

00344.

6



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**APLICACION DE UN MODELO DE
SIMULACION AMBIENTAL PARA EL
SISTEMA LAGUNAR POM-ATASTA,
CAMPECHE**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

(BIOLOGIA DE SISTEMAS Y RECURSOS ACUATICOS)

P R E S E N T A

BIOL. MARIA EUGENIA / GONZALEZ AVILA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. FELIPE VAZQUEZ GUTIERREZ

MEXICO, D F.

AGOSTO 2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: _____

FECHA: _____

FIRMA: _____

PENSAMIENTO

"Cada uno tiene que conocer el valor de la vida. Uno de los aspectos más importantes es aprender a reconocer que la vida no es solamente de uno sólo, sino esta sustentada en una amplia asociación con nuestros semejantes. También la vida no es únicamente para la generación actual... Es importante reconocer que la vida está ligada al universo..."

"Nuestra vida es un don del universo..."

Ahora estoy convencida que el nacimiento de la raza humana no es al azar, sino que es el resultado inevitable de un ordenamiento del universo.

Y. Y. NAKANO

"El destino de los ecosistemas costeros está en nuestro pensamiento y en nuestras acciones, por lo que la ética humana deberá coincidir en algún momento con la ética de la Tierra".

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en primer lugar a mi familia, quien en todo momento me ha apoyado en las decisiones que he tomado en la vida, mis mejores amigos: Sandra, Raúl, Flor y María de Jesús, quienes durante los momentos más difíciles de mi vida han estado ahí, compartiendo su tiempo para escuchar mis inquietudes, preocupaciones y éxitos, deseándome siempre lo mejor y creyendo en mí.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco el apoyo económicos brindado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), PEPRMNE y Proyecto UNAM No. 132, sin los cuales difícilmente podía haberse realizado este trabajo, así como a mi comité tutorial: Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez, Dr. Bernardo Shirassago German, M. en C. Habacuc Velasco Mendoza y Dr. Francisco Flores Verdugo quienes aportaron su tiempo y conocimientos.

Finalmente brindo un agradecimiento especial al M. en C. Habacuc Velasco Mendoza por haberme dedicado tiempo extra, para que este trabajo llegara a un feliz término, por lo cual lo considero un amigo. Extiendo este agradecimiento al Dr. Aguayo, Dra. De la Lanza; M. en C. Héctor Alexander, M. en C. Romero, Biol. Teodora y al personal del Dirección General de Bibliotecas, quienes conocí durante la elaboración de esta tesis y me aportaron consejos para poder terminar este trabajo e iniciar con mi siguiente meta: el Doctorado.

ÍNDICE

	Pag.
RESUMEN	<i>i</i>
INTRODUCCIÓN	<i>ii</i>
CAPÍTULO I. SISTEMA LAGUNAR POM-ATASTA (SLPA)	
1. MARCO AMBIENTAL	1
1.1. LOCALIZACIÓN	1
1.2. CLIMA	2
1.3. GEOMORFOLOGÍA	3
1.4. GEOLOGÍA	3
1.5. EDAFOLOGÍA	4
1.6. HIDROLOGÍA	5
1.7. FLORA	7
1.8. FAUNA	7
1.8.1. TERRESTRE	7
1.8.2. ACUÁTICA	8
1.9. POBLACIÓN E INDUSTRIA	10
1.10. OBJETIVOS	11
CAPÍTULO II. CONTAMINANTES PRESENTES EN SLPA	
2.1. HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS	12
2.2. CALIDAD DE AGUA	12
2.2.1. METALES	14
2.2.2. HIDROCARBUROS	14
2.3. HIDROCARBUROS EN MOLUSCOS	15
2.3.1. METALES	15

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	
3.1. FUNDAMENTO MATEMÁTICO	17
3.2. NORMALIZACIÓN DEL ESTADO INICIAL	20
3.3. MODELO ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA LAGUNAR POM-ATASTA (SLPA)	22
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	25
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
CONCLUSIÓN	37
BIBLIOGRAFÍA	

APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN AMBIENTAL PARA EL SISTEMA LAGUNAR POM-ATASTA, CAMPECHE

RESUMEN

En el presente trabajo se estableció un modelo del Sistema Lagunar Pom- Atasta (SLPA) considerando las variables: almeja (AL), población (PO), manglar (MA), y producción petrolera (PP). A partir del modelo se simularon cuatro experimentos que inician en 1993 y terminan en 2008.

En el experimento 1 se simuló el SLPA, bajo condiciones reales conocidas en 1993. Donde PO creció hasta 10,333 individuos, con un error del 10.8% para 1995. Mientras, que AL y MA decrecieron, con un error del 4.1% y 4.3 % respectivamente. En este mismo año PP creció 1295 millones de barriles con un error del 1%. En el experimento 2 se simuló un incremento sólo de AL y en el experimento 3 de MA donde se observó que si PO y PP tuviesen un impacto positivo sobre ellas crecería hasta su nivel máximo histórico.

Finalmente en el experimento 4 simuló un impacto positivo de PO y PP tanto sobre AL como MA. Dando como resultado que tanto MA y AL crece favorablemente, y en especial AL tendría un mayor crecimiento que los experimentos anteriores. De todo lo anterior concluimos que se debe mantener un nivel de deforestación menor al 3.7%, un tasa de crecimiento menor a 357 individuos por año y sobre todo que tanto para PO como PP se deben planear su establecimiento y desarrollo, al igual, que actividades relacionadas a ellas como agricultura, ganadería, pesca, así como inversión, transportación y transformación petrolera. Todo ello, con el fin de llegar a una sustentabilidad del SLPA.

INTRODUCCIÓN

El Sistema lagunar Pom-Atasta (SLPA) se ubica en la costa oeste del estado de Campeche, México. Éste está limitado por la Laguna de Términos y por la Cuenca del Grijalva-Usumacinta. El SLPA es un hábitat natural de gran riqueza ecológica, que lo llevó a ser considerado parte del Área Natural Protegida de Laguna de Términos (SEMARNAP, 1995), su ubicación geográfica representa un punto de convergencia socio-económico entre Cd. del Carmen y Palizada; en el estado de Campeche y Villahermosa, en Tabasco (Yáñez-Aracibia *et al.*, 1998)

Las actividades económicas desarrolladas en el SLPA se relacionan con: pesca, agricultura, ganadería e industria petrolera. Esta última es la fuente económica más importante del SLPA, ya que aporta poco más del 65% de la producción petrolera nacional, es decir, 2.4 millones de barriles diarios (Álvarez-Aguilar, 1995), pero también ha traído efectos ambientales durante los trabajos de exploración, explotación y distribución de hidrocarburos realizados por Petróleos Mexicanos (PEMEX).

El deterioro ambiental del SLPA, no sólo ha sido causado por la industria petrolera, sino también por actividades como la agricultura y ganadería, que han causado deforestación de manglar y remoción de tular (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1991). Además, se han sobre explotado los recursos acuáticos del SLPA y con ello mermado los volúmenes de captura (Secretaría de Pesca, 1988). Aunado a lo anterior está el crecimiento poblacional que ha aumentado en los últimos años y con ello el uso y consumo de los recursos naturales.

Las actividades antes mencionadas, se han desarrollado de una manera desordenada y poco planeada en el SLPA, por lo que se han causado daños ambientales severos, que se transformaron en conflictos entre los pobladores, la industria petrolera y autoridades gubernamentales (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1991).

Ante este escenario surgieron una serie de preguntas:

¿Qué pasará con el SLPA en algunos años, si continúa la interacción entre las variables: pesca, población, manglar, industria y sociedades pesqueras?.

¿Cuál variable podría disminuir la deforestación dentro del SLPA? ¿Si decreciera alguna variable podría favorecer el incremento del volumen pesquero de almejas? y ¿Qué interacciones favorecerán que desarrollo sustentable del SLPA? Esto nos llevó a tratar de abordar la problemática del SLPA, para lo cual, se aplico un modelo predictivo denominado KSIM (Kane, 1972 y 1973)

Dicho modelo se ha aplicado con aceptable resultado en México desde 1986 por Instituciones como Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1988); el Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur (Bojórquez y Ortega, 1988 y 1989), el Centro de Ecología (Bojórquez, Díaz y Saunier, 1997) y el Instituto Nacional de Ecología (INE, 1998. Comunicación personal).

ESTADO DE CAMPECHE
FALTA DE ORIGEN

CAPÍTULO I SISTEMA LAGUNAR POM-ATASTA (SLPA)

1. MARCO AMBIENTAL

1.1. LOCALIZACIÓN

El SLPA se localiza en la parte sur del Golfo de México, en el estado de Campeche entre las coordenadas $18^{\circ} 33'$ y $18^{\circ} 38''$ de latitud norte y $92^{\circ} 01'$ y $92^{\circ} 14''$ de latitud oeste (Fig. 1.1)

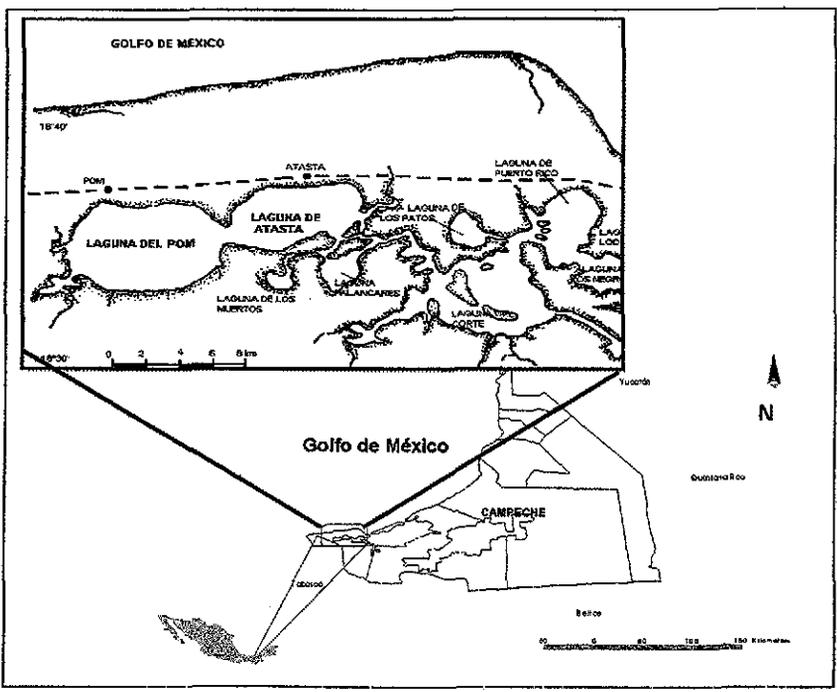


Figura 1.1. Ubicación del SLPA; Campeche, México.

