612.24
Agricultura inactiva	24,593.04	625.00		
Mezquital zonas planas	202,746.50	229,362.48	106,000.92	110,032.92
Matorral subtropical			202,686.48	188,465.04
Matorral sarcocaulé	77,252.04	71,145.36	6,135.12	49,802.76
Mezquital ripario	22,966.92	33,922.80	26,703.00	13,898.16
Matorral microfilo	16,189.56	19,093.20	11,940.120	1,747.44
Selva baja caducifolia			4,595.40	
Selva baja espinosa			1,187.280	252.28
Encino			7593.84	
Vegetación halófito	274.68			
Cuerpos de agua	205.56	790.92	110.16	

### **5.3.1 Análisis del área de interés Hermosillo.**

Para la primer década de estudio, en la zona de Hermosillo la agricultura activa se ve sustituida en un 8.4% y el 91.6% permanece como agricultura activa. El mezquital ripario con un total de 33,922.8 has de los cuales el 10.5% pasa agricultura activa y el 89.5% permanece como mezquital ripario. En esta zona la agricultura inactiva presentó una superficie de 625 has, de las cuales el 17% es reemplazado por embalses de agua y la explicación de ello es el aumento del nivel en la presa Abelardo L Rodríguez.

El matorral microfilo con un total de 19,093.2 has se ve reducido en un 7%, y reemplazado por la agricultura activa con 4.5%, urbano y suburbano 1.5%, desmontes 0.5% y buffel 0.5%, permaneciendo como mezquital de zonas planas el 93%.

En el segundo período (1975 y 1992), la agricultura activa con un total de 13,194.72 has, donde el 2.5% pasa a urbano-suburbano y el 1.5% a agua. Dentro del uso de suelo denominado buffel con una superficie de 2,166.84 has el 4% pasa a desmontes y el resto permanece dentro de buffel. La agricultura inactiva presentó una superficie de 625.68 has de los cuales el 9.2% es reemplazado por agua y el 27.5% a agricultura activa.

Del total de la superficie de matorral sarcocaula con 71,145.36 has, el 2.5% pasa a buffel y 1% a desmontes, mientras que el 96.5% permanece como matorral sarcocaula. El mezquital ripario con una superficie total de 33,922.8 has, de los cuales el 10.5% pasa a agricultura activa, 1.5% a desmontes, 0.5% agua y 0.5% a buffel, el resto permanece dentro del mezquital ripario. El mezquital de zonas planas se ve reemplazado en un 7.8% por desmontes 4% por agricultura activa, 3.7% por urbano y 1.4% por praderas de buffel.

El matorral microfilo el 9.2% pasa a desmontes, 3.3% urbano y suburbano, 1.5 % mezquital y 1.1% por agricultura activa.

Al nivel de esta área de interés se encuentran cuatro tipos de vegetación el matorral sarcocaula, mezquital ripario, mezquital de zonas planas y matorral microfilo, de los cuales la mayor superficie la presenta el mezquital de zonas planas con 229,362.48 has, seguido por el matorral sarcocaula con 71,145.36

has, en tercer lugar el mezquital ripario con 33,922.8 has y por último el matorral microfilo con 19,093.320 has.

De los cuatro tipos de vegetación presentes en esta área de interés, el mezquital ripario es el que resulta más afectado disminuyendo en un 17.5%, seguido por el matorral de zonas planas que se reduce en un 16.9%, el matorral microfilo se afecta un 15.1% y el matorral sarcocaula en 3.5%. Los mezquites riparios y de zonas planas se ven reemplazados principalmente por campos agrícolas, mientras que el matorral sarcocaula por desmontes y praderas de zacate buffel y el matorral microfilo por desmontes, zonas urbanas y suburbanas.

Al nivel de esta área de interés se presentan tres diferentes usos del suelo agrícola, ganadero, urbano y suburbano. Los principales son el urbano y agrícola.

### **5.3.2 Análisis del área de interés en la Costa de Hermosillo.**

Para la zona de interés seleccionada en la Costa de Hermosillo se tiene que para el primer período de estudio uno de los cambios más relevantes que se dió fué en el matorral microfilo donde el 15% de la superficie con este tipo de vegetación (16,189.560 has) cambio a agricultura activa (13.5%, 2,201.7 has) y el porcentaje restante cambio a agua, desmontes y agricultura activa.

Otro de los tipos de vegetación más afectados fué el mezquital ripario presentando un cambio de 10% y el cual pasa a formar parte de agricultura activa (8%), buffel (1.35%), y el porcentaje restante a desmontes y agricultura inactiva.

Del total del área en 1975 comprendida en agricultura inactiva (24,593 has), el 49% cambio a agricultura activa (12,308.7 has). El mezquital de zonas planas con una superficie de 202,746.5 has, el 6% cambio un 3% cambio a agricultura activa, un 1.5% pasó a desmontes y el porcentaje restante pasó a praderas de buffel.

Para el segundo período de estudio, el tipo de vegetación de matorral microfilo presentó un cambio de 16%, de los cuales el 7.98% pasó a agricultura activa, el 5.75% cambio a desmontes, y el porcentaje restante cambio a agricultura inactiva y buffel.

El tipo de vegetación de mezquital de zonas riparias presentó un cambio de 10% a agricultura activa, desmontes y agricultura inactiva principalmente. El mezquital de zonas planas presenta un cambio del 12%; de los cuales el 9% cambia a desmontes, el 2% a agricultura activa y el resto a buffel. La agricultura inactiva también presentó un cambio de la superficie total inicial el 47% pasó a agricultura activa, el 1.5% paso a mezquital de zonas planas y el porcentaje restante permaneció como agricultura inactiva.

### **5.3.3 Análisis del área de interés zona de transición Norte.**

Para el primer período de estudio, se presentan en el área siete tipos de vegetación: matorral subtropical, matorral sarcocaula, mezquital ripario, encino, selva baja caducifolia, selva baja espinosa y mezquital de zonas planas. Entre los usos del suelo se encuentran la agricultura activa, buffel, urbano y suburbano.

Dentro de esta área de interés entre 1975 y 1992 se presentan ocho tipos de vegetación. El que presentó mayor superficie es el matorral subtropical con

202,686.48 has, mezquital de zonas planas con una superficie de 106,000.92 has, mezquital ripario con 26,703 has, matorral microfilo con 11,940.120 has, encino con 7,593.84 has, matorral sarcocaula con 6,135.12 has, selva baja caducifolia con 4,595.4 has y por último la selva baja espinosa con 1,187.280 has. Así también se presentan superficies de agricultura activa, buffel, urbano y suburbano.

De los ocho tipos de vegetación presentes en esta área de interés, el matorral subtropical se ve reemplazado en 2% por agricultura. El mezquital de zonas planas es el tipo de vegetación que resulta más afectado y es reemplazado en un 17.5% por desmontes y en 1.5% por agricultura. De acuerdo a estos datos, la principal actividad productiva en la zona es la ganadería y en segundo lugar la agricultura. La selva baja espinosa aunque presenta una menor superficie que el resto de los otros tipos de vegetación es reemplazada en 27.3% por matorral subtropical y en 3.76% por zonas suburbanas.

#### **5.3.4 Análisis de la zona de transición Sur.**

En el análisis de la zona de la sierra en la parte Sur de la transición, entre las décadas de 1975 a 1983, los tipos de vegetación mayormente afectados fueron la selva baja espinosa y el matorral subtropical.

La selva baja espinosa se vio reemplazada en 38.25% por matorral subtropical y este a su vez disminuyó en 2.3% por vegetación de mezquital de zonas planas y praderas de buffel.

Los tipos de vegetación presentes fueron el matorral subtropical con 188,465.04 has, matorral sarcocaula con 49,802.76 has, mezquital ripario con

13,898.16 has, matorral microfilo con 1747.44 has, selva baja espinosa con 252.28 has y mezquital de zonas planas con 110,032.92 has. De las actividades de uso del suelo presentes en esta área son los desmontes. Entre 1975 a 1992 en esta zona los tipos de vegetación más afectados son el mezquital de zonas planas, mezquital ripario y matorral subtropical. Las praderas de zacate buffel y desmontes son las actividades que mayormente han afectado en esta zona.

