

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS**



**ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DE LOS PATRONES DE COBERTURA Y USO  
DEL TERRENO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS MUNICIPIOS DE  
TUXPAN Y ROSAMORADA NAYARIT**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN LA MODALIDAD DE  
TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA  
LUIS ARMANDO GUTIERREZ SANTOS

Las Agujas, Zapopan, Jal., Abril de 2006



**Universidad de Guadalajara**  
**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y**  
**Agropecuarias**

*Coordinación de titulación y Carrera de Licenciatura*  
*en Biología*

061/ C. C. BIOLOGÍA

**C. LUIS ARMANDO GUTIÉRREZ SANTOS**  
**PRESENTE**

Manifestamos a Usted que con esta fecha ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de: **TESIS E INFORMES** opción **TESIS** con el título: “ **ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DE LOS PATRONES DE COBERTURA Y USO DEL TERRENO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS MUNICIPIOS DE TUXPAN Y ROSAMORADA NAYARIT** ” para obtener la Licenciatura en Biología

Al mismo tiempo le informamos que ha sido aceptada como Directora de dicho trabajo al **M en C. CESAR ALEJANDRO BERLANGA ROBLES** y como asesor /a **DR. JAVIER GARCÍA VELASCO** y el **ING. HÉCTOR GERARDO FRÍAS UREÑA**

Sin más por el momento, le envío un caluroso saludo

**ATENTAMENTE**  
**“PIENSA Y TRABAJA”**

Las Agujas, Zapopan., 8 de Diciembre del 2004

**DR. CARLOS ALVAREZ MOYA**  
**PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**



COORDINACIÓN DE LA CARRERA DE  
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

**DRA. ANA ISABEL RAMIREZ QUINTANA**  
**SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**

Dr. Carlos Álvarez Moya.  
 Presidente del Comité de Titulación.  
 Carrera de Licenciado en Biología.  
 CUCBA.  
 Presente

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad TESIS E INFORMES, opción TESIS con el título: “ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DE LOS PATRONES DE COBERTURA Y USO DEL TERRENO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS MUNICIPIOS DE TUXPAN Y ROSAMORADA NAYARIT” que realizó el/la pasante LUIS ARMANDO GUTIERREZ SANTOS con número de código 396268173 consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente  
 Las Agujas, Zapopan, Jal, 15 de Marzo del 2006

Firma  
 M en C. CESAR ALEJANDRO BERLANGA ROBLES

*César A. Berlanga Robles*  
 Director/a del trabajo,

Firma  
 DR. JAVIER GARCIA VELASCO.  
 ING. HÉCTOR GERARDO FRIAS UREÑA.  
 Asesor(es)

Nombre completo de los Síndicos asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
M en C. GUILLERMO BARBA CALVILLO	<i>[Firma]</i>	15/03/06
ING. SERGIO HONORIO CONTRERAS RODRIGUEZ	<i>[Firma]</i>	15/03/06
BIOL. GLORIA PARADA BARRERA	<i>[Firma]</i>	15/03/06
Supl. M en C. AURORA ROSAS RAMIREZ	<i>[Firma]</i>	16/03/06

*11/03/06*  
*20/03/06*

## DEDICATORIA

A Dios, por ponerme en el camino del estudio de la biología, la vida su mas grande obra.....

A mis padres, por todo su apoyo incondicional y amor que impulsa mi vida día con día.

A mis hermanos por estar siempre presentes.

A mi compañera, amiga y complemento Mónica, por estar en mi camino.

A las personas y amigos que se adelantaron, que son parte especial en mi vida y que Dios tiene en la vida eterna para llenarme de bendiciones.

## AGRADECIMIENTOS

De forma muy especial a mi director de tesis, M. en C. César Alejandro Berlanga Robles por facilitarme de la manera mas profesional las herramientas necesarias para la elaboración del presente trabajo, por su apoyo dentro y fuera de las actividades profesionales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Estado de Nayarit por el financiamiento a los proyectos Fomix CONACYT-Gobierno del Estado de Nayarit NAYARIT-2003-C01-9594 “Análisis de los cambios en el uso del suelo y sus impactos sobre los sistemas acuáticos en el Municipio de Rosamorada” y NAYARIT- 2003-c019595 “Estudio de la cobertura y usos del suelo en el Municipio de Tuxpan, Nayarit: condiciones recientes, tendencias de cambio e impactos sobre los sistemas acuáticos” del cual se desprende el presente trabajo de tesis.

A mis asesores el Dr. Javier García Velasco y el Ing. Héctor Gerardo Frías Ureña, por sus valiosos comentarios que fueron una guía para realizar de forma mas clara y objetiva el trabajo de tesis.

Al comité de tesis formado por el M. En C. Guillermo Barba Calvillo, Ing. Sergio Honorio Contreras Rodríguez, Biol. Gloria Parada Barrera y M en C. Aurora Rosas Ramírez, por su apoyo en todo momento que lo requerí y sobre todo por ser mas que profesores durante toda mi preparación profesional, gracias por su amistad y tiempo dedicado.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD), en especial la Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental por la beca otorgada y facilitarme sus instalaciones para llevar acabo el trabajo de tesis.

A los compañeros de LAMA, que siempre hubo una integridad multidisciplinaria para llegar a nuestras metas.

De manera muy especial a Jessica Watson y Familia que de la manera más humilde me acogieron en los momentos más oportunos confiando en mí desde el primer día, y Familia Ruiz Camacho por sus tantas atenciones.

A la Universidad de Guadalajara.

“A Dios quien puso en mi camino a cada una de estas personas para hacerme saber que el”  
esta sobre todo y todo se da por añadidura.

GRACIAS...

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
Objetivo General.....	9
Objetivos Particulares.....	9
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>10</b>
Antecedentes generales de la técnica de percepción remota.....	11
Problemática e instrumentación de la percepción remota en la zona costera de México.....	12
Coberturas vegetales en México y Nayarit.....	14
Problemática del agua.....	16
<b>MATERIAL Y METODOS.....</b>	<b>24</b>
Área de estudio.....	24
Material.....	30
Esquema de Metodología.....	33
<b>CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACION DEL PAISAJE POR ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES DE SATELITE.....</b>	<b>34</b>
Delimitación del área de estudio.....	34
Selección y Edición de escenas multiespectrales.....	34

Proceso de clasificación del paisaje.....	36
Consideraciones teóricas de las clases o entidades del área de estudio.....	44
Evaluación de la exactitud y Matriz de detección de cambio en el uso del terreno.....	44
Muestreo de cuerpos de agua y Análisis químico –biológico.....	48
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
Evaluación de la exactitud y De la clasificación (matriz de error).....	50
Caracterización y análisis de detección de cambio.....	57
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>68</b>
Recomendaciones y seguimiento.....	71
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>
<b>Anexo 1.</b> Registro de valores del muestreo de cuerpos de agua: Laguna Agua Brava, Laguna pescaderos, Río San Pedro y Laguna de Mezcaltitán.....	78
<b>Anexo 2.</b> Graficas de crecimiento poblacional en el área de estudio y proyección en México.....	82
<b>Compendio de fotografías de campo en CD</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla 1.</b> Principales patologías transmitidas por contaminación del agua.....	18
<b>Tabla 2.</b> Disponibilidad natural media de agua per cápita (1970 a 2025) (m <sup>3</sup> /hab).....	20
<b>Tabla 3.</b> Características de los sensores de las imágenes utilizadas en el estudio.....	30
<b>Tabla 4.</b> Principales especies explotadas por tipo de ocupación de suelo.....	41
<b>Tabla 5.</b> Matriz de error de la clasificación supervisada para el año 1990 y 2001 respectivamente.....	55
<b>Tabla 6.</b> Matriz de detección de cambio a nivel de paisaje en hectáreas de 1973 a 1990.....	58
<b>Tabla 7.</b> Matriz de detección de cambio a nivel de paisaje en hectáreas de 1990 a 2001.....	59
<b>Tabla 8.</b> Valores de población por municipio y localidad pertenecientes al área de estudio.....	62
<b>Figura 1.</b> Disponibilidad natural media de agua per cápita por región administrativa.....	21
<b>Figura 2.</b> Ubicación grafica del área de estudio.....	26
<b>Figura 3.</b> Área de estudio y Principales puntos de muestreo.....	27
<b>Figura 4.</b> Mosaico de la escena multiespectral con bandas 2, 3,4.....	35
<b>Figura 5.</b> Rasgos fisiográficos sobresalientes de la escena multiespectral utilizados en la clasificación supervisada del área de estudio.....	42
<b>Figura 6.</b> Mapa temático de las coberturas y ocupación de suelo en el área de estudio, año 1973.....	51



**Figura 7.** Mapa temático de las coberturas y ocupación de suelo en el área de estudio, año 1990.....52

**Figura 8.** Mapa temático de las coberturas y ocupación de suelo en el área de estudio, año 2001.....53

## RESUMEN

La costa norte de Nayarit ha experimentado un desarrollo agrícola y acuícola acelerado en las dos últimas décadas provocando cambios en la cobertura y usos del terreno, que se refleja en la pérdida de ambientes naturales como los bosques tropicales y los humedales costeros, así como en la calidad de agua de los ríos, esteros y lagunas de la región, donde estudios realizados han reportado niveles considerables de contaminación microbiológica en cuerpos de agua que en su mayoría presentan un uso humano, causando serios problemas de salud pública en poblados aledaños. Con el fin de contribuir a la formulación de planes de ordenamiento costero para la región, donde se encuentra el sistema lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales considerada una región prioritaria para la conservación por CONABIO y como un humedal de importancia internacional por la convención de RAMSAR, el área de estudio se delimitó a nivel de subcuenca abarcando los municipios de Tuxpan y Rosamorada, se integró un SIG para analizar las tendencias de cambio en los usos del terreno y su impacto sobre los cuerpos de agua. Los cambios en las coberturas y usos del terreno se evaluaron por medio de matrices de detección de cambio, con mapas temáticos producidos por clasificaciones supervisadas y digitalización de datos auxiliares de una serie histórica de imágenes Landsat de los path/row: 31/45, 30/44 y 30/45 correspondientes de los años 1973, 1990, y 2001, con las siguientes clases: lagunas y esteros, marismas, manglar, área forestal, vegetación secundaria, Agricultura y ganadería, poblados y camaronicultura, auxiliándose con los datos de clasificación de humedales y hábitats de Aguas Profundas de Estados Unidos modificada por DUMAC. Asimismo se tomaron mediciones con referencia espacial de algunos parámetros de calidad del agua (temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto, DBO, concentración de nutrientes, clorofila, coliformes totales) del Río San Pedro, las lagunas Pescaderos y Agua Brava para identificar índices fuera de norma y posible contaminación y eutrofización. Los resultados fueron comparados con la NOM-127-SSA-1994 y NOM-001-ECO-1996 e integrados al SIG para relacionarlos con las capas de información de cambios de uso del suelo con el fin de analizar la condición actual e impactos de los diferentes patrones de uso del terreno presentes en diferentes años en la región.

## 1. INTRODUCCIÓN

La crisis ambiental junto con la pérdida de especies y comunidades biológicas derivan principalmente del éxito de las formas de producción agrícola intensiva y extensiva de los países industrializados (Rozzi y Primack, 1999) lo cual ha traído una ideología errónea y actitudes que amenazan la verdadera diversidad de los recursos naturales. La constante intervención del hombre sobre las zonas costeras ha originado impactos y cambios en su mayoría nocivos, como disminución del flujo de agua dulce, deforestación, cambios en el hidropereodo, aumento de nutrientes, asolvamiento e incendios forestales (Tovilla, 1994).

Desde el origen de la vida sedentaria con la adopción de la agricultura y domesticación de ganado hace unos 10 mil años, este nuevo modo de vida ejerció presiones más prolongadas e intensas sobre los ecosistemas, aun así una gran parte seguía viviendo de la caza, la pesca y la recolección de insectos, hongos, algas y especies vegetales (Enkerling *et al.*, 1997). Recién en los últimos 300 años, los cambios en la cobertura y uso del terreno por actividades que se afianzaron a nivel mundial, principalmente la agricultura y ganadería, como el modo principal de producción de alimentos, fue entonces el comienzo de una degradación ambiental que actualmente ocasionan constantemente efectos nocivos en la estabilidad del entorno natural debido a la mala planificación del uso de sus recursos y servicios que nos proporciona, lo cual crea una problemática en la economía y salud humana, donde países subdesarrollados experimentan una degradación y desaparición de ambientes naturales gracias a las acciones intensificadas de una agricultura convencional (Roíz y Primack, 1999) por lo tanto, para frenar el deterioro es necesario modificar tales actitudes, valores y modos de interacción con el medio natural (Toledo 1987).

La zona costera contiene ambientes diversos y productivos importantes para el desarrollo y subsistencia de las sociedades humanas y vida silvestre que a través del paisaje modulan el flujo de agua, nutrientes y materiales, (Flores-Verdugo *et al.*, 1990; Berlanga y Ruiz-Luna, 2002) ha sido aprovechada por las comunidades para establecer asentamientos humanos, y diversos tipos de aprovechamiento que han provocado impactos ambientales a la naturaleza como: pérdida de cobertura vegetal, eutrofización, procesos de erosión, salinización y compactación del suelo; pérdida gradual de fauna silvestre, entre otros; así como también, impactos sociales y de salud humana, agotamiento de suelos para la actividad agropecuaria y desarrollo social limitado (Pearson, 1994).

Se estima que más de la mitad de la población del mundo vive a menos de 60 km de la costa, (Agenda 21, 2002; Jan y Lundin, 1996), proporción que podría elevarse a las tres cuartas partes para el año 2020, pero bajo otro panorama también resulta ser una zona donde se ubica un gran porcentaje de población humana subsistiendo en condiciones altas de pobreza y sin servicios públicos de calidad (Agenda 21, 2002). Afirmando Lemay (1998), que el crecimiento en la zona costera de países latinoamericanos y del Caribe supera el 2% anual.

Desde décadas pasadas las zonas costeras han sido una plataforma de desarrollo económico, trayendo consigo un crecimiento poblacional inminente, impactando ecosistemas como, lagunas, marismas, estuarios, y bahías, que resultan ser complejos, de delicado equilibrio y altamente perceptibles a las actividades antropogénicas; la pérdida de los bosques tropicales y de humedales costeros es un problema que cada vez afecta mas a la propia población humana circundante (De la Lanza, *et al.*, 1996 y Berlanga, 1999).

La degradación de los ecosistemas marinos y estuarinos-lagunares se debe principalmente a las actividades humanas terrestres, siendo fuente del 70% de la contaminación marina, incluyendo a las aguas internas, mientras que las actividades del transporte marítimo y el vertimiento en el mar representan el 10% cada una, problema que en menor grado también afecta directamente las zonas más productivas del medio marino, incluido los humedales costeros debido a su intercomunicación con el mar (Agenda 21, 2002; UNEP, 1995).

En los últimos años las zonas costeras han experimentado un incremento acelerado de las actividades agropecuarias y de infraestructura humana que han provocado una disminución en la calidad del agua y en la capacidad de los ecosistemas acuáticos para auto-regenerarse (Carrera y De la Lanza, 2003). Con este continuo incremento de actividades humanas y la expansión del desarrollo tecnológico en las regiones costeras, han impactado grandes áreas silvestres transformando drásticamente el uso del terreno, aportando grandes cantidades de nutrientes causando cambios en la biodiversidad, eutrofización y extinción de especies (Margalef, 1983; Flores *et al.*, 1992), fragmentación del paisaje, alteración de las corrientes hidrológicas y de la topografía regional (Ojima, 1994).

Entre los impactos de la contaminación de los sistemas acuáticos por las actividades antropogénicas, además de las consecuencias económicas para industrias acuícola y particulares, está el desajuste en la riqueza y abundancia de especies del ecosistema, en donde a la vez están especies importantes para el humano tales como crustáceos, moluscos, peces, aves, reptiles o mamíferos, debido a las alteraciones fisiológicas y bioquímicas causadas por compuestos ajenos al ecosistema el cual provoca una baja productividad alterando la red trófica (Galindo, 2000;

Berlanga, 1999) y por otro lado los daños en la salud pública, generados por los efectos residuales de los contaminantes (Albert y Sarmienta, 1977 citado por Galindo, 2000).

Los ecosistemas lagunares-estuarinos de los municipios de Tuxpan y Rosamorada en la costa norte de Nayarit cuentan con áreas ecológicamente críticas y vulnerables a la destrucción (Páez, 2000), forman parte del sistema Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales, siendo uno de los sistemas de humedales costeros más extenso en el Noroeste de México que a la vez sustenta el bosque de mangle más extenso del pacífico mexicano (Flores-Verdugo *et al.*, 1992) y de mayor importancia económica y ecológica (Agraz *et al.*, 2001).

Estos ambientes naturales, y sus otras variantes de humedales costeros se presentan de forma altamente diversa y productiva a lo largo de más de 10,000 kilómetros de litoral, formando complejas asociaciones de vegetales adaptadas a diferentes formas de vida en las que destacan adaptaciones de salinidad y flujos de agua. Lo cual esta complejidad genera una característica particular de productividad y variada estructura, brindando ambientes óptimos, excelentes para el refugio, alimentación y reproducción de una gran riqueza y diversidad de fauna silvestre, tanto acuática como terrestre (CONABIO, 1998). Ocasionalmente actúan como refugio para especies amenazadas y en peligro de extinción. Esto los convierte en ambientes con características, funciones y valores propios (Richardson, 1994).

Este sistema lagunar-estuarino, además de pertenecer a la lista de humedales de importancia internacional de RAMSAR, es un sistema prioritario para la conservación en México para la CONABIO, debido a la frecuente perturbación ocasionada por el desarrollo de la actividad agrícola y de la camaronicultura, que cada vez se ha visto incrementando a lo largo de

las zonas costeras del Pacífico de México (Páez, 2001; CONABIO, 1998) la primera, siendo principal agente transformador del uso del suelo junto con la camaronicultura y la agricultura por sí sola se presenta como actividad con mayor incidencia en el aumento de la carga de nutrientes hacia los cuerpos de agua presentes en la zona, además de ser invadidas y desmontando la vegetación para otros tipos de explotación (Páez, 2001).

En ese sentido, las tecnologías para el estudio de la superficie terrestre como la percepción remota, los sistemas de información geográfica (SIG) y la aplicación de técnicas de teledetección a través de imágenes de satélite, han sido de gran utilidad y representan una herramienta importante en el estudio de los sistemas naturales e investigación territorial para su manejo y conservación, ya que la información puede ser tomada en tiempo y espacio permitiendo la obtención y análisis de información de las estructuras o componentes naturales del paisaje y su relación con otros componentes antropogénicos que pudieran modificar sus tendencias naturales.

Los factores que determinan a la percepción remota como una técnica de gran utilidad son la vista sinóptica de las características, la respuesta e interpretación espectral de componentes terrestres (Berlanga, 1999) generados con la energía electromagnética y la frecuencia repetitiva de la cobertura de estos componentes para un posterior procesamiento con métodos digitales.

Se debe tener en cuenta que las características y el tipo de manejo que se lleve a cabo en los ecosistemas costeros, dependerá de la diversidad estructural forestal, geoforma y capacidades fisiológicas que presenta cada uno, también es necesario mencionar, ya que a pesar del gran avance tecnológico, aún el trabajo de campo es una herramienta indispensable para el nivel de confianza en la clasificación de la imagen de satélite.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Por todo lo anterior los estudios a nivel localidad, como el presente trabajo son importantes ya que permiten generar información más detallada y de mayor confiabilidad, de parámetros y componentes necesarios para el estudio de los ecosistemas, permitiendo conocer el tiempo y espacio en que se presentan las perturbaciones antrópicas. En la región costera de Nayarit, la expansión de las actividades humanas y el necesario desarrollo económico son generadoras de impactos ecológicos de grandes áreas por cambios en los usos del terreno.

La industria, agricultura y asentamientos humanos aportan sustancias de desecho y grandes cantidades de nutrientes que producen contaminación, eutrofización, y cambios en la biodiversidad de los ecosistemas costeros. La carencia de información y seguimiento referente a la calidad del agua de los humedales costeros y de indicadores de contaminación de los sistemas acuáticos ha limitado el éxito de los programas de ordenamiento de la zona costera aplicados en la región; por lo que es necesario llevar a cabo evaluaciones del desarrollo de las actividades antropogénicas y de sus impactos sobre estos escenarios naturales.

El ordenamiento, es un instrumento normativo básico y necesario o de primer piso, que permite orientar el emplazamiento geográfico de las actividades productivas, así como las modalidades de uso de los recursos y servicios ambientales, lo cual le convierte en un cimiento de la política ecológica. La LGEEPA (1996), presenta al ordenamiento como: "El instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las



potencialidades de aprovechamiento de los mismos". (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Título Primero, Art.3 fracción XXIII).

Dado lo anterior, en esta propuesta se pretende generar información necesaria que pueda ser integrada a un sistema de información geográfica (SIG), integrando datos de percepción remota y de campo sobre los parámetros de calidad del agua de los principales sistemas acuáticos de los municipios de Tuxpan y Rosamorada con el fin de analizar los impactos de los patrones en el uso del terreno sobre la calidad de agua de los ambientes costeros de la región y con ello contribuir a una adecuada gestión y manejo de los recursos.

El presente trabajo forma parte de los proyectos de los fondos mixtos CONACYT-Gobierno del Estado de Nayarit Fomix Nayarit 2003-C01-9594 y Nayarit 2003-C01-9595), cuyos objetivos son caracterizar los municipios de Rosamorada y Tuxpan por medio de la descripción, localización y estimación de las coberturas y usos del terreno así como por el estudio de las tendencias de cambio y la evaluación de factores determinantes de las características físicas y biológicas de la entidad.

### **3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo general**

Desarrollar información necesaria a través de la caracterización del paisaje, mediante información de imágenes de satélite y de campo para analizar la relación entre el uso del terreno y calidad de agua en sistemas acuáticos de los municipios de Tuxpan y Rosamorada que permita su integración con un SIG.