El SLPA se ubica a 30 km al oeste de Ciudad del Carmen. Las principales lagunas que conforman al sistema son: Pom, Atasta, Palancares, Los Muertos, Corte, Los Patos y

Puerto Rico. Cerca de éstas lagunas se localizan las poblaciones de Nuevo Progreso, Emiliano Zapata, Pom, Atasta y San Antonio Cárdenas.

1.2. CLIMA

El SLPA se localiza en una latitud tropical dominada por tres variables: precipitación, vientos y temperatura. La temperatura media anual del SLPA es alrededor de 27.2 °C, su variación es de 1 a 3° C, por estación meteorológica en Cd. del Carmen y Candelaria.

Las variables meteorológicas mencionadas, definen la presencia de cuatro épocas: lluvias, huracanes, nortes y estiaje. Las lluvias se presentan de junio a octubre (1,500 mm/año), con máximos en septiembre y octubre, y mínimos en febrero a mayo; mientras que la evaporación es de 1400 mm en promedio. En el caso de los huracanes se presentan de septiembre a octubre. Mientras que los nortes, de octubre a febrero (con predominancia de vientos del norte acompañado con lluvias ocasionales).

Cabe mencionar que en la zona del SLPA predominan los vientos del noroeste, los cuales están influenciados por las interacciones de masas de aire frío y seco provenientes del continente (E.U.A y Canadá) y masas de origen marítimo tropical propias del Golfo de México, que provoca una fuerte frontogénesis (nortes).

En lo referente al estiaje, comprende de febrero a mayo (Phleger y Ayala Castañares, 1981; Gierloff-Emden, 1977; Yañez Arancibia y Day, 1988; Yañez Arancibia *et al.*, 1991 y 1998).

1.3. GEOMORFOLOGÍA

El SLPA es un remanente de un cuerpo de agua costero, alargado y casi paralelo a la actual línea de costa, que se ha dividido y rellenado con sedimentos terrígenos, por evolución de las llanuras deltáicas y la barrera litoral.

Dicha barrera está, constituida por una serie de cordones litorales, que han aportado sedimentos terrígenos al Golfo de México por el complejo deltáico de los ríos Usumacinta y Grijalva. Los cordones más antiguos cercanos al SLPA son aproximadamente 32, están orientados hacia el noreste y hacia el noroeste de la Laguna de Atasta y al noroeste de la Laguna de Pom, tienen un ancho aproximado de 4 km, mientras que en la Punta Pom son de 8 km y se incrementa al oeste (Gutiérrez-Estrada *et al.*; 1982). La amplitud entre las crestas de los cordones disminuye hacia el noreste y su altitud varía de 20 a 100 m, por lo que define un amplio abanico de sedimentos dispuesto al oeste, como también hacia la zona de flujo del actual Río San Pedro y San Pablo (Gutiérrez-Estrada *et al.*, 1982).

En el SLPA se observa la presencia de áreas pantanosas de manglar e inflexiones causadas por la influencia de ríos ubicados en la parte norte y oeste, así como por procesos hidrodinámicos (Gutiérrez-Estrada *et al.*, 1982). Estudios recientes indican un incremento de procesos erosivos en la costa del SLPA, lo cual, se traduce en pérdida de la playa y retroceso de la línea de costa hacia el continente (Ortiz, 1992; Aguayo *et al.*, 1998).

1.4. GEOLOGÍA

El SLPA es una cuenca de origen terciario en el sureste mexicano y presenta evidencias de carácter tectónico sedimentario, cuya acumulación es de más de 8 km de

espesor de este a oeste de Macuspana, Comalcalco y salinas del Istmo (Aguayo *et al.* 2001). La secuencia estratigráfica de donde se ubica el SLPA tiene dos orígenes, uno terrígeno y el otro marino, además la acumulación de sedimentos está afectada por diaporismo salino.

1.5. EDAFOLOGÍA

El SLPA comprende llanuras aluviales con suelos pantanosos, de alto contenido de materia orgánica, con poca pendiente, drenaje insuficiente y exceso de agua durante la mayor parte del año. De acuerdo al estudio que realizó Márquez *et al.* (1996) la textura de los suelos es de dos tipos: gruesa, representada por arenas con cuarzo y feldespatos potásicos de origen fluvio-deltaico que se localizan en los cordones litorales y llanuras de inundación y poca materia orgánica en la mayor parte de Punta Atasta. Mientras que la textura fina, está representada por limos y arcillas, de tipo silíceo, principalmente montmorillonitas, que varían en su contenido de materia orgánica y se asocian a zonas pantanosas y lacustres, propias de tierras agrícolas.

En cuanto a los tipos composicionales son cinco:

El primero son los Gleysoles, que se asocian con drenajes lentos, por lo tanto, en condiciones de inundación, su uso agrícola es limitado y se ubican hacia la parte norte de la laguna de Atasta. Mientras que el segundo tipo son los Gleysoles eútricos que se distribuyen al sur y este del SLPA, abarcando zonas de manglar y tular-popal. Algunos de estos lugares se han acondicionado para la siembra de pastos con fines pecuario. En dichos sitios la salinidad es baja o inexistente, por lo que se cultiva arroz o caña de azúcar, que son tolerantes a las inundaciones.

El tercer tipo son suelos Solonchak, presente al norte y este del SLPA, hasta la Laguna del Vapor, así como en la región de Nuevo Campechito, en este sitio predomina el mangle, pastizal, vegetación halófila y algunos matorrales, en dichos suelos se acumula el salitre tal como en las lagunas.

El cuarto tipo de suelo son Regosoles que se presenta en zonas costeras y lechos de lagos, en las partes bajas de los valles y llanos de zonas secas. En torno al SLPA, se presentan áreas de inundación de agua salada con un 40% de saturación de sodio intercambiable (OEA, 1998). Este tipo de suelos se ubican en las zonas de cordones litorales, cerca de los poblados Emiliano Zapata, Nuevo Progreso y Pom, donde se desarrollan actividades agropecuarias, presencia de pastizales o vegetación de dunas costeras. Dichos suelos son poco desarrollados, es decir, presenta sedimento primario de color claro, donde se cultivan cocoteros y sandía. Finalmente el quinto tipo son Fluvisoles que se asocian a la llanura de inundación de los ríos San Pedro y San Pablo, (Márquez *et al.*, 1996).

1.6. HIDROLOGÍA

El SLPA tiene una estrecha relación con la cuenca del Grijalva-Usumacinta y sus llanuras deltáicas, también presentan pequeños afluentes que se interconectan por canales, que constituyen uno de los principales agentes transformadores de la planicie fluvial-deltáica, esto ha repercutido en los afluentes El Gallego y El Manglar, en los ríos San Pablo y San Pedro (Gutiérrez-Estrada *et al.*, 1982).

En el SLPA se localizan más de 10 lagunas interiores que se ubican en su parte este-oeste, ésta son listadas en la Tabla 1.1. La superficie del SLPA es aproximadamente de 190 km² con una profundidad promedio de 2.7 m (Bernal, 1995), que varía durante el año.

Tabla 1.1. Principales corrientes y cuerpos de agua asociados al SLPA (INEGI, 1994).

RÍOS Y ARROYOS	LAGUNAS	TIPO DE LAGUNA
	L. Jicoteca	Perenne
A. Colorado	L. Colorada	Perenne
Río San, Pedro y San Pablo	L. de Enmedio	Perenne
	L. San Ignacio	Perenne
	L. Atasta	Perenne
	L. Pom	Perenne
	L. Río Muerto	Perenne
	L. Larga	Intermitente
	L. Mata Grande	Inundación
	L. Papalon	Intermitente
	L. Palancares	Perenne
	L. el Viento	Perenne
	L. Carlos	Perenne
	L. las Palmas	Perenne
	L. Lozada	Perenne
	Canal Malache	Perenne
	L. Puerto Rico	Perenne

Las principales lagunas del SLPA son: Laguna de Pom y Laguna de Atasta que abarcan una superficie de 80 km², de los cuales 50 km² corresponden a la laguna Pom y el resto a la laguna Atasta. La longitud de Pom es 10 km (Peña-Jiménez, 1992) tiene una profundidad media de 1.5 m y forma elipsoidal. Por su parte Atasta tiene una longitud de 9 km con una profundidad media 1.5 m y forma alargada (Gutiérrez *et al.*, 1982). El fondo de estas lagunas es casi plano con amplias áreas de bancos almejeros (Gutiérrez-Estrada *et al.*, 1982). También presentan tres canales artificiales, uno localizado entre la Isla Cura, Atasta y Bocana, otro entre Bocana, Palma Sola y Laguna Pom, mientras que el tercer canal desemboca al estero Las Coloradas

Las lagunas Pom y Atasta, están comunicadas por un canal angosto llamado Boca de Pom, el cual es un remanente de la porción central del cuerpo de laguna Pom, formado por procesos erosivos ha llegado a estrecharse por acreción de pantanos de manglar.

Dichas lagunas se comunican hacia el Golfo de México a través del Estero Torno Largo, que tiene una profundidad de aproximadamente 2 m y que a su vez se comunica con las lagunas El Corte, Puerto Rico y Términos hasta llegar a Boca de Atasta (Gutiérrez-Estrada *et al.*, 1982).

1.7. FLORA

El SLPA es una de las unidades ambientales con mayor grado de preservación, contando con 105,876 km² de manglar y 4,626 km² de vegetación halófila (De la Lanza *et al.*, 1998 y 2000), que representan el 88% de la superficie vegetal en el municipio (Benítez *et al.*, 1993).

Uno de los primeros estudios acerca del tipo de vegetación en el estado de Campeche lo realizó Vázquez (1962), quien describió la presencia y distribución de vegetación de mangle, tular y popal hacia la parte norte del SLPA. Posteriormente en 1994, esta zona se incluyó como parte del Área de Protección Ecológica de Laguna de Términos, por su valor ecológico y tipo de vegetación en áreas bajas de inundación a lo largo de la llanura fluvial. Así como por su selva baja subperenifolia, árboles espinosos, lianas y epifitas que alcanzan alturas de 4 m y hasta 15 m (SEMARNAP, 1997). Las especies raras reportadas son: *Aceraceae*, *Boraginaceae*, *Cornaceae*, *Ebanaceae*, *Magnoliaceae*, *Maritaceae*, *Podocarpaceae*, *Psilotaceae*, *Saxifragaceae* y *Symplocaceae* (Atlas del Golfo y Caribe de México, 1988).