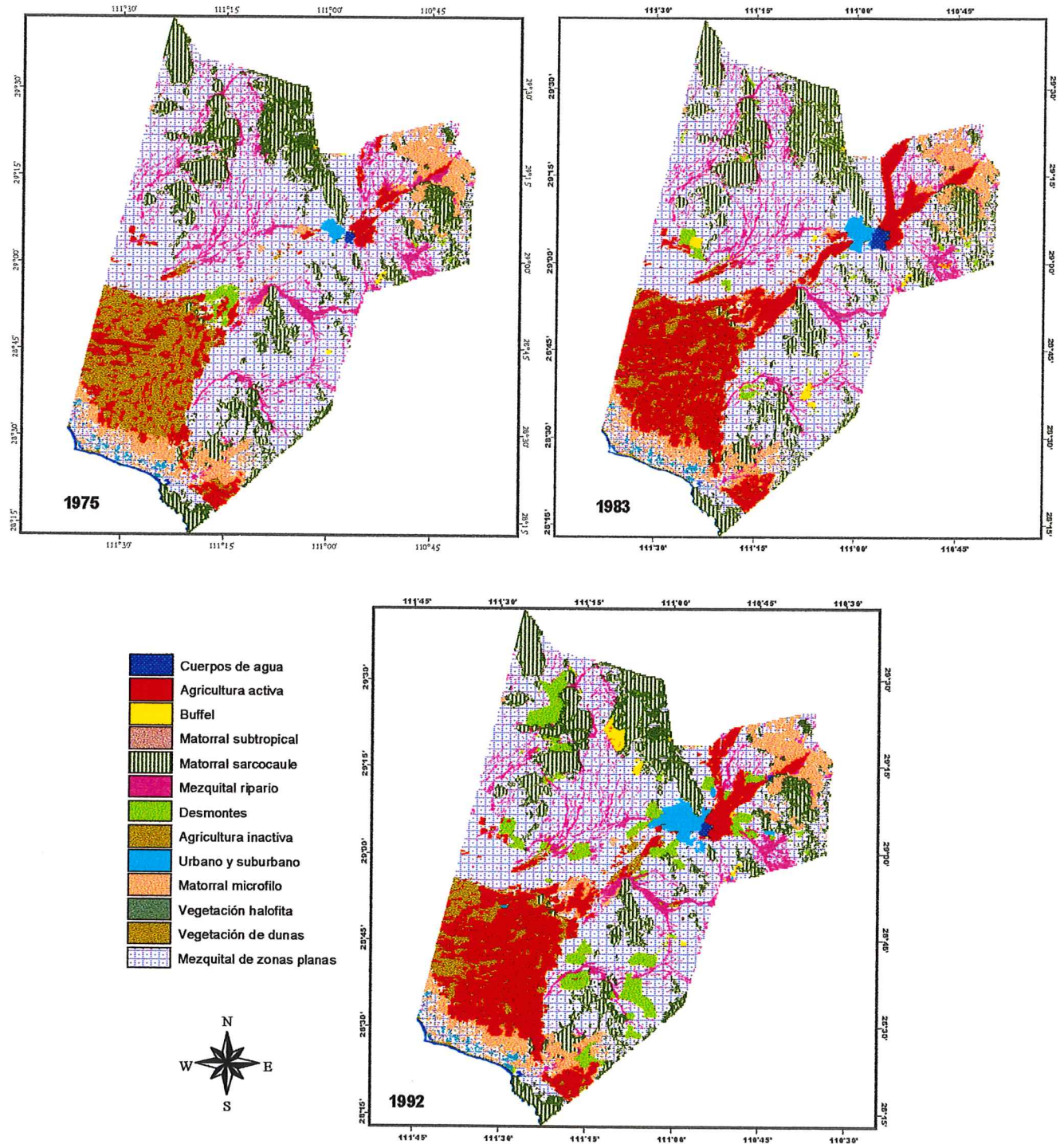
#### **5.4 Análisis de Ecología del Paisaje en el municipio de Hermosillo y la Subcuenca Punta de Agua**

Para el análisis de ecología de paisaje, se seleccionaron dos áreas, una con límites políticos o administrativos (municipio) y una segunda con un límite natural (subcuenca). Este tipo de selección permitió aplicar los resultados obtenidos del análisis con fines de políticas de manejo y conservación de ecosistemas.

##### **5.4.1 Municipio de Hermosillo.**

El municipio de Hermosillo posee una superficie total de 14,880.2 km<sup>2</sup> (Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Sonora, 1988) de los cuales aproximadamente 10,170.10 km<sup>2</sup> corresponden al área analizada, la cual representa el 68.3 % del total del municipio.

Dentro del municipio de Hermosillo se identificaron como sistemas naturales siete tipos de vegetación: mezquital de zonas planas, vegetación de dunas, vegetación halófila, mezquital ripario, matorral sarcocaulé, matorral subtropical y matorral microfilo. Dentro de los sistemas artificiales se identificaron: agricultura activa e inactiva, desmontes, buffel y urbano-suburbano (Tabla VIII; Figura 17).



**Figura 17. Resultado de la clasificación para el Municipio de Hermosillo para los años 1975, 1983 y 1992.**

En 1975, la superficie del municipio de Hermosillo estaba dividida en sistemas naturales con el 83% y sistemas artificiales 17%. Para 1992 esta distribución cambió pasando los sistemas artificiales a ocupar el 25% de la superficie del municipio, registrándose así una pérdida de 80,913.09 has del área ocupada por los sistemas naturales.

De los siete tipos de vegetación que se encontraron en el municipio de Hermosillo, el mezquital ripario fué el que presentó el mayor número de fragmentos para la década de 1975 con 3,630 cubriendo un área de 64,363.57 has, por otro lado, el mezquital de zonas planas presentó mayor superficie con 560,689.51 has en 1,776 fragmentos. Ambos tipos de vegetación presentaron un cambio en cuanto a la superficie que ocupaban entre 1975 y 1992. El mezquital ripario presentó una disminución tanto en el número de fragmentos como en superficie de 1,177 fragmentos y 7,104 has aproximadamente (Tabla VIII y Tabla IX).

El mezquital de zonas planas presentó una disminución para 1992 de 70,684.75 has, que representa una pérdida del 13% de la superficie inicial.

El desarrollo urbano en el municipio de Hermosillo, que en este caso corresponden a la ciudad de Hermosillo presentó un aumento de aproximadamente cinco veces en su superficie entre 1975 y 1992.

Por otro lado, el desarrollo de las actividades como agricultura activa e inactiva, buffel y desmontes, registraron variaciones en el número de fragmentos así como en la superficie. La agricultura activa en primer lugar presentó un aumento en superficie de 72,801.65 has entre 1975 y 1983, este aumento en gran parte se dió en terrenos que en 1975 se habían registrado

como inactivos. Para 1992 la superficie de agricultura activa disminuyó a 128,226.92 has.

Para el caso de desmontes y buffel en ambos usos del suelo se presentó un aumento tanto en la superficie que ocupan como en el número de fragmentos. (Tabla VIII y IX). Los desmontes registraron un aumento de 790.7% entre 1975 y 1992.

**Tabla VIII. Usos del suelo y tipos de vegetación para el municipio de Hermosillo. Se muestra el número de fragmentos para cada uso del suelo y tipo de vegetación por década.**

No. Clases	No. Fragmentos para 1975	No. Fragmentos para 1983	No. Fragmentos para 1992
1 Urbano	1	4	9
2 Agricultura activa	331	653	487
3 Agricultura inactiva	301	886	708
4 Desmontes	61	310	216
5 Buffel	4	14	131
6 Mezquital de zonas planas	1,835	2,237	1,767
7 Mezquital ripario	3,630	3,519	2,453
8 Matorral sarcocaulé	1,014	1,018	752
9 Matorral microfilo	1,063	1,260	808
10 Matorral subtropical	6	19	32
11 Vegetación halófito	138	128	97
12 Vegetación de dunas	3	4	3
13 Cuerpos de agua	4	4	6

En el municipio de Hermosillo, el manejo de agostaderos como es el caso de la siembra de zacate buffel y los desmontes que se realizan con el fin de sembrar este zacate han inutilizado en un período de 20 años

aproximadamente 50,000 has; esto con el fin de favorecer una sólo actividad que es la pecuaria, por lo que en la actualidad el municipio requiere invertir en políticas de restauración de estas tierras y, cambiar las políticas de manejo sustentadas en una sólo actividad productiva para realizar la diversificación de las entradas de divisas. En esta región se presentan áreas con corredores importantes lo que permite realizar actividades alternativas como: cacería cinegética y ecoturismo.

En el caso de los campos agrícolas, aunque no tan evidente como es el caso de la ganadería, se han inutilizado grandes superficies. Aproximadamente 60,000 has en la Costa de Hermosillo se han abandonado por problemas de salinización de los suelos y la falta de apoyos crediticios, lo que ha llevado a los productores a buscar otras actividades para esas tierras dedicándolas a la ganadería, lo cual ha tenido consecuencias drásticas a nivel del suelo como erosión y compactación (Martínez, 1998).

Es importante mencionar que es prioridad para el municipio de Hermosillo el conservar los mezquiales riparios, ya que esto representa una forma de mantener y conservar el equilibrio hídrico en las subcuencas presentes en estas zonas, asegurando así las actividades que dependen en gran medida del agua, como es el caso de la agricultura de riego en la Costa de Hermosillo, las actividades industriales, comerciales y domésticas en la ciudad de Hermosillo y, las actividades agropecuarias.