#### **Objetivos particulares**

- a) Caracterizar el paisaje del área de estudio con base a los patrones de ocupación del suelo a través del procesamiento de imágenes Landsat.
  
- b) Analizar la calidad del agua del río San Pedro de la parte correspondiente al área de estudio, el sistema lagunas Pescadero-Agua Brava y Laguna Grande de Mezcaltitán a partir de muestreos de campo de los principales indicadores e información directa.

#### **4. ANTECEDENTES**

Hablar de cambios de la ocupación del suelo y uso del terreno, es hablar del fenómeno más significativo que ocasionan los impactos humanos sobre las características de la superficie terrestre como: cambios en escorrentía, clima, erosión entre otros, ya sea a escala local, regional o global, la conversión del terreno a usos humanos hablese de agrícolas, acuícola, industrial y residencial, se consideran también indicadores de la dinámica del paisaje y de las relaciones sociedades humanas-ambiente (Hernández, 1998) estos impactos inciden directamente sobre los sistemas hidrológicos, ya sea en su calidad del agua como en su cantidad, (Bhaduri *et al.*, 2000) como es el caso de los sistemas lagunares-estuarinos y al mismo medio marino, lo cual trae consecuencias importantes en la salud humana y en la diversidad biológica de los ecosistemas de la zona costera (Primack, 1998; Gosselink y Turner, 1978; Galindo, 2000).

Así los cambios de ocupación de suelo, relacionados con el desarrollo de una sociedad en el ámbito económico, tecnológico y crecimiento poblacional contribuyen a las modificaciones irreversibles en el entorno natural como ya se mencionó, generando impactos ambientales significativos que alteran los ecosistemas y contribuyen a la transformación de estos paisajes naturales a paisajes contruidos que en la mayor parte no son compatibles con el funcionamiento del ecosistema (Ojiva et al., 1994; Harbor, 1998).

## **Antecedentes Generales de la Técnica de Percepción Remota**

Para definir la percepción remota es importante tener claros los principios y conceptos utilizados en la teledetección definida como la interpretación de información acerca de un objeto sin estar físicamente en contacto con él, siendo comúnmente restringido a los métodos que emplean energía electromagnética como el medio para detectar y medir las características del objeto (Chuvienco, 2002). La teledetección o percepción remota es el conjunto de conocimientos y técnicas utilizados para determinar características físicas y biológicas de objetos mediante mediciones a distancia, sin contacto material con los mismos.

Campbell (1996) define a la percepción remota como la práctica de derivar la información sobre las superficies de la tierra y del agua usando imágenes adquiridas por un sensor de una perspectiva elevada, usando la radiación electromagnética en unas o más regiones del espectro electromagnético, reflejadas o emitidas de la superficie de la tierra.

De este modo, la percepción remota se define como una técnica de análisis digital que reúne a otras técnicas que permiten captar imágenes y fotografía aérea o aeroespacial, permite identificar los objetos que constituyen la superficie terrestre y analizar los procesos que se dan lugar en ella. Chuvienco, (2002) señala que esta reflectividad espectral (firma espectral) debe considerarse íntimamente en relación a la naturaleza física y química del material u objeto identificado, aunado a esto; otros factores como el ángulo de observación, la iluminación y las condiciones de la atmósfera; todas estas condiciones darán la calidad de reconocimiento e identificación de los componentes de la superficie en la imagen de satélite tanto para el usuario en los productos resultantes, como para el momento del procesamiento de la misma en el computador. Durante estos últimos años estas técnicas y herramientas de análisis visual y digital

de imágenes de satélite se han demandado altamente en el área del conocimiento de los procesos ambientales (físicos y biológicos) dentro y fuera de nuestro planeta, así como en las necesidades de identificar los fenómenos antropogénicos, algunos útiles en el desarrollo armonioso de una sociedad, por mencionar algunos como: cartografía de censos y estadística poblacional, registro de pozos, planeación territorial, planeación del suelo evaluación de condiciones naturales, estudios de impacto ambiental, planeación urbana y regional (López, 1994).

### **Problemática e instrumentación de la Percepción Remota en la zona costera de México**

En el proceso del uso de SIG y sensores remotos, se ven involucrados intereses y problemas humanos, donde la manipulación técnica de la información se ve influenciada por estos (Palacios, 1992), por tal motivo el uso de estas herramientas para la toma de decisiones en el uso y manejo de las superficies sean terrestres, acuáticas o marinas, debe verse de puntos de vista político y de intereses para el desarrollo social de una nación.

El manejo adecuado de las zonas costeras considera las diferentes escalas espaciales y temporales en las que actúan los procesos ecológicos (Klemas *et al.*, 2002), las evaluaciones pueden darse por criterios geopolíticos, administrativos, ecológicos y/o fisiográficos, en el presente trabajo la escala a nivel cuenca y subcuenca, resulta adecuada al presentar de una forma clara el desarrollo de las repercusiones del uso del terreno, agua y vegetación ya que respeta las características naturales del terreno (Bojórquez *et al.*, 1997), explica la influencia que ha tomado entre los tomadores de decisiones y la opinión pública, al considerar la información generada por una computadora como objetiva y fidedigna, pero debe considerarse que los resultados alcanzados dependerán de la gente que participa en su operación.

Dado a la problemática que se vive en las zonas costeras en muchos países del mundo se han implementado programas de Manejo Costero, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las comunidades humanas dependientes de los recursos costeros, y así mismo mantener la diversidad biológica y producción en los ecosistemas (Martínez, 2003). En México la fragilidad en su estructura gubernamental en la zona costera, es un problema que viene desde épocas precolombinas, donde españoles establecieron sus ciudades en las líneas costeras para establecer control y aumentar la explotación de los recursos encontrados en las nuevas tierras. Desde entonces las actividades económicas en México han sido sobreexplotadas, enfocadas en agricultura, la explotación minera, forestal y actividades de ganadería, y modificando el paisaje natural, en ocasiones de forma irreversible, estas conversiones del terreno alteran las características hidrológicas, (Bhaduri *et al.*, 2000) afectando directamente los ecosistemas costeros y la salud de las poblaciones humanas (Gosselink y Turner, 1978).

El acelerado desarrollo y el establecimiento de poblaciones cercanas a las costas provocó un abandono y mala estructura gubernamental, creando políticas de uso mal planeadas y generando un aprovechamiento de estas zonas de forma excesiva, principalmente por intereses extranjeros y volviéndose vulnerables los ecosistemas presentes a los impactos humanos (PNUMA, 2004).

Aunado a lo anterior, en años recientes México ha experimentado un aumento rápido en actividades costeras de las que destacan camaronicultura, industrias pesqueras, turismo y tierras de pastoreo, además del uso doméstico, generando problemas críticos que se asocian a cada una de estas actividades (Hernández 1998; SEMARNAP, 1995; Paez-Osuna, 1997). Por tal razón, de una perspectiva geográfica y para un buen desarrollo sustentable y social, México debe ser una

nación con su visión hacia la zona costera, puesto que tiene costas en los dos Océanos Atlántico y Pacífico, así como un vasto sistema hidrológico el cual ha sido sobre utilizado por las diferentes actividades humanas, intensificándose en las últimas décadas. A pesar de la existencia de los marcos jurídicos en los estados costeros y las leyes federales, faltan y es necesaria la creación de agencias específicas, responsables de la gerencia costera.

### **Coberturas vegetales en México y Nayarit**

Durante los últimos treinta años México ha experimentado una reducción de las superficies que conformaban algún ecosistema natural, al mantener un acelerado incremento poblacional, industrial y de urbanización, además de la mala ejecución política para el uso del terreno, que hoy están bajo un tipo de perturbación o de sistema productivo que ha alterado las condiciones adecuadas de estos ecosistemas.

Durante 1980 a 1990 se produjo una reducción del 75% al 72.3% de cubierta vegetal natural, de la cual un 35% estaba como vegetación alterada que incluía zonas agropecuarias abandonadas y en uso en ese momento. En 1990 el 1.16% estaba cubierto por cuerpos de agua, el 26.31% se encontraba bajo usos agropecuarios y un 0.24% ocupado por zonas urbanas, en resumen se produjo una reducción del 3% en la cubierta vegetal del país y un aumento de 1.75% en el uso agropecuario y urbano (Flores y Gerez, 1994).

El estado de Nayarit se encuentra en un ambiente subtropical con una gran diversidad de hábitats; abarca 26,979km<sup>2</sup>. Siendo uno de los estados con mayor superficie cubierta por vegetación natural; según (SAHOP, 1981; SARH, 1992) en 1981 comprendía alrededor del 85% de su territorio; la cual para 1992 se produjo una reducción de 16.6% de la superficie vegetal

natural y con respecto al uso agropecuario para 1981 se estimaba el 15%, que para 1992 éste incremento un 7% en terrenos agropecuarios.

Ramírez *et al.*, (1995), estimaron la superficie y los cambios en la cobertura vegetal de la desembocadura del río Santiago, Nayarit, utilizando una imagen Lansat TM de 1993, cartas de uso de suelo y topografía de 1970 y fotografía aérea de 1973. Reportaron que en el periodo de 1970 a 1993, la cobertura de manglar disminuyó en un 30%, la selva baja caducifolia perdió el 70% y la parte terrestre cubierta por pastizal aumentó en un 30% y en la presente década para los últimos años las instancias federales reportan que en el territorio Mexicano el área forestal se ha reducido a un 80% sin incluir comunidades vegetales como manglares y otros ecosistemas costeros (El informador 15 agosto 2005; SEMARNAT, 2004).

Otro estudio dentro de la zona como el de Páez 2000 concluyendo que paisaje estuvo dominado por la agricultura y en términos generales mostró pocos cambios en sus patrones de cobertura y usos del terreno, de 1973 a 1986 el porcentaje de cambio fue de 20% y de 1986 a 1992 de 30%. A pesar de lo anterior, la selva perdió la mitad de su cobertura en 19 años con una tasa de deforestación media anual estimada en 3.4% un total de 8000 hectáreas una aproximación a lo reportado en la zona de Teacapan al sur de Sinaloa (Berlanga y Ruiz, 2002) además de esto los cuerpos de agua fueron también principales subsidiarios además de la selva en el cambio del terreno hacia la agricultura y se explica que el mayor porcentaje de cambio se presento de 1973 a 1992 continuando con tendencia positiva, presentando los mayores cambios radicales en el cause y desembocadura del río Santiago.



## **Problemática del agua**

Durante los últimos años la influencia de las actividades humanas en las zonas costeras se han ido incrementando de forma acelerada, transformando los escenarios naturales como es el caso de los humedales costeros, los cuales se presentan como puntos terminales de las cuencas hidrológicas, las aguas son contaminadas por residuos y lixiviados provenientes de las escorrentías de las zonas agrícolas que se depositan, superando la capacidad de los sitios receptores (Agronet, 2002; PNUMA, 2004; Cooke, 1993) a esto se suman otras actividades humanas-productivas en áreas lejanas incorporándose a estas las descargas domésticas, favoreciendo cada vez más el desequilibrio y modificación de los ciclos de los nutrientes, impactando la calidad y provocando procesos de eutrofización y anoxia; así estos ecosistemas reciben el mayor impacto a estos problemas, además de los problemas de salud pública (Harbor, 1998; Escobar, 2001) que alteran las características naturales de las cuencas hidrográficas, ocasionan repercusiones alarmantes en las mismas poblaciones humanas, un ejemplo fue en la región de Mezcaltitán para 1984 a 1986, se reportaron niveles fuera de la norma de nitritos y nitratos, materia suspendida y alta presencia de coliformes en un NMP3200/100ml, además de presencia de tóxicos derivados de plaguicidas y fertilizantes entre ellos detergentes y DDT usados (De la Lanza *et al.* 1996).

Por otro lado y favoreciendo lo anterior, está el continuo deterioro de la vegetación del ecosistema por el cambio de uso del terreno y la mala gerencia de planeación en el manejo. En la zona costera de Nayarit los manglares han sido altamente perturbados a pesar de estar bajo protección por leyes mexicanas (Carrera, 2003). Cabe mencionar los efectos causados por el canal de Cuautla construido entre 1971 y 1972, causando la muerte de miles de árboles de

manglar afectando con ello la capacidad del sistema para depurar sus aguas, asimismo se incrementó la salinidad de las lagunas por la intrusión de agua marina.

Las riberas de los cuerpos de agua naturales fueron los sitios ideales para el asentamiento de las poblaciones dedicadas a la agricultura y la pesca, siendo actualmente sitios de desarrollo urbano e industrias. Los compuestos químicos de las aguas naturales contribuyen a determinar las propiedades del agua. Algunos de tales compuestos son vitales para las plantas y los animales acuáticos. Por otro lado, varios de estos compuestos químicos interfieren con el uso al que se destina el agua y, por tanto, se les considera contaminantes.

**Contaminante:** es toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera y/o cualquier elemento ambiental como el agua, suelo, flora o fauna, altera o modifica su composición natural y degrada su calidad.

Por otro lado, el agua siendo soporte de todas las actividades que realiza el un organismo, también puede ser factor de riesgo, ya que puede convertirse en portadora de graves enfermedades, al no contar con el tratamiento adecuado y la pureza indispensable (Tabla 1).

**Tabla 1.** Principales patologías transmitidas por contaminación del agua.

Enfermedad	Agente causal	Relación con el agua
Bacterias		Transmitidas por el agua de aseo personal, residual, domestica, por fuentes puntuales y no puntuales de contaminación en el agua, y desarrollo de vectores nocivos relacionados con el agua.
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	
Fiebre tifoidea	<i>Salmonella typhi</i>	
Shigelosis	<i>Shigella species</i>	
Salmonelosis	<i>Salmonella partyphi</i>	
Gastroenteritis	<i>Escherichia coli</i> Sps de <i>Campylobacter</i> , dinoflagelados	
Disentería	<i>Filarias</i>	
Virus		
Hepatitis infecciosa	Virus de la hepatitis A	
Poliomielitis	Polio Virus	
Diarrea	Virus de Norwalk	
Protozoarios		
Disentería	<i>Entamoeba histolytica</i>	
Giardiasis	<i>Giardia lambia</i>	
Toxico infecciosas	Plaguicidas	Filtración y residuo directo mediante escorrentías de zonas agropecuarias y desarrollos industriales.
Dermatológicas	Residuos de insumos químicos.	
Degenerativas a nivel celular	Agentes cancerigenos.	

Fuente: Información directa; Romo 2002;

Estos problemas ambientales y de salud pública se visualizan de forma global, como un ejemplo en diferentes partes de Norteamérica, Childers y Gosselink (1990) comentan que la **agricultura en su manera intensiva y extensiva** es la actividad con mayor incidencia en el aumento de la carga de nutrientes hacia los cuerpos de agua, provocando una modificación en la cantidad y calidad del agua para el servicio humano, además se señala una pérdida del 50% de humedales costeros en regiones de Estados Unidos de Norteamérica en los últimos dos siglos, así

su desarrollo es un riesgo potencial en el proceso de contaminación de los sistemas hidrológicos, como es el caso de la región norte de Nayarit.

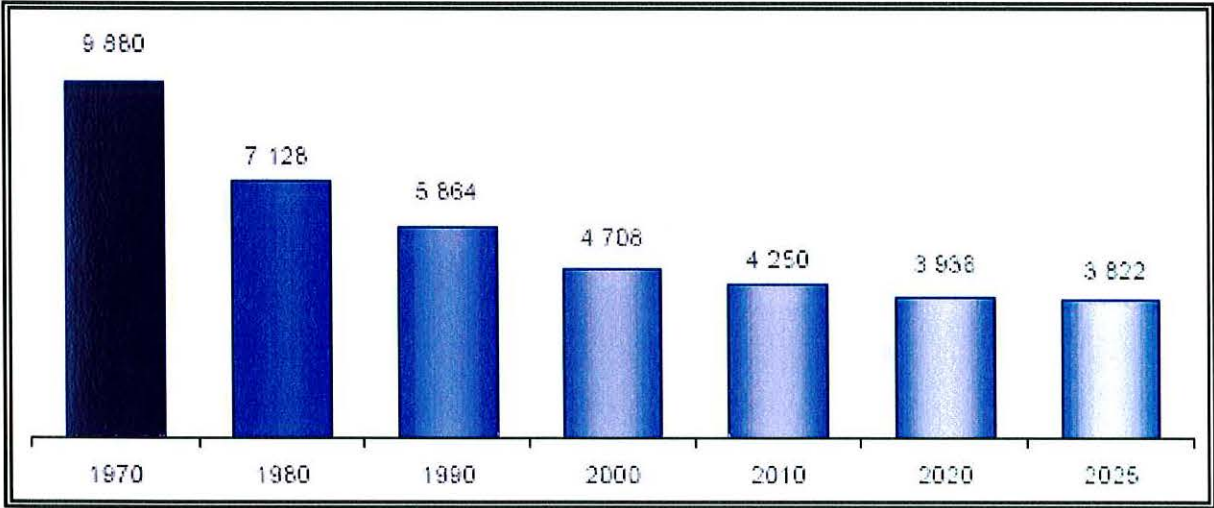
De la misma manera es importante mencionar el continuo incremento de otras actividades que se han afianzado con gran fuerza como la camaronicultura, que en el estado de Nayarit para 1993 se reportaba un incremento de esta ocupación del terreno de 40.5% (Carrera y de la Fuente, 2003), otros estudios hacia el norte de Sinaloa han identificado a esta actividad como un uso del terreno de alto impacto en el consumo y desecho de aguas, sumándose a las presiones causadas por la agricultura y asentamientos humanos (Garay, 2002) por lo que es necesario el conocimiento de su extensión, distribución y su comportamiento en la interacción con los ecosistemas presentes.

La CONABIO en su Programa Hidráulico 2001-2006 que tiene como objetivo “analizar y proponer las políticas de aprovechamiento de los recursos hídricos, logrando una adecuada participación de los usuarios, una sociedad organizada en el manejo del agua, y prevención de riesgos en atención de inundaciones y sequías”, muestra un panorama donde se estima que en el año 2000, la extracción total de agua para los principales usos consuntivos y generación de energía eléctrica (clasificada como no consuntiva) fue en conjunto de 215 km<sup>3</sup>. Este volumen representa 15% de la disponibilidad natural media nacional que, según la clasificación de la ONU, se considera como sujeto a presión moderada.

Sin embargo, en las zonas del centro, norte y noroeste, este indicador alcanza 44%, lo que convierte al recurso en un elemento sujeto a alta presión y limitante del desarrollo. En el mismo sentido la CNA, 2004 muestra en su programa nacional de “Estadísticas del agua” un escenario

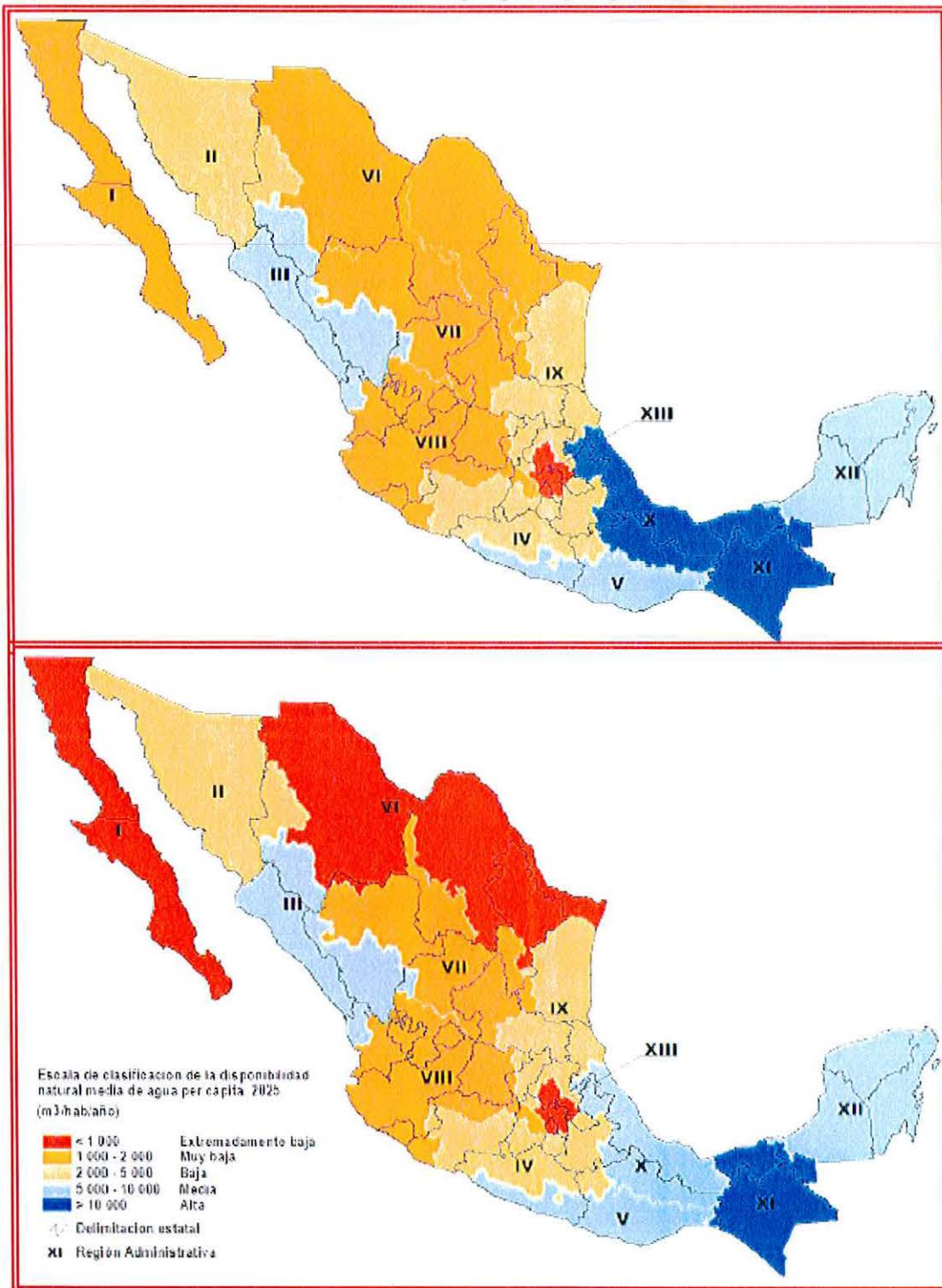
futuro en el incremento de la población, afectando considerablemente la disponibilidad media del agua, donde la población se incrementara en 19.9% millones de personas donde el 90% será de zona urbana y el 80% de las cuales se asentará en la zona noroeste, norte y centro del país esto entre el 2003 y 2025, esto provocara una disminución de disponibilidad natural media de agua por habitante a nivel nacional de 4547m<sup>3</sup>/hab/año a 3822m<sup>3</sup>/hab/año, muy probable alcanzando en algunas regiones por debajo de 1000m<sup>3</sup>/hab/año (Tabla 2, Figura 1 y Anexo 2).