1.8. FAUNA

1.8.1. TERRESTRE

La fauna al igual que la vegetación ha sufrido cambios significativos, debido a actividades antropogénicas como la agricultura, ganadería e industrial. En el área circundante al SLPA, SEMARNAP (1997) reporta 100 especies de mamíferos, 162 de aves, reptiles y anfibios.

Las especies de mamíferos reportados en peligro de extinción son: castor, mono araña, grisón, mosquito de noche, mono aullador, tapir, tlacuachillo dorado, así como la musaraña y ocelote (Atlas del Golfo y Caribe de México, 1988). En aves están el jabirú o cigüeña americana según lo reporta y especies semi-acuáticas como ranas, tortugas y cocodrilos (SEMARNAP, 1997).

1.8.2. ACUÁTICA

Bernal (1995) reportó que en las lagunas de Pom y Atasta, el principal género acuático es *Cichlasoma*. Datos colectados en 1998 de la estación pesquera de Atasta indican que las especies de escamas como la chopo y bandera fueron las más capturadas en 1994. Mientras que las mojarras por sus características biológicas y ecológicas se han desarrollado exitosamente a diferencia de la tilapia, la cual decreció de 16.2 toneladas a 5.1 toneladas durante 1986 a 1996.

Otro grupo presente en el SLPA es la jaiba, un recurso importante que en 1994 tuvo su mejor época con aproximadamente 207 toneladas capturadas y decreció hasta 112 toneladas. (Instituto Nacional de Pesca, 1998. Comunicación personal). Un grupo más es el de tiburones, como el cazon, tiburón, gata y raya, los cuales se capturan accidentalmente, cuando penetran en los canales de la laguna de Atasta.

Finalmente, está el grupo de almejas, considerado el recurso más explotado en el SLPA, ya que contribuía con más del 25% de la producción estatal durante los 80's. Se reportaba una biomasa extraída de almeja para el año 1970 de 1,080 toneladas y en 1980 una de 2,700 toneladas (Castillo y Chairez, 1980). Posteriormente decreció el volumen de captura y aun, con los programas de veda y repoblamiento, Desafortunadamente no se logró un incremento de dichos moluscos (EPOMEX, 1993).

Los registros de captura de almeja indican una sobre explotación durante 1979-1983, provocando un decremento en biomasa y densidad en el SLPA (Tabla 1.2) Las

especies más abundantes de almeja eran: *Rangia cuneata* que representaba el 60% del total de la producción, *R. flexuosa* el 30% y *Polymesoda carolineana* el 10%.

Tabla 1.2. Biomasa de almejas en la laguna el Pom de 1979 a 1983.

AÑO	DENSIDAD (kgm ⁻²)	BIOMASA CALCULADA (toneladas)
1979	11.7	1750
1981	6	896
1983	0.3	41

El impacto sufrido por dichas especies se detectó, al encontrar un promedio de 2 kg/m² de almeja muerta, es decir, 16,000 toneladas de almeja muerta (Castillo y Chairez, 1980; Castillo, 1981). Uribe en el año 1983 indicó, que la mortandad de la almeja fué del 94.8% del total, esto es, 189 toneladas anuales disminuyó a 10 toneladas, dicha pérdida se dio entre los años 1981 y 1983 (Figura 1.6).

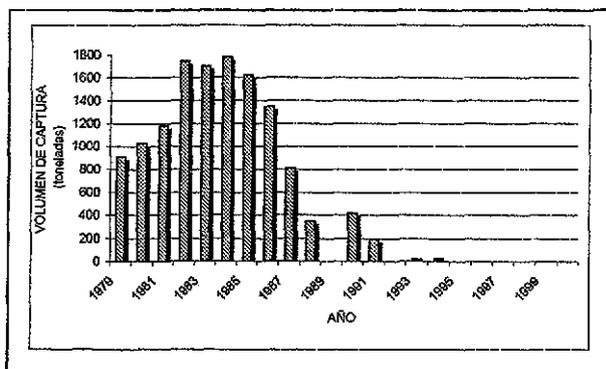


Figura 1.6. Decremento del volumen de captura de almeja de 1979 a 1995.

Los principales problemas a los que se ha enfrentado el recurso almejero son sobre explotación desde 1970, por un aumento de sociedades cooperativas pesqueras y las actividades petroleras, que provocaron contaminación en la laguna Pom (Álvarez-

Legorreta, 1994). Así también las altas mortalidades en su etapa juvenil (Secretaría de Pesca 1971 y 1985, EPOMEX, 1993) y factores como la construcción de la carretera a las orillas del sistema lagunar, obras de dragado y generación de lodos que se acumularon lateralmente al canal Malache, lo que, se tradujo en una área impactada de 0.80 km² (EPOMEX,1993),

1.9. POBLACIÓN E INDUSTRIA

Durante la década de los ochentas se incremento la explotación, exploración y perforación de pozos petroleros y con ello la migración de mano de obra en el área del SLPA. Parte de ésta población migrante, se quedo a residir en la zona (EPOMEX, 1993). Lo cual significa un incremento de 2,594 individuos en año 1960 a 7,035 en año 1980, esto es, la población se triplico en 20 años (INEGI, 1995) Todo esto trajo como consecuencia un incremento en la demanda de bienes y servicios, actividades agropecuarias y explotación de recursos, para cubrir las necesidades de la creciente población. A igual que la población se dio un incremento un auge de la actividad petrolera al descubrir y explotar los nuevos yacimientos petrolíferos en la sonda de Campeche, la producción del estado pasó de un promedio diario de 51,744 barriles en 1979 a 1, 680,00 en 1981 (CONAPO, 1985) y por ende la inversión monetaria se incremento (Figura 1.9).

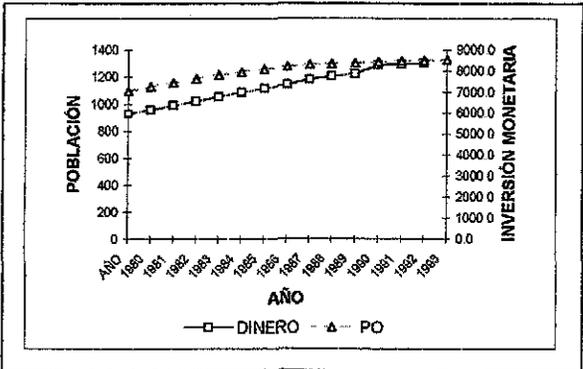


Figura 1.9 Crecimiento poblacional e inversión monetaria en el SLPA (INEGI, 1995 y PEMEX, 1995)

1.10. OBJETIVOS

- Elaborar un modelo ambiental del SLPA con el fin de diagnosticar y pronosticar las variables más representativas del SLPA.

- Contribuir al conocimiento ambiental del SLPA y proponer alternativas de manejo ante la problemática actual para sectores como el pesquero, petrolero, poblacional y de áreas con vegetación de manglar.

CAPÍTULO II. CONTAMINANTES PRESENTES EN SLPA.

2.1. HIDROCARBUROS EN SEDIMENTO

En los sedimentos del SLPA se detectaron concentraciones de hidrocarburos por debajo de los límites internacionales permisibles para zonas costeras ($70 \mu\text{g/g}$), aunque por otro lado Álvarez-Legorreta (1991) reportó valores cercanos al límite permisible, durante el auge de actividades petroleras (EPOMEX 1994). La Tabla 2.1 muestra las concentraciones reportadas para el SLPA.

Tabla 2.1. Concentración de hidrocarburos detectada para el SLPA .

AÑO	CONCENTRACIONES	HIDROCARBUROS	AUTOR
1988	4.4 - 2.1 ($\mu\text{g/g}$)*	Alifáticos, UCM y Aromáticos	Álvarez-Legorreta (1994)
1989	69 - 35 ($\mu\text{g/g}$)	Alifáticos, UCM y Aromáticos	Álvarez-Legorreta (1994)
1992	6.9 - 6.2 ($\mu\text{g/g}$)	Alifáticos, UCM y Aromáticos	EPOMEX (1993)
1997	1044.52-66.3 (ng/g)** 1349.35 -17.74 (ng/g)	Alifáticos y Aromáticos	Morales W. (1998)
1997	40-38 (ng/g)	Alifáticos, UCM y Aromáticos	Gold-Bouchot <i>et al.</i> , (1999)

*microgramos por gramo y **nanogramos por gramo

2.2. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua se define por sus características física y químicas necesarias para sostener vida acuática y terrestre, así como para su consumo humano. Estudios de la calidad del agua realizados en el SLPA, indican que después de las obras de dragado en la laguna de Pom se incrementó su salinidad de 2.05 a 6 UPS, modificando su ambiente oligohalino. Posteriormente al cierre del tapón El Gallego causo nuevamente un incremento la salinidad, esto, al decrecer el volumen de agua procedente del río San Pedro y San Pablo (EPOMEX, 1993). Tiempo más tarde con la apertura natural del

tapón e ingreso de agua del Río Palizada al SLPA, la salinidad disminuyó a 0.8 UPS. Otros parámetros reportados son: la temperatura, oxígeno, pH y transparencia que no han tenido cambios sustanciales (EPOMEX, 1993).

La Tabla 2.2 muestra los parámetros físico-químicos reportados para la zona por varios autores y se observó que están dentro de rango denominado aceptable para el desarrollo de vida acuática (NOM-001-ECOL-1996.)

Tabla 2.2. Promedio anual de algunos parámetros físico-químicos del SLPA.

AUTOR	AÑO	PROFUNDIDAD (m)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (UPS)**	TRASPARENCIA (m)	OXÍGENO (mg/L)	pH
RUIZ	1973	1.8	31	5.6	0.64	*	*
ROGERS	1973	2.5	27.0	2.7	1.0	*	*
ROGERS	1974	3.0	28.3	1.4	0.7	*	*
ROGERS	1975	3.0	28.2	1.7	0.8	*	*
CHAVEZ	1977	*	31.6	4.9	NR	*	*
CASTILLO	1981	*	28.7	4	0.7	5.45	7.9
ESCANERO	1986	*	26	7.3	*	*	*
CNA	1987	1.47	27.6	22.3	0.5	0.07	*
PEÑA	1988	2.05	30	6	0.9	*	*
PEÑA	1989	2.18	33	4.2	0.9	*	*
PEÑA	1990	1.9	28	3.08	0.6	*	*
PEÑA	1991	2.5	25.5	3.25	0.6	*	*
PEÑA	1992	2	27	6	1	*	*
BERNAL	1995	*	28.4-29.8	7.4-8.2	*	4.1-6.6	7.4-8.2
VÁZQUEZ	1996	1.04	28.8	0.7	*	4.5	8.4
VÁZQUEZ	1997	1.12	27.7	1.5	*	6.5	8.7

* Datos no reportados; **UPS= unidades porcentuales de salinidad

2.2.1. METALES

En las últimas décadas el incremento de actividades petroleras y agrícolas en la zona del SLPA, trajo contaminación por residuos químicos y metales. Rosas (1983), detectó metales en la columna de agua del SLPA (Tabla 2.3), indicando que a excepción del Hg, el resto de los metales sobrepasaban los límites máximos permisibles para agua superficial costera, dicho incremento se dio entre 1973 y 1983, justamente durante el auge petrolero en la zona del SLPA.