**Tabla IX. Usos del suelo y tipos de vegetación para el municipio de Hermosillo. Se muestra la superficie en hectáreas para cada uso del suelo y tipo de vegetación por década.**

No.	Clases	1975	1983	1992
1	Urbano	2,801.75	5,757.18	12,690.34
2	Agricultura activa	81,448.78	154,250.43	128,226.92
3	Agricultura inactiva	80,773.73	41,781.04	55,948.32
4	Desmontes	5,903.55	8,348.64	52,584.00
5	Buffel	706.41	3,780.13	5,231.83
6	Mezquital de zonas planas	560,689.51	526,298.94	490,004.76
7	Mezquital ripario	64,363.57	57,297.93	57,259.54
8	Matorral sarcocaula	149,223.58	149,021.91	147,174.00
9	Matorral microfilo	60,643.20	60,878.91	59,441.66
10	Matorral subtropical	10.08	43.72	63.28
11	Vegetación halófila	2,732.22	2,716.46	2,811.65
12	Vegetación de dunas	888.52	911.58	882.70
13	Cuerpos de agua	1,900.34	3,941.03	2,699.44
<b>TOTAL</b>		<b>1,017,010.67</b>	<b>1,017,010.9</b>	<b>1,017,010.44</b>

#### **5.4.2 Subcuenca Punta de Agua.**

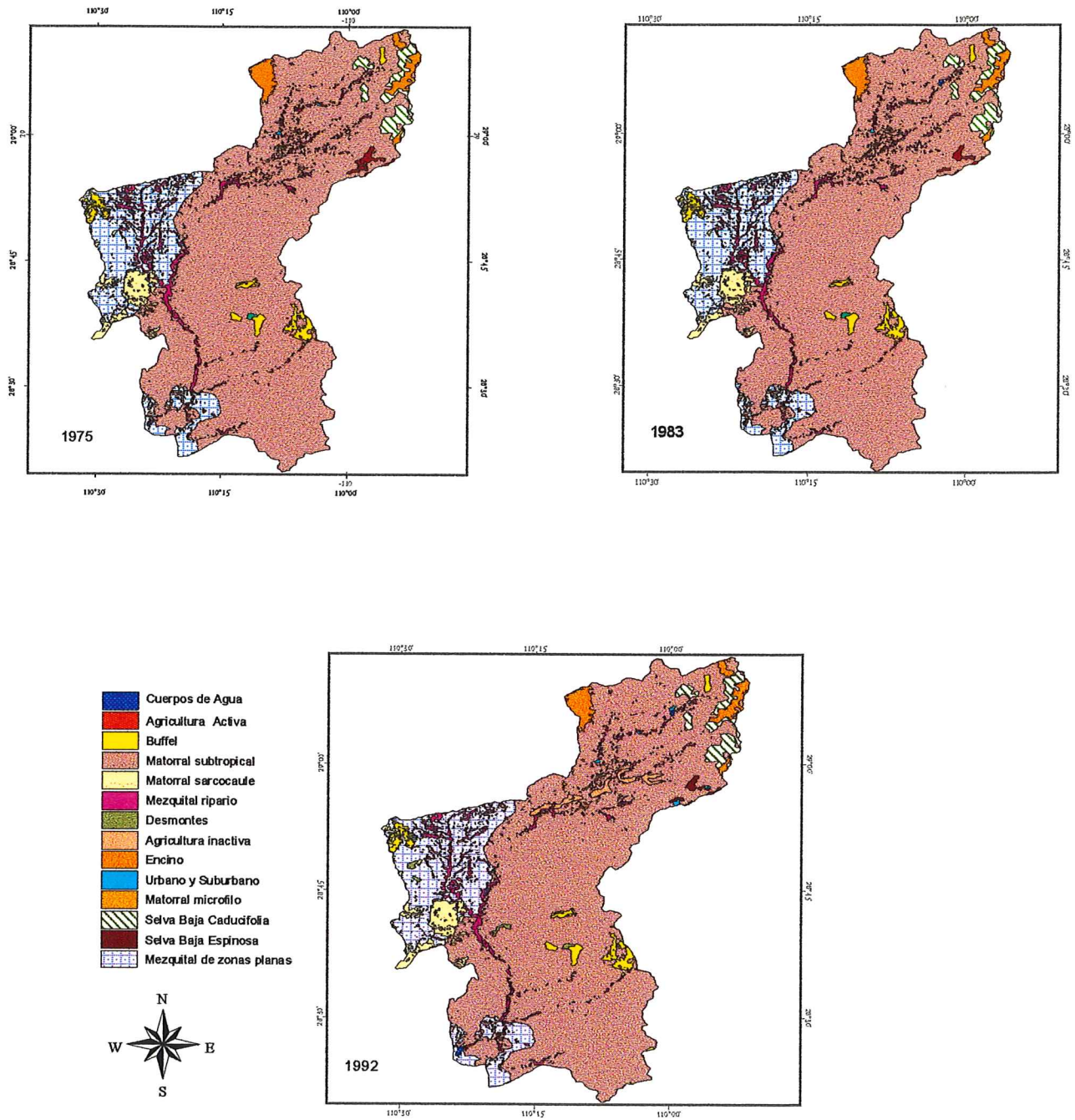
La subcuenca Punta de Agua presenta una superficie de 313,910.9 has. En 1975 en el área se encontraron 13 usos de suelo, incluyendo los sistemas naturales y artificiales, para 1992 se registró un aumento en el número de usos de suelo a 14, sumándose la agricultura inactiva, como se puede ver en la Figura 18.

Dentro de los sistemas naturales para esta área se identificaron ocho tipos de vegetación: mezquital de zonas planas, mezquital ripario, matorral

sarcocaule, matorral microfilo, matorral subtropical, selva baja caducifolia, selva baja espinosa y encino, que cubren un área de 306,648.30 has para 1975, presentando una disminución de 4,052.41 has para 1992 (Tabla X y XI). Los sistemas artificiales como la agricultura activa, inactiva, buffel, desmontes, urbano-suburbano y cuerpos de agua para 1975 ocupaban una superficie de 5,292.60 has registrando un aumento a 9,322.14 has para 1992.

En esta subcuenca, la fragmentación se dió tanto por la actividad agrícola como por la actividad pecuaria. La fragmentación por urbanización no fué relevante, ya que de un total de seis fragmentos en 1975 pasó a nueve a 1992 y de una superficie de 112.75 has en 1970 a 393.32 has en 1992 (Tabla X).

Esta subcuenca, se encuentra aún en condiciones adecuadas para lograr una planificación del aprovechamiento de los recursos naturales del área, por lo que es conveniente seleccionar sitios para conservar la biodiversidad de la zona. Además, en esta región se localizan tipos de vegetación transicionales que presentan una alta diversidad de especies como es el caso del matorral subtropical que se encuentra en un 74 % de la superficie de la subcuenca. Para lo cual se pueden desarrollar programas de investigación científica a nivel de ecología de comunidades y ecosistemas.



**Figura 18. Resultado de la clasificación en la subcuenca Punta de Agua para 1975, 1983 y 1992.**

**Tabla X. Usos del suelo y tipos de vegetación para la subcuenca Punta de Agua. Se muestra el número de fragmentos para cada uso del suelo y tipo de vegetación por década.**

No.	Clases	No. fragmentos para 1975	No. fragmentos para 1983	No. fragmentos para 1992
1	Urbano	6	6	9
2	Agricultura activa	14	24	32
3	Agricultura inactiva	0	0	4
4	Desmontes	1	1	15
5	Buffel	36	37	29
6	Mezquital de zonas planas	135	135	111
7	Mezquital ripario	965	978	657
8	Matorral sarcocuale	123	126	94
9	Matorral microfilo	221	245	167
10	Matorral subtropical	128	152	106
11	Encino	9	12	8
12	Selva baja caducifolia	3	3	3
13	Selva baja espinosa	8	4	6
14	Cuerpos de agua	4	4	4

En esta subcuenca se encuentra comprendida una porción de lo que corresponde al área natural protegida según SANPES (1995) denominada como Sierra de Mazatán. De acuerdo al análisis realizado en este trabajo sería conveniente diseñar un área adicional para conservar y proteger los matorrales de transición. Según los mapas obtenidos, esta ampliación podría ubicarse al Sur de la subcuenca, que es donde se presenta un menor desarrollo de las actividades productivas.