Tabla 2. Disponibilidad natural media de agua per cápita (1970 a 2025) (m<sup>3</sup>/hab).



Conapo, 2003; Subdirección General Técnica CNA.

Figura 1. Disponibilidad natural media de agua per cápita por región administrativa.



CONAPO en INE, 2004; Subdirección General Técnica.

En este sentido, el estudio de las cuencas hidrográficas es parte fundamental del ordenamiento territorial, conocimiento y organización de los elementos bióticos y abióticos que interactúan en el ambiente, esta última entendida como la distribución natural de elementos que integran el medio en un tiempo y espacio donde interactúan elementos bióticos y abióticos en ellas su recurso agua, tiene la mayor relevancia en los procesos de transformación social (Ojiva et al, 1994; CONABIO, 2004) por lo cual explica como, la compleja interrelación de los sistemas de agua dulce ha exigido una organización global del recurso, a la que se le ha denominado ordenación por cuencas hidrográficas.

La cuenca hidrográfica es considerada un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación, forma un único cauce o curso fluvial principal de agua (Davis y Wiest, 1993;) y se define como una unidad fisiográfica conformada por otro conjunto de sistemas de cursos de agua (escorrentías, ríos, arroyos, etc) definidos por el relieve de la superficie y condiciones geológicas del terreno además el patrón y densidad de estas dependen del clima, tipo de suelo, vegetación y cada vez de mayor importancia los efectos de la acción humana en el ambiente de la cuenca . La FAO, la define como unidad territorial y sistema formado por factores físicos, sociales, económicos, políticos e institucionales dinámicos e interrelacionados entre sí, a la vez constituyentes de límites naturales y ecológicos de captura de agua llovida y se consideran como unidades de planificación del uso del agua, y de sus demás componentes biológicos (Agenda 21, 1992).

En la mayoría de los estudios de cuencas, se incorporan los elementos biofísicos y económicos, dejando desatendida la participación de los grupos humanos involucrados. Por lo anterior, surgieron como estrategias institucionales estudios a un nivel menor pero no de menor importancia, estos son las subcuencas y micro cuencas, así se puede comprender y atender la problemática y demandas de la población local, esto llevo a una mejor concepción del enfoque nacional de cuenca, mostrando que existe una especificidad de cada caso, dado que la población que habita, es quien manipula, cuida o maneja la vida en la cuenca.



## **5. MATERIAL Y METODOS**

### **Área de Estudio**

El área de estudio se localiza al noroeste en el estado de Nayarit entre las coordenadas 436559, 2524343 y 535530, 2393805 del sistema UTM, Zona 13 norte, Datum NAD27 basado en la elipsoide de Clarke 1866, contando con una superficie total de 454,230.36 hectáreas. Dado que las subcuencas se han presentado como unidades fundamentales en el manejo de los recursos y desarrollo social, por sus múltiples características ecológicas, el área de estudio esta delimitada en función a la subcuenca Río Sanpedro, correspondiente a la cuenca de mismo nombre, y a los límites municipales de Tuxpan y Rosamorada, y basándose en los criterios ecológicos para los límites del área costera, describiéndose esta como: el espacio geográfico donde los principales intercambios de materia y energía se dan entre ecosistemas terrestres y marinos, por consiguiente la influencia entre estos es directamente e inversamente proporcional (Yáñez-Arancibia, 1999), comprende la mayor parte del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales, así como parte del río San Pedro y Laguna grande de Mezcaltitán, estos cuerpos de agua junto con la subcuenca están comprendidos en la Región Hidrológica Presidio-San pedro (RH 11), correspondientes a la subprovincia Delta del Río Grande de Santiago dentro de la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Pacífico en la porción oeste, en general el área de estudio forma parte de la subprovincia Mesetas y Cañadas del Sur y subprovincia Pie de la Sierra pertenecientes a la Provincia Sierra Madre Occidental (Figura 2 y 3).

Los municipios localizados dentro del área de estudio con mayor representación son Tuxpan y Rosamorada ubicados en las coordenadas 22° 20' y 21° 51' de latitud norte, y 104° 56' y 105° 38' de longitud oeste, representando entre ambos el 7.4 % de la superficie del estado de

Nayarit de 27,585 km<sup>2</sup>, de estos 2,229.12 km<sup>2</sup> de zona costera. Se presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad a humedad media A(w2) – A(w1) (INEGI, 1995; INEGI, 1998) y las principales formaciones montañosas como: Sierra el Nayar, Cerro Dolores y Cerro el Águila.

El sistema lagunar presente denominado también como Marismas nacionales forma parte de la Planicie costera del Noroeste, que se extiende desde el estuario del río Colorado en Sonora y continúa a lo largo de Sinaloa hasta terminar en el centro de Nayarit (Challenger, 1998) sus lagunas costeras presentan una particularidad ya que la laguna es el delta de los ríos que la alimentan teniendo comunicación al mar por pequeñas vertientes naturales a excepción del canal de cuautla, siendo este junto con los problemas de arrastre de desechos adicionados a los afluentes, puntos clave para el deterioro ambiental de este ecosistema (de la Lanza *et al.*, 1996).

Figura 2. Ubicación gráfica del área de estudio.

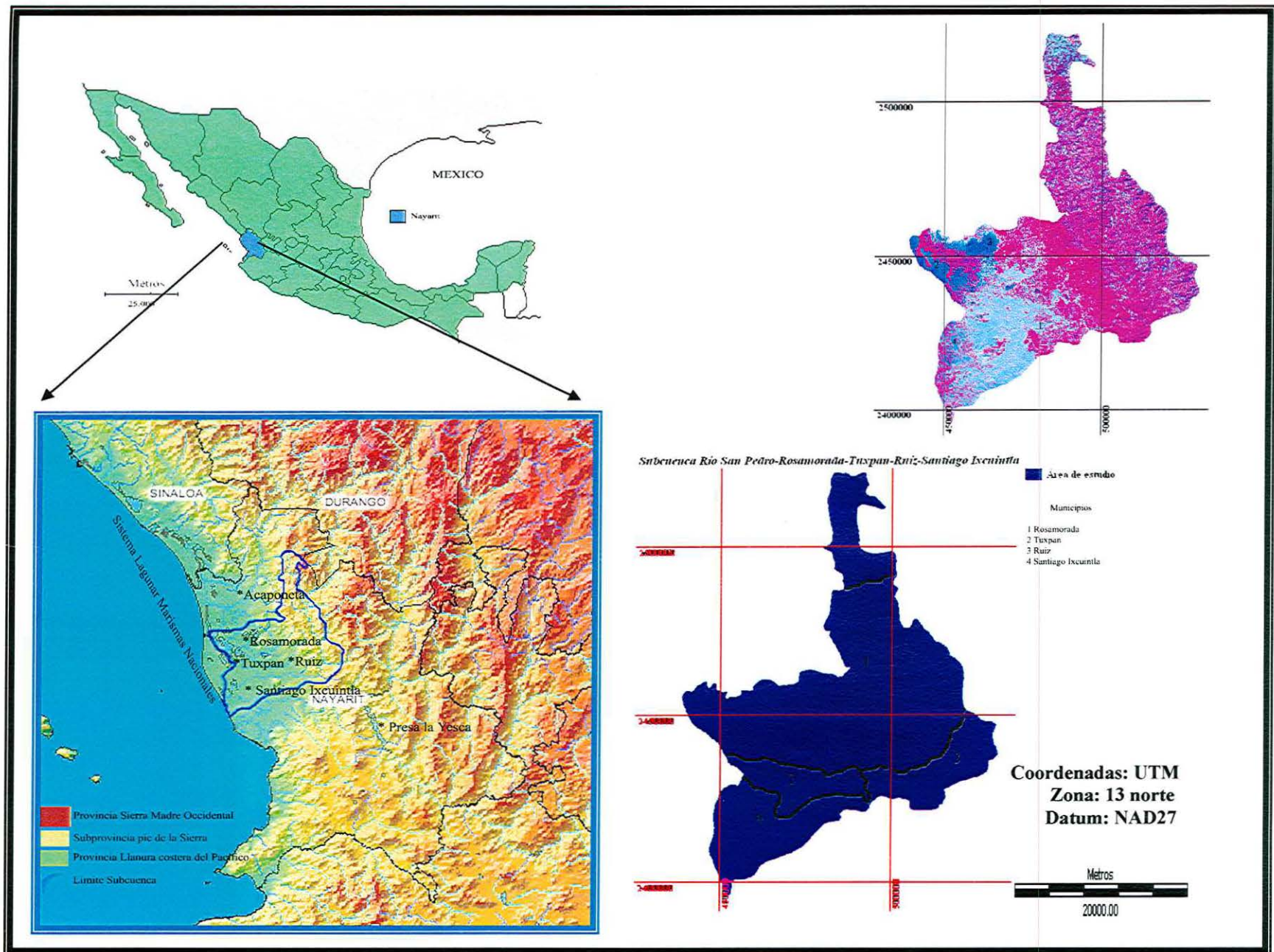
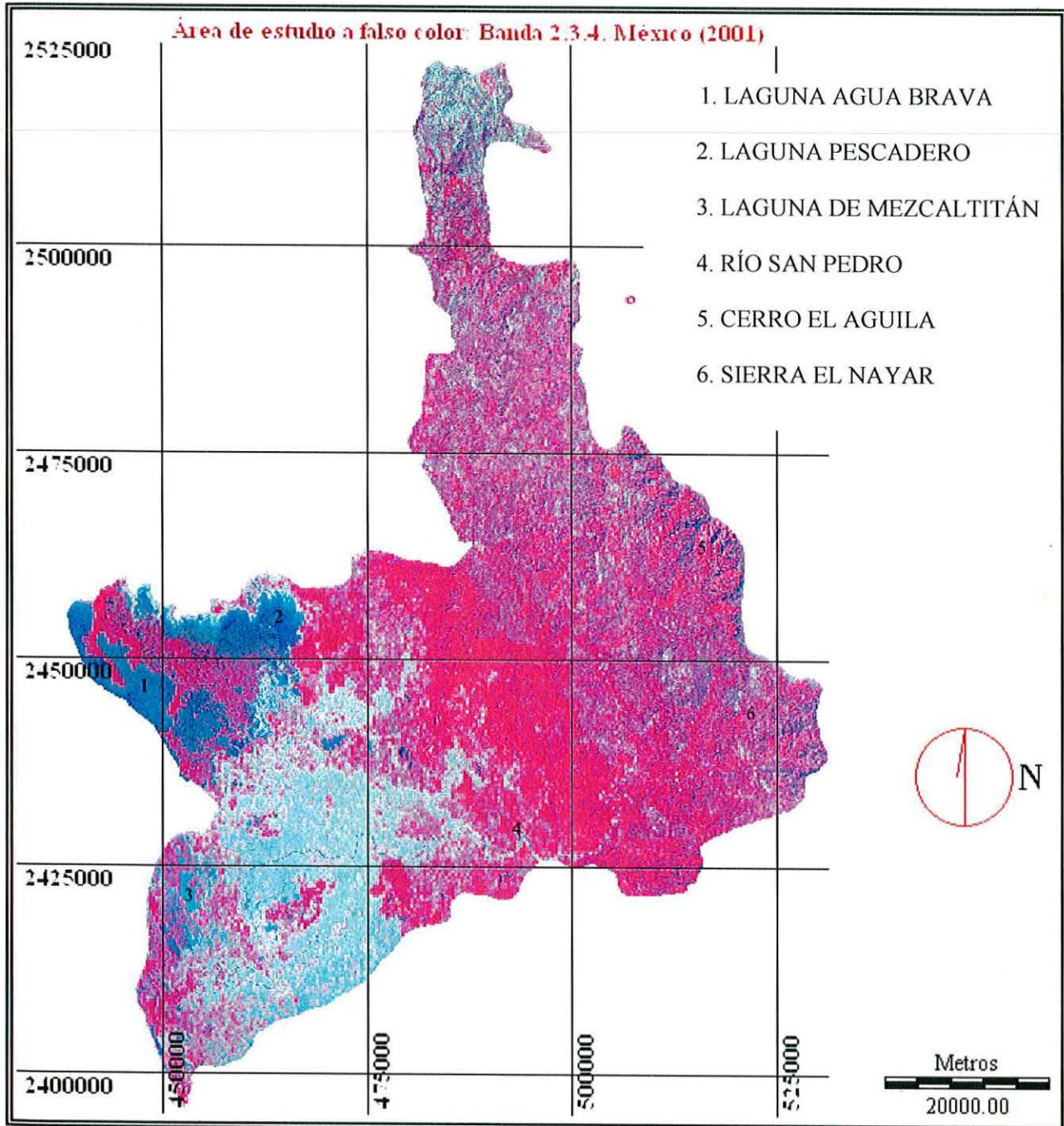


Figura 3. Área de estudio y Principales puntos de muestreo.





El sistema lagunar presenta una vital importancia al ser uno de los dos sitios más importantes de la Red Hemisférica para las Aves playeras, soportando una carga de más de 100,000 aves, de igual manera para la época invernal de aves acuáticas migratorias, albergando 4.5% del total para nuestro país, se reconoce por lo menos que 60 especies amenazadas encuentran su hábitat en el área, incluyendo 51 especies endémicas de las cuales 36 son aves, otro punto importante que cita la literatura es el de poseer el 18 a 20 % de la extensión de manglar de todo el país (Carrera y De la Fuente, 2003; Agraz *et al.*, 2001), siendo el bosque de mangle más extenso y una zona de gran importancia para la distribución de este tipo de vegetación en el Pacífico Mexicano, se reporta con una extensión de aproximadamente 84,000 hectáreas compartidas entre Sinaloa y Nayarit (De la Lanza *et al.*, 1996; Galindo, 2000; Flores-Verdugo, 1989) se encuentra conformado por tres especies de mangle: *Avicennia germinans* (mangle negro o pulleque), *Langucularia racemosa* (mangle blanco), *Rhizophora mangle* (mangle rojo o candelon) y el componente asociado *Conocarpus erectus* (botoncillo o motocahue) a la vez esta vegetación se encuentra circundada y asociada con grandes extensiones de comunidades de vegetación halófila, pastizales y manchones de vegetación secundaria de selva baja caducifolia destacando y extendiéndose por toda la llanura costera, principalmente poblaciones de palmares y huizachales (*Acacia farneciana*). Además del manglar, la vegetación predominante presente en el área, se reconoce según la denominación de Rzedowski (1986), el Bosque tropical caducifolio y subcaducifolio, (selva mediana subcaducifolia y selva baja caducifolia) con una distribución diversa, desde la zona de las llanuras costeras hasta los relieves escarpados de la zona de transición entre la subprovincia pie de la sierra y los límites de la provincia Sierra Madre Occidental, cabe mencionar que en las zonas de transición a la provincia de la Sierra madre occidental, el bosque presenta mayores componentes perennes de un 50 hasta

75% y de mayor altura, además en forma de relictos y de coberturas pequeñas se observa bosque de encino con alturas homogéneas de aproximadamente no mayores de 20 metros.

El espejo de agua de las lagunas y esteros del sistema se encuentran dentro de una depresión central y entre depósitos que forman llanuras aluviales deltaicas y donde las subcuencas presentes confluyen sus aguas fluviales a un solo sistema, de los principales son ríos San Pedro, Rosamorada y grande de Santiago, además de los otros ríos tributarios como Baluarte, cañas, Acaponeta y Bejuco, este sistema se comunica con las aguas del pacífico a través de la boca de Teacapán, y entre los años 1971-1972 por el canal artificial de Cuautla, el cual esta acelerando la erosión marina del sistema. Lankford (1971) clasifica este sistema de tipo III-C, plataforma de barrera interna y depresión de planicie, se le considera un sistema con características particulares de todo el territorio Mexicano. La planicie se origino por la acumulación de sedimentos de un sistema de deltas coalescentes que han avanzado hacia el oeste, formando un solo sistema deltaico complejo durante el pleistoceno tardío, dando origen a dunas de antiguas líneas costeras que aislaron numerosos cuerpos de agua, dichas líneas están formadas de sedimentos aluviales y depósitos lacustres (De la Lanza *et al.*, 1996).

## Material

### Material cartográfico:

Carta topográfica del Estado de Nayarit de limite municipal escala 1:500,000

Carta de hidrología superficial del Estado de Nayarit escala 1:400,000

Carta uso de suelo escala 1:250,000 F13-8

Síntesis de información geográfica del Estado de Nayarit y Anexo Cartográfico del 2000.

### Archivos Digitales

Vectoriales de INEGI para poblados del 2000

Imágenes de satélite

**Tabla 3.** Características de los sensores de imágenes utilizadas en el estudio

	1973		1990		2001			
Path/row (WRS)	31/44 31/45	30/44 30/45	31/44 31/45	30/44 30/45	31/44 X	31/45	30/44	30/45
Plataforma	Landsat I		Landsat V		Landsat VII			
Sensor y sup. de barrido	MSS		TM		ETM + 185 Km			
No de bandas	4 bandas	5 bandas	7 bandas	5 bandas	1,2,3,4,5,7		Panorámica	
Resolución espacial (m)	60 metros	60 metros	60 metros	60 metros	30 metros		15 metros	
Fecha de registro					May/2000	Dic/2000	Oct/2001	Dic/2001

North American Landscape Characterization (NALC) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA)

de los E.U.N.A

### **Software y Hardware:**

AUTOCAD 2004

IDRISI32

MULTISPECW32

IRIS DE INEGI Vr. 2004

ADOBE PHOTOSHOP 7.0

GPS Utility 410

8453A UV-Vis System. Agilent Technologies 95-02

Tableta digitalizadora marca CalComp DrawingBoard III.

### **Material de Campo**

GPS marca Magellan modelo SporTrak con resolución +/- 4.

Reflectometro

Potenciómetro

Disco de secchi

Bomba de vacío y caja de filtrado

Distanciómetro

Material para preservación: Frascos de 1 Lt y ½ Lt, bolsas de sellado, filtros para clorofila, papel aluminio, hieleras y hielo.

Bitácora de muestreo de agua

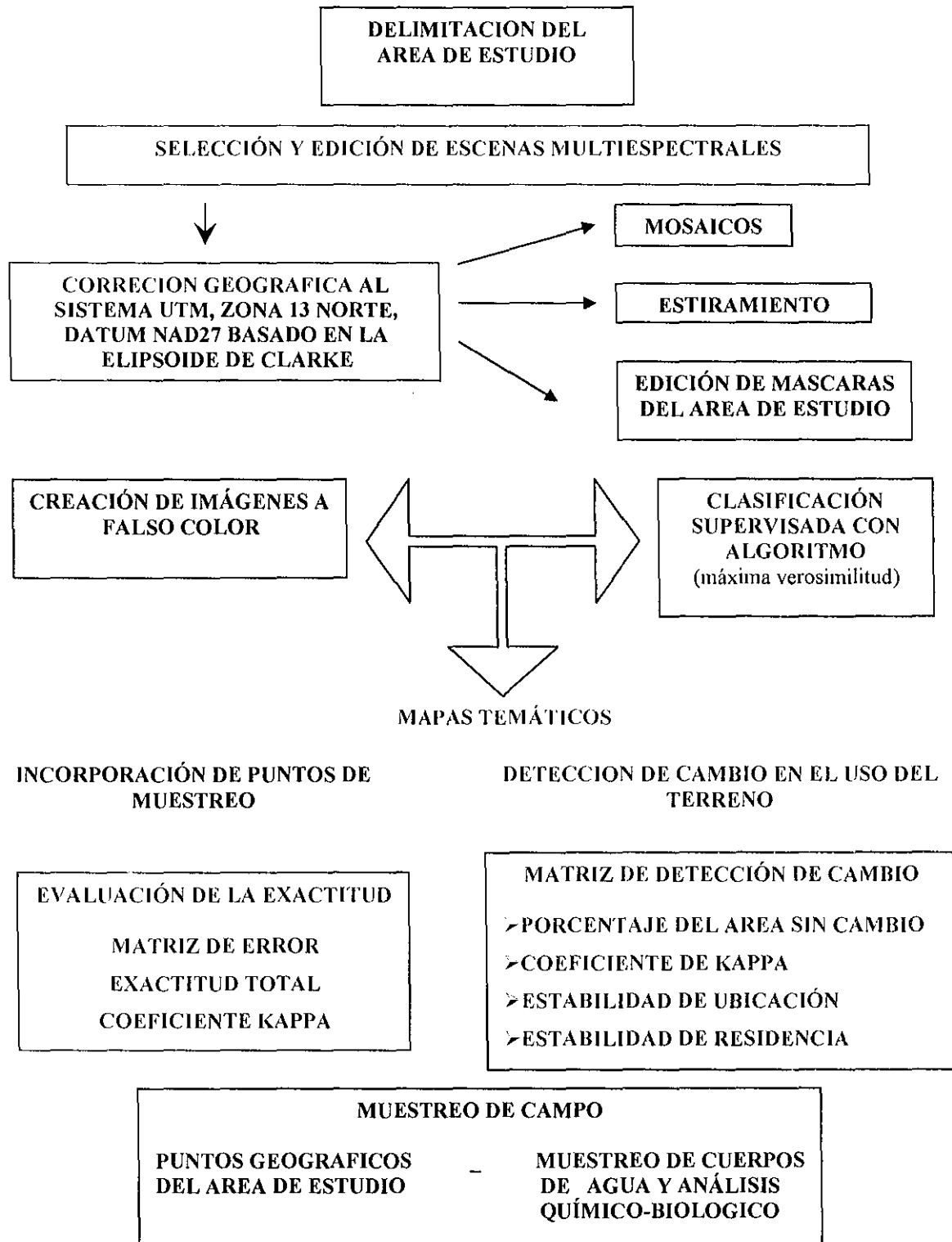


**Bitácora para muestreo**

ESTACION	HORA	X	Y	T C	OD	TRANSP	VOL. FILTRADO	SAL	OBSERVACIONES
FECHA 27 ENERO 05									
1	14:13	455261	2454048	30.2	8.54	15	200 ml	18	PARTE TERMINAL DE LA LAGUNA EL CHUMBEÑO
2	14.27	456566	2453917	26.6	8.23	20	100	15	LAGUNA DEL CHUMBEÑO
3	14:50	457730	2454360	26.18	8.17	20	100	16	LAGUNA DEL CHUMBEÑO
4	15:17	459123	2454915	28	8.76	15	100	13	CANAL ENTRE CHUMBEÑO Y PESCADERO
5	15:53	463246	2454181	27.8	8.47	10	100	13	PARTE TERMINAL DEL CANAL EN AREA DE DRAGAS
6	16:00	464634	2453754	26.9	7.49	20	100	6	LAGUNA EL PESCADERO

(Ver anexos 1).