Tabla 2.3. Concentración metales totales ($\mu\text{g/L}$) en agua superficial.

LOCALIDAD	METAL	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	LIMITE MÁX. PERMISIBLE
ATASTA	Hg	0.2	-----	0.5 *
	Pb	38	-----	0.8**
	Cd	3.0	10	0.9**
	Cr	7.0	8.0	1.0*

*SEDUE (1986 y 1990),** Rosa et al: (1983)

2.2.2. HIDROCARBUROS

Morales (1998) reportó la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos en concentración de $22.36 \mu\text{g/L}$ para el benceno y $60.39 \mu\text{g/L}$ para criseno, en agua. En cuanto a hidrocarburos alifáticos detectaron n-alcanos en concentraciones altas que van de $12.54 \mu\text{g/L}$ a $489.93 \mu\text{g/L}$, aunque no se menciona la fuente de origen, se considera a la pirólisis, diagénesis de materia orgánica, crudo y bioturbación; como la principal fuente de origen, la segunda por quema de campos de cultivo, incendios forestales y material movilizado por transporte atmosférico, que se dan alrededor de SLPA (Botello *et al.*, 1996).

2.3. HIDROCARBUROS EN MOLUSCOS

Organismos como almejas (*Rangia cuneta*, *Polymesoda*, *Carolinea* y *Rangia flexuosa*) han sido utilizados como buenos indicadores de hidrocarburos (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Hidrocarburos en diferentes especies de almeja en el SLPA.

AÑO	CONCENTRACIONES ($\mu\text{g/g}$)	HIDROCARBUROS	ORGANISMO	AUTOR
1987	276 \pm 57	TOTALES	<i>R. cunneata</i>	Álvarez-Legorreta (1994)
1988	89 \pm 40	TOTALES	<i>R. cunneata</i>	Álvarez-Legorreta (1994)
1989	76 \pm 16	TOTALES	<i>R. cunneata</i>	Álvarez-Legorreta (1994)
1992	200 \pm 79	AROMÁTICOS UCM	<i>R. cunneata</i> <i>R. flexuosa</i>	EPOMEX (1994)
1997	699.54 \pm 31.27 68.07 \pm 25.59	ALIFÁTICOS AROMÁTICOS	<i>R. carolinea</i> <i>R. cunneata</i> <i>R. flexuosa</i>	Morales W. (1998)
1998	134	TOTALES	<i>R. cunneata</i>	Gold-Bouchot (1999)

En 1992, Peña-Jiménez reportó altas concentraciones de hidrocarburos en almeja e indicó, que habían causado mortandad instantánea de *R. cunneata*, durante el periodo de 1988-1990; Posteriormente Álvarez-Legoreta (1994) también detectó concentraciones en almeja de 238.9 a 349.28 $\mu\text{g/g}$. Tiempo más tarde Gold Bouch (1999) reportó concentraciones de 134 $\mu\text{g/g}$ para la misma especie.

2.3.1. METALES

Durante los procesos de perforación de pozos y en accidentes petroleros en la zona del SLPA, organismos como peces, almejas y camarones quedaron expuestos a metales presentes en el petróleo, aunque pudieron existir otras fuentes de contaminación como la producción de fertilizantes, la minería y las descargas de afluentes domésticos que aportan Ni, Cr, Cu, Pb, Zn, Cd y Ag en cantidades no especificadas, se sabe que la fuente primordial de metales esta dada por actividades petroleras (Álvarez-Aguilar, 1995)

En la Tabla 2.5 se muestran los metales determinados para *Crassostrea virginica*, donde el Cr y Cd se reportan en concentraciones por arriba de los límites máximos permisibles, mientras que el resto de los metales están por debajo del límite .

Tabla 2.5. Concentración media de metales ($\mu\text{g/g}$) en *Crassostrea virginica*.

LOCALIDAD	METAL	MEDIA		DESVIACIÓN ESTÁNDAR		LÍMITE MÁX. PERMISIBLE
		PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO SECO
ATASTA	*Hg	0.03<0.02	-<0.02	0.02	—	0.5*
	Pb	0.14	0.152	0.04	0.98	2.5
	**Cd	0.14	1.08	0.21	2.18	2.0*
	Cr	0.36	3.77	0.25	2.18	1.0

*Reimer *et al.*, (1973) y **Rosas *et al.*, (1983)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Los modelos son una representación simplificada de la realidad, que permiten diagnosticar y pronosticar condiciones reales o hipotéticas, de un sistema dado. En general los modelos pueden ser de dos tipos: estacionarios y dinámicos. En los primeros, las variables de estado no tiene variación temporal, mientras que en los segundos las variables de estado tienen cambios temporales. En este trabajo se aplicó un modelo dinámico denominado KSIM, en donde las variables de estado evolucionan en el tiempo.

El KSIM (Kane Simulation Modelling) o simulación K, se desarrolló en 1973 por Julios Kane y colaboradores, con el propósito de solucionar problemas socio-tecnológicos. El KSIM está orientado a establecer modelos estructurales, en los cuales el énfasis se pone en las variables de estado participantes y su interconexión o relación. Dicho modelo incluye un fundamento matemático que permite la simulación de impactos, a partir de un estado inicial y una matriz denominada (alfa) que representa la relación entre las variables de estado del sistema.

3.1. FUNDAMENTO MATEMÁTICO

El lenguaje de simulación KSIM o simulación K esta orientado a establecer modelos estructurales, en los cuales el énfasis se pone en las variables participantes y en su interconexión o relación (Kane, 1973). El KSIM esta fundamentado en la premisa de que las variables de un sistema evolucionan en el tiempo de manera no lineal, este tipo de comportamiento es coherente con la evolución temporal de las variables de un ecosistema natural hasta llegar a su capacidad de carga, es decir, es la capacidad que tiene el ambiente de mantener a un cierto numero de individuos vegetales o animales (Campbell, 2001).

Las variables independientes del modelo KSIM están representadas por el tiempo (t) y las variables del estado están dadas por la matriz x de orden 1 x n, para $i = 1,2,3,\dots,n$ y $j = 1,2,3,\dots,n$. Donde los subíndices i y j representan cada una de las variables de estado involucradas, y n representa el número total de las variables consideradas.

La variable independiente en el modelo KSIM está representada por el tiempo (t), el cual esta discretizado en el intervalo cerrado [a, b] a simular. El tamaño de paso temporal Δt , se estimó mediante la siguiente relación.

$$\Delta t = \frac{b-a}{m} \quad (3.1)$$

Donde:

a = representa el tiempo inicial de la simulación

b = representa el tiempo final de la simulación

m = representa el número de intervalos temporales a simular.

En este caso a = 1993, b = 2008, m =15 y un tamaño de paso temporal $\Delta t = 1$ año.

Dado que la variable independiente (t) es discretizada en forma equidistante, los puntos de red temporal se representan por:

$$t_0 = \text{estado inicial} \quad (3.2)$$

$$t_1 = t_0 + \Delta t$$

$$t_2 = t_1 + \Delta t.$$

$$t_k = t_{k-1} + \Delta t \quad \text{Para } k = 1,2,3,\dots,m$$

La evolución temporal de la variable de estado está representadas por:

$$x_i(t_{k-1} + \Delta t) = x_i(t_{k-1})P_i^{(t_{k-1})} \quad i = 1,2,3,\dots,n$$

$$k = 1,2,3,\dots,m \quad (3.3)$$

Donde $p_i^{(k-1)}$ mantienen información entre los impactos positivos y negativos. En cada una de las variables de estado X_j , su valor numérico está definido por:

$$p_i^{(k-1)} = \frac{1 + \frac{1}{2} \Delta t \sum_{j=1}^n \left(\left| \alpha_{ij} \right| - \alpha_{ij} \right) x_{ij}}{1 + \frac{1}{2} \Delta t \sum_{j=1}^n \left(\left| \alpha_{ij} \right| + \alpha_{ij} \right) x_{ij}} \quad (3.4)$$

Donde:

$(\left| \alpha_{ij} \right| - \alpha_{ij}) x_{ij}$ es la suma de los impactos negativos, es decir, el comportamiento que tiene x_i cuando x_j decrece.

$(\left| \alpha_{ij} \right| + \alpha_{ij}) x_{ij}$ es la suma de los impactos positivos, es decir, el comportamiento que tiene x_i cuando x_j aumenta

α_{ij} representa la matriz alfa de interacción entre las variables de estado. Así por ejemplo, la entrada α_{13} representa la interacción entre las variables x_3 sobre x_1 , en α_{24} representa la interacción entre las variables x_4 sobre x_2 , y así subsecuentemente.

Un análisis de la ecuación 3.4 presenta los siguientes casos:

1^{er} Caso: Si $\alpha_{ij} > 0$ se tiene que:

$$p_i^{(k-1)} = \frac{1}{1 + \Delta t \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}} \quad (3.5)$$

Así $p_i^{(k-1)} < 1$ positivo, por lo que los impactos negativos son menores que los positivos.

2^{do} Caso: Si $\alpha_{ij} < 0$ se tiene que:

$$p_i^{(k-1)} = 1 + \Delta t \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \quad (3.6)$$

Así $p_i^{(k-1)} > 1$ positivo, por lo que los impactos positivos son menores que los negativos.

Así $p_i^{(t_{k-1})} > 1$ positivo, por lo que los impactos positivos son menores que los negativos.

3^{er} Caso: Si $\alpha_{ij} = 0$ se tiene que:

$$p_i^{(t_{k-1})} = 1 \quad (3.7)$$

Así $p_i^{(t_{k-1})} = 1$ positivo, lo que significa que la interacción entre las variables de estado es nula.

3.2. NORMALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTADO

Las variables de estado X_i en KSIM fueron normalizadas a tener un valor entre 0 y 1. Dicha normalización se realizó mediante la siguiente consideración:

$$X_n = \frac{X_c - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3.8)$$

Donde:

X_c = valor inicial conocido (1993)

X_n = variable de estado normalizada de X .