**Tabla XI. Usos del suelo y tipos de vegetación para la subcuenca Punta de Agua. Se muestra la superficie en hectáreas para cada uso del suelo y tipo de vegetación por década.**

<b>No.</b>	<b>Clases</b>	<b>1975</b>	<b>1983</b>	<b>1992</b>
1	Urbano	112.79	112.80	393.32
2	Agricultura activa	165.34	198.48	385.50
3	Agricultura inactiva	0	0	2,382.44
4	Desmontes	153.18	254.80	936.91
5	Buffel	4,806.20	4,783.35	4,956.19
6	Mezquital de zonas planas	41,111.23	40,757.84	41,070.77
7	Mezquital ripario	12,449.41	12,374.87	11,169.83
8	Matorral sarcocaulé	6,633.97	6,620.80	6,644.63
9	Matorral microfilo	1,254.50	1,258.46	1,120.25
10	Matorral subtropical	232,290.43	232,857.64	230,104.92
11	Encino	5,642.85	5,642.68	5,641.37
12	Selva baja caducifolia	6,099.68	6,099.21	6,050.79
13	Selva baja espinosa	1,166.23	839.18	793.33
14	Cuerpos de agua	55.09	127.87	267.78
<b>TOTAL</b>		<b>313,910.9</b>	<b>313,910.98</b>	<b>313,910.03</b>

### **5.5 Cambios en el uso del suelo por desmontes.**

Dentro de la región de estudio, la agricultura y ganadería son las dos actividades principales que dan origen a los desmontes. Sin embargo, la mayor parte de los desmontes son dedicados a la siembra de praderas artificiales de zacate buffel. De acuerdo a la Figura 16, el buffel presentó un mayor aumento entre 1975 a 1983, mientras que los desmontes presentaron un mayor aumento en superficie entre 1983 a 1992.

La superficie entre la línea de buffel y la suma de buffel más desmontes se puede explicar como un fracaso en el establecimiento de praderas de buffel, que rebasa con mucho aún lo descrito por Johnson y Navarro (1992), quienes mencionan que aproximadamente el 14% de las praderas de buffel en el Estado, se establecieron en sitios no adecuados para este fin, las cuales han desaparecido o tienden a desaparecer. El fracaso en el establecimiento es más notorio en las comunidades desérticas, ya que existen factores climáticos, edáficos y bióticos, aunado al mal manejo de las praderas que limitan su desarrollo en estas áreas (Johnson y Navarro, 1992).

#### **5.5.1 Análisis de precipitación y su relación con la actividad de desmontes.**

Es importante presentar un análisis del comportamiento de la precipitación para el área, por un lado para visualizar los diferentes ciclos de humedad y sequía que se han presentado a través de los años. Además, como una herramienta para definir cuales fueron las condiciones de humedad presentes en los años en que fueron tomadas las imágenes de satélite que han sido utilizadas en el presente trabajo, por lo cual se analizaron los datos de precipitación total anual, para seis estaciones localizadas en el área de estudio

De acuerdo al análisis de precipitación anual para las estaciones del área de estudio se puede decir que en los años en que se tomaron las imágenes de satélite para la década de los setenta fueron años secos, así como también en la década de los ochentas para 1983, mientras que para la imagen de 1992 fué un año húmedo, esto de forma general para todo el área (Tabla XII; Figuras 19, 20, 21, 22, 23 y 24).

**Tabla XII. Precipitación total anual en mm. de seis estaciones climatológicas para el área de estudio.**

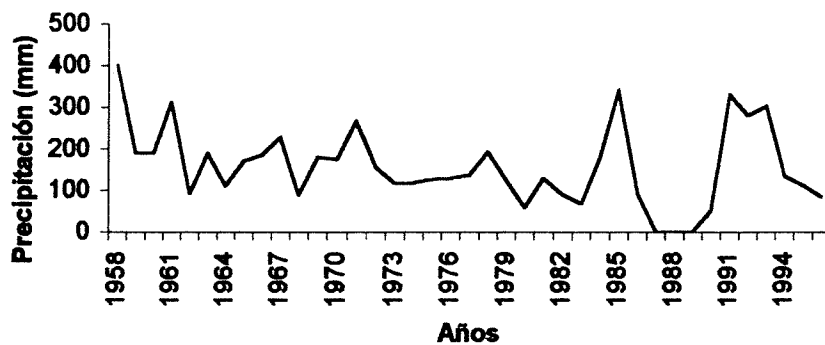
<b>Estación</b>	<b>1975</b>	<b>1983</b>	<b>1992</b>
El Carrizal	117.8	68.1	281.2
Hermosillo	303.3	598.0	570.2
Carbó	295.5	474.5	472.5
El Cajón	301.7	692.1	750.8
Punta de Agua	350.9	447	631.9
Mazatán	ND	ND	550.0

**ND: no disponible**

**Síntesis de análisis de precipitación (1993-1997) y tendencias recientes de acuerdo a datos de COTECOCA para 1996 y 1998.**

De acuerdo a los datos registrados de precipitación entre 1993 y 1997 para las seis estaciones climatológicas seleccionadas en este trabajo, se tiene que en el área de estudio el año de 1993 fué un año húmedo registrándose precipitaciones por arriba del promedio para cada estación. Sin embargo, a partir del 1994 a 1997 se presentó un período de sequía con precipitaciones menores al promedio anual para cada una de las estaciones.

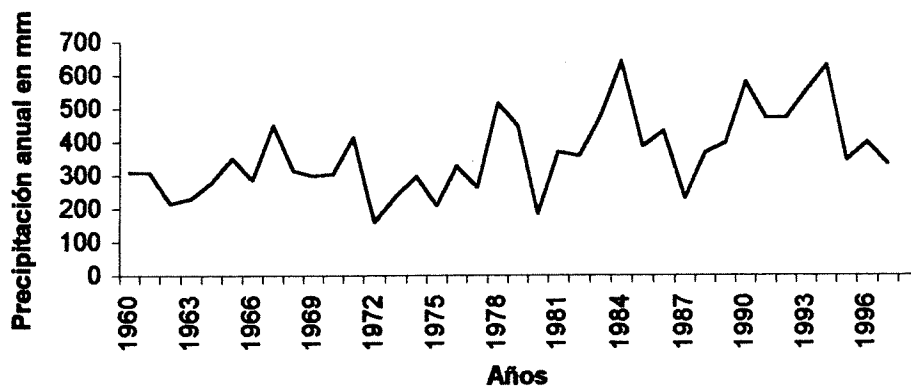
A pesar de que los ciclos de sequía se han presentado como fenómenos cíclicos en el Estado de Sonora, en los últimos años se han registrado los períodos de sequía con más frecuencia, lo cual puede deberse en gran parte al cambio que se ha presentado en la cubierta vegetal en la zona de estudio.



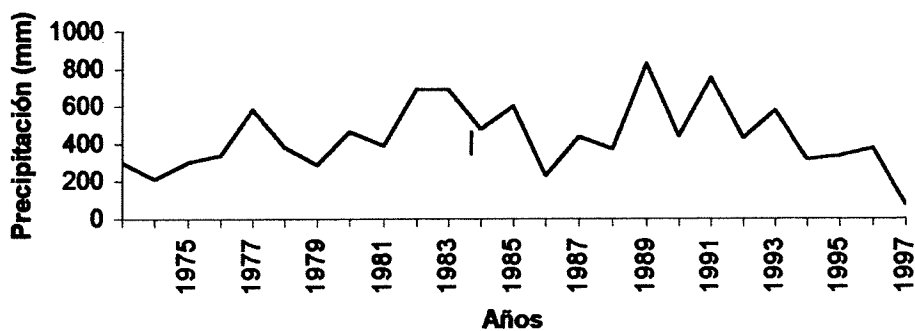
**Figura 19. Valores de precipitación total anual para la estación El Carrizal en el municipio de Hermosillo durante el período de 1958 a 1996.**



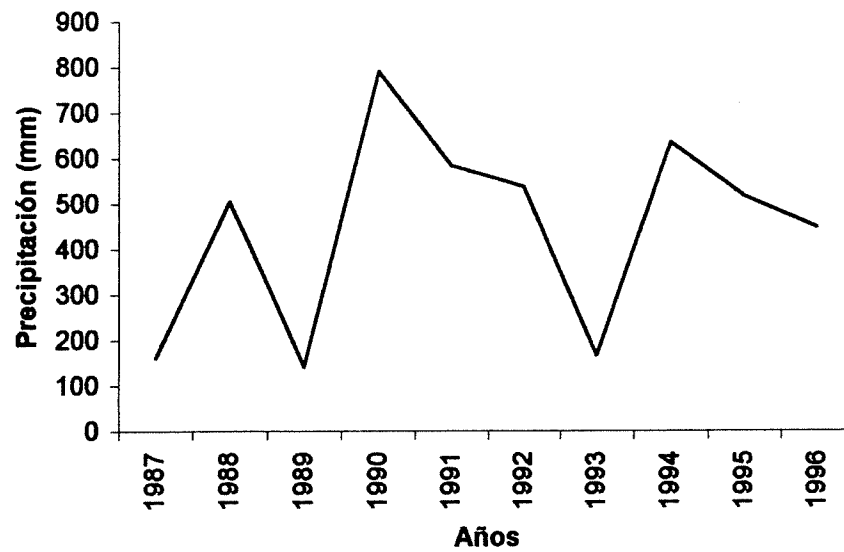
**Figura 20. Valores de precipitación total anual para la estación Hermosillo para el período de 1965 a 1998.**