## Esquema de Metodología



## **6. CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACION DEL PAISAJE POR ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES DE SATELITE**

### **Delimitación del área de estudio**

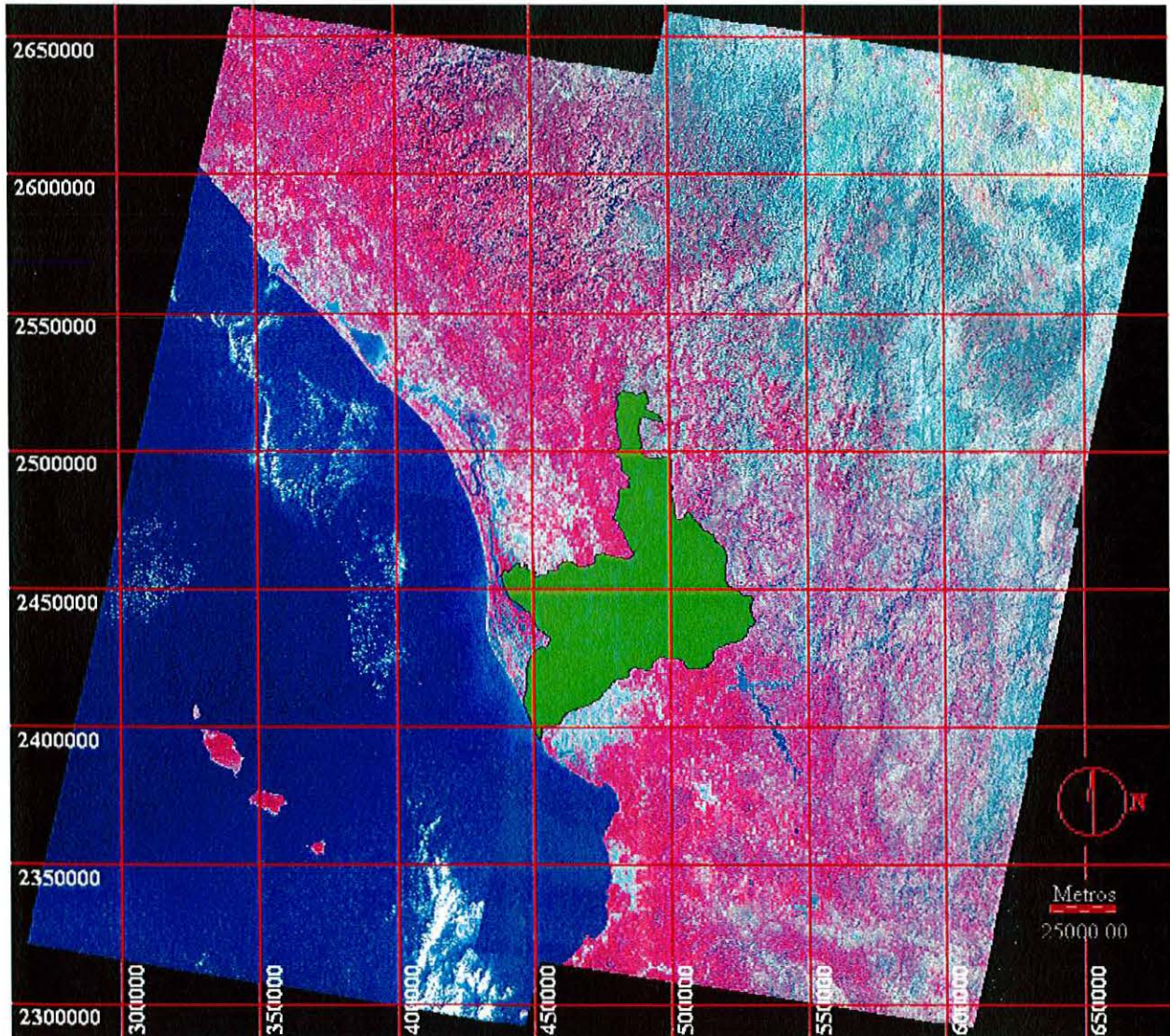
En primer instancia se llevo acabo la delimitación del área de estudio mediante la digitalización de un archivo vector con base a la carta topográfica del Estado de Nayarit escala 1:500,000 (SPP, 1981)-para los límites municipales y la carta de hidrología superficial del Estado de Nayarit escala 1:400,000 (INEGI, 2000) para el polígono de la subcuenca hidrológica, posteriormente fueron importados al programa IDRISI 32 para ser transformado en formato raster, el cual se sobrepuso en el mosaico resultante del área de estudio generando una mascara multiespectral.

### **Selección y Edición de escenas multiespectrales**

Para el presente estudio se seleccionaron las imágenes de satélite correspondientes a los años 1973, 1990, 2001, pese a la diferencia de fechas de capturas se seleccionaron aquellas más acordes a una sola estación, en este caso correspondiente a la temporada calida. Las imágenes fueron georreferenciadas a la zona 13 norte del sistema UTM utilizando el Datum US27TM13 basado en la elipsoide de Clarke 1866. Mediante el comando MOSAIC de IDRISI32 se edito una escena multiespectral con una resolución de 30m, donde posteriormente se elimino la imagen correspondiente al path/row: 31/44 ya que los límites del área no tienen alcancé en ella, este comando, además de sobreponer las imágenes con una orientación espacial, también balancea los valores numéricos de brillantez en cada banda espectral (Estman, 1995).

Posteriormente se realizó el proceso de estiramiento (stretch), el cual consiste en un mejoramiento visual con el propósito de mejorar la calidad de las imágenes e identificar las áreas con propiedades espectrales de interés y consiste en mejorar el contraste en cada una de las bandas, redistribuyendo los valores de reflectancia del intervalo en que se encuentran originalmente, al intervalo de 0 a 255 (Eastman, 1995). Una vez mejorado la calidad visual se sobrepuso el polígono del área de estudio, generando la escena multispectral definitiva de esta, denominada máscara (mask) (Figura 4).

**Figura 4.** Mosaico de la escena multispectral con bandas 2, 3,4.



## Proceso de clasificación del paisaje

Una vez que se obtuvieron las mascararas con su respectiva banda espectral se llevo acabo una clasificación supervisada, proceso que consiste en usar muestras de identidad conocida (píxeles anteriormente asignados a clases informacionales) para clasificar píxeles de identidad desconocida a una de varias clases informacionales, mediante el algoritmo de Máxima verosimilitud (Maximum Likelihood), incluido en el programa Multispec (Landgrebe & Biehl, 1995), el cual se basa en la probabilidad de que un píxel pertenezca a una clase determinada, usa los datos de entrenamiento como herramienta para estimar la media y varianza de brillantez de la firma espectral de clases o estructuras presentes que conforman el terreno, bajo el supuesto de que la respuesta espectral, tanto de los datos de entrenamiento como de las clases, presentan distribuciones multivariadas normales (Campbells, 1996).

A partir de la clasificación supervisada de la escena (Campbell, 1996) se produjo un mapa temático de cobertura y usos del terreno para cada año con las clases o entidades siguientes: lagunas y esteros, marismas, manglar, selvas, vegetación secundaria, actividad agropecuaria y pastizales, a estos mapas posteriormente para evaluar el desarrollo de la camaronicultura y asentamientos humanos en la región, se adicionaron dos clases mas poblados y granjas camaronicolas, con lo que respecta a la clase de poblados se utilizaron los vectoriales de INEGI 2000 donde mediante el apoyo del programa iris de INEGI 2004, carta topográfica y antecedentes históricos de municipios, se definieron los correspondientes para cada año, en el caso de granjas camaronicolas mediante el programa IDRISI32 se definieron los polígonos sobre la imagen pancromática (banda 8) respectivamente para cada año y fueron transformados a formato raster con las mismas dimensiones espaciales de los mapas temáticos y se traslparon al mapa temático

correspondiente, resultantes de la clasificación supervisada y posteriormente se sometieron a un proceso de **filtrado** de 7 x 7 píxeles y la moda como medida de estandarización.

Los campos de entrenamiento para la clasificación se digitalizaron sobre (composite) compuestos en falso color, proceso que consiste en combinar tres bandas con filtros azul, verde y rojo (Eastman, 1999), las cuales tienen como objetivo proporcionar apoyo que facilite la fotointerpretación y selección de los **campos de entrenamiento**, se utilizó la combinación 3.5.4 para identificar las coberturas de vegetación natural y 4.3.2 en coberturas de cultivo y vegetación perturbada, en el caso de asentamientos humanos e infraestructura como granjas camaronícolas y cultivos se utilizó la banda pancromática (b8), además se tuvo el auxilio de la carta de uso de suelo, topográfica e hidrológica, escala 1: 250,000 F-13-8 (INEGI, 1992), así como de datos recabados en recorridos de campo con un sistema de posicionamiento global (SPG). Para llevar a cabo el proceso de clasificación y toma de datos de referencia en campo es importante definir los componentes que integran cada clase que se pretende desarrollar (Figura 5), por lo cual estas se describen de la siguiente forma:

**Lagunas y Esteros.** Se agrupan las superficies acuáticas y espejos de agua, ya sean sistemas estuarinos, lagunas costeras, canales y cauces de ríos, incluidos en el área de estudio excluyendo al océano Pacífico y aquellos cuerpos de agua que no conforman y comparten los ciclos de marea.

**Marismas.** Terrenos bajos que se presentan secos o pantanosos, integrados por suelos altamente salados y dependiendo de los niveles de salinidad pueden presentar vegetación adaptada a estos suelos salinos. Caracterizada por la presencia de vegetación halófila, se tomaron en cuenta aquellas marismas en su etapa seca o donde la humedad o un espejo de agua no es



notable sobre el terreno y en el caso de poblaciones densas con estructuras arbustivas y arbóreas como huizache (*Acacia farnesiana*, *Acacia sp.*, *Prosopis sp.*) se consideraron dentro de la clase de vegetación secundaria. La mayoría de las zonas de marismas son utilizadas con fines de pastoreo por lo que los pastos encontrados son en su mayor sentido inducidos para este fin. Algunas especies presentes son *Sesubium portulacastrum*, *Suaeda brevifolia*, *Salicornia sp.*, *Suaeda sp.*, *Bromelia pinguin*, *Distichlis sp.*, y *Typha sp.*

**Manglar.** Áreas dominadas por especies de mangle, se define como la comunidad vegetal constituida por mangles y otras especies asociadas, localizadas en costas protegidas por el oleaje, que comúnmente se encuentran sujetas a inundación o hidroperiodo, causadas por mareas y/o corrientes superficiales. Esta conformado por las especies *Avicennia germinans* (mangle negro o pulleque) en mayor porcentaje, *Langularia racemosa* (mangle blanco) y *Rhizophora mangle* (mangle rojo o candelon) esta ultima teniendo mayor presencia en las zonas con condiciones de menor disturbio y zonas mejor protegidas y limitadas por vegetación de selvas que presentan una menor perturbación, como es el caso de los canales terminales del río San pedro en la planicie costera, ademas componentes asociados *Conocarpus erectus* (botoncillo o motocahue) presentándose como una línea perimetral con poblaciones estandares prácticamente en todas las zonas de manglar, *Monanthochloe litoralis* y *Batis marítima* (vidrillo).

**Área Forestal.** Integrada por tipos de vegetación pertenecientes al tipo de hábitat de bosques tropicales y subtropicales o selvas secas y subhúmedas, donde el factor clima es el que más directamente define la composición, fisonomía y estructura de la vegetación, de manera que en forma gradual y dependiendo de la altitud, relieve y precipitación pluvial, encontramos representado en primer lugar, la selva mediana subcaducifolia, baja caducifolia y asociaciones de

bosque espinoso, se incluyen manchones de bosques de encino con alturas del estrato superior de 8 a 12 metros, acentuados en sitios con temperaturas frescas y condiciones especiales del relieve como cañadas protegidas ubicadas en zonas de transición en la subprovincia pie de la sierra manteniendo mayor afinidad genética y morfológica hacia la sierra madre occidental presentando en estratos inferiores estructuras botánicas características de esta, a la vez selvas con mayor diversidad de especies en sus diferentes estratos, por otro lado en forma general las selvas se encuentran con elementos entremezclados de SBE. La SBC se presenta en rangos altitudinales que en manera general van de 500 a 1500msnm caracterizado por tres estratos con dominancia por especies arbóreas no espinosas y tallas modestas entre 4 y 6m pero con desarrollo hasta 8m en sitios de mayor humedad ambiental, en las zonas de mayor disturbio las formas herbáceas y rastreras abundan en los estratos inferiores. Hacia la zona norte en el estratos superior destaca *Lysiloma divaricata* (tepemezquite), *Acacia sp*, *Bursera fagaroides*, *Cochlospermum vitifolium* (rosa amarilla), *Byrsonima crassifolia* (nanche), *Tabebuia roseau*, *Bursera copallifera*, en el estrato inferior se presenta dominada por *Bromelia sp* y *Aristida sp* entre otras, además de especies de condiciones secundarias como *Croton morifolius*, *Opuntia sp*, *Stenocereus sp* y *Acacia sp*. La SMSC se presenta en forma de manchones discontinuos integrada por elementos con mayor porte y exuberantes además de presentar elementos perenifolios, estos mejor desarrollados en las zonas de cañadas, esta vegetación se mantiene como limite entre la planicie costera y la zona montañosa de la Sierra Madre Occidental, se representa mejor en la zona norte del área, sobre lo largo del río San Pedro y zona noroeste del municipio de Rosamorada. Las especies representadas se mantiene por la dominancia de asociación de *Bursera sp*. y *Brosimum alicastrum* (capomo) presente en los estratos superiores de aproximado 18 a 22 m, entre otras como: *Castilla elastica* (hule), *Swietenia sp.*(caoba), *Tabebuia sp.* (primavera), *Acrocomia mexicana* (palma de coyul), *Orbignya guacuyule* (palma de coquito de aceite), *Ficus sp.*,



*Enterolobium cyclocarpum* (guanacastle o parota), para el estrato medio *Guazuma ulmifolia* (guácima), *Lysiloma divaricata* (tepemezquite), *Persea* sp. (aguacate), hacia la zona norte donde hay aumento de humedad *Pseudobombax* sp. (ceiba), *Erythroxylon mexicanum* (palo chino) y *Conostegia xalapensis*, el estrato inferior se caracteriza por el aumento de arbustos leñosos y herbáceos, entre ellos *Pterolepsis* sp., y *Byrsonima crassifolia* (nanche) y *Sida* sp. (malva).

**Vegetación secundaria.** En esta clase se incluye aquella vegetación en sucesión y resultante de un proceso de perturbación por actividad humana, sea agrícola, agropecuaria, forestal o infraestructura viéndose favorecida para su desarrollo. Básicamente esta vegetación se distribuye en forma de parches circundantes de la SBC y SMSC entremezclando sus elementos en estas, su densidad y continuidad esta regida por el tipo y etapa de disturbio de la vegetación nativa, la dominancia esta caracterizada por elementos arbóreos y arbustivos entre estos, *Sabal mexicana*, *Acacia pennatula*, *Acacia* sp., *Orbignya cohune* (coquito de aceite), *Crescentia alata*, *Opuntia* sp. y *Stenocereus* sp., *Bauhinia unguolata* y *Ruellia albicaulis* (pata de cabra), así como presencia de pastos en los terrenos de mayor erosión.

**Agricultura y ganadería.** Terrenos utilizados para el cultivo de diferentes variedades vegetales con o sin cultivo en pie, zonas de pastoreo y pastizales, excluyendo los pastos de marismas. Cabe señalar que en su mayoría los pastos de marismas, son aprovechados de forma general, por lo que es importante considerar las marismas como zonas de ocupación agropecuaria, aunque para este caso se haya separado en entidades diferentes (Tabla 4).

**Poblados.** Solo se incluyen los principales asentamientos humanos, o vectoriales considerados para la escala.

**Granjas Camaronicolas.** Estanquerías para producción de camarón.

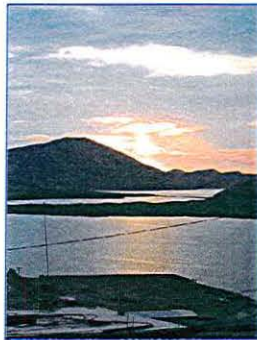
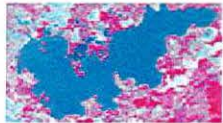
**Tabla 4.** Principales especies explotadas por tipo de ocupación de suelo.

Ocupación de suelo	Nombre científico	Nombre Común	Utilidad
Agricultura	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Sorghum vulgaree</i> <i>Saccharum officinarum</i> <i>Zea mays</i> <i>Musa paradisiaca, Musa sp.</i> <i>Mangifera sp.</i> <i>Nicotiana tabacum</i>	Frijol Sorgo Caña de Azucar Maíz Platano Mango Tabaco	Comestible Forraje Industrial Comestible Comercial Comestible Comestible Comercial
Marismas	<i>Muhlenbergia dubia</i> <i>Distichlis spicata</i> <i>Bouteloua gracilis</i> <i>Aristida adscensionis</i> <i>Orbignya guacuyule</i> <i>Salicornia sp.</i> <i>Acacia sp.</i>	Zacatón Zacate salado Navajita Zacate Coquito de aceite  Huizache	Forraje Forraje Forraje Forraje Comestible otros, Forraje
Área forestal	<i>Bursera sp.</i> <i>Sabal Mexicana</i> <i>Eurya sp</i> <i>Orbignya guacuyule</i> <i>Fraxinus purpusii</i> <i>Quercus magnoliifolia</i> <i>Acacia cymbispina</i> <i>Bauhinia ugulata</i> <i>Bursera fagaroides</i> <i>Bursera microphylla</i>	Nogal Palma redonda Tila Coquito de aceite Fresno Encino nopis Cucharo Pata de cabra Papelillo amarillo Copal	Madera Construcción otros Comestible, Madera, otros Madera y otros Madera Forraje Madera Madera Madera
Manglar	<i>Ryzophora mangle</i> <i>Avicennia germinans</i> <i>Batis maritima</i> <i>Mimosa penicilata</i>	Candelon Mangle negro Vidrillo Uña de gato	Madera, comercial Madera Forraje otros

Fuente. Información directa

**Figura 5.** Rasgos fisiográficos sobresalientes de la escena multispectral utilizada en la clasificación supervisada del área de estudio.

Lagunas y Esteros.



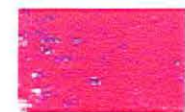
Marismas



Manglar muerto y en pie.

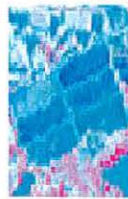
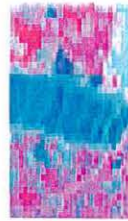


Área Forestal

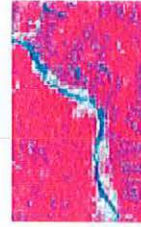
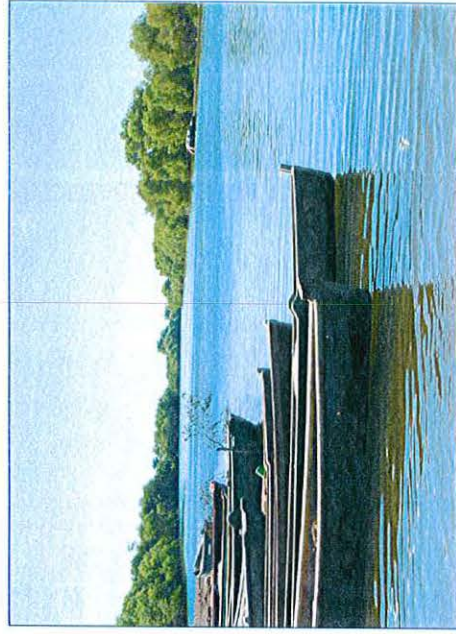
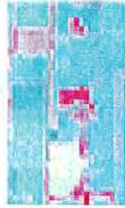




Vegetación secundaria



Agricultura



### Consideraciones teóricas de las clases o entidades del área de estudio

Uno de los principales problemas a considerar para evaluar las modificaciones o cambios en el área determinada fue la elección de las entidades de estudio y esto dependió de los criterios manejados para definir las entidades a evaluar, denominadas clases. Para el presente estudio se eligieron 9 clases bajo un enfoque de cambio y uso del terreno, estas fueron: Lagunas y esteros, Marismas, Manglar, Bosques, Vegetación secundaria, Actividad agropecuaria, Poblados, Granjas camaronícolas y una clase que no es parte de la conformación estructural del paisaje denominada píxeles sin clasificar, los cuales muestran aquellas áreas donde la firma espectral no concuerda con un patrón conocido de alguna otra clase en la etapa de posclasificación, siendo resultado de las diferencias de resolución de imágenes o por motivos físicos durante la captura de la imagen.