X_{\min} = valor mínimo de X conocido de 1980 a 1993.

X_{\max} = valor máximo de X conocido de 1980 a 1993.

El valor inicial para todos los experimentos se obtienen a partir de la normalización de los datos recopilados de un período de tiempo de 14 años (1980 a 1993). Los valores estimados se muestran en Tabla 3.1.

Tabla 3 1 Estados iniciales normalizados para el SLPA

Variabes	Valor inicial no normalizado	Valor inicial normalizado
PO	8500 (ind /año)	0.38
MA	92849 (ha /año)	0.32
AL	57.41 (ton/ año)	0.02
PP	1301 (millones de barriles de petróleo)	0.40

Las variables de la tabla anterior se definieron de la siguiente manera:

- La poblacional (PO) es el número total de individuos censados por el INEGI en los poblados de Nuevo Progreso, Atasta, Pom y San Antonio Cárdenas, de 1980 al 2000.
- El manglar (MA) es la superficie terrestre con vegetación de manglar y tular ($\text{km}^2\text{año}^{-1}$), reportados por EPOMEX (1993) y De la Lanza *et al.* (1995, 1999, 2000).
- La almeja (AL) es el volumen de captura de *Rangia cuneta*, *Polymesoda carolineana* y *Rangia flexuosa* (toneladas anuales), reportados por la oficina de pesca en Atasta Campeche (1980-1993)
- Producción de petróleo crudo (PP) en la zona donde se ubica el SLPA en Campeche (millones de barriles al año), reportados por PEMEX (1999)

3.3. MODELO ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA LAGUNAR POM-ATASTA (SLPA).

El modelo ambiental implementado para el SLPA es representado mediante un diagrama de cajas (Figura 3.1). En el diagrama se representan a cada una de las variables de estado $X_1=PO$; $X_2=MA$; $X_3=AL$ y $X_4=PP$

Donde α_{ij} representa la interacción de la variable X_j sobre X_i .

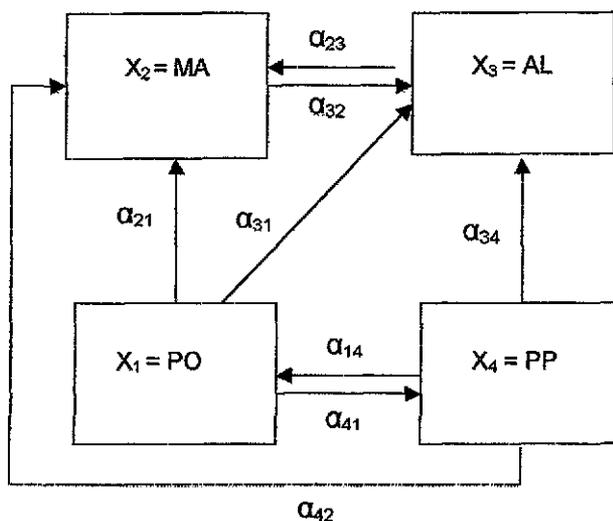


Figura 3.1.- Diagrama de caja para el SLPA.

A partir de las interacciones establecidas en la figura 3.1, se procedió a calcular la correlación entre éstas variables y se presentó en la tabla 3.2. Al final de este capítulo se presentan la figura 3.2 con las correlación, por tipo de interacción.

Tabla 3.2 Correlación e Índice KSIM.

INTERACCIÓN	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	ÍNDICE KSIM
α_{14}	$r = 0.96$	+0.96
α_{41}	$r = -0.96$	+0.96
α_{21}	$r = -0.95$	-0.95
α_{23}	$r = 0.84$	+0.84
α_{31}	$r = -0.73$	-0.73
α_{32}	$r = 0.84$	+0.84
α_{34}	$r = -0.84$	-0.84
α_{42}	$r = -0.99$	-0.99

De acuerdo a las variables de estado X_{ij} definidas, en la sección 3.3, los datos normalizados de la tabla 3.1 y el índices KSIM (tabla 3.2), se simularon cuatro experimentos. La diagonal de la matriz de cada experimento se evaluó con cero por considerar, que no hay interacción consigo misma. El estado inicial para todas las variables fué en 1993 y cada experimento tuvo su propia matriz alfa como sé vera en los resultados.

Adicionalmente, se calculo el error porcentual entre los resultados del modelo propuesto con algunos datos recopilados de 1994 a 2000 con la siguiente fórmula:

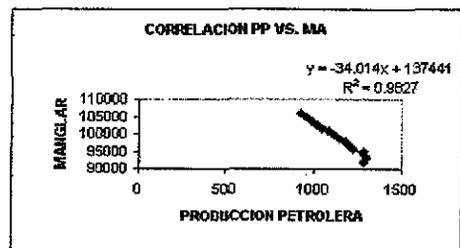
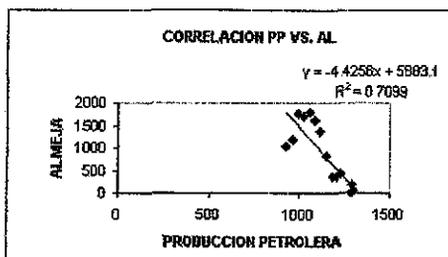
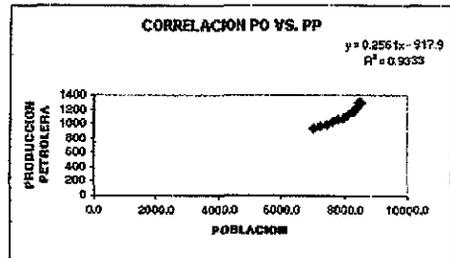
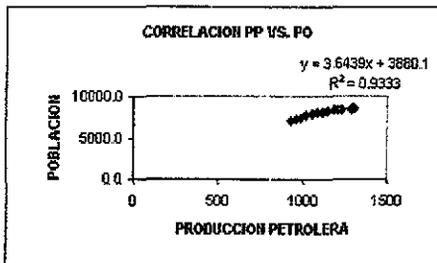
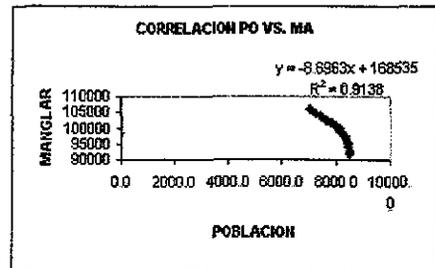
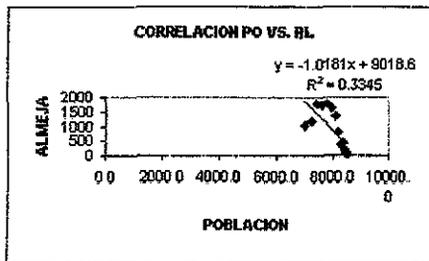
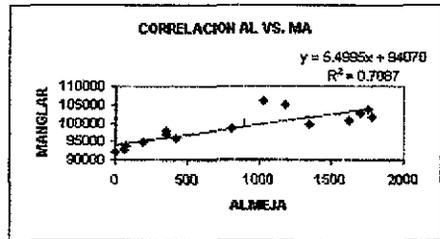
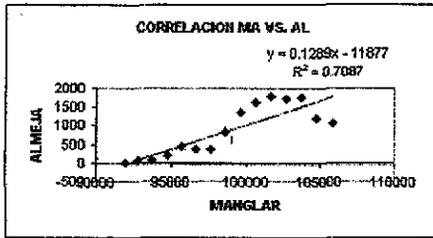
$$\% \text{ Error} = \frac{V_s - V_c}{V_c} * 100 \quad 3.10.$$

Donde:

V_c = datos conocido de un año determinado.

V_s = datos obtenido de la simulación para el año determinado.

Figura 3.2. Gráficas de correlación por tipo de interacción



CAPÍTULO IV RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de cuatro experimento numéricos realizados para el SLPA y son:

- a.) Experimento 1 se simuló el SLPA bajo las condiciones reales conocidas.
- b.) Experimento 2 la recuperación de la producción de almeja.
- c.) Experimento 3 la recuperación de la superficie de manglar.
- d.) Experimento 4 incremento de almeja y manglar.

4.1. SIMULACIÓN DEL SLPA BAJO LAS CONDICIONES REALES CONOCIDAS.

En este experimento se estableció una matriz alfa, donde cada una de sus interacciones se ajustaron de acuerdo a los datos conocidos del SLPA, obteniéndose la siguiente matriz alfa:

SI OCURRE COMO AFECTA:	PO	AL	MA	PP
PO	0	0	0	+0.96
AL	-0.73	0	+0.84	-0.84
MA	-0.95	+0.84	0	+0.99
PP	+0.96	0	0	0

La interacción $\alpha_{14} = 0.97$ represento el impacto positivo que tuvo la producción petrolera (PO) sobre el crecimiento poblacional (PO). Por su parte la interacción $\alpha_{21} = -0.73$ indico el impacto negativo que tuvo el aumento de la población (PO) sobre el decremento de los volúmenes de almejas (AL), mientras que la interacción $\alpha_{23} = 0.84$ representa el impacto positivo que tuvo el manglar (MA) sobre la almeja (AL), esto es, al aumentar una variable se incrementa la otra.

La interacción $\alpha_{24} = -0.84$ representó el impacto negativo que se ha dado, al aumentar la producción petrolera (PP) ha decrecido almeja (AL)

En el caso de la interacción $\alpha_{31} = -0.95$ representó el impacto negativo que ha tenido el crecimiento poblacional (PO) causando deforestación de manglar (MA). Mientras que la interacción producción petrolera y crecimiento poblacional fue de $\alpha_{41} = 0.97$, indicando que impacto positivo entre ella, esto es, ambas han crecido.

De la información anterior se obtuvieron la Figura 4.1 y la Tabla 4.1, esta última presenta los datos no normalizados obtenidos de la simulación.

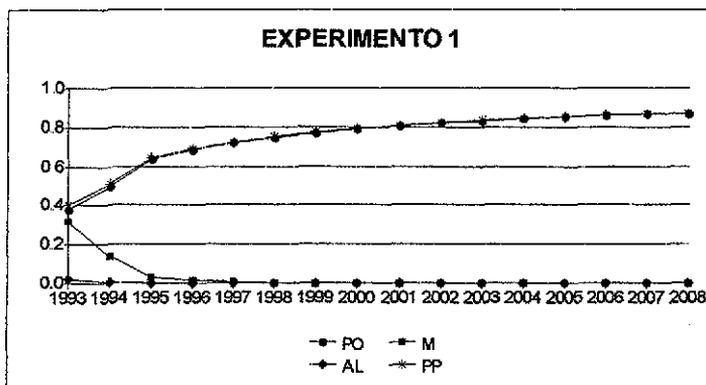


Figura 4.1. Simulación bajo condiciones reales (1993 a 2008).