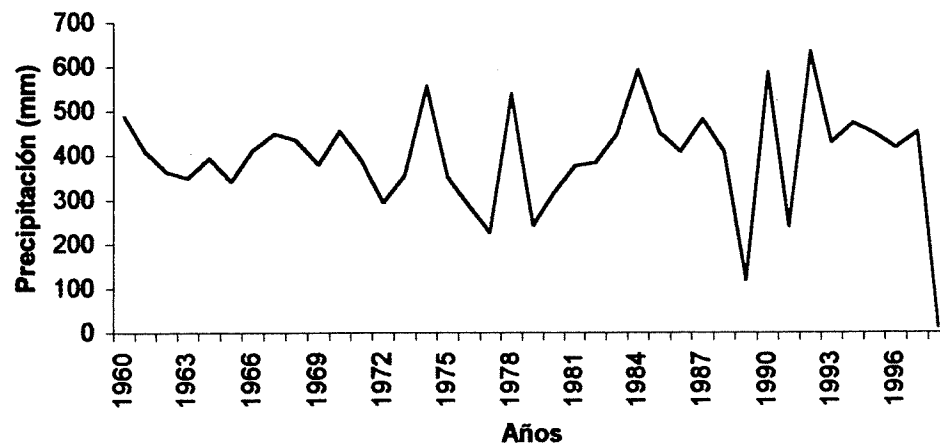
**Figura 21. Valores de precipitación total anual para la estación Carbó durante el período de 1960 a 1997.**



**Figura 22. Valores de precipitación total anual para la estación El Cajón en el municipio de San Miguel de Horcasitas durante el período de 1974 a 1998.**



**Figura 23. Valores de precipitación total anual para la estación Mazatán para el período de 1987 a 1997.**



**Figura 24. Valores de precipitación total anual para la estación Punta de Agua en el período 1960 a 1998.**

Es importante resaltar, que los datos existentes de precipitación indican que en los últimos tres años se presenta un período de sequía en el área de estudio, por otro lado los datos de COTECOCA para 1996 a 1998 registran un rápido aumento en las superficies dedicadas a la siembra de zacate buffel (Tabla XIII). Lo que indica que la apertura de tierras para el establecimiento de las praderas, no toman en cuenta este tipo de información que es fundamental para lograr condiciones mínimas de humedad para el establecimiento de las praderas.

#### **5.5.2 Análisis de los datos de COTECOCA para praderas de buffel y su relación con el presente estudio.**

Los datos de COTECOCA 1989, 1996 y 1998 que se presentan en la Tabla XIII, muestran la superficie de praderas de zacate buffel para algunos municipios del área de estudio. Los municipios de Carbó, Hermosillo y La Colorada son los que presentan superficies mayores a las 20,000 has de praderas de buffel. Cabe mencionar que de la superficie de los municipios de Hermosillo, Caborca, San Pedro de la Cueva, Guaymas, Empalme, entre otros, sólo queda una pequeña parte de los municipios en el área de estudio. La superficie total manejada por COTECOCA para 1989 es de 129,228.00 has, la cual es una superficie comparable con la sumatoria de las superficies de los desmontes y buffel para 1992 que es de 135,155.88 has, resultado de la clasificación de la imagen de satélite.

A pesar de que las imágenes de satélite sólo llegan hasta 1992, se presentan las tendencias de las praderas de zacate buffel para 1996 y 1998, para los municipios del área de estudio.

**Tabla XIII. Superficie de praderas de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) en el área de estuio para 1989,1996 y 1998.**

<b>MUNICIPIO</b>	<b>SUPERFICIE (has) 1989</b>	<b>SUPERFICIE (has) 1996</b>	<b>SUPERFICIE (has) 1998</b>
Carbó	46,000	108,165	113,459
Hermosillo	26,162	135,190	157,219
La Colorada	22,500	45,305	51,480
San Miguel de Horcasitas	11,641	10,400	11,864
Guaymas	8,988	26,320	31,520
San Javier	3,800	6,113	6,313
Mazatán	3,100	4,133	4,833
Villa Pesqueira	1,900	6,313	6,692
Ures	1,669	6,644	10,923
Soyopa	1,520	6,634	7,654
San Pedro de la Cueva	1,058	2,290	3,467
Empalme	890	2,400	3,400

## **5.6 Implicaciones para manejo.**

### **5.6.1 Efectos ecológicos debidos al cambio en los patrones de uso del suelo.**

Durante esta última década se han afectado en mayor medida los tipos de vegetación ecológicamente sensibles y de gran importancia biológica y biogeográfica como son la selva baja caducifolia, que no habían sido afectada, al igual que la selva baja espinosa y el mezquital de zonas planas.

De acuerdo a un análisis de composición florística entre las diferentes comunidades se tiene que los tipos de vegetación que presentan una mayor diversidad de especies vegetales son el matorral arborescente con 855 especies, selva baja caducifolia con 500 especies, matorral sarcocaulé con 375 especies y matorral microfilo con 105 especies. Es importante mencionar que lo que en el presente trabajo se está manejando como matorral subtropical es equivalente al matorral arborescente de SARH-COTECOCA (1974).

Para entender el grado de diversidad que tenemos en la región central del Estado, es importante conocer el grado de similitud entre las comunidades vegetales, el cual debido a los cambios en la cubierta vegetal que se han presentado en las últimas décadas se ha estado perdiendo. Dada la importancia del grado de similitud entre comunidades vegetales, en el presente trabajo se calculó el índice de similitud de acuerdo a Jaccard (1928) (Mueller-Dumbois y Elleberg, 1974), obteniendo que la similitud entre las comunidades es muy baja (Tabla XIV), por lo tanto son muy pocas las especies que se comparten entre una comunidad y otra, lo cual nos indica que el grado de diversidad biológica que se posee en esta región de Sonora es elevado.

Lo anterior es importante para darnos idea de la magnitud del problema ecológico que se está llevando a cabo, debido a los cambios en la cubierta vegetal, se está ocasionando la destrucción de grandes superficies de los principales tipos de vegetación y con ello la pérdida de cientos de especies de la flora nativa del Estado de Sonora.

**Tabla XIV. Índice de similitud estimado según Jaccard (1928) para las comunidades vegetales de la región central del Estado de Sonora.**

<b>Tipos de Vegetación</b>	<b>ISj %</b>
Matorral subtropical / Selva Baja Caducifolia	22.43
Matorral sarcocauléscente / Matorral subtropical	19.3
Matorral microfilo/Matorral sarcocauléscente	8.84

### **5.6.2 Fragmentación.**

El uso del suelo para la ganadería, ha iniciado un proceso de fragmentación de la cubierta vegetal y hábitats, que aunque aún poco estudiado, puede llegar a ser particularmente importante desde el punto de vista ecológico. La fragmentación producida por los desmontes parece encontrarse concentrada en el área de estudio, siguiendo una franja Noroeste-Sureste (Figura 15). Para el análisis de fragmentación se tomó en cuenta el número y tamaño de fragmentos presentes únicamente para desmontes debido a que es el uso de suelo que mayores cambios ocasionó a nivel de comunidades vegetales.

Para 1975 se registraron un total de 64 fragmentos de desmontes que varían en áreas desde 248 hasta 0.24 has, y un área promedio de fragmentos de 37.46 has. Para 1983 se presentaron un total de 338 fragmentos para desmonte con áreas entre 2,669.3 y 0.23 has, así para 1992 se registró un aumento en el número de fragmentos a 410, con áreas que varían de un máximo de 10,457.2 has a un mínimo de 0.23 has y el tamaño promedio de fragmento fué de 268.6 has.

### **5.6.3 Importancia de los estudios de cambio en la cubierta vegetal y el uso del suelo para estudios de cambio global.**

Los cambios en la cubierta vegetal como resultado del uso del suelo basado en los recursos naturales, no sólo tiene impactos a nivel local y regional, sino también se presentan efectos a nivel global. Los cambios en el uso del suelo y la cubierta vegetal juegan un papel importante en los cambios ecológicos globales y contribuyen de una manera significativa en las interacciones tierra-atmósfera y en la pérdida de biodiversidad (International Geosphere-Biosphere Programme y Human Dimensions of Global Environmental Change Programme, 1995).

La cobertura vegetal del suelo y el cambio en ella son dos elementos centrales para innumerables procesos biofísicos que influyen en un cambio ambiental a nivel global. Los cambios en la cobertura vegetal incluyen cambios en la diversidad biótica, cambios actuales y potenciales en la productividad primaria, cambios en las tasas de escorrentía y sedimentación, así como también en la calidad del suelo.