### Evaluación de la exactitud y Matriz de detección de cambio en el uso del terreno

La exactitud de la clasificación de la escena, se validó a través de una matriz de error, de la cual se estimó el error de comisión y omisión, exactitud total, y el coeficiente de Kappa. La matriz se presenta como un arreglo que expresa el número de unidades de muestra asignados a una clase particular en una clasificación, con relación al número de unidades de muestra asignadas a la misma clase pero en otra clasificación (**datos de referencia o prueba**), estas unidades o datos de referencia se adquirieron mediante recorridos de campo asistido por un sistema de posicionamiento global (GPS) los cuales se almacenan y mediante un proceso de edición y adición se genera la matriz de error.

Dentro del arreglo, la exactitud individual de cada clase se describe por los errores de comisión y de omisión de la clasificación. El error de comisión sucede cuando un área se incluye dentro de una clase a la que no pertenece, en tanto que el error de omisión se presenta cuando se

excluye un área de una clase cuando en realidad pertenece a ella y así con estos valores se determina la exactitud del productor y usuario, que son una forma de representar las exactitudes individuales de cada clase dentro de la clasificación. La exactitud total del área clasificada es estimada dividiendo la suma de los valores de la diagonal mayor de la matriz de error que representan las unidades de muestreo correctamente clasificadas (datos de referencia), entre el número total de unidades muestreadas (Congalton y Green, 1999).

El análisis de Kappa es una técnica discreta multivariada que determina estadísticamente si una matriz de error es significativamente diferente de otra. El coeficiente de Kappa (K) es una medida de la agregación o exactitud basada en las diferencias entre los datos de la clasificación y de referencia, y la exactitud de una clasificación debida al azar (Congalton y Green, 1999; Richard y Jia, 1999) se describe de la siguiente forma:

$P$  es el número total de unidades de muestreo (puntos o campos de prueba y referencia) de la matriz de error y donde:

$x_{ii}$  es el valor de la clase  $i$  en el renglón  $i$  y representan unidades de muestreo correctamente clasificadas.

$x_{jj}$  es el valor de la clase  $j$  en la columna  $j$  y representa unidades de muestreo correctamente clasificadas.

$x_{i+} = \sum x_{ij}$  (sumatoria de todos los valores de las columnas en el renglón  $i$ ), y

$x_{+j} = \sum x_{ij}$  (sumatoria de todos los valores de los renglones en la columna  $j$ ),

entonces:

exactitud del productor =  $x_{ij} / x_{+j}$

exactitud del usuario =  $x_{ii} / x_{i+}$

exactitud total =  $\sum_j x_{ii} / P$

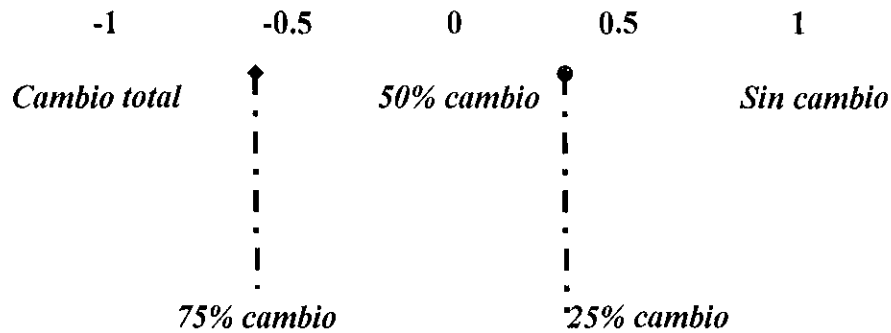
y el estimador del coeficiente de Kappa es definido por:

$$K' = \frac{P \sum_j x_{ii} - \sum_j x_{i+} x_{+j}}{P^2 - \sum_j x_{i+} x_{+j}}$$

K' toma valores en el intervalo de cero a uno, cuando es significativamente diferente de cero el proceso de clasificación es mejor que el de una clasificación debida al azar (Mas, 1999). Suponiendo una distribución normal para K, el valor que tome su estimador puede ser interpretado con una prueba de hipótesis con un estadístico Z, donde H<sub>0</sub>: K = 0 y H<sub>1</sub>: K ≥ 0 (Congalton y Green, 1999). En este sentido una vez que se verifico una exactitud total del mapa mayor de 85% para los dos últimos años y un coeficiente de Kappa de 0.89 0.85 respectivamente, correspondientes a una clasificación de concordancia alta entre los datos de referencia y de la clasificación (Landis y Koch, 1977) se procedió a generar el análisis de detección de cambio.

La detección de cambio en la cobertura y uso del terreno se detectaron por medio de un análisis multitemporal postclasificadorio (Mas, 1999; Ramsey III *et al.*, 2000; Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2002), el cual consiste en traslapar los mapas temáticos para generar una matriz de detección de cambio, esta permite comparar los mapas permitiendo calcular la conjunción lógica de todas las combinaciones posibles de las clases representadas en dos mapas. Mediante un arreglo similar a la matriz de error, pero comparando mapas de diferentes fechas, en esta la diagonal superior de la matriz representa píxeles de la misma clase en ambas fechas, es decir píxeles sin cambio (Eastman *et al.* 1995, Jensen *et al.*, 1998). En esta matriz lo equivalente a la exactitud total nos muestra el porcentaje del área sin cambio y un estimador del coeficiente de Kappa, pero en este caso toma valores en el intervalo de -1.0 a 1.0. Valores cercanos a -1.0

implican un cambio total, valores cercanos a cero denotan cambios próximos al 50% y valores cercanos a 1.0 indican que no hubo cambio (Eastman *et al.* 1995) lo podemos representar de la siguiente manera:



Para cada clase, con los datos de la matriz de detección de cambio, se estimaron las estabildades de localización y residencia definidas por Ramsey III *et al.* (2001) como:

$$\text{Est. Localización} = \frac{\text{cobertura en el año base} - \text{pérdida de cobertura en el año base}}{\text{cobertura en el año base}} \times 100$$

$$\text{Est. Residencia} = \frac{\text{cobertura en el año final} - \text{cobertura en el base año}}{\text{cobertura en el año base}} \times 100$$

La estabilidad de localización mide la proporción de cambio y perdida de una clase con respecto a su cobertura inicial, cae en el intervalo de cero a 100, el límite inferior denota que la clase si presentó pérdida (máximo limite = perdida total) en tanto que el límite superior implicaría la no pérdida de esa clase dentro del paisaje. Por su parte, la estabilidad de residencia es una medida de la razón de cambio de las clases, mostrando un balance de perdida y ganancia que puede tomar valores negativos cuando la cobertura de una clase es menor en el año final que en el año base, toma valores positivos cuando la clase aumenta con respecto al año inicial y toma



valores de cero cuando la clase no presenta cambios (Ramsey III *et al.* 2001) es importante mencionar que a partir de esta matriz se puede estimar las probabilidades de transición de los cambios en el terreno.

### **Muestreo de cuerpos de agua y análisis químico -biológico**

Para el estudio y con el fin de obtener datos adicionales y analizar las características que presenta la calidad del agua, se definieron estaciones de muestreo a lo largo del río San Pedro y en las lagunas Pescaderos, Agua Brava, y Grande de Mezcaltitan, siendo estas las zonas prioritarias en la planicie costera donde confluyen las subcuencas integradas en la zona además de la subcuenca en estudio, así mismo, sus corrientes de origen pluvial y fluvial tienen término en estos cuerpos lagunares, se tomaron mediciones con referencia espacial de la temperatura superficial del agua, pH, salinidad, oxígeno disuelto y DBO, asimismo se tomaron muestras de agua para la posterior determinación en laboratorio de nitrógeno (NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>), fósforo elemental, amonio, clorofila a, materia orgánica, coliformes totales y coliformes fecales.

Las determinaciones de nitritos, nitratos, amonio, ortofosfatos, clorofila “a”, materia orgánica, y Nitrógeno total se requirió de aproximadamente 1000 mL de muestra por cuerpo de agua muestreado, se transportaron en frascos de plástico de litro, galones de 5 litros y bolsas estériles ziploc para el transporte de agua para el análisis de coliformes y materia orgánica, se transportaron hasta el laboratorio para su posterior análisis bajo los métodos de Parsons *et al.*, 1984 descritos en *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis* (manual de los métodos químicos y biológicos para el análisis de agua de mar) técnicas corroborados en las Normas Oficiales Mexicanas. Para coliformes totales y coliformes fecales se utilizó el método descrito por la Norma Mexicana del Sector NMX-AA-042 Aguas – Determinación del número

más probable de coliformes totales y fecales- Métodos de tubos múltiples de fermentación, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 1981.

Los resultados fueron corroborados con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 y sus referencias de las Normas Mexicanas (NMX-Agua), que indican los procedimientos correspondientes de las muestras, y Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, “Salud Ambiental, Agua para uso y consumo Humano-Limites permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización” publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 18 de enero de 1996. Los puntos de muestreo de cada estación fueron almacenados en el GPS con la finalidad de ser utilizados como puntos de referencia en la matriz de error para la entidad 1) lagunas y esteros.

## **7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Evaluación de la exactitud y De la clasificación (matriz de error)**

Para los años 1990 y 2001 los mapas temáticos del área de estudio de coberturas y usos del terreno resultantes de la clasificación supervisada mostraron una exactitud total del 90% y 87% respectivamente y con un coeficiente de Kappa de 0.89 y 0.85 significativamente diferente de cero, correspondiendo a un proceso de clasificación robusta, los dos con exactitud mayor al de un proceso al azar (Mas, 1997). En lo que respecta al año 1973 su clasificación resulta altamente manipulada por los datos de referencia de la carta de uso del suelo para ese año por lo que su exactitud se le considera del 100%. La clase de poblados y Granjas se muestra con una exactitud del 100% en la de productor y usuario, esto dado a que los polígonos de estas clases fueron digitalizados de datos auxiliares (vectoriales, cartografía e imágenes pancromáticas) y transformados en formato raster, posteriormente al proceso de clasificación fueron integrados al mapa temático sin errores de comisión u omisión, permitiendo mejorar la exactitud de los mapas producidos, los mapas temáticos de coberturas del terreno generados por clasificación supervisada se muestran en las figuras siguientes (Figura 6, 7 y 8).

Figura 6. Mapa temático de las coberturas y ocupación de suelo en el área de estudio, año 1973.

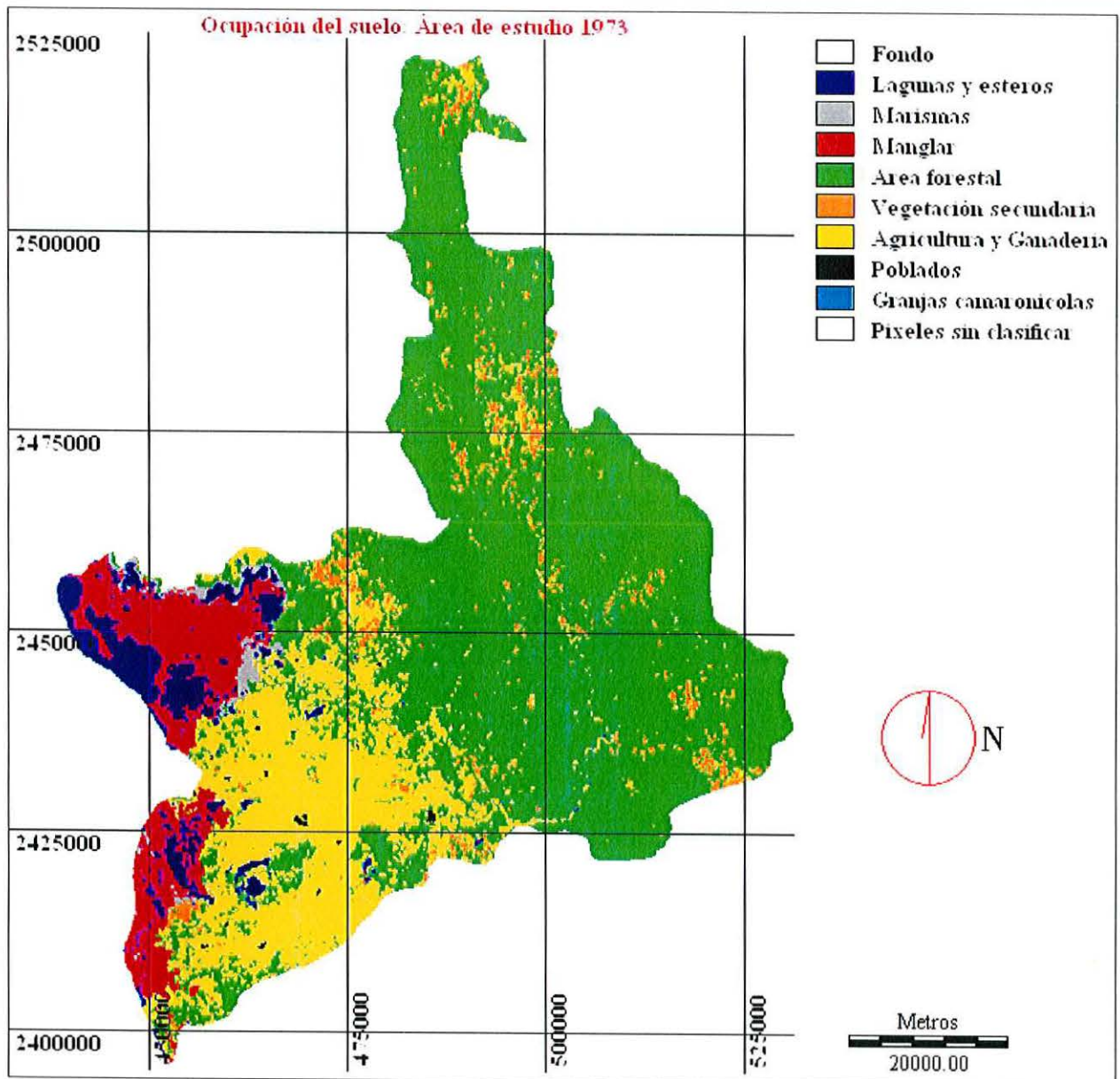
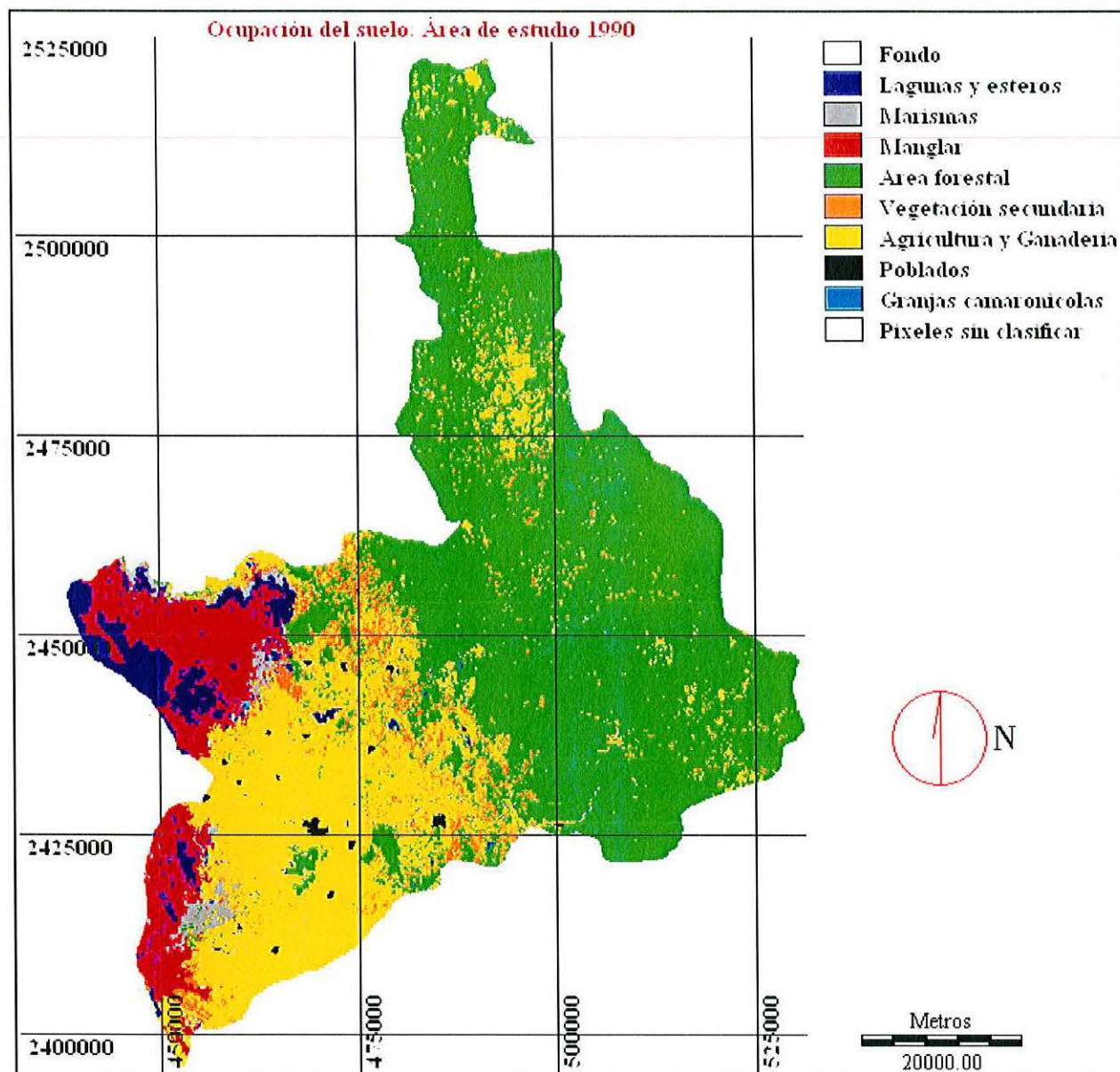
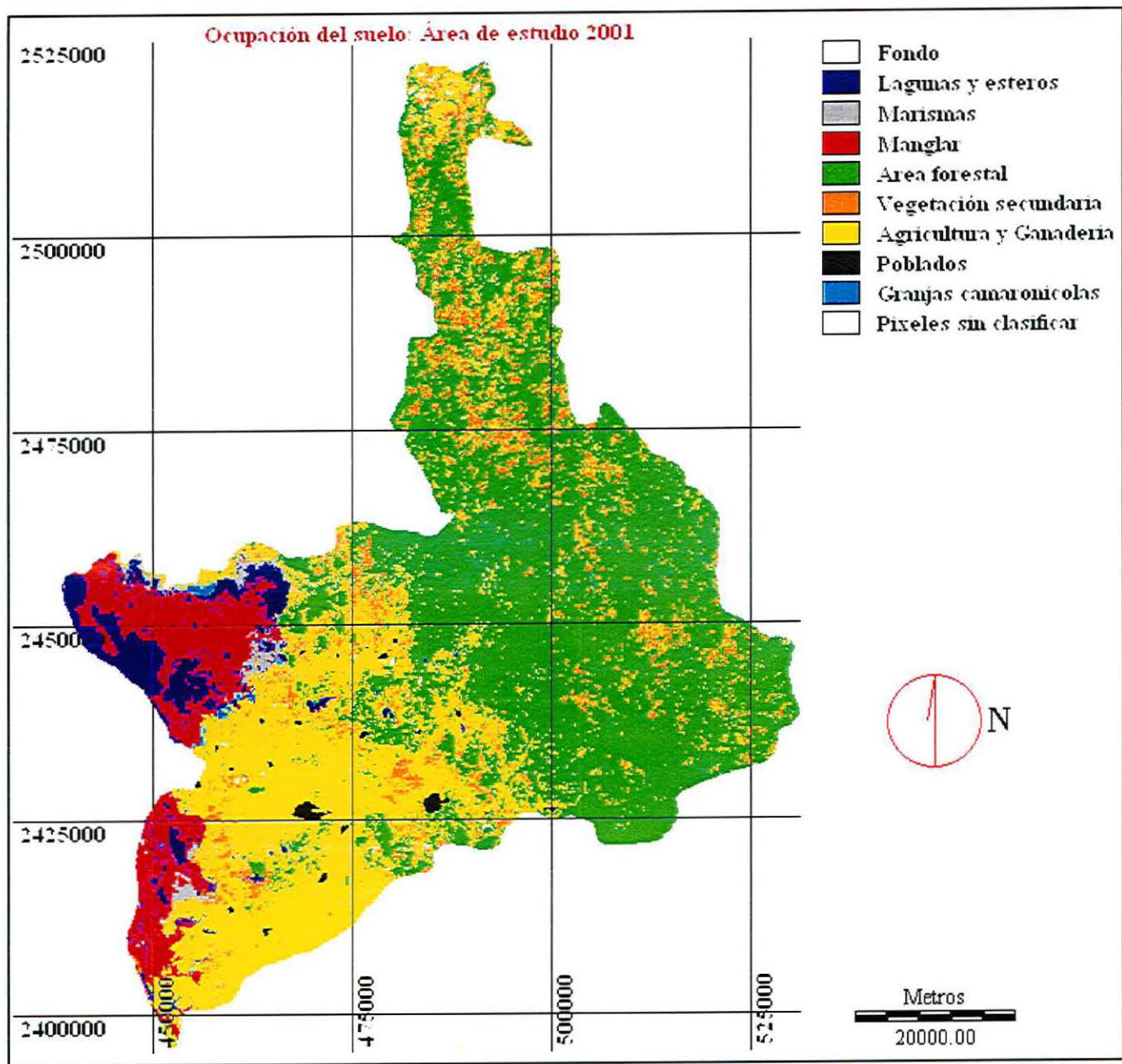


Figura 7. Mapa temático de las coberturas y ocupación de suelo en el área de estudio, año 1990.