La tabla 4.1, mostró que la población (PO) crecería de 8,479 a 10,333 en 15 años. El error porcentual calculado para PO fue 10.8% con respecto al censo del INEGI de 1995 y del 7.3% con respecto al censo del 2000, esto se traduce en 10,333 individuo, dados por el modelo y 10,835 individuos censados por el INEGI.

Por su parte el manglar (MA) disminuyó de 870 Km² en 1995 a 865 Km² para el año 2000. El error calculado fue 4.3% para 1995 y 0% para 2000. La disminución de superficie de manglar en 15 años será de 21 Km².

Tabla 4.1 Valores no normalizados del experimento 1 durante 1993 a 2008.

AÑO	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
PO	2479	8326	2463	9634	9771	8077	9955	10037	10088	10151	10197	10238	10278	10303	10333	10333
AL	58	31	23	21	21	21	21	21	21	19	19	18	18	19	19	19
MA	92707	82220	87081	86792	87185	86599	86581	86581	86542	86542	86542	86542	86542	86542	86542	86542
PP	1295	1388	1522	1592	1592	1618	1638	1656	1671	1682	1694	1704	1712	1719	1728	1728

En cuanto a la variable almeja (AL) decreció de 58 toneladas en 1995 a 21 toneladas en el año 2000. El error fue 4.1% para 1995 y para el año 2000 no se calculó por falta de datos de este año. Por su parte la producción petrolera (PP) creció de 1,295 millones de barriles (m.b.) a 1,726 m.b.; cuyo error fue menor al 1% para 1995 y del 10%, para el 2000.

4. 2. RECUPERACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ALMEJA

En el experimento 2 se simuló la recuperación de los volúmenes de almeja, para ello se modificaron las interacciones α_{21} , α_{23} y α_{24} asignándoles a cada uno su valor máximo histórico.

SI OCURRE COMO AFECTA.	PO	AL	MA	PP
PO	0	0	0	0.97
AL	0.99	0	0.99	0.99
MA	-0.95	0.84	0	-0.99
PP	0.97	0	0	0

La interacción $\alpha_{21} = 0.99$ representó el impacto positivo que debe tener la población sobre la producción de almeja para que esta se incremente. En el caso de la interacción $\alpha_{23} = 0.99$ representó el impacto positivo que debe tener el manglar para un incremento de almeja. Mientras la relación $\alpha_{24} = -0.99$ fue un impacto negativo, significando que cuando aumento la actividad petrolera decreció el manglar.

En la Figura 4.2 y Tabla 4.2 se representó la simulación del experimento 2 y se observó que los volúmenes de almeja crecerían rápidamente, mientras el resto de las variables se mantienen el comportamiento del experimento 1.

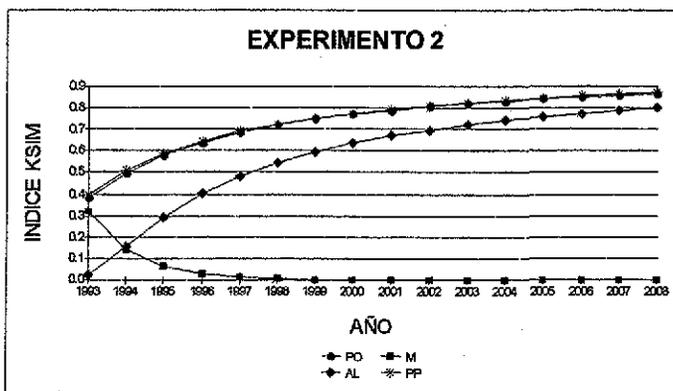


Figura 4.2. Simulación del incremento de almeja.

En Tabla 4.2 se representa el aumento de almeja que paso de 54 toneladas en 1993 a 1,407 toneladas en 2008. El resto de la variables mantuvieron su valor original de correlación

Tabla 4.2 Valores no normalizados del experimento 2 durante 1993 a 2008.

AÑO	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
PO	8479	8928	9239	9463	9694	9771	9877	9985	10037	10066	10151	10197	10239	10273	10303	10353
AL	54	292	537	729	873	984	1072	1143	1201	1248	1248	1290	1328	1358	1382	1407
MA	92707	89239	87755	87100	86811	86676	86599	86580	86581	86542	86542	86542	86542	86542	86542	86542
PP	1285	1390	1469	1522	1562	1592	1618	1639	1656	1671	1682	1694	1704	1712	1719	1726

4.3. RECUPERACIÓN DEL MANGLAR

En el experimento 3 se consideró un incremento en la superficie de manglar para lo cual se asignó a las interacciones α_{31} , α_{32} y α_{34} su valor máximo histórico

SI OCURRE COMO AFECTA.	PO	AL	MA	PP
PO	0	0	0	+0.96
AL	-0.73	0	+0.84	-0.84
MA	+0.99	+0.99	0	+0.99
PP	+0.96	0	0	0

La interacción $\alpha_{31}=0.99$ representó el impacto positivo que debería tener el crecimiento poblacional para aumentar manglar, de igual manera la interacción $\alpha_{32}=0.99$ indicaría si se incrementa almejas se propiciaría leve desarrollo de manglar, mientras $\alpha_{34}=0.99$ también representa un impacto positivo de la producción petrolera sobre el manglar, para que esta última variable creciera. El resto de las interacciones se mantuvieron su valor de correlación original (Figura 4.3).

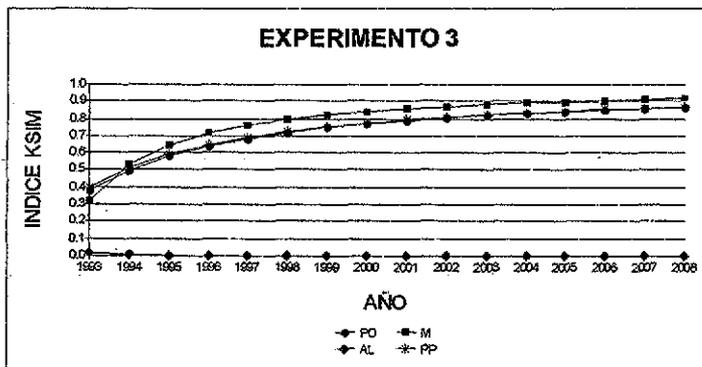


Figura 4.3. Simulación de un incremento manglar

La Tabla 4.3, mostró que la superficie de manglar se incremento hasta su nivel máximo histórico, esto es, aumentó de 9,27 km² en 1993 hasta 1,041 km² para el año 2008. La población por su parte creció a un ritmo anual de 497 individuos, mientras el volumen de almeja disminuyó de 54 toneladas hasta 19 toneladas en el 2008 y la producción petrolera se incrementó de 1,295 en 1995 a 1,726 m.b. en el último año de simulación.

Tabla 4.3. Valores no normalizados del experimento 3 durante 1993 a 2008.

AÑO	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
PO	8479	8628	9239	9463	9634	9771	9877	9965	10037	10098	10151	10197	10238	10273	10305	10338
AL	54	31	24	23	21	21	21	21	21	21	21	19	19	19	19	19
MA	82707	86772	89998	100317	101222	101877	102378	102744	103053	103303	103515	103658	103842	103977	104063	104188
PP	1295	1398	1469	1522	1562	1592	1615	1638	2391	1871	1652	1694	1704	1712	1719	1726

4. 4.-INCREMENTO DE ALMEJA Y MANGLAR

En el experimento 4 se obtuvo que tanto almeja como manglar aumentarán, ya que son variables que están disminuyendo. Para ello se modificaron las entrada ($\alpha_{21}, \alpha_{23}, \alpha_{24}, \alpha_{31}, \alpha_{32}$ y α_{33}) y el resto de las interacciones (α_{14} y α_{41}) conservaron su valor de correlación original.

SI OCURRE COMO AFECTA A:	PO	AL	MA	PP
PO	0	0	0	0.97
AL	0.99	0	0.99	0.99
MA	0.99	0.99	0	0.99
PP	0.97	0	0	0

La representación numérica se representó en figura 4.4, donde la almeja se ven más favorecidas en su crecimiento que manglar. Aun con ello, dicha relación resultó buena para ambas variables.

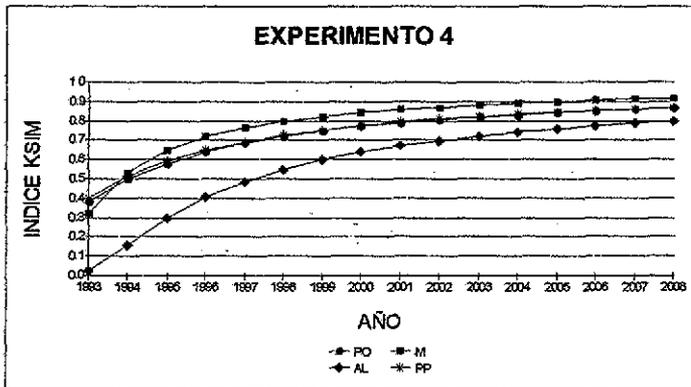


Figura 4.4. Simulación de un incremento almeja y manglar.

En la tabla 4.4 se representó un aumento de almeja de 54 toneladas en 1993 a 1,428 toneladas para el año 2008, lo cual significaría un incremento anual de 1,374 toneladas en 15 años. Por su parte la superficie de manglar aumentaría de 9,27 km² en 1993 a 1,041 km² en el año 2008, esto significa un aumento de 114 km² durante 15 años.

Tabla 4.4. Valores normalizados del Experimento (4) de 1993 a 2008.

AÑO	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
PO	8479	8928	9229	9463	9634	9771	9891	9995	10037	10099	10151	10197	10238	10278	10303	10333
AL	54	292	636,7668	729	873	964	1072	1143	1201	1248	1290	1323	1356	1382	1407	1428
MA	92707	95733	98998,16	100317	101222	101877	102378	102744	103053	103303	103515	103688	103842	103977	104093	104199
PP	1205	1398	1469	1522	1562	1592	1618	1638	1656	1671	1682	1694	1704	1712	1719	1726

En lo que respecta a la población creció de 8,479 individuos en 1993 a 10,333 en año 2008. Hay que indicar que después de realizar varias simulaciones sobre este mismo experimento se observó un aumento de la población por arriba del dato conocido, provocaría que tanto el manglar como el volumen de almeja decrecieran rápidamente.

CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el experimento 1 se observó una correlación alta entre la población y el incremento de la producción petrolera ($r=0.96$), es significa, que al aumentar una variable aumenta la otra. Así el crecimiento de población reportado fue de 8550 individuos (INEGI, 1995) y de 10,333 en el año 2000 (INEGI, 2000), traduciéndolo en aumento de 1,783 personas en sólo 5 años, es alto, si se compara con el crecimiento dado entre 1980 y 1990 que fue de 1,354. Lo anterior se traduce en una tasa de crecimiento poblacional de 357 individuos por año. Dicho crecimiento se ha visto favorecido por migración, la que se reportó desde los años setentas, cuando aumentaron las actividades petroleras en la zona (PEMEX, 1988). Actualmente continúan las actividades petróleo y se han incrementado otras del sector primario y secundario.

En lo que respecta al volumen de almeja y manglar ambos han decrecido, la almeja no sólo por la tendencia que presentaba desde los años ochentas, sino además por efecto de sobreexplotación (Instituto Nacional de Pesca 1988), contaminación (Alvarez-Legorreta 1991 y 1994; Rosas 1983; Morales, 1998) y deforestación manglar (Mas , 1994; De la Lanza *et al* 2000). En el caso particular de deforestación, se obtuvo un alto valor de correlación con respecto a la producción de almeja, mientras el resto de las variables no presentaron una correlación significativa, pero no se descarta su efecto sobre almejar, como se menciona en el Capítulo 1.

La relación contraría manglar y almeja tuvo un valor de correlación significativo ($r=0.84$), esto no sólo tiene una explicación estadística, sino además por la relación ecológica que guardan, siendo que el mangle aporta una gran cantidad de detritus al SLPA, donde organismos como las almejas lo ingieren y transforman en biomasa, para posteriormente integrarlo a la cadena alimentaría. Se sabe que *R. mangle* y *A. Germinata*, ubicadas alrededor de Atasta y Pom aportando 1.8 y $4.5 \text{ gm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Barreiro-Güemes, 1998).

En relación al punto anterior autores como Bossi y Citron (1990) mencionan una correlación de $r = 0.93$ entre la superficie de manglar y la producción pesquera de una laguna costera, en nuestro caso la correlación fue cercana a lo reportado.

La complejidad del SLPA hace necesario mencionar una serie de variable, que aunque fueron consideradas, no debe perderse de vista. Tal es el caso de la hidrología y su relación tanto con almeja y distribución de mangle. La hidrología provocó un aumento en el aporte de sedimentos totales en suspensión del Río San Pedro y San Pablo, a través del canal El Gallego, alterando la magnitud natural de los procesos como: la atenuación de la penetración de luz en columna de agua, la floculación de coloides orgánicos, la concentración de oxígeno y valor de pH en la interfase agua sedimento, dando reducción de la productividad primaria acuática en un escala corta de tiempo. Así como la deposición de sedimentos en el fondo de las lagunas afectó los procesos biológico de la almejera (EPOMEX, 1994).

En cuanto a la relación hidrología con manglar, se ha dado cambios en dirección y flujo de agua, provocado la pérdida de sedimento y con ello área de establecimiento de manglar. Además estos cambios hidrológicos han traído variaciones de salinidad, la cual es considerada causante de deforestación. Esto por que, la salinidad es decisiva para el desarrollo de bosques de mangle y su establecimiento se da en zonas hipohalinas. En el SLPA se han dado una serie de cambios de salinidad y flujos de agua, durante la apertura y cierre del tapón El Gallego, la construcción del ducto que atraviesa la laguna El Pom y la construcción de la carretera adyacente a las lagunas Pom y Atasta (EPOMEX, 1993). Todo este tipo de acciones son posibles causantes de deforestación semejante a la que provocan las actividades agropecuarias ó huracanes (Barreiro-Güemes, 1998).

Una relación que se maneja es la de pérdida de mangle por población, que según los reportes es del 0.5 km^2 nivel estatal (Terán, *et al* 1993) ó del 4.4% con respecto a la superficie total (Mas, 1998). Tal deforestación es causada principalmente por actividades agropecuarias. Los resultados indicaron que la deforestación sería del 3.7% con respecto a la superficie de manglar existente en el SLPA.

En lo que se refiere producción petrolera y su relación con las variables manglar y almeja, se ha reportado por Rosas *et al*, (1983), Alvarez –Legorreta (1991) y EPOMEX (1994) entre otros, que la presencia de la industria petrolera ha traído una serie de cambios ambientales en el SLPA. Al respecto se simuló el impacto es negativo que hay entre las variables, obteniéndose un error entre lo reportado por PEMEX del 15% para 1995 y del 1.1% para el año 2000. El comportamiento de la producción petrolera es creciente y tiene ha estabilizarse al llegar al limite máximo.

En el experimento 4.2 se obtuvo que la almeja creció cuando se incrementó la superficie de manglar por las relaciones ecológicas que guardan y si la población y producción petrolera interactúan positivamente, esto es, realizan acciones en pro de la recuperación del recurso almeja, sea estas vedas, repoblación y estudios de dinámica poblacional, entre otras, darían una recuperación de almeja en 15 años.

El experimento 4.3 se observó que si la población y la industria petrolera tuvieran un impacto positivo sobre manglar, este se incrementaría en un tiempo mayor a 10 años. Las acciones para ello puede ser desde reforestación, evitar cambios de hidrología y salinidad en la zona, así como planear las zonas donde se realizan actividades agropecuarias, ya que se sabe que no toda el área del SLPA es apropiada para siembra y ganadería. Al respecto se reportó un incremento de área dedicada a actividades agropecuaria de 73 km² en 1995 a 131 km² en el año 1998 y se considera va en aumento (SEMARNAP, 1995)

En cuanto a la interacción almeja y mangle, se da una relación ecológica dentro del sistema, ya que mientras la almeja es consumidor del detritus y mangle productor de este, es además un refugio de larvas y retiene de sedimentos entorno a las lagunas Pom y Atasta (Flores-Verdugo, 1989).

Por otro lado hay un impacto positivo de la producción petrolera sobre manglar se traduce en todo tipo de acciones que propicie un aumentó en la superficie de manglar,

las acciones para ello pueden ser evitar la deforestación, además de estudio biológicos y ecológicos del mangle local.

Finalmente en el experimento 4 simuló una recuperación tanto de mangle como almeja para lo cual las interacciones relacionadas a ésta, se evaluaron su máximo valor histórico, obteniéndose que el impacto positivo de todas ellas propiciarían un aumento mangle y una mayor recuperación de la almeja. El fin de este experimento fue obtener un escenario cercano al sustentable, es decir, aquel donde se puede ingresar una interacción entre las variables que provoquen un bienestar a largo plazo del sistema, sin que se afecte al resto de las variables, sectores o actores ambientales (Corona-Renteria, 2002).

CONCLUSIONES.

- De los resultados obtenidos concluimos que la región del Sistema Laguna Pom-Atasta ha sido afectada negativamente por un incremento de población, la deforestación de manglar y las actividades asociadas al aumento de producción petrolera.
- El crecimiento de la población, debe ser planeado y no sobrepasar una tasa anual de 357 individuos, ya que esto aumentara también actividades del sector primario y secundario, causando daños ambientales.
- En cuanto a la deforestación, es indispensable que sea menor al 3.7% para mantener un equilibrio ecológico con las poblaciones acuáticas y la hidrodinámica del SLPA.
- Finalmente la producción petrolera, no puede limitarse por cuestiones económicas tanto regionales como nacionales, pero si debe invertir en el bienestar ambiental, económico y social del SLPA, para evitar conflictos futuros.

BIBLIOGRAFÍA

Aguayo J., Gutiérrez-Estrada y Araujo Mendieta (2001). "Evolución tecto-sedimentaria de la provincia geológica del sureste del Golfo de México y la llanura costera contigua". Revista Mexicana de Cuencas Geológicas, Instituto de Geología UNAM. En prensa.

Aguayo J., Gutiérrez-Estrada y Vázquez (1998). "Geodinámica olocénica reciente del Sistema fluvio deltáico Grijalva Usumacinta en el sureste del Golfo de México". Boletín de Historia Natural. No. 49 29-44.

Álvarez-Aguilar F. (1995). "Ecología y sociedad" Universidad Autónoma del Carmen, Campeche Colección de Documentos e Investigación. 97 pp.

Álvarez-Legorreta T. (1991). "Evaluación de la contaminación por hidrocarburos en la población de la almeja (*Rangia cuneata*) en la Laguna de Pom, Campeche. Tesis de Maestría en Biología, Centro de Investigación y Estudios Avanzados de IPN. Unidad Mérida

Álvarez-Legorreta, Gold-Buchot y Zapata-Pérez (1994). "Hydrocarbon concentration in sediments and clams (*Rangia cuneata*) in Laguna de Pom, México. In Bull Environment Contamination Toxicology 52: 39-45 pp.

Álvarez R., Duran R. y González C. (1991). "Evaluación de impacto ambiental en América Latina y el Caribe" Comisión Económica para América y el Caribe. Edit Naciones Unidas Santiago de Chile, 1991. 71-74.

Atlas del Golfo y Caribe de México (1988). Edit. SEMARNAP 4-5 pp.

Ayala P. L. (1996). "Ecología de las comunidades de peces de los sistemas fluvio lagunares asociados a la Laguna de Términos, Campeche " Programa EPOMEX JAINA 7(2)

Barreiro-Güemes M.T. (1998). "Aporte de hojarasca y renovación foliar del manglar en un sistema estuarino del sureste de México" Tesis de Lic. Biol. U.A.M. Xochimilco 1-14

Benítez J. A, Zarate L. D: Borjas G. Y Yáñez- Arancibia (1992). "Expansión urbana y deterioro ambiental de la región de la Laguna de Términos, Campeche". Programa EPOMEX JAINA 5(2)

Benítez J. A, Márquez R. I., Zarate L. D. y Barcena C. (1993). "Evaluación ambiental de la planicie costera asociada a la Laguna de Términos, Campeche" Programa EPOMEX JAINA 4(2).

Bernal B. A. (1995). "Dinámica estacional de la comunidad neotónica en el sistema fluvio lagunar Deltáico Pom-Atasta, asociado a la Laguna de Términos, Campeche, México", Tesis de Lic. en Biol. UAM Xochimilco. 39, 46-47.