A nivel mundial, en gran parte de la superficie de la Tierra que ha sido reconocida como apta para el uso agrícola, los cultivos han reemplazado la vegetación nativa (Woodward, 1994). Provocando con ello cambios en los patrones de comportamiento del clima, ya que existe una dependencia del clima sobre la vegetación. Por muchos años, se ha estudiado la correlación que existe entre el clima y la distribución de la vegetación (Holdridge, 1947), esto puede ser interpretada como un indicador de la dependencia de la vegetación del clima, lo cual es apoyado por el éxito de los modelos que basados únicamente en datos climatológicos ayudan a predecir los tipos de vegetación de un lugar dado (Box, 1981; Woodward, 1987).

Los estudios de los patrones del suelo y la vegetación son de gran importancia dada la relación que existe entre el cambio climático y el incremento en las superficies dedicadas para uso del suelo ya que son dos factores comúnmente reconocidos como causas potenciales de la desertificación. El proceso de desertificación ha sido asociado a cambios en los ecosistemas en un período prolongado de tiempo como un resultado de las actividades humanas (Hennesey *et al.*, 1983; Schlesinger *et al.*, 1990; Wade y Wickham, 1995).

#### **5.6.4 Relación con políticas de manejo.**

Las políticas de manejo que se dan en los agostaderos del Estado de Sonora, han sido producto de experiencias realizadas a ensayo y error, ya que cuando se iniciaron los desmontes con fines de mejoramiento de agostadero se hacia removiendo totalmente la cubierta vegetal, sin importar las condiciones ecológicas del lugar. Conforme se ha avanzado en este campo se han hecho recomendaciones y estudios para determinar los sitios más aptos para la siembra de gramíneas perennes.

COTECOCA (1992) de acuerdo a sus estudios determinó los sitios más aptos para sembrar gramíneas perennes, seleccionando los sitios de acuerdo a los siguientes factores: pendientes de 0 a 15%, pedregosidad de 0-10%, suelos con profundidad mayor de 50 cm, de texturas medias y arenosas, rangos de precipitación de 250 a 600 mm de precipitación media anual, temperaturas de 18° a 26°C como promedio anual, altitudes de 0 a 1500 m. Como se puede ver las recomendaciones que hace la Comisión Técnico Consultiva para la Determinación del Coeficiente de Agostadero del Estado de Sonora, sólo toma parámetros físicos del ambiente, sin embargo, para lograr políticas de manejo

que permitan un mejor desarrollo se requiere también tomar en cuenta variables o parámetros ecológicos, como tipos de vegetación, diversidad, ciclos de sequía y humedad. Este tipo de recomendaciones estáticas hacen que las políticas de manejo no resulten en un mejor desarrollo de las actividades productivas y que tengan repercusiones drásticas sobre la biodiversidad de los ecosistemas, llevando con ello al deterioro del recurso base de las actividades productivas.

El fracaso de estas políticas estáticas es básicamente debida a la gran diversidad de condiciones ecológicas y a la variabilidad que existe en los ecosistemas naturales, ya que para una región dada puede estar dentro de las áreas recomendadas por la COTECOCA y sin embargo, en el año en que se realizan las prácticas de mejoramiento de agostadero, esas condiciones varían ya sea porque se presentó una época de sequía. Lo que hace que se tenga una menor humedad en el suelo y así como también una menor humedad relativa, lo que provoca cambios en los comportamientos de las temperaturas.

De acuerdo a observaciones realizadas por ganaderos y especialistas en varios ranchos del Estado de Sonora donde existen praderas de zacate buffel con edad hasta de 35 años, en donde originalmente se realizaron desmontes totales, se encontró que no existe regeneración natural de arbustos que contribuyan a la dieta del ganado y dado los largos períodos de estiaje que se presentan, la producción de buffel es insuficiente para cubrir los requerimientos alimenticios del ganado, lo que obliga a los ganaderos a la compra de suplementos alimenticios (SEMARNAP, 1996). Ésto llevó a proponer nuevas estrategias de manejo para los agostaderos y se determinó que dentro de las actividades de mejoramiento de agostaderos no se deben derribar árboles y arbustos, que se debe realizare un estudio técnico justificativo antes de cualquier cambio de uso del suelo.

## 6. CONCLUSIONES

La imágen estudiada comprende una sexta parte del Estado y corresponde a un área que representa la dinámica de los procesos ecológicos y económicos que se dan en la región Centro de Sonora, ya que cubre los ecosistemas costeros, las planicies desérticas y las zonas serranas. Asimismo, cubre los campos agrícolas, áreas ganaderas y las zonas urbanas y suburbanas de esa porción del Estado.

La región de estudio se caracteriza por mostrar un gradiente de humedad que se expresa en la presencia de matorrales desérticos en la parte más seca (Oeste) y selvas bajas en la parte más húmeda hacia el Este. Otro gradiente que se percibe esta relacionado con las actividades productivas y se distribuyen desde la Costa de Hermosillo con una dominancia de la actividad agrícola hasta las selvas bajas donde la actividad principal es la ganadería. Dentro del gradiente se observa también el desarrollo de desmontes y el establecimiento de praderas con zacate buffel para actividades pecuarias.

Ocho de los tipos de vegetación natural disminuyeron en superficie y en los 20 años de estudio se fragmentaron debido a un incremento en los procesos agrícola, pecuario y urbano. El mezquital de zonas planas fué el más afectado y reemplazado principalmente por desmontes, zonas agrícolas y zonas urbanas. Los otros tipos de vegetación que disminuyeron de manera importante fueron el mezquital ripario, matorral microfilo y selva baja espinosa.

Por otro lado, en las comunidades desérticas se observó el mayor fracaso en el establecimiento de las praderas de buffel.

En las áreas de interés seleccionadas, se observó el mismo patrón de cambios en los tipos de vegetación natural con respecto al aumento de las actividades económicas. En la Costa de Hermosillo, en la primera década estudiada, la agricultura es la actividad prevaleciente y en la siguiente década disminuye un poco y empieza el desarrollo de actividades pecuarias. Esto sucede por la reducción en la disponibilidad de agua para la agricultura de riego, esto llevó a los productores a elegir la ganadería extensiva como un alternativa, ya que en ese momento parecía viable.

Asimismo, en la zona aledaña a la ciudad de Hermosillo se dió un mayor auge en las actividades agrícolas entre 1975 y 1983 y en la segunda década (entre 1983 y 1992) se presentó un mayor desarrollo de la actividad pecuaria, sin disminuir la actividad agrícola preponderante.

En cambio, en las áreas de interés de la zona de transición predomina el uso pecuario y aumentó en superficie en las dos décadas estudiadas.

El estudio que se realizó para el Municipio de Hermosillo como una unidad administrativa y en la subcuenca como una unidad ecológica, muestra que la herramienta de trabajo del SIG, en combinación con los estudios de ecología del paisaje, son útiles para los procesos de planificación ambiental.

Con la resolución de las imágenes de satélite Landsat MSS y la metodología utilizada es posible detectar cambios de gran magnitud que han ocurrido en las comunidades vegetales, como se demostró en este trabajo. Por ejemplo, la pérdida de cubierta vegetal (desmontes o aclareos de miles de hectáreas), la sustitución de usos de suelo (siembra de praderas de zacate buffel), la expansión de usos de suelo (aumento en la superficie de áreas urbanas y el incremento de las actividades agrícolas), la fragmentación de

hábitats (disminución y aislamiento de fragmentos de matorral ripario), cambios en la heterogeneidad espacial (aumento en la proporción de ciertos usos, en este caso, aumentaron 4500 veces los desmontes), la identificación de corredores (la conectividad de los matorrales riparios y el sistema hidrológico), cambios en la estructura paisajística de forma espacial y temporal, por ejemplo un aumento de la proporción de número de fragmentos y su superficie (más fragmentos agrícolas y de mayor tamaño en los años ochentas y noventas que en un inicio; menos fragmentos y de menor superficie en ambos mezquitales).

Sin embargo, no es posible resolver preguntas de una escala más fina, como son los cambios estructurales y de composición florística. Estos, sólo se obtienen con la integración de metodologías de ecología de comunidades.

Los resultados de este trabajo pueden ser muy valiosos en los procesos de planificación regional, tanto para las actividades productivas como para la conservación de los ecosistemas del centro de Sonora.