**Figura 8.** Mapa temático de las coberturas y ocupación de suelo en el área de estudio, año 2001.

Para la clase de lagunas y esteros la exactitud del productor presentaron el 100% para los dos años, dado que las superficies acuáticas presentan una respuesta espectral lo suficientemente diferente de las superficies terrestres, principalmente en las longitudes de onda del infrarrojo (Sabins, 1996) pero a pesar de estas características, aunque no muy significativos se presentaron errores de comisión confundiendo en mayor parte con la clase manglares, puesto que son coberturas del terreno con altas interacciones con sus fronteras, asociadas a las variaciones de los ciclos de marea y escurrimientos de agua dulce. Donde una extensión de un estero o laguna se presenta como zona inundada, en otro momento se presenta como una marisma o en ocasiones como una zona de pastizales inducidos como es el caso de pastos forrajeros y provocando una confusión con vegetación secundaria.

Estos errores podrían estar asociados a la diferencia en las posiciones geográficas entre los mapas y equipo GPS utilizado, pero en mejor sentido a esto errores de comisión presentados en las respectivas clases se consideran como la representación de variaciones entre los límites de las coberturas, tanto en el momento de captura de las imágenes de satélite como en la toma de datos de campo para la validación de la clasificación y no como un error en el proceso de esta. A pesar de las confusiones entre firmas espectrales y sus errores arrojados en la matriz el proceso de clasificación generó mapas temáticos con una exactitud mayor al que se generaría en el proceso al azar, con un coeficiente de kappa según Landis y Koch, (1997) corresponde a un proceso de clasificación de concordancia (agregación) alta.

**Tabla 5.** Matriz de error de la clasificación supervisada para el año 1990 y 2001 respectivamente.

Matriz de error de la clasificación de 1990											
datos de referencia carta de usos de suelo y vegetación escala 1:250000 F13-05 y F13-08 (INEGI, 1990)											
Datos de referencia											
Clases		1	2	3	4	5	6	7	8	total	E. usuario
										2	
1 Manglares y Esteros		30	0	2	0	0	0	0	0	32	93.75
2 Marismas		0	26	1	0	0	0	0	0	26	96.15
3 Manglar		0	2	24	0	0	0	0	0	27	92.59
4 Área forestal		0	1	0	28	3	0	0	0	31	87.10
5 Secundaria		0	0	0	2	28	5	0	0	32	78.13
6 Agricultura y ganadería		0	2	2	1	2	24	0	0	32	78.13
7 Pabellón		0	0	0	0	0	0	30	0	30	100.00
8 Gramíneas y herbáceas		0	0	0	0	0	0	0	30	30	100.00
Total		30	30	30	30	30	30	30	30	240	
E. productor		100.00	83.33	83.33	90.00	83.33	83.33	100.00	100.00		
Diagonal		240									
Exactitud total		90									
Total <sup>2</sup>		57600									
K <sup>^</sup>		0.89									

Existe una alta agregación entre los datos de referencia y el mapa

Matriz de error de la clasificación de 2001											
datos de referencia carta de usos de suelo y vegetación escala 1:250000 F13-05 y F13-08 (INEGI, 1990) y datos adquiridos por GPS.											
Datos de referencia											
Clases		1	2	3	4	5	6	7	8	total	E. usuario
										2	
1 Manglares y Esteros		30	1	1	0	0	1	0	0	33	90.91
2 Marismas		0	25	0	0	0	0	0	0	25	100.00
3 Manglar		0	2	24	0	0	0	0	0	29	93.10
4 Área forestal		0	0	1	28	3	2	0	0	31	80.65
5 Secundaria		0	0	0	0	28	2	0	0	18	88.89
6 Agricultura y ganadería		0	2	1	5	11	2	0	0	44	56.82
7 Pabellón		0	0	0	0	0	0	30	0	30	100.00
8 Gramíneas y herbáceas		0	0	0	0	0	0	0	30	30	100.00
Total		30	30	30	30	30	30	30	30	240	
E. productor		100.00	83.33	90.00	83.33	53.33	83.33	100.00	100.00		
Diagonal		208									
Exactitud total		87									
Total <sup>2</sup>		57600									
K <sup>^</sup>		0.85									

Existe una alta agregación entre los datos de referencia y el mapa



### Índice de agregación de la matriz de error

	$K^{\wedge}$	Agregación
<b>Landis y Koch</b>	<b>&gt;0.8</b>	<b>Alta</b>
	<b>0.4 a 08</b>	<b>Moderada</b>
	<b>&lt;0.4</b>	<b>Baja</b>

Nota: Los datos de referencia integrados en la matriz de error se extrajeron de una lista de más de 700 puntos muestreados en campo con un sistema de posicionamiento global.

Para el año 2001 la vegetación secundaria fue clase con menor exactitud de productor y usuario pero con la característica de que el mayor error se presentó en omisión con 11 de 30 puntos significando así los errores de omisión entre agricultura y bosques. Este fenómeno resultante se puede explicar que debido a que la agricultura constituyó una clase heterogénea donde se incluyeron terrenos abandonados, donde su firma espectral genera confusión con suelos de marismas; terrenos de baja densidad de siembra, además de terrenos incluidos dentro de zonas poco inaccesibles donde la vegetación secundaria rodea los sembradíos característica de asentamientos humanos en las partes altas de la sierra donde se observó un desarrollo productivo pobre y desordenado provocando una confusión con la vegetación secundaria, y así como terrenos de altas densidades de producción en pie como: terrenos con árboles frutales de talla alta, provocando una confusión principalmente con bosques. En contraste al año 2001 el mapa de 1990 se muestra una clasificación más homogénea, debido a que existe una mejor correspondencia espacial entre datos de material cartográfico, GPS y las imágenes de satélite.

## Caracterización y análisis de detección de cambio

Los porcentajes y coberturas estimadas a nivel de clase y paisaje mediante el análisis de cambio se presentaron de la siguiente manera. El porcentaje de cambio a nivel de paisaje de los dos periodos de transición analizados (1973-1990, 1990-2001) fue de 19% concordando con el coeficiente de kappa de 0.66 y 24% con coeficiente de kappa de 0.63 respectivamente. La clase dominante tanto de 1973-1990 y 1990-2001 fue área forestal, para el primer periodo cubriendo el 63% y 57 % del área analizada para cada año respectivamente, en el primer periodo con una estabilidad de localización de 84.4% con un cambio de 15% de la cobertura que contaba en 1973, dado que es una cobertura natural de la estructura del paisaje podemos decir que mostró una tendencia aunque moderada pero negativa, disminuyendo el 6% en la representación en el área. Por otro lado las clases restantes a excepción de esteros y lagunas presentaron un cambio neto de su cobertura siendo las mas representativas, vegetación secundaria con 56%, marismas con 49% y en menor grado agricultura y ganadería con prácticamente el 20% en relación a la cobertura que se contaba en 1973 mostrando un balance de perdidas y ganancias positivo reflejado en la estabilidad de residencia.

Para este periodo no se detecto perdida para la clase manglar, por lo contrario mostró incremento neto moderado de 690 hectáreas reflejado en la estabilidad de residencia del 2.07 %, en este caso es importante tomar en cuenta la falta de corroboración de la clasificación a través de puntos de muestreo en campo, pero además posiblemente beneficiado a causa de la ausencia de granjas camaronícolas para el año base de 1973, Berlanga *et al.* 2004 menciona que junto con otros desarrollos humanos como poblados y agricultura en las cercanías de estos ecosistemas, incrementan los impactos presentándose tanto como fuentes puntuales y no puntuales de contaminación de estos, debiéndose a la emisión de químicos agrícolas desechos sólidos, aguas

negras, entre otros desechos antropogénicos sobrepasando la capacidad de auto depuración de los ecosistemas presentes, en este caso humedales costeros.

En el caso de lagunas y esteros el cambio podría decirse estar asociado a una causa natural y no natural, explicando la natural a causa de las condiciones de marea y desarrollo del manglar y no natural debido a la agricultura de humedad como el cultivo de pastos forrajeros estas zonas se describen como subtipos de humedales como se muestra en (Wetzel, 2001). Por ultimo la cobertura para poblados termino con una representación de 0.3% para 1990, a pesar de esto presento un incremento de casi el doble con respecto a su cobertura inicial mostrando la estabilidad de residencia mas alta por lo cual mostró una tasa elevad de crecimiento.

**Tabla 6.** Matiz de detección de cambio a nivel de paisaje en hectáreas de 1973 a 1990.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL 1990	%
1 Lagunas y Esteros	16192	359	948	350	30	385	3	0	0	18266	4.0
2 Marismas	728	2409	699	962	646	1569	3	0	0	7016	1.5
3 Manglar	2133	947	29250	840	119	725	0	0	0	34015	7.5
4 Area forestal	144	209	56	242970	10030	6656	2	0	3	260070	57.3
5 Vegetacion. sec	70	376	286	12420	2791	8707	15	0	4	24669	5.4
6 Agricultura y ganadería	2142	386	2079	30005	2146	71477	125	0	4	108364	24
7 Poblados	3	5	6	187	0	697	680	0	0	1578	0.3
8 Granjas Camaronicolas	0	50	0	23	0	66	0	0	0	140	0.0
9 Pixeles sin clasificar	13	0	0	34	8	57	0	0	0	112	0.0
<b>TOTAL 1973</b>	<b>21425</b>	<b>4740</b>	<b>33324</b>	<b>287792</b>	<b>15771</b>	<b>90338</b>	<b>829</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>454230</b>	
<b>%</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>63</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
Estabilidad localización	75.6	50.8	87.8	84.4	17.7	79.1	82.1	#iDI V/0!	--		
Estabilidad residencia	-14.74	48.00	2.07	-9.63	56.42	19.95	90.40	#iDI V/0!	--		
Matriz de detección de cambio para el periodo de 1973 –1990. Cambio a nivel de paisaje: 19% K: 0.66											

**Tabla 7.** Matiz de detección de cambio a nivel de paisaje en hectáreas de 1990 a 2001.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL 2001	%
1Lagunas y esteros	16776	560	1687	136	44	430	0	1	0	19634	4.3
2Marismas	69	2803	1034	213	471	515	0	13	0	5118	1.1
3Manglar	838	894	30015	81	126	519	0	2	0	32475	7.1
4Area forestal	47	34	18208265	6737	10476	2	0	30	225610	49.7	
5Vegetacion. secundaria	35	489	10525344	5082	12342	8	0	17	43422	9.6	
6Agricultura y ganadería	268	2042	99925594	11992	82770	265	1	52	123984	27.3	
7Poblados	15	2	0	39	90	667	1301	0	3	2117	0.5
8Granjas camaronicolas	90	192	156	31	93	260	0	123	0	946	0.2
9Píxeles sin clasificar	128	0	0	368	32	385	1	0	10	924	0.2
<b>TOTAL 1990</b>											
	18266	7016	34015	260070	24669	108364	1578	140	112	<b>454230</b>	
%	4	2	7	57	5	24	0	0	0		
Estabilidad localización	91.8	40.0	88.2	80.1	20.6	76.4	82.5	88.4	--		
Estabilidad residencia	7.49	-27.05	-4.53	-13.25	76.02	14.41	34.15	577.32	--		
Matriz de detección de cambio para el periodo 1990 –2001 Cambio a nivel de paisaje: 24% K: 0.63											

Para el segundo periodo el área forestal represento el 57% en 1990 y 49.7% para el 2001 del área analizada, presento un cambio del 5% mas al periodo anterior, una cantidad neta de 34,460 hectáreas, una cantidad mayor a lo que represento el manglar en el 2001, asi en conjunto con el primer periodo presento una perdida total del 22.88% lo cual puede ser concordante con los valores mencionados por las entidades federativas de una reducción al 80% y lo reportado por (Flores y Gerez 1994) del área forestal nacional por otro lado el manglar en forma contraria al primer periodo reporto un cambio del 12% de la cobertura con que contaba en 1990, perdiendo un total neto de 1,540 hectáreas concordante con la estabilidad reportada de -4.53%, un contraste a lo mencionado por (Berlanga, 2004) para un estudio del sistema Teacapan-Agubrava-Marismas nacionales, reportando una perdida de 10% en un mismo periodo, dentro de estas 1540 hectáreas deben considerarse una extensión de 1000 hectáreas de manglar muerto , que de acuerdo con

Acosta (2003) en 1990 formaba parte de la cobertura del manglar. A este total de hectáreas perdidas se detectaron 156 a cambio de granjas camaronícolas, a pesar de esto no se le considera en la región, como principal agente de impactos directos sobre el manglar y cambio de uso del terreno sobre este ecosistema, como se menciona en (Valiela, *et al.* 2001) para paisajes sudamericanos y asiáticos, se puede observar que un mayor porcentaje es a cambios para el uso agrícola y siendo las clases esteros y lagunas junto marismas la que mayormente desplazaron al manglar, pero para estas clases anteriores mas que impactos de cambio del uso del terreno, se le asocian al paso del huracán Rosa en 1994, que de acuerdo a (Kovacs *et al.* 2001) causo una reducción de la densidad de los fustes y del área basal del 31 y 51% respectivamente, reduciéndose así significativamente la población del mangle.

A pesar del cambio de manglar a marismas, esta ultima se le detecto una reducción de un estimado de 1,898 hectáreas con las que contaba en 1990, para la vegetación secundaria se detecto una estabilidad de localización del 20% por lo cual una estabilidad de residencia medianamente positiva de 76% y a excepción de granjas, fue la mas alta por lo cual mostró, además de un alto incremento en su cobertura esta conservo un alto porcentaje con lo que contaba ya en 1990 atribuyéndose principalmente al abandono de suelos agrícolas dejándola con una representación de casi el 10% para el 2001 casi el doble del que representaba en 1990, en lo que respecta alas coberturas antropogénicas se aprecia una tendencia positiva, en primer lugar la cobertura de granjas camaronicolas aumento mas de tres veces su porcentaje inicial a pesar de que presenta una baja representación en el 2001, agricultura y ganadería presento un cambio de suelo de 24% siendo el tercero en ganancias y poblados aunque se muestra de igual manera que granjas camaronicolas con una baja representación de cobertura dentro del terreno analizado aumento cercas del doble con solo 538 hectáreas de incremento neto dentro del área de estudio,

cabe mencionar la importancia de observar el desarrollo poblacional y la proyección a los años venideros y así relacionarla con la cobertura de poblados, pues esto resultaría de mayor importancia que el propio crecimiento de la cobertura de la infraestructura urbana, la siguiente tabla nos muestra el 7.5% de población que se concentra y sostiene el área de estudio en comparación al total del estado de Nayarit con un estimado de 92.5% equivalente a 920,185 habitantes, por otro lado podemos observar en la tabla de desarrollo, que la población presento una disminución poblacional por este lado podríamos suponer un punto favorable hacia la calidad del agua y desfavorable al aumento de actividades industriales y agropecuarias, otro impacto de carácter puntual que se le atribuye a la agricultura, son los efectos por el uso de agroquímicos y pesticidas impactando sobre la calidad del suelo y en los cuerpos de agua por escurrimiento e infiltración (Cooke *et al.* 1993) debe tomarse en cuenta la falta de plantas de tratamiento. Bhaduri *et al.*; (1997), mencionan que la expansión significativa de las áreas urbanas impacta al medio ambiente, incrementando el volumen de escurrimientos en las superficies. Jae *et al.* (2001), señalan que la conversión de áreas rurales a usos urbanos ha incrementado notablemente los escurrimientos permitiendo así un deterioro por erosión. Por su parte el área de estudio no presenta una relación directa entre poblados y cambios de uso de suelo, debido a que estos poblados aun se consideran sitios rurales y de acuerdo con las estadísticas de panoramas futuros de la población, el porcentaje de comunidades rurales aun se mantiene en línea recta, pero si es de considerar los impactos a los ambientes acuáticos dado a la tendencia productiva que se da en línea de costa y los efectos de fenómenos naturales (Tabla 8).

En el presente estudio se tuvo como finalidad el análisis de las condiciones recientes sobre el uso del terreno y su impacto en la calidad del agua, pero es posible hacer mención y apreciar de forma visual el impacto a las coberturas forestales por causas naturales, además el de un

patrón no establecido en el cambio de uso del terreno por actividades productivas en la región, tendencia que año tras año aumentan en todo el estado y en México, provocando una fragmentación de hábitat y coberturas naturales provocando una disminución en especies de flora y fauna (Mas, 1998).

**Tabla 8.** Valores de población por municipio y localidad pertenecientes al área de estudio.

POBLACIÓN AÑO 2000							
MUNICIPIO	LOCALIDAD	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	Población total		
					Hombres	Mujeres	TOTAL
Rosamorada	Las Pilas	391	340	731	391	340	731
Rosamorada	Pescadero	437	428	865	437	428	865
Rosamorada	Paramita	452	421	873	452	421	873
Rosamorada	La Boquita	436	450	886	436	450	886
Rosamorada	Llano del Tigre	586	510	1096	586	510	1096
Rosamorada	Zomatlán	593	550	1143	593	550	1143
Rosamorada	Cofradía de Cuyutlán	656	654	1310	656	654	1310
Rosamorada	Dieciocho de Marzo	780	707	1487	780	707	1487
Rosamorada	Pimientillo	865	875	1740	865	875	1740
Rosamorada	Chilapa	1078	1091	2169	1078	1091	2169
Rosamorada	Pericos	1178	1165	2343	1178	1165	2343
Rosamorada	Rosamorada	1754	1798	3552	1754	1798	3552
					9206	8989	18195
Ruíz	San Lorenzo	307	290	597	307	290	597
Ruíz	El Venado	851	756	1607	851	756	1607
Ruíz	Ruíz	6175	6282	12457	6175	6282	12457
					7333	7328	14661
Santiago Ixcuintla	San Miguel Dos	352	330	682	352	330	682
Santiago Ixcuintla	Campo de los limones	379	346	725	379	346	725
Santiago Ixcuintla	Sentispac	1524	1339	2863	1524	1339	2863
Santiago Ixcuintla	Pozo de Ibarra	1677	1603	3280	1677	1603	3280
					3932	3618	7550
Tuxpan	Unión de Corrientes	618	572	1190	618	572	1190
Tuxpan	Palma Grande	1319	1287	2606	1319	1287	2606
Tuxpan	Coamiles	1572	1529	3101	1572	1529	3101
Tuxpan	Tuxpan	10947	11301	22248	10947	11301	22248
<b>POBLACION TOTAL EN LA SUBCUENCA</b>		34927	34624	<b>69551</b>	14456	14689	29145
<b>POBLACION TOTAL DEL ESTADO DE NAYARIT</b>						<b>TOTAL</b>	<b>69551</b>

Crecimiento poblacional y proyección de la población

MUNICIPIO	Población 1990			Población 1995			Población 2000		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Rosamorada	35797	18368	17429	35007	17900	17107	34683	17478	17205
Ruiz	21674	11065	10609	21591	11040	10551	21722	11007	10715
Santiago Ixcuintla	99106	49916	49190	95385	48308	47077	94979	47868	47111
Tuxpan	34268	17041	17227	31867	15908	15959	31202	15463	15739
<b>TOTAL</b>	<b>190845</b>	<b>96390</b>	<b>94455</b>	<b>183850</b>	<b>93156</b>	<b>90694</b>	<b>182586</b>	<b>91816</b>	<b>90770</b>

**Nota:** Los valores de muestreo de calidad de agua se presentan como datos anexos.

Para las muestras de agua y sus parámetros analizados dentro del tiempo de estudio del área, se obtuvieron los resultados mostrados en (Anexo 1). De acuerdo con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, (“Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”), del total de 16 parámetros analizados 12 son considerados para la calidad del agua, para los cuerpos de agua muestreados se tomaron solo 5 categorías basándose en lo observado en campo y considerados como datos auxiliares del estudio estas son: Fuente de abastecimiento de agua potable, Riego Agrícola, Uso pecuario, Protección de la vida acuática y acuicultura para camarón. De los 12 parámetros, 3 se presentaron con valores fuera de los permisibles resaltándose en primer lugar (coliformes fecales, sólidos totales y por ultimo sólidos suspendidos teniendo en cuenta que estos dos últimos se complementan entre si) coliformes fecales tuvo mayor presencia en las categorías de fuente de abastecimiento de agua potable, riego agrícola y protección de vida acuática, aunque para esta ultima solo en el muestreo del 1 de marzo de 2005 el 10% de muestra mensual sale de la norma de 400 NMP/100 ml siendo



observado el continuo y elevado valor de coliformes, de igual manera los puntos donde estos valores salen de norma corresponden a las intermediaciones y cercanías a desarrollos urbanos, pero algo notable fue que para el muestreo del 1 de enero del 2005 los valores no se presentaron fuera de norma. Para SST y ST su mayor presencia fue en abastecimiento de agua potable y riego agrícola de forma más puntual en el muestreo del 1 de enero del 2005 mostrándose fuera de la norma en todas las estaciones de laguna pescaderos, esto se le puede atribuir a las obras de dragado que se llevan a cabo, por otro lado se pudo observar y corroborar con los ribereños y pescadores de camarón que las condiciones físicas como la transparencia en la laguna para la pesca de esta especie se han mantenido estables a pesar del deterioro que causó el huracán Rosa sobre el bosque de mangle, que en su mayor parte, este manglar muerto se localiza en esta zona de la laguna pescaderos, por otra parte la salinidad se ha visto incrementada y donde en tiempos de marea baja se forman cúmulos de sal entre los límites de agua y mangle esto probablemente pudiendo afectar la restauración del mangle muerto donde se puede observar pequeños brotes en los fustes pero que no llegan a tener un desarrollo óptimo y perecen para los tiempos de marea alta.