Bojórquez T. L. y Ortega R. A. (1988). "Las evaluaciones de impacto ambiental: conceptos y metodologías" Centro de Investigaciones de Baja California Sur .A. C. 25-45.

Bojórquez T. L., Díaz M y Saunier R. (1997). "Ordenamiento ecológico de la costa norte de Nayarit" OEA; 22-23.

Botello A, Rojas Galaviz J. L. y Zárate- Lomelí D. (1996). "Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico tendencias". EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche, México 666 pp.

Bossi R. and Citron G (1990). "Mangroves of wider caribbean" N. N. Environmental Program Nairobi in Coastal Zone Management Handbook 33 pp.

Campbell M. R. (2001) "Biología: conceptos y relaciones". Edit. Prentice Hall G-4

Castillo y Chairez (1980). "Informe sobre la evaluación del recurso almejero *Rangia cuneata* en la Laguna de Pom, Campeche". Inf. Técnico. Secretaría de Pesca. Centro Regional de Investigación Pesquera de Cd. del Carmen, Campeche, México.

Castillo R. (1981). "Informe sobre el estado actual del recurso almejero en la laguna del Pom, Atasta, Campeche". Reporte INP-SEPESCA 47 pp.

Comisión Nacional del Agua (1990). "Estudio de las lagunas de Pom y Atasta", informe técnico de la Comisión Nacional de Agua", Gerencia Estatal, Campeche Subgerencia Estatal de Administración de Agua, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.

CONAPO (1985) "Estudio sociodemográfico del estado de Campeche". Consejo Nacional de Población.

Corona- Rentería A. (2000). "Economía ecológica" Edit. UNAM, Fac. Economía, 181-184.

De la Lanza G; Sorani V. y García C.(1998). "Atlas de cuerpos de agua continentales y costeros". CNA-IB- UNAM Carta Frontera 15-5.

De la Lanza G; Suárez, Carvajal, Mesa y González (2000). "Inventario de los cuerpos de agua, continentales y costeros, vegetación", CNA-IB-UNAM. Carta Frontera E15-5.

Enciso S. G. (1999). "Sedimentación y dispersión en las lagunas costeras Pom y Atasta, Campeche." Tesis de Maestría en ICM y L, UNAM, 728,38-47.

EPOMEX (1993). "Diagnóstico Integral de la problemática ambiental de la región de Atasta, Campeche", PEMEX, Exploración y producción, región marina gobierno del estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, 1-5 .

Escanero, F.G.A (1988) "Informe técnico sobre la evaluación del recurso almeja de la Laguna del Pom, Municipio del Carmen, Campeche, Secretaria de Pesca, CRIP Carmen, 11-12.

Flores Verdugo, F. J. (1989). "Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar" Cap. 2;21-56 en Rosas-Vélez J. y F. González Farias (Eds) Temas de Oceanografía Biológica en México, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, 337 pp.

Flores-Verdugo, F. J, González Farias, Zamorano y Ramírez (1992). "Magrover ecosystems of Pacific Coast of Mexico, distribution structure, litterfall, and detritus dynamic" in Coastal Plant Community of Latino America Cap. 17, 273-281.

Gierloff-Emden, H.G. (1977). "Laguna de Terminos and Campeche Bay, Gulf of Mexico ". In W. De Gruyter (Ed) Orbital Remote Sensing of Coastal and Offshore Environments; A Manual of Interpretation, Berlin 78-89.

Gold B. G (1999). "Oil pollution in the Southern Gulf of Mexico", In Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability, and Management. Edit Herb Kumpf, Steidinger and Sherman, 372-382

Gutiérrez-Estrada M; Malpica-Cruz V. y Martínez-Reyes J. (1982). "Geomorfología y sedimentos recientes del sistema Lagunar Atasta y Pom, Campeche, México" Anales del Instituto del Mar y Limnología Univ. México 9(1): 89-93.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (2000). "Cuaderno estadístico municipal de Cd. del Carmen, Campeche". Edit 1994, 6 pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. (1999). Anuario Estadístico del estado de Campeche Edit. 1999. Cartas de clima. Campeche: Frontera E15-5, Escala 1: 250 000, Editadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía

Kane J., Verinsky y Thompson W (1973). "KSIM: a methodology for interactive resource policy simulation" *Water Resource Research* Vol. 3 (1) : 65-79 pp.

Kane J. (1972). "A primer for new cross-impact language- KSIM". *Technical Forest. and Soc. Change.* 4, 129-142.

Lankford, R. R. (1977). "Coastal lagoons of Mexico their original and classification" *Estuarine Processes* 2: 182-215 .

Mas J. y Pérez V. (1994). "Estudio del proceso de deforestación en el estado de Campeche con base en ARC/INF" EPOMEX, UAC 1 pp.

Márquez G., Suárez y Salas (1996) "Identificación del deterioro ambiental, originado por las actividades humanas y sus consecuencias ecológicas en la región de Atasta, Campeche"; Informe Técnico, subproyecto edafológico. Inst. C. M. y L., UNAM; 5-17.

Morales W. J. (1998). "Análisis de hidrocarburos presentes en agua, sedimentos y organismos de los sistemas fluvio- Lagunares Pom-Atasta y Narváez, Campeche/ Tabasco". Tesis de Lic. en Biología, UAM. Xochimilco 30-42 .

PEMEX (1988). "Proyecto desarrollo integral de la región Lagunar de Pom, Municipio del Carmen, Campeche: Etapa 1 Marco de Referencia". Superintendencia de Promoción Agropecuaria e Industrial de Petróleos Mexicanos.

Phleger, F. B. y A. Ayala-Castañares (1981). "Process and history of Términos Lagoon, Mexico", *Bull Am. Assoc. Petrol. Geol.*; 55(2); 2130-2140.

Peña-J. A. (1992). "Análisis biométrico de la población de almeja gallito *Rangia cunneata* Gray 1831, en el Sistema Fluvio Lagunar Atasta-Pom, Laguna de Términos, Campeche, México". Tesis de Lic, UNAM. 7-9 .

Pérez B. R. (2000). "Determinación de plaguicidas en las lagunas de Pom-Atasta (Campeche)". Tesis de Lic. en Biología. Univ. Auto. de Campeche. 35-36,41,44,47,53-54 pp.

Ortiz P. M. A (1992). "Retrosceso reciente de la línea de costa del frente Deltáico del río San Pedro y San Pablo, Campeche- Tabasco" 7-23.

Organización de los Estados Americano (1998). "Evaluación ambiental de la región suroeste del Estado de Campeche, México" 98-102.

Reimer A. A. (1973) "Effects of crude oil on shell". Marine Pollution Bulletin. Vol 6 No. 3 9-43.

Restrepo I,(1995). "Desarrollo sustentable en el Golfo y Caribe de México"; Edit. Centro de Ecología y Desarrollo A. C; 59,143-146,163,245-247.

Rogers P y García Cubas A. (1981). "Evolución gonádica a nivel histólogo de *Rangia Cuneata* (Gray, 1831-) de la Laguna Pom, Campeche, México (Mollusca:Bivalva); An.Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. UNAM, 8(1):1-20.

Rosas, I., Baez A. y R. Belmont (1983). "Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy Metal Pollution in Some Lagoons of Golf of Mexico". Water, Air and Soil Poll., Num. 20, 127-135 .

Ruiz H. M (1975). "Estudio ecológico preliminar de las almejas comerciales del sistema lagunar de Términos, Campeche, *Rangia cuneata* (Gray, 1931)". Tesis de Licenciatura 22-25.

SEDUE (1986). "Sistema de Información rápida de impacto ambiental 2ª Fase" Edit Subsecretaría de Ecología Dir. Gral. de Normatividad y Regulación Ecológica. 14-25.

Secretaría de Pesca (1971) Evaluación técnica del recurso almejero en laguna Pom" informe Técnico 32-CPP-63.

Secretaria de Pesca (1985). "Informe sobre la evaluación del recurso almejero *Rangia cuneata* en la Laguna de Pom, Campeche. C.I.P. del I.P.N. Del Fed. De Pesca.

Secretaria de Pesca, (1988). Estimación de los daños causados, a la pesquería de almeja en la laguna del Pom, Municipio del Carmen, Campeche por el dragado efectuado por la edificación del gasoducto (PEMEX) que va de Cd. Pemex Tabasco, a las plataformas del Golfo de México.

Secretaria de Pesca, (1980;1998). "Resumen mensual de volumen pesquero" Dirección General de Administración de Pesquerías Oficina Federal de Pesca en Atasta Instituto Nacional de Pesca.

SEMARNAP (1997). "Programa de manejo del área de protección de flora y fauna: Laguna de Términos" Edit. INE

SEMARNAP (1998). "Laguna de Términos: actividad petrolera"; Microsoft Internet. Solís-Ramírez M (1994). "Mollusca de la Península de Yucatán, México", In Yáñez Arancibia (Ed.), Recursos Faunísticos del Litoral de la Península de Yucatán. EPOMEX serie científica 2, U.A.C, 15-18.

Terán A, Zarate L. D, Santisbon M. C y Robert M. J. (1993). "Evaluación de la pérdida de selva a través del Sistema de Información Geográfica" (GIS) Programa EPOMEX JAINA 4 (1)

Uribe Martínez J, (1983). "Estimación de los daños causados en el recurso almeja en la Laguna Pom Municipio del Carmen, Campeche por el tendido de tubería (gasoducto) de Petróleos Mexicanos que une Cd. PEMEX-Tabasco, con las plataformas de explotación en la Sonda de Campeche. Centro Regional de Investigaciones Pesquera (CRIP) del Carmen. Inst. Nacional de la Pesca", 43 p.

47

Vázquez Soto S (1962). "Clasificación de las masas forestales de Campeche" Edit. INIF 12, 18-25 pp.

Vázquez Gutiérrez F. (1996) "El sistema lagunar El Carmen-Pajonal-La Manchona del Edo. De Tabasco: su hidrodinámica, la estabilidad de sus bocas y de su línea de costa. UNAM.

Yañez- Arancibia A. y Day J. W. (1988). "Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: la región de la Laguna de Términos", Edit. UNAM.

Yañez- Arancibia A (1991). "Plan integral de manejo y ordenamiento ecológico de la Laguna de Termino, Campeche. Programa EPOMEX JAINA 2(4)

Yañez-Arancibia, Lara-Domínguez, Rojas Galaviz, Villalobos Zapata, Zarate y Sánchez-Gil (1998). "Integral coastal zone management Plan Terminos Lagoon, Campeche México". In Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability, and Management. Edit Herb Kumpf, Steidenger and Sherman, 577-578