## 7. RECOMENDACIONES

Se han ideado algunas recomendaciones para la utilización de la metodología e información generada en el presente trabajo:

- Se sugiere rediseñar el sistema de áreas protegidas. Porque la información analizada revela que actualmente, muchas de ellas se encuentran en medio de desarrollos urbanos. Con la aplicación de la metodología, SIG y percepción remota es posible seleccionar nuevos sitios que no muestren tendencias de crecimiento y que se encuentran mejor conservados, e incorporarlos como sitios adecuados para realizar actividades de investigación ecológica y de manejo de los recursos naturales.
- Es posible elaborar mejores planes de manejo de Áreas Naturales conociendo las tendencias de crecimiento de las áreas adyacentes a las mismas, así como de sus actividades productivas.
- Proporciona una herramienta para localizar los corredores naturales de fauna silvestre y apoyar el desarrollo de una estrategia para protección de la misma.
- Para elaborar proyectos de protección y manejo del agua ya que la vegetación riparia resulta ser un indicador indirecto de la presencia de mantos freáticos. El SIG desarrollado en el presente trabajo puede explicarnos la historia reciente del recurso en las cuencas hidrográficas de la región y facilitar la toma de decisiones para el manejo de las mismas.
- Es útil para identificar las áreas prioritarias para restauración y rehabilitación de ecosistemas degradados. Este sistema permitirá hacer una selección de

los sitios más viables, ya sea por la historia y su grado de degradación, por su accesibilidad y por la cercanía a los fragmentos de vegetación natural remanentes.

- El sistema elaborado permitirá desarrollar programas para el control del zacate buffel. Debido a que demuestra el fracaso de las técnicas de manejo de agostadero utilizadas en las dos décadas estudiadas. Lo cual es una muestra más del desplazamiento e invasión de hábitat para especies nativas en las comunidades naturales de la parte central del estado de Sonora.
- Potencialmente podría utilizarse complementariamente a otras herramientas, para monitorear y modificar los programas de manejo de agostaderos. Las políticas de manejo implementadas a la fecha han resultado en reglamentaciones disfuncionales, especialmente en los ecosistemas frágiles como son los desérticos y transicionales cuyos procesos de restauración natural requieren un período largo de tiempo.
- La aplicación del SIG desarrollado puede apoyar como una importante herramienta en la planificación de la expansión geográfica de las zonas urbanas como la ciudad de Hermosillo, y las zonas suburbanas como el poblado Miguel Alemán, Mazatán, entre otros.
- Podría también utilizarse para diseñar un sistema de actividades alternativas en los fragmentos de vegetación natural, como son las actividades cinegéticas. Se ha documentado que el borde de los fragmentos corresponde a un área ideal para la fauna silvestre. Por lo tanto, podrían identificarse aquellos fragmentos con mayor perímetro y facilitar allí la cacería de venados, codornices, entre otras especies.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

**Aguirre Murrieta, R. 1994.** Situación Actual de las Praderas de Zacate Buffel y su Relación con el "Palo Fierro" en Sonora. SARH-COTECOCA. Hermosillo, Sonora. 8 pp.

**Aguirre, R., D. Johnson y A. Navarro. 1994.** Diagnóstico de la Condición Actual y el Manejo de las Praderas de Zacate Buffel en el Estado de Sonora. Simposio, El Buffel: Actualidad y Futuro Camino hacia una Mejor Ganadería. 5 y 6 de mayo. Hermosillo, Sonora.

**Aspinall, R., 1993.** Use of Geographic Information Systems for Interpreting Land-Use Policy and Modelling Effects On Land-Use Change. En: Landscape Ecology and Geographic Information Systems. Haines-Young, R., Green, D.R. and S. Cousins (Eds.). Taylor and Francis. London-New York-Philadelphia. Pag. 223-236.

**Barret G. W. y P. J. Bohlen 1991.** Landscape Ecology. En: Landscape Linkages and Biodiversity. W.E. Hudson Ed. Defenders of Wildlife. Pag. 149-161.

**Barrow, C.J. 1990.** Land Degradation. Cambridge University.

**Box, E. O. 1981.** Macroclimate and Plant Forms: An Introduction to Predictive Modeling in Phytogeography. The Hague (Dr. W. Junk).

**Camouú, Healy, E. 1991.** Potreros, Vegas y Mahuechis. Colegio de Sonora. Hermosillo, Sonora. 472 pp.

**Carabias, J. y L. Arizpe. 1993.** El Deterioro Ambiental: Cambios Nacionales, Cambios Globales. En: Desarrollo Sustentable. Hacia una política ambiental. Azuela, J. Carabias, E. Provencio, y G. Quadri, Editores. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Pag. 43-59.

**Castellanos, A. 1992.** Ecología, Utilización y Conservación de las Comunidades Vegetales en el Estado de Sonora: Un Análisis. En: Ecología, Recursos Naturales y Medio Ambiente en Sonora. Moreno J. L. Ed.

**Cawrse, D. 1994.** Resource Management Perspective: Managing To Minimize Fragmentation of Native Hardwood Forest. En: Remote sensing and GIS in ecosystem management. Sample, V.A., Ed. Island Press. Washington, D.C. Pag. 192-200.

**Christensen, E.; J. Jensen; E. Ramsey y H. Mackey Jr. 1988.** Aircraft MSS Data Registration and Vegetation Classification for Wetlands Change Detection. *International Journal of Remote Sensing*. 9(1):23-38.

**CIPES. 1989.** 20 Años de Investigación Pecuaria en el CIPES. 142 pp.

**COTECOCA. 1989.** Estadísticos de Praderas de Buffel para el Estado de Sonora.

**COTECOCA. 1992.** Propuesta para la Norma Oficial Mexicana sobre Mejoramiento de Agostadero en Sonora (Siembra de Gramíneas Perenes de Temporal). Hermosillo, Sonora. 9 pp.

**COTECOCA. 1996.** Estadísticos de Praderas de Buffel para el Estado de Sonora.

**COTECOCA. 1998.** Estadísticos de Praderas de Buffel para el Estado de Sonora.

**Dramstad, W.E.; J.D. Olson, y R.T.T. Forman. 1996.** Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land Use Planning. Harvard University Graduate School of Design. 80 pp.

**Eastman, J. R. 1992.** IDRISI: User's Guide. Ver. 4.0. Clark University. Graduate School of Geography. Massachusetts. 178 pp.

**Enkerlin H.E.C., R.A. Garza-Cuevas y C. Macías Caballero. 1997.** Herramientas y Alternativas para la Sostenibilidad de los Recursos Naturales. En: Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. Eds. Enkerlin C.E., G. Cano, R.A. Garza y e. Vogel. International Thomson Editores.pag. 341-367.

**ERDAS, Inc y Erdas Imagine. 1997.** Erdas Field Guide. Cuarta Edición.

**Estrada B. J. W. 1995.** Evaluación y Cartografía de la Desertificación. IV Curso sobre Desertificación y Desarrollo Sustentable en América Latina y El Caribe. 21 de Agosto al 15 de Septiembre. PNUMA, FAO y Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

**Forman. R.T.T. 1997.** Land Mosaics. The Ecology of Landscape and Regions. Cambridge University Press. 632 pp.

**Glantz , M. H. 1983.** Desertification: A review of the concepts. *Desertification Controls*. 9:15-22.

- Graetz, R. 1990.** Remote Sensing of Terrestrial Ecosystem Structure: An Ecologist's Pragmatic View. En: Remote Sensing of Biosphere Functioning. R. Hobbs and Mooney, Eds. Springer-Verlang, New York, Pag. 5-30.
- Goetting, H. R. 1984.** Evaluation of Carrying Capacity and Landscape Damage In Northern Kenya by Multistage Remote Sensing. Deutsche Forschungs und Versushsanstalt Loftund, 169 pp. (in German with english summ From U.S. Goverments Reports) 85(17):79.
- Hennesey, J. T.; R.P. Gibbens; J. M. Tromble y M. Cardenas. 1983.** Vegetation Changes from 1935 to 1980 in Mesquite Dunelands and Former Grassland of Southern New Mexico. Journal of Range Management. 36(39:370-374.
- Holdridge, L. R. 1947.** Determination of world plant formulations from simple climatic data. Science 105:367-368.
- Hoobs, R. 1990.** Remote Sensing of Spatial and Temporal Dynamics of Vegetation. En: Remote Sensing of Biosphere Functioning. R. Hobbs and H. Mooney, Eds. Springer-Verlang, New York, Pag.. 203-219.
- International Geosphaera-Biosphaera Program y Human Dimensions of Global Environmental Change Program. 1995.** Land-Use and Land-Cover Change. IGBP Report No. 35 y HDP No.7. 132 pp.
- INEGI. 1993.** Estudio Hidrológico del Estado de Sonora. 184 pp.
- Johnson, D. y A. C. Navarro. 1992.** Zacate Buffel y Biodiversidad en el Desierto Sonorense. En: Ecologia, Recursos Naturales y Medio Ambiente en Sonora. Gobierno del Estado.
- Kepner W. G.; K. H. Riitters; C. J. Watts y C. M. Edmonds. 1997.** A Landscape Approach to Ecological Condition in a Southwestern Watershed (U.S./Mexico). SALSA program.
- Landa R.; J. Meave y J. Carabias. 1997.** Enviromental in Rural Mexico an Examination of the Concept. Ecological Applications. 7(1)1997. Pp 316-329. Ecological Society of America.
- Langran, G. 1992.** Forest Monitoring Using Temporal GIS Techniques. En: GIS' 92 Symposium. Polaris Learning Ass. Forestry Canada-Province of British Columbia. Vancouver, Canada. 7 pp.
- Lucken, J. O. y J.W. Thieret. 1996.** Assesment and managament of plant Invasion. Springer-Verlang New York, Inc. 324 pp.