Por otro lado pese a las alteraciones fisicoquímicas como la salinidad del agua en el sistema lagunar, ocasionadas principalmente por la comunicación del agua del mar por el canal de Cuautla y las aguas de retorno agrícola conducidas por los afluentes, esta se presenta hasta hoy con condiciones aptas para la reproducción de organismos de importancia para el hombre lo cual trae consigo las actividades de pesca en la región. De los parámetros analizados es importante tener en cuenta la toxicología de estos en la contaminación del agua, sin dejar de mencionar que es necesario un análisis continuo de otros parámetros que además de afectar la salud de los ecosistemas, tienen una repercusión de salud pública como agentes cancerígenos, toxicológicos

entre otros, como es el caso del arsénico, cadmio, cromo, mercurio, manganeso, aluminio y agentes organoclorados entre muchos más que aun no se establece su grado nocivo, a continuación se describen algunos parámetros analizados en el presente estudio que a pesar de algunos no ser un toxico en si, presenta una importancia en la calidad del cuerpo de agua:

El **color** de un agua natural puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus y turbas de plancton, restos vegetales y de residuos industriales. El color del agua es un parámetro de aspecto muy importante, ya que determina su aceptación para usos directos y limita su aplicación industrial.

La **DQO** se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico. Para cuerpos de agua específicos, la DQO puede relacionarse empíricamente con la **Demanda Biológica de Oxígeno** (DBO), el carbono Orgánico, o la Materia orgánica.

El **fósforo** se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador de la productividad primaria en un cuerpo de agua. Una de las principales fuentes de fósforo para el agua lo constituyen los ortofosfatos utilizados como fertilizantes en la agricultura y en las formulaciones de detergentes. Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en procesos biológicos y son aportados a las aguas naturales principalmente por las aguas residuales urbanas.

Las formas de **nitrógeno** de mayor interés en las aguas naturales y residuales son, por orden decreciente de su estado de oxidación los nitratos, nitritos, amoniacó y nitrógeno orgánico. Todas estas formas de nitrógeno, lo mismo que el nitrógeno gaseoso  $N_2$  son interconvertibles

bioquímicamente y forman parte del ciclo del nitrógeno, para el nitrógeno oxidado (nitritos y nitratos) las fuentes principales de estas formas químicas son las descargas de aguas residuales industriales y urbanas, así como los diversos compuestos de nitrato empleados como fertilizantes en la agricultura. Al ser el nitrógeno un nutriente esencial, su presencia en grandes concentraciones en los cuerpos de agua refleja su capacidad productiva y nivel trófico. El nitrógeno de nitrato se presenta generalmente como trazas en aguas de superficie, siendo más comunes los niveles elevados en las aguas subterráneas, es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos y, en algunos casos, se ha identificado como el determinante del crecimiento. El nitrógeno de nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoníaco (principalmente de origen urbano) a nitrato. Se ha establecido que puede ocasionar la patología denominada metahemoglobinemia infantil, así como el ácido nitroso formado a partir del nitrito en soluciones ácidas, puede reaccionar con aminas secundarias dando lugar a nitrosaminas, muchas de las cuales son agentes carcinógenos reconocidos.

Los niveles de **oxígeno disuelto (OD)** en aguas naturales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de OD es una prueba clave en la contaminación del agua, ya que los niveles de OD condiciona la actividad tanto aeróbica como anaerobia de los organismos presentes en el cuerpo de agua, la concentración y porcentaje de saturación de oxígeno dependen de la temperatura del agua, de la salinidad y de la presión atmosférica.

La estimación del **pH** es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. La alcalinidad y acidez son las capacidades neutralizantes de ácidos y bases de un agua y normalmente se expresan como miligramos de  $\text{CaCO}_3$  por litro. El valor del pH en las aguas naturales normalmente tienen valores de 4 a 9, y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de los metales alcalinos y alcalino

térreos. El control del pH en las aguas naturales es muy importante ya que es un factor determinante en la mayoría de reacciones químicas que se desarrollan tanto en el agua como en los seres vivos que habitan ésta, los cuales presentan rangos de tolerancia al pH generalmente muy pequeño.

Los sólidos en sus diferentes formas son producto de la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus y turbas, de plancton, restos vegetales y de residuos industriales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua, tanto en el aspecto biológico como en su aceptación y uso tanto en fuente de abastecimiento de agua y en uso agrícola o pecuario.

La **turbiedad** es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través del agua. La turbiedad del agua es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. La correlación de la turbiedad con la concentración en peso de los sólidos en suspensión es difícil de establecer, ya que en la dispersión luminosa también intervienen el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas. La turbiedad es un factor importante en los cuerpos de agua, ya que determina la extensión de superficie fótica aprovechable en actividades fotosintéticas, al establecer un gradiente de dispersión de la luz a través de la columna de agua, determinando la capacidad productiva del cuerpo o curso de agua. La transparencia del agua es importante para la elaboración de productos destinados a consumo humano y para numerosos usos industriales como sería el caso de la camaronicultura en la zona de estudio.

## **8. CONCLUSIÓN**

El método de clasificación de las imágenes de satélite y el uso de ellas como en el desarrollo del presente trabajo, resultaron ser herramientas excelentes y básicas en la producción de mapas temáticos sobre el medio natural, para ser utilizados como información objetiva en el análisis de las tendencias de cambio durante un tiempo y espacio determinado como fue la subcuenca Río San Pedro, además necesarias para la incorporación de datos auxiliares del terreno lo que permite una indagación y un panorama mas amplio del área que se trabaja. Esto permitió obtener valores importantes de las características con que se presenta y ha tomado forma el paisaje en su actualidad permitiendo observar la interacción de los cambios en el uso del terreno y ocupación del suelo.

Señalado lo anterior el análisis multitemporal y postclasificadorio, determinó que el cambio de cobertura y ocupación del suelo se presento de forma moderada siendo más significativo en la primera transición de 1973 a 1990 con la característica de que la cobertura que define asentamientos humanos se incremento con mayor fuerza para esta etapa, pese a esto y otras características el paisaje aún estaba dominado principalmente por la cobertura de vegetación natural conformado en su mayoría por bosques tropicales y en segundo se observo a la actividad agrícola que durante todo el periodo de estudio aunque no acelerado pero continuo mantuvo sus porcentajes de crecimiento, concordante con estudios previos en años de periodo similar.

Dado a los resultados en la primera y segunda transición y reportes previos de años recientes, podemos concluir que actualmente el paisaje dentro del área de estudio se puede decir que las coberturas naturales como bosques aun presentan dominio sobre el paisaje, no obstante el

crecimiento de la frontera agrícola y otras actividades como ganadería y camaronicultura han eliminado continuamente las coberturas naturales, a pesar de que en los últimos 6 años se presenta un fenómeno de emigración de la población y abandono de tierras, han dejado cambios evidentes con un desarrollo continuo, que deteriora y fragmenta las coberturas de la vegetación natural así como transformando los componentes estructurales favoreciendo el dominio de sucesiones de la vegetación, además de que actividades como la camaronicultura y ganadería han provocado un cambio del paisaje, impactando principalmente en las coberturas de marismas hablese de pastoreo o infraestructura y daños a los componentes de ecosistemas vecinos como son los bosques de mangle, con relación ha esto se observa también, la característica de una población en descenso manteniendo una línea recta o declive (Anexo 2).

La subcuenca Río San Pedro es una zona de transición entre el ecosistema terrestre y acuático, por lo cual los cambios en el uso del suelo tienden a afectar directamente el ambiente acuático. Esto nos lleva a pesar de que en este estudio no se contó con datos históricos que pudieran haber sido relacionados en forma multitemporal con los cambios de uso del suelo, pero que en estudios similares como el (de la Lanza; 1998), se reporta presencia de contaminantes fuera de norma, principalmente coliformes fecales, así como reportes de la CNA y SEMARNAT, señalan a los recursos hídricos superficiales de la zona Pacífico sur y zona costera de Nayarit con condiciones más comunes que van de ligeramente contaminadas a una mayor superficie en condición de contaminada, este tipo de muestreos resulto importante, ya que aunque podemos suponer que no hay una relación fuerte entre los cambios de uso de suelo y las condiciones del agua con las presiones de crecimiento poblacional, desarrollo urbano y rural, además del continuo desarrollo de la actividad agrícola que de forma no organizada cada vez esta tomando mayor terreno en la zona montañosa, que a la vez esta disminuyendo la cobertura de los bosques

tropicales, es imprescindible que los impactos hacia el agua y los ecosistemas presentes están latentes y en riesgo considerable tanto con las descargas de aguas residuales y con los efectos en el agua a través de aportes de agentes químicos por medio de la infiltración y escurrimientos de estos por el suelo cultivado y erosionado, como por la falta de una organización y planeación adecuada sin mencionar que parte de los cambios son consecuencias de fenómenos naturales como el huracán Rosa en 1994, afectando considerablemente el bosque de mangle, de esta manera los humedales costeros del área de estudio están dentro de una perturbación intermedia, donde no se le atribuye de manera significativa al desarrollo de la camaronicultura, pese a esto es también de considerar el panorama de la situación actual y futura de la disponibilidad del agua ya que la región norte se encontrara con una disponibilidad media, como se mostró en párrafos anteriores.

De igual manera es importante recordar que las características fisiográficas en que se encuentra el área de estudio han permitido reprimir en una parte el avance de la agricultura, por tal motivo es de interés encontrar alternativas de actividades económicas que favorezcan a la población y al entorno natural. Como un último punto en conclusión, más que un cambio de uso de suelo se presenta en el área una desfragmentación, derivada de la disminución de la conectividad entre los ecosistemas terrestres y acuáticos costeros presentándose esto con mayor fuerza hacia los extremos del área de estudio, donde se ubican las poblaciones con mayor infraestructura urbana.

## **Recomendaciones y seguimiento**

En el presente estudio la contribución más significativa, fue la de retomar y continuar un monitoreo de zonas de interés para la región, de las condiciones que se encuentra el área de estudio a un nivel regional, lo que permite poder visualizar y manejar de forma más objetiva el ecosistema presente, permitiendo integrar nuevos estudios, generando una información de dimensiones cada vez más amplias, por lo cual se recomienda:

- Dar seguimiento con trabajos de forma puntual, conjugándolos de manera más multidisciplinal con otros, permitiendo una mayor visión de los problemas que se presentan y mejorar la toma de decisión, manejo y organización de estos.
- Promover medidas de manejo que permitan el mantenimiento de la conectividad, entre selvas, marismas y manglar, como es el regular el desarrollo de la acuicultura, evitando la interrupción del flujo o cambio de curso de las corrientes de marea y de agua dulce, logrando mejorar las interacciones naturales de estos ecosistemas.
- Generar la participación de la población en proyectos que promuevan el cuidado de los parches de mangle, así como regular las actividades de pesca ofreciendo alternativas que sean menos agresivas en temporadas de veda como para todo el año, permitiendo así también mejorar la economía de las familias que habitan estas zonas.
- Promover la incorporación o desarrollo de cultivos de especies nativas que permitan el reestablecimiento de los componentes originales de los ecosistemas



sin afectar los intereses de los habitantes así evitar el abandono de tierras aminorando la aparición de sucesiones de la vegetación.

- Generar información acerca de la funcionalidad de las plantas de tratamiento de aguas existentes, permitiendo considerar la activación de nuevas plantas de tratamiento en las zonas críticas.

## BIBLIOGRAFIA.

- Acosta, V.J., 2003. Análisis de la condición del bosque de manglar en el Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales y sus relaciones a nivel de Paisaje Tesis de grado (Maestría), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., México. 81 pp.
- Agraz, H.C.M. Flores V. F. y Calvario O. (2001). Impacto de la camaronicultura en ecosistemas de manglar y medidas de mitigación. In: F. Páez O. (ed.), Camaronicultura y medio ambiente. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Programa Universitario de Alimentos, UNAM y El Colegio de Sinaloa, México, pp. 373-395.
- Baily, B. y D. Nowell. 1996. Techniques for monitoring coastal change: a review and case study. In: Tovilla, H.C. 1994. Manglares. En de la Lanza E.G y Cáceres M.C. (Edit.). Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California. Baja California Norte. México. Pp.371-423.
- Berlanga, R.C.A., 1999. Evaluación de las condiciones actuales y del cambio en los paisajes de humedales de la Costa sur de Sinaloa, México: una aproximación con el uso de datos provenientes de sensores remotos. Tesis de Maestría. UNAM, México. 111 pp.
- Berlanga-Robles C.A. y Ruiz-Luna A. (2002). Land-use mapping and change detection in the coastal zone of northwest Mexico using remote sensing techniques. *Journal of Coastal Research* 18(3): 514-522.
- Bocco, V., J.L. Palacio P. Y C. R. Valenzuela. 1991. Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica. *Ciencia y Desarrollo*. XVII. (97): 79-88.
- Bojórquez-Tapia, L.A., Díaz-Mondragón S. y Saunier R. (1997). Ordenamiento Ecológico de la Costa Norte de Nayarit. OEA Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente e Instituto de Ecología, UNAM, México, 79 pp.
- Bhaduri, B., J. Harbor, B. Ángel y M. Grove, 2000. Assessing watershed-scale, long-term hydrologic impacts of land-use change using a GIS-NPS model. *Environmental Management* 26, 6:643-658.
- Carrera, E.G. y G. De la Fuente. 2003. Inventario y clasificación de Humedales en México. Parte I. Ducks Unlimited de México, A.C. Plata, S.A. de C.V. México. 239 pp.
- Campbell, J.B., 1996. Introduction to remote sensing. Taylor and Francis, Londres, 622pp.
- Congalton, R.G. y K. Green, 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Lewis Publisher, Boca Raton, Florida. 137pp.
- Curry, J.R., F.M. Emmel y P.J. Crumpton, 1996. Holocene history of strand plain lagoonal coast, Nayarit, México. En: Ayala-Castañares a. y F.B. Phleger (eds.), Lagunas costeras, un simposio. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 63-100pp.

Challenger, A, 1998. Utilización y conservación de los Ecosistemas terrestres de México. CONABIO. México D.F.847p.p

Childers, D.L. y Gosselink J.G. (1990). Assesment of cumulative impacts to water quality in a forested wetalnd landscape. *Journal of Environmental Quality* 19:454-463.

Chuvieco, E., 2002. Fundamentos de Teledetección Espacial. RIALP, España. 565pp.

Comisión Nacional del Agua, 2004. Estadísticas del agua en México. En digital archivo pdf. Distribución gratuita, México.

Contreras, E.F., 1993. Ecosistemas costeros mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma Metropolitana, México. 415 p.

CONABIO, 2003. Ecosistemas costeros, Universidad Autónoma de México. ISBN-970-6203729. en digital.

[www.conabio.gob.mx/UIACS.edu](http://www.conabio.gob.mx/UIACS.edu) ultima actualizacion 2004.

[www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)

Cooke, D.G., B, Welch., A, Peterson. And R.P. Newroth. 1993. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. Second edition. Ed. Lewis Publishers, Printed USA.

De la Lanza, G.E., N. Sánchez, V. Sorani. y J.L. Bojorquez. 1996. Características Geológicas, hidrológicas y del manglar en la planicie costera de Nayarit, México. Investigaciones Geográficas. (32): 33-54.

Eastman, J. R., 1999. IDRISI32. Guide to GIS and Image Processing. Vol.1 Clark University, USA.

Enkerlin E.C, Cano G, Garza RA. Ciencia ambiental y Desarrollo sustentable, Ed. Internacional Thomson, México, 1997, Pp. 690.

FAO. (1995). Estudio piloto para un plan de desarrollo acuícola en el sistema lagunar de Teacapán-Agua Brava, Nay. Proyecto UTF/MEX/035/MEX “Modernización del sector pesquero”. SEMARNAP y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, México, 161 pp.

Flores, V.O. y Gerez P. (1994). Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Nacional Autónoma de México, México, 439 pp.

Flores-Verdugo, F., E.Escobar-Briones y L. Bojorquez. 1992. Manejo y distribución de los manglares y ecosistemas lagunares estuarinos de la costa de Nayarit y Sinaloa. La interacción entre la actividad acuicula con el ecosistema costero. En Bojoquez L. y E. Escobar-Briones. 2003 Proyecto de ordenamiento acuicula-Ecológico de la costa de Nayarit y Sinaloa. 21 p.

Garay, R. M., 2002. Presupuesto global de la carga de nutrientes que reciben los sistemas lagunares costeros de Sinaloa, como herramienta para la gestión ambiental costera. Tesis de maestría. UNAM, Mexico.

Galindo, J.G. 2000. Condiciones ambientales y de contaminación en los ecosistemas costeros. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 158 pp.

González, E.J. y M. Ortaz. 1998. Efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa, Venezuela). Revista de Biología Tropical. 46(1):27-34

Gosselink, J., y R. Turner, 1978. The role of hydrology in freshwater ecosystems. Pages 63-78 in R. Good, D. Wigham, and R. Simpson, Freshwater wetlands: Ecological processes and management potential. Academic Press, New York.

Harbor M. J., 1998. A practical method for estimating the impact of land-use change on surface runoff, groundwater recharge and wetland hydrology. Journal of the American Planning Association, 60 (1): 95- 108.

Hernández, C.R. 1998. Análisis de la Camaronicultura y su impacto sobre el ambiente en el sur del estado de Sinaloa. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California. 92 p.

[www.ine.gob.mx/sec.libros/nayarit4html.enautica](http://www.ine.gob.mx/sec.libros/nayarit4html.enautica).

INEGI, 1995 Rosamorada Estado de Nayarit, cuaderno estadístico municipal. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. 82 p.

INEGI. (1997). Anuario estadístico del Estado de Nayarit. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, 474 pp.

INEGI. (2000). Síntesis de información geográfica del Estado de Nayarit y Anexo Cartográfico. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, 140 pp.

Jan, C.P. and C.G. Lundin. 1996. Guidelines for integrated coastal zone management. Edit. The International Bank Reconstructions and Development. U.S.A. 16 p.

Klemas, V. V., J. E. Dobson, R. L. Ferguson y K. D. Haddad. 2002 A coastal land cover classification system for the NOAA Coastwatch change analysis project. Journal of Coast Research 9(3).862-872.

Kovacs, J.M., M Blanco-Correa y F. Flores-Verdugo, 2001. A logistic regression model of hurricane impacts in a mangrove forest of Mexican Pacific. Journal of coastal research 17:30-40

Landgrebe, J.R. and Biehl. 1995. An introduction to MultiSpec. Purdue Research Foundation University. U.S.A. 85 p.

- Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of México, their origin and classification. En Wiley M. (Edit). Estuarine processes. Ac. Press Inc. New York. (2):182-215
- Landis, J. y G. Koch, 1977. The measurements of observer agreements for categorical data. *Biometrics* 33:159-174.
- Lemay, H. M. 1998. Manejo de los recursos costeros y marinos en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de desarrollo. Inf. Téc. Washington D.C. 63 p.
- dy. *Ocean and Coastal Management*. 32(2):85-95.
- Liu, A.J. y Cameron G.N. (2001). Analysis of landscape patterns in coastal wetlands of Galveston Bay, Texas (USA). *Landscape Ecology* 16:581-595.
- López, B. J. 1994. Evaluaciones geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un sistema de información geográfica (ILWIS). Tesis de doctorado. Universidad autónoma de México. México. 151 p.
- Margalef, R., 1983. *Limnología*. Omega, Barcelona, España. 110pp.
- Martínez, A.R. 2003. Estudio sobre el uso del suelo en las subcuencas Bahía Navachiste y Río Sinaloa al Noroeste de México. Tesis de Maestría. CIAD, Mazatlán. 81 pp.
- Mas, J.F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing* 20: 139-152.
- Páez-Osuna, F. (2001). Descargas de nutrientes procedentes de la camaronicultura, agricultura y las aguas municipales en la zona costera del Golfo de California. In: F. Páez O. (ed.), *Camaronicultura y medio ambiente*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Programa Universitario de Alimentos, UNAM y El Colegio de Sinaloa, México, 15-21 pp.
- Páez, F. 2001. *Camaronicultura y Medio Ambiente*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. 456 pp.
- Páez, B. L. P. 2000. Evaluación de cambios de paisaje del sistema estuarino de San Blas, Nayarit y su área adyacente a la desembocadura del Río Santiago con aplicación de Percepción remota. Tesis de Maestría. CIAD, Mazatlán. 76 pp.
- Palacios P, J. L., 1992. *Introducción a los sistemas de información geográfica*. Instituto de Geografía, UNAM. 56pp. México.
- Parsons, T.R.; Y. Maita. y C.M. Lalli 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press. Great Britain. 173 pp.
- PNUMA/ORPALC. 2004. Agenda21. <http://www.pnuma.org>. 2 septiembre de 2004.

Ramsey III, E.W., Nelson G.A. y Sapkota S.K. (2001). Coastal change analysis program implemented in Louisiana. *Journal of Coastal Research* 17: 53-71.

Richards, J.A. y Jia X. (1999). *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Springer-Verlag, Berlin, 363 pp.

Richardson, C.J. y McCarthy, E.J. (1994). Effect of land development and forest management on hydrologic response in southeastern coastal wetlands: a review. *Wetlands* 14: 56-71.

Rozzi R, Primack R. Valoración de la biodiversidad, 8:255-280 Ed. Sinover Asóciate, U.S.A, Sunderland MA1999.

Romo, D. P. 2002. Plaguisidas en México 1991-2000 Carpeta de Prensa D.R. ITESO, Centro de derechos humanos "Miguel Agustín Pro" AC, PANNA org., Huicholes y Plaguisidas y AMACUP, a.c. Impreso en México DF.

Rzedowski, J 1986. *Vegetación de México*. LIMUSA, México. 432 pp.

