

# Influencia del transporte fluvial de sedimentos sobre la evolución de una laguna costera

M. Antonina Galván F.<sup>1</sup>, Héctor M. Arias R.<sup>2</sup>,  
Jesús Chávez M.<sup>3</sup> y J. Luis Oropeza M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Profesor Asociado. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Depto. de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. Hidrología.

<sup>2</sup>Director de Evaluación y Administración de Recursos Naturales. Instituto del Medio Ambiente y Desarrollo del Estado de Sonora.

<sup>3</sup>Profesor Investigador. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales. Especialidad de Hidrociencias.

<sup>4</sup>Profesor Investigador. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales. Especialidad de Edafología.

---

Galván F., M. A., H. M. Arias R., J. Chávez M. y J. L. Oropeza M., 1999. Influencia del transporte fluvial de sedimentos sobre la evolución de una laguna costera. *Hidrobiológica* 9 (2): 145-158.

## RESUMEN

El litoral mexicano cuenta con más de 130 sistemas lagunares costeros con una dinámica marítima-continental. Estos sistemas albergan especies pesqueras comerciales, sobre las que se desarrolla gran parte de la actividad económica. En los últimos años, las lagunas costeras han padecido procesos de azolvamiento, debido a erosión-transporte-sedimentación, derivado del cambio en el uso del suelo y a la inducción de prácticas agrícolas inadecuadas en las cuencas de aporte. El manejo de cuencas hidrológicas es una técnica que permite equilibrar la producción agrícola, las capacidades de la cuenca y los impactos fuera de ella; cuantifica los recursos suelo, agua y planta, para determinar la dinámica interrelacional entre recursos. La modelación numérica realiza las cuantificaciones requeridas y permite extrapolar las condiciones en las cuales una cuenca entra en crisis o afecta a los sistemas subsecuentes. En este trabajo se realizó la simulación numérica del proceso erosión-sedimentación entre la cuenca de aporte y su laguna costera de recepción, como un primer elemento para establecer el manejo, conservación y restauración del sistema lagunar. Los resultados muestran una fuerte dependencia entre los procesos físicos que padece la cuenca y el azolvamiento de la laguna, la predominancia de las condiciones continentales sobre las marítimas y por consiguiente, el manejo de la cuenca como alternativa de recuperación.

**Palabras clave:** Manejo de cuenca, erosión, sedimentación, hidrología superficial, sustentabilidad.

## ABSTRACT

Mexican shores have about 130 lagoon systems. The main economical activities in these systems are relate to the shrimp fisheries. Such activities have been suffered from an improper watershed management, that have resulted, among others, in an increase in the sediment rate within the lagoons. As a point to start in watershed management studies, is the knowledgement of the erosion-sedimentation processes within the basin and the lagoon. Such knowledgment is here presented for the Sontecomapan system. The rate of erosion within watershed was estimated using the Universe Equation, while the sedimentation in the lagoon was estimated by field measurements.

**Key words:** Basin management, erosion, sedimentation, superficial hydrology, sustentabilidad.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de erosión y sedimentación en una laguna costera constan de los fenómenos de desprendimiento, transporte y depósito de partículas fluviales y marítimas. Una vez que los sedimentos continentales llegan a la laguna, su depósito en el lecho abate los niveles de profundidad del fondo, o bien, cierra temporalmente el área de la desembocadura de ríos, mientras que los materiales de origen marino se depositan en las inmediaciones de la boca de la laguna, llegando a cerrar su comunicación con el mar. El desarrollo de actividades económicas en las lagunas impone el mantener éstos sistemas constantes en sus niveles del lecho y comunicación con el mar; para lograrlo se implementan programas tales como el dragado periódico y la construcción de estructuras de protección que son muy costosas y no toman en cuenta el impacto que puedan tener sobre otra parte del ecosistema (Treviño, *et al.*, 1986).

Una alternativa más adecuada es la realización de estudios integrales que contemplen las variables continentales y marinas que intervienen en el aporte, transporte y distribución de los sedimentos; este conocimiento permite establecer criterios de manejo más adecuados. Los estudios integrales demandan de un amplio conocimiento de la dinámica física de tres áreas: cuenca de aporte, área de embalse y conexiones entre ríos y mar. Estas zonas se autodefinen por ser homogéneas y tener problemáticas específicas; sin embargo, no se debe perder de vista que siempre existe influencia de una zona a otra, siendo la expresión final la forma en que se distribuyen los sedimentos en el embalse.

## SISTEMAS COSTEROS

Las lagunas costeras son cuerpos de agua semicerrados ubicados dentro de la línea de costa, con profundidades que varían de 0.60 a 5 m., reciben aportes de agua dulce provenientes del continente y agua salada a través de una conexión breve con el mar (Pritchard, 1967); la mezcla resultante es una dilución del agua salada, rica en nutrientes y oxígeno, que permite el asentamiento y reproducción de especies sumamente delicadas, como son los moluscos y crustáceos cuya explotación es altamente remunerativa (Contreras, 1993); esto se debe a que la comunicación entre la corriente y el mar no es inmediata, además de que las bocas son muy pequeñas respecto a la extensión del embalse, entonces la mezcla de aguas se realiza lentamente.