- MacLean, A. L. 1992.** Using GIS To Estimate Forest Resource Changes. *Journal of Forestry*. 90(12):22-25.
- Martínez, R. J. M. 1993.** Modernización Agrícola De La Costa De Hermosillo, Derrumbe De Un Mito?. *Estudios sociales IV*(8):197-207.
- Martínez, M. J. 1998.** Sucesión En Campos de Cultivo Abandonados en la Región Agrícola de la Costa de Hermosillo: Fisiología Ecológica de las Especies Vegetales Dominantes Durante la Sucesión e Implicaciones para la Restauración. Tesis de Maestría. UABC, Facultad de Ciencias. Ensenada B.C. 89 pp.
- Martínez M. J. y A. E. Castellanos. 1997.** Desertificación por Campos de Cultivo Abandonado en la Región Agrícola de La Costa de Hermosillo, Sonora. Jornadas para la convención internacional de la lucha contra la desertificación y Simposium sobre Recursos Forestales No Maderables. Ensenada, B.C.
- MincKley. 1991.** Native Fishes of Arid Lands: A Dwin Resource of the Desert Southwest. General Technical Report RM-206. USDA Forest Service. Arizona State University.
- Milne, A. 1988.** Change Detection Analysis Using Landsat Imagery. A Review of Methodology. Proceeding IGARSS '88 Symposium. Edinburgh, Scotland, Sept. 13-16. Pag. 541-544.
- Mladenoff, D. J., M. A. White, J. Pastor y T.R. Crow. 1993.** Comparing Spatial Pattern In Unaltered Old-Growth And Disturbed Forest Landscape. *Ecological Applications* 3: 294-306.
- Mora, F., N. Trigo y G. Hernández. 1999.** The integration of Landscape Ecology Research into yhe natural Resources Management in Mexico: An analysis of Current Nature-Society Relationships. 5ht World Congress. International Association for Landscape Ecology. July 29 – August 3, Denver, Co.
- Mouat, D. A.; G. G. Mahin y J. Lancaster. 1993.** Remote Sensing Techniques in the Analysis of Change Detection. *Geocarto International* (2) Pag. 39-50.
- Mueller-Dombois D. y H. Ellenberg. 1974.** Aims and Methods of Vegetation Ecology. Ed. John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos. 547 pp.
- Navarro, A. C. 1985.** Situación Actual de los Recursos Forrajeros y su Potencial en el Estado de Sonora.

**Noss, R. F. 1987.** From Plant Communities To Landscape In Conservation Inventories: A Look At The Nature Conservancy In USA. *Biological Conservation* 41:11-37.

**Noss, R. E. 1991.** Landscape Connectivity: Different Functions at Different Scales. En: *Landscape Linkages and Biodiversity*. W.E. Hudson Ed. *Defenders of Wildlife*. Pag. 27-39.

**Ojeda A.M. y M.A. Balmore. 1980.** "Pasto Buffel" o Cadillo Bobo. Dirección General de Desarrollo Ganadero. Caracas, Diciembre. Pag.11-29.

**Pérez López E. P. 1992.** La Ganadería Bovina Sonorense Cambios Productivos y Deterioro Del Medio Ambiente. En: *Ecología, Recursos Naturales y Medio Ambiente en Sonora*. El Colegio de Sonora y Gobierno del Estado de Sonora. Pag. 197-216.

**Reining P. 1978.** Handbook of desertification indicators, based on the Science Associations for the Advancement of Science. Washington, D.C. U.S.A.

**Rzedowski, J. 1978.** *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México. 432 pp.

**SANPES. 1995.** Sistema de Área Naturales Protegidas para el Estado de Sonora. Centro Ecológico del Estado de Sonora. Hermosillo, Sonora.

**SARH, 1995.** Información General de la Costa de Hermosillo. Distrito de Desarrollo Rural No. 144-Hermosillo.

**SARH-COTECOCA. 1974.** Tipos de Vegetación, Sitios de productividad Forrajera y Coeficientes de Agostadero. 210 pp.

**Saucedo Monarque E. 1994.** La Introducción del Zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en el Estado de Sonora, Un Factor de Modificación de la Vegetación. Tesis de Maestría del Colegio de Posgraduados Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Instituto de Recursos Naturales, Programa de Botánica. Montecillo, México. 129 pp.

**Schlesinger, W.H.; J.F. Reynolds; G.L. Cunningham; L.F. Huennek; W.M. Jarrell; R.A. Virginia y W.G. Whitfor. 1990.** Biological Feedbacks in Global Desertification. *Science*. 247: 1043-1048.

**Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Sonora. 1988.** Los Municipios de Sonora. Centro Estatal de Estudios Municipales, México. 346 pp.

**SEDESOL. 1994.** Diario Oficial de la Federación. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. México D.F. 16 de Mayo 60 pp.

**SEDESOL. 1994.** Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección Al Ambiente 1993-1994. Secretaria de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

**SEMARNAP. 1996.** Minuta que se levanta con motivo de las visitas al Estado de Sonora para atender la problemática relacionada con la rehabilitación de agostaderos y los cambios de uso del suelo. Enero. Hermosillo, Sonora.

**Shreve, F. y I. L. Wiggins. 1964.** Vegetation and Flora of Sonoran Desert. Stanford University Press, USA. Vol. I y II.

**Spellerberg, I. F. 1981.** Ecological Evaluation For Conservation. Edward Arnold. London, England.

**Suryana, N. y Y. Benitez. 1992.** The Conceptual Determination Of Carrying Capacity Analysis Using GIS Technology. Case Study: The Upper Komering Sub-Watershed, South Sumatera, Indonesia. En: GIS'92 Symposium. Polaris Learning Ass. Forestry Canada-Province of British Columbia. Vancouver, Canada. 9 pp.

**SPP. 1983.** Carta Geológica. Escala 1:250,000. Cartas H12-8, H12-9, H12-11 y H12-12.

**SPP. 1982.** Carta Hidrología Subterránea. Escala 1:250,00. Cartas H12-8, H12-9, H12-11 y H12-12.

**SPP. 1982.** Carta Hidrología Superficial. Escala 1:250,00. Cartas H12-8, H12-9, H12-11 y H12-12.

**SPP. 1982.** Climas Noviembre-Abril. Escala 1:250,000. Cartas H12-8, H12-9, H12-11 y H12-12.

**SPP. 1982.** Edafológica. Escala 1:250,00. Cartas H12-8, H12-9, H12-11 y H12-12.

**SPP. 1970.** Carta De Uso De Suelo y Vegetación. Escala 1:250,00. Cartas H12-8, H12-9, H12-11 y H12-12.

**Thomas, R. y S. Ustin. 1987.** Discriminating Semiarid Vegetation Using Airborne Imaging Spectrophotometer Data: A Preliminary Assesment. Remote Sensing of Environmental. 23:273-290.

**Turner, R. M., J. E. Bowers y L. T. Burgess. 1995.** Sonoran Desert Plants. An Ecological Atlas. The University of Arizona Press. 504 pp.

**Valdez, Z. D. 1994.** Land Cover and Land Use Change Detection in Northwestern Sonora, Mexico Using Geographic Information System and Remote Sensing Techniques. Thesis of M. Sc. School of Renewable Natural Resources. The University of Arizona. 83 pp.

**Wade, T. G. y J. D. Wickman. 1995.** Using GIS and a graphical User Interface to Model Land Degradation. GeolInfoSystem. February. Pag. 38-42.

**West R. C. 1993.** Sonora, Its Geopgraphical Personality. University of Texas Press. U.S.A. 191 pp.

**Woods, K.D. 1997.** Community Response to Plan Invasion. En: Assesment and Management of Plant Invasion. Editors J.O. Luken y J. W. Thieret. Springer-Verlag New York, Inc. 324 pp.

**Woodward F. I. 1994.** Climate and Vegetation Change. The Influence of Changes in Climat and Carbon Dioxide on Biome Distribution. Project 3b of Tiger IV: a NERC community research programme. A Core Research Project of IGBP Global Change and Terrestrial Ecosystems. 23 pp.

**Woodward, F. I. 1987.** Climate and Plant Distribution. Cambridge University Press.

**Yanes-Arvayo G. y A. E. Castellanos. 1997.** Evaluación de los Patrones de Cambio de Uso de Suelo y Cubierta Vegetal de la Parte Central del Estado de Sonora. Convención Internacional de la Lucha Contra la Desertificación y Sobre los Recursos Forestales No Maderables. Ensenada, B:C. México.