Sabins, F. F., 1996. *Remote sensing: principles and interpretation*. Freeman, USA. 494 pp.

SARH. 1992. *Inventario Nacional Forestal de Gran Visión*. México, 1991-1992. SARH-Subsecretaría Forestal. D.F.

SAHOP. 19981. *Plano de Políticas Ecológicas y plano de Vegetación y Uso del Suelos*. Programa Nacional de Desarrollo Ecológico de los Asentamientos Humanos. México, D.F.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, <http://portal/semarnat.gob.mx>

<http://www.senado.gob.mx/comunicacion/content/version/2002/v01octubre.html>.

Toledo-Cuaron, A., Botello A.V. y Herzig M.. (1987). *El pantano: una riqueza que se destruye*. Cuadernos del Centro de Ecodesarrollo XII, México, 140 pp.

Tovilla, H.C 1994. *Manglares*. En de la Lanza E.G y Cáceres M.C. (Edit.). *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Universidad Autónoma de baja California. Baja California Norte. México. Pp.371-423.

Valiela, I., Bowen J.L. y York J.K. (2001). Mangrove forest: one of the world's threatened major tropical environments. *BioScience* 51:807-815.

Wetzel, R. G., 2001. *Lake and River Ecosystems*. Academia Pres, An Elsevier Science Imprint. USA. 316 pp.

Anexo 1. Registro de valores del muestreo de cuerpos de agua. (Parte a)

FECHA	Estaciones	ortofosfatos	Fosforo total		SST		ST		SVT (MAT. ORG)		nitritos	
			mg/L	D. E.	mg/L	D. E.	mg/L	D. E.	mg/L	D. E.	mg/L	D. E.
16-Sep-04	San Diego	0.072	0.589		927		1052				0.023	
	Penitas	0.064	0.59		673		838				0.019	
	Entrada a Tuxpan	0.074	0.613		322		461				0.028	
	Embarcadero	0.082	0.577		657		780				0.027	
	Limite de Brazo Sanpedro	0.089	0.606		565		716				0.032	
	<b>Rio SanPedro y Laguna pescaderos</b>											
01-Ene-05	MEZCAL (rio sp)		0.193	0.249	9	6.3	218	8.5	44	5.7	0.001	0.000
	SALIDA TUXPAN (rio sp)		0.123	0.001	10	3.4	228	45.3	38	8.5	0.003	0.000
	TUXPAN (rio sp)		0.241	0.073	7	1.2	196	0	30	2.8	0.003	0.000
	PEÑITAS (rio sp)		0.218	0.257	7	2.4	198	14.1	34	14.1	0.002	0.000
	ELVENADO (rio sp)		0.416	0.02	6	2.9	200	5.7	46	8.5	0.002	0.001
	LAGUNA DEL MAR (rio sp)		0.466	0.021	7	4.2	202	31.1	46	19.8	0.001	0.000
	PARTE TERMINAL DE LA LAGUNA EL CHUMBEÑO		0.63	0.072	113	17.4	25548	1108.7	5286	608.1	0.000	0.000
	LAGUNA DEL CHUMBEÑO		0.642	0.035	222	10.5	21824	622.3	4670	811.8	0.002	0.001
	LAGUNA DEL CHUMBEÑO		0.878	0.218	593	46.4	22976	673.2	4324	429.9	0.001	0.000
	CANAL ENTRE CHUMBEÑO Y PESCADERO		0.489	0.001	432	72	24338	4771.6	7422	4302	0.001	0.001
	PARTE TERMINAL DEL CANAL EN AREA DE DRAGAS		0.575	0.016	182	59.1	13748	950.4	2816	741	0.002	0.001
	LAGUNA EL PESCADERO		0.653	0.03	184	14.5	8696	152.7	1620	45.3	0.001	0.000
	<b>Rio santiago, sanpedro y acaponeta</b>											
1-Mar-05	Estacion Yago (Rio sgo)		0.571	0.021	11	0.7	195	2.3	6	2.8	0.009	0
	Amapa (Rio sgo)		0.52	0.028	30	2.5	244	25	10	2.8	0.009	0
	Villa Juarez (Rio sgo)		0.536	0.013	24	1	231	11.5	33	10.1	0.008	0
	El Venado ( rio san pedro)		0.642	0.029	247	6.5	324	11.3	36	11.3	0.015	0.001
	Salida Tuxpan (antes bancos) rio s p		0.466	0.029	126	3.6	283	35.9	40	0	0.008	0.001
	Mezcal (a un lado r sp)		0.51	0.012	140	0	243	10.1	23	2.3	0.009	0.001
	Valle morelos (rio acaponeta)		0.273	0.034	32	5.5	141	19.7	22	2.8	0.008	0
	Puente del rio acaponeta		0.28	0.024	33	5.1	163	23.4	32	5.7	0.008	0
	milpa viejas rio acaponeta		0.362	0.026	52	7.5	195	43.1	34	14.1	0.009	0
	Rio las cañas (rio acaponeta)		0.263	0.022	10	2.3	264	5.7	56	5.7	0.005	0.001
<b>Rio SanPedro</b>												

17-Mar-05	despues de mezcal		0.551	0.01						0.002	0
Rio sanpedro	salida de tuxpan (entre mezcal y tuxpan)		0.527	0.013						0.002	0
	en Tuxpan		0.47	0.02						0.008	0.01
	en peñitas		0.524	0.018						0.002	0
	en selva despues del venado		0.457	0.001						0.002	0.001
	laguna del mar		0.526	0.02						0.003	0.002
	el venado		0.513	0.009						0.002	0
	el limo o pozolillo		0.534	0.028						0.005	0
	del mezcal a un lado brazo rsp		0.519	0.052						0.004	0
	Tuxpan		0.454	0.012						0.004	0.001
	ruiz Via del tren		0.189	0.033						0.013	0.018
	<b>Mexcaltitan,Nay</b>										
08-Abr-05	1 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN		0.552	0.081						0.011	0
	2 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN		0.305	0.3						0.01	0.001
	3 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN		0.202	0.024						0.011	0.001
	4 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN		0.539	0.016						0.012	0
	5 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN		0.337	0.041						0.011	0.001
	6 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN		0.38	0.017						0.013	0.001
	7 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN		0.341	0.021						0.012	0



## (Parte b)

Estaciones	nitratos	amonio		clorofila		coliformes	DBO		Temp.	oxigeno	disco de sechi	pH	salinidad
Río Sanpedro	mg/L	mg/L	D. E.	mg/m3	D. E.	NMP/100mL	mg/L	D.E.	°C	mg/L	cm		
San Diego	0.205	0.037		6.9		28	2.787		28	8.03		7	
Penitas	0.215	0.027		5.7		> 2400	1.999		29.5	—		7	
Entrada a Tuxpan	0.187	0.029		4		28	1.367		28	6.65		7	
Embarcadero	0.19	0.033		3.3		> 210	1.852		28	7.75		7	
Limite de Brazo Sanpedro	0.197	0.051		1.8		> 2400	5.034		28.1	7		7	
<b>Río SanPedro y Laguna pescaderos</b>													
MEZCAL (río sp)	0.021	0.017	0.000	7.0	5.0	> 240	4.575	1.773	26.3	9.45		7.5	
SALIDA TUXPAN (río sp)	0.037	0.017	0.001	1.1	0.3	> 240	2.083	0.825	27	9.15		7	
TUXPAN (río sp)	0.050	0.014	0.001	1.3	0.3	150	2.898	0.920	27	11.4		7	
PEÑITAS (río sp)	0.027	0.018	0.000	1.5	0.3	43	3.863	1.363	27	8.9		6	
ELVENADO (río sp)	0.020	0.014	0.002	2.7	0.2	> 460	3.050	1.450	24	9.8		7	
LAGUNA DEL MAR (río sp)	0.010	0.014	0.001	3.5	0.5	28	3.608	0.827	26	7.8		7.5	
PARTE TERMINAL DE LA LAGUNA EL CHUMBEÑO	0.007	0.094	0.006	21.3	—	55	10.878	3.029	30.2	8.54	15	7	18
LAGUNA DEL CHUMBEÑO	0.000	0.069	0.003	80.1	—	13	11.792	1.676	26.6	8.23	20	8	15
LAGUNA DEL CHUMBEÑO	0.001	0.041	0.002	38.8	—	—	8.472	1.920	26.18	8.17	20	7.8	16
CANAL ENTRE CHUMBEÑO Y PESCADERO	0.001	0.026	0.001	60.5	—	—	9.557	1.951	28.18	8.76	15	7	16
PARTE TERMINAL DEL CANAL EN AREA DE DRAGAS	0.000	0.253	0.005	57.7	—	—	9.554	1.076	27.8	8.47	10	7.5	13
LAGUNA EL PESCADERO	0.002	0.021	0.001	59.6	—	—	6.811	3.267	26.9	7.49	20	7.5	6
<b>Río Santiago, Sanpedro y acaponeta</b>													
Estación Yago (Río Santiago)	0.214	0.021	0.002	4.8	1.8	120	1.819	0.791	23.9	7.6			
Amapa (Río Santiago)	0.121	0.03	0.003	3.8	0.8	> 460	1.766	0.69	26.2	8.08			
Villa Juárez (Río Santiago)	0.215	0.02	0.002	7.8	5.6	110	1.299	1.29	25.2	8.53			
El Venado ( río san pedro)	0.074	0.019	0.004	1.7	1.7	> 2400	2.183	1.785	20.9	8.3			
Salida Tuxpan (antes bancos) río San pedro	0.041	0.022	0.001	3.3	0.8	> 1100	1.196	0.674	22.4	7.48			
Mezcal (a un lado río Sanpedro)	0.039	0.019	0.001	3	1.1	3	1.196	0.843	20.5	8.74			
Valle Morelos (río acaponeta)	2.728	0.01	0.002	1.6	0	> 2400	1.767	0.882	22.2	10.07			
Puente del río acaponeta	3.117	0.015	0.001	1.3	0.1	> 2400	1.3	1.865	23.4	8.96			
milpa viejas río acaponeta	5.042	0.009	0.001	2.1	0.1	> 2400	1.404	0.329	23.4	8.54			
Río las cañas (río acaponeta)	0.864	0.029	0.002	10.9	11.3	> 1100	0.364	2.634	31	6.33			
<b>Río Sanpedro</b>													
después de mezcal	0.027	0.03	0.001	2.2	0.6	28			25.2	10.28			

7 - 82

salida de Tuxpan (entre mezcal y Tuxpan)	0.024	0.017	0.001	ND	6.8	28			26.6	9.64			
en Tuxpan	ND	0.015	0	2.4	0.9	1100			25.8	9.5			
en peñitas	ND	0.031	0.002	1.4	0	210			27.3	8.83			
en selva después del venado	ND	0.02	0.011	2.7	0.2	23			25.11	18.3			
laguna del mar	ND	0.013	0.007	2.2	0.9	93			26.6	11.84			
el venado	ND	0.014	0.005	1.9	0	90			25.5	13.8			
el limo o pozolillo	ND	0.008	0	2	0.1	23			25.2	13.53			
del mezcal a un lado brazo rsp	ND	0.025	0.006	1.7	0.8	280			25.3	6.47			
tuxpan	ND	0.021	0.002	1.5	0	240			24.3	5.62			
Ruiz Vía del tren	ND	0.008	0.002	1.5	35.9	> 2400			26.2	6.06			
<b>Mexcaltitan,Nay</b>													
1 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN	ND	0.016	0.001	1.1	1.2				29.3	6.63	25	8	
2 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN	ND	0.007	0.003	0.3	2.4				30	6.72	30	7	
3 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN	ND	0.008	0.001	ND	1.7				31	6.17	30	7.5	
4 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN	ND	0.006	0.002	0.1	0.4				31.4	5.9	15	7	
5 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN	ND	0.004	0.001	1.3	1.3				27.9	4.2	28	7.5	
6 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN	ND	0.013	0.002	0.6	2.5				30.6	5.52	30	7.5	
7 LAGUNA GRANDE DE MEXCALTITAN	ND	0.018	0.003	ND	ND				29.4	5.13	25	7	

**Anexo 2. Graficas de crecimiento poblacional en el área de estudio y proyección en México.**

**MUNICIPIO DE ROSAMORADA**

**TOTAL DE HABITANTES POR EVENTO CENSAL**

Localidades	1970	1980	1990	1995	2000
Las pilas	747	934	822	821	731
Pescadero	318	395	799	802	865
Paramita	595	878	840	824	873
Boquita	1295	1432	1121	936	886
Llano del Tigre	860	865	1065	1101	1096
Zomatlan	918	1136	1198	1169	1143
Cofradía de Cuyutlan	773	923	996	994	1310
18 de Marzo	1425	1670	1655	1492	1487
Pimientillo	1399	1731	2036	1824	1740
Chilapa	2448	2630	2533	2277	2169
Pericos	2465	2933	2753	2441	2343
Rosa Morada	2635	3498	3694	3393	3552
Total	15878	19025	19512	18074	18195

**MUNICIPIO DE TUXPAN**

**TOTAL DE HABITANTES POR EVENTO CENSAL**

	1970	1980	1990	1995	2000
Unión de Corriente	905	1115	1277	1192	1190
Palma Grande	2243	3057	3091	2706	2606
Coamile	349	3083	3014	3119	3101
Tuxpan	20322	24476	24454	22481	22248
Total	23819	31731	31836	29498	29145

**MUNICIPIO DE SANTIAGO IXCUINTLA**

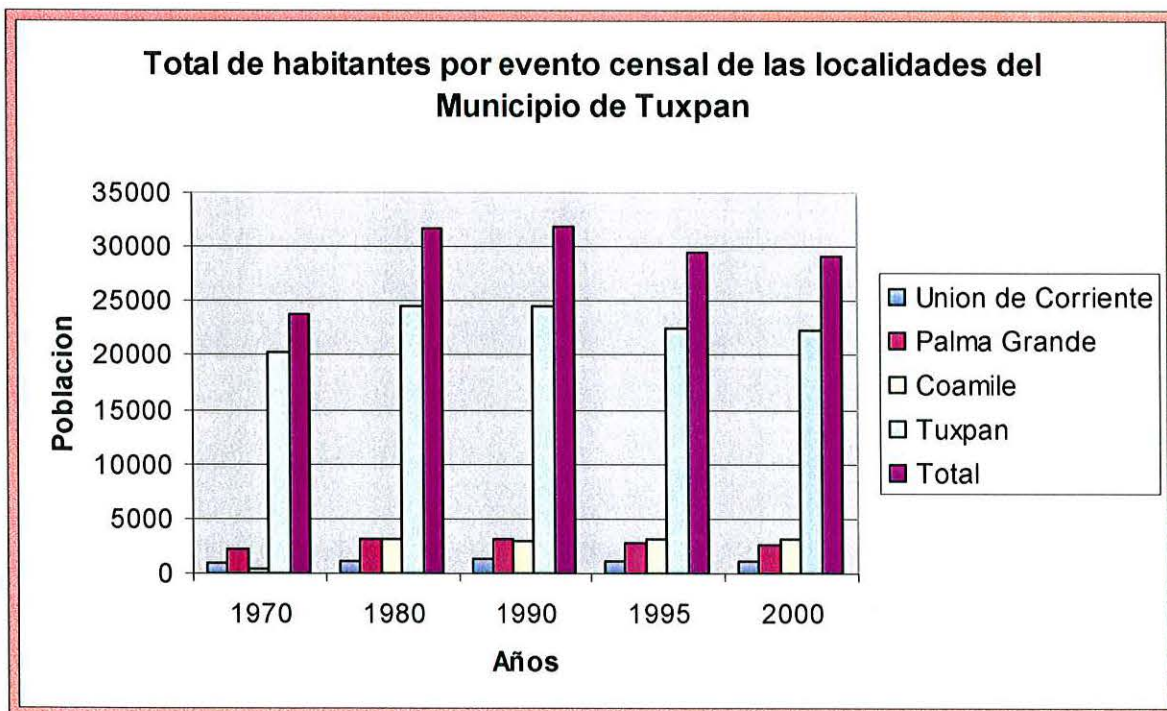
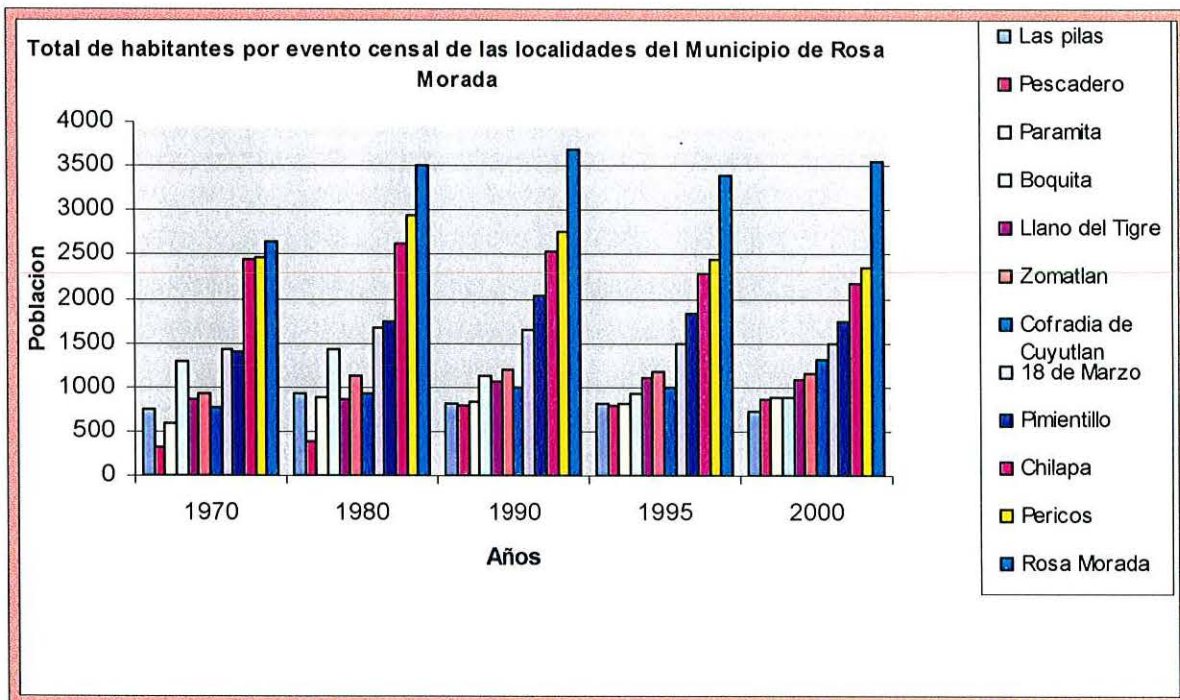
**TOTAL DE HABITANTES POR EVENTO CENSAL**

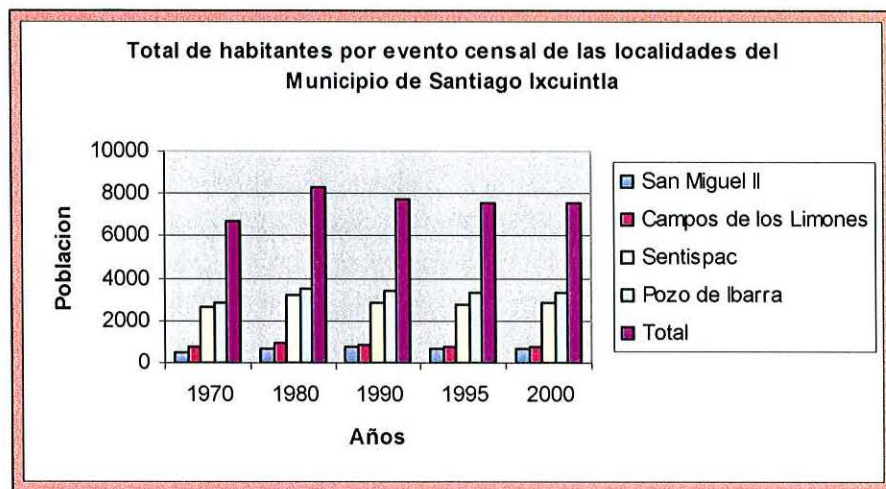
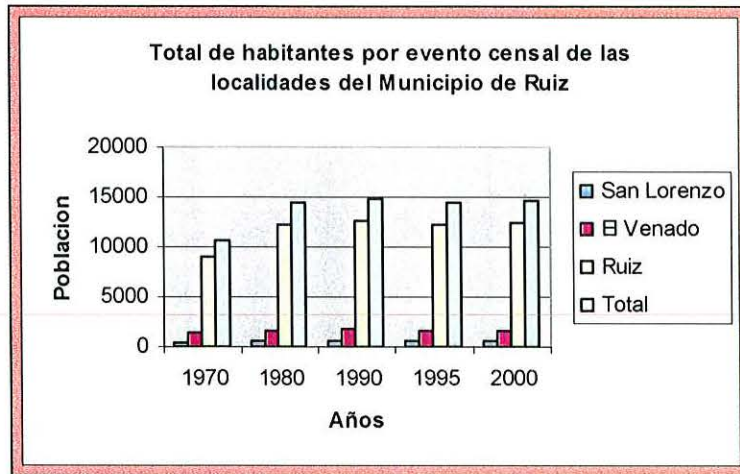
Localidades	1970	1980	1990	1995	2000
San Miguel II	477	669	719	707	682
Campos de los Limones	792	930	828	726	725
Sentispac	2630	3189	2808	2748	2863
Pozo de Ibarra	2809	3497	3389	3342	3280
Total	6708	8285	7744	7523	7550

**MUNICIPIO DE RUIZ**

**TOTAL DE HABITANTES POR EVENTO CENSAL**

Localidades	1970	1980	1990	1995	2000
San Lorenzo	354	512	531	580	597
El Venado	1324	1675	1775	1623	1607
Ruiz	8954	12266	12532	12266	12457
Total	10632	14453	14838	14469	14661





### Proyección del crecimiento poblacional en México