De forma natural, estos sistemas presentan una alta velocidad de cambio. Las lagunas costeras son efímeras desde el punto de vista geológico, al ser rápidamente

llenadas por sedimentos (Schubel *et al.*, 1971). El cierre de la comunicación con el mar se refleja como un detrimento de nutrientes y oxígeno para las especies, y en casos severos, se abate el nivel del agua. Sin embargo, dado que pocas veces se presenta el cierre de la boca de río, las aportaciones de sedimentos que pueda hacer el continente a la laguna, habitualmente no son consideradas (Tropeano, 1991).

Los sedimentos continentales se generan a partir de erosión hídrica sobre terrenos agrícolas con mal manejo, siendo el escurrimiento el responsable de transportar las partículas de suelo hasta la corriente, donde se depositan temporalmente (Satterlund, 1972). Desde su llegada a los cauces, los sedimentos padecen un transporte diferenciado donde los diámetros mayores se quedan en la zona de cauces, mientras que el resto llega hasta las zonas de descarga (Engelund y Hasen, 1966). La carga del lecho es transportada a lo largo de la trayectoria que siguen las líneas de corriente y se mueve por deslizamientos; se mantiene en contacto permanente con el fondo fijo, por lo tanto los cambios que sufre el lecho son muy bruscos. La carga en suspensión esta compuesta por materiales finos que se mueven a casi la misma velocidad del flujo. Finalmente, cuando una corriente alcanza otro cuerpo de agua, el encuentro entre corriente y cuerpo receptor crea una interfase donde se va a producir el depósito de partículas, debido a que el flujo pierde energía al grado de no poder igualar el peso de las partículas y éstas precipitan (Díaz, 1984).

La zona de transición que conforma la planicie de descarga de un río presenta numerosas salidas laterales y secciones transversales poco definidas, lo que permite que funcione como llanura de inundación. El flujo pasa de una dirección preferencial definida por el canal, a un gradiente de velocidades con componentes tridimensionales, que sumado a una alta densidad de obstáculos físicos como

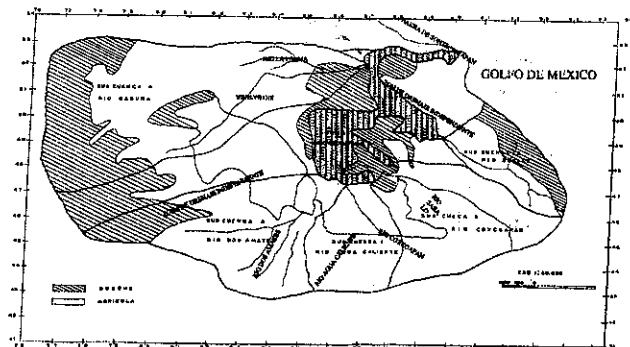


Figura 1. Cuencas de aporte a la Laguna de Sontecomapan, Veracruz.

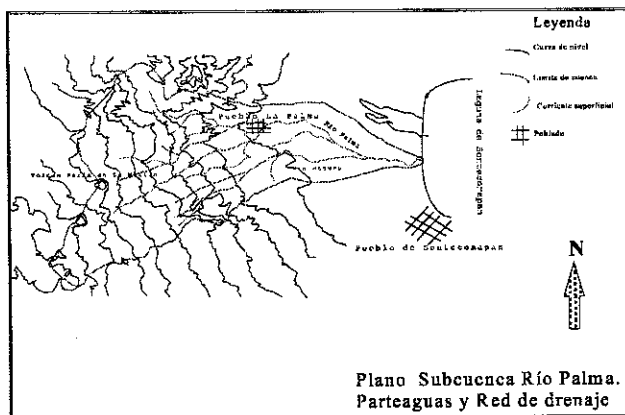


Figura 2. Cuenca Río Palma-Basura.

son los mangles, provocan una caída en el transporte de partículas (Simmon, 1995). La presencia de troncos y raíces de vegetación, aparte de inducir el depósito de las partículas más pesadas, genera un alto volumen de materia orgánica que capta las partículas minerales. Su depósito abate los niveles del fondo en la periferia de las desembocaduras y permite la colonización de áreas por parte de la vegetación como el mangle (Lau, 1994).

Una forma de abordar el fenómeno es suponer que las variables que intervienen en el transporte de las partículas se mantienen constantes a lo largo del tiempo y por tanto las características del flujo dependen de la geometría del canal. Este esquema se aplica a flujos con cambios graduales, como son ríos en su fase de descarga y que se desarrollan sobre materiales relativamente consolidados o tienen una condición de reposo muy estable (Wetzel, 1993).

El interés principal de éste estudio es evidenciar la relación existente entre la denudación de terrenos de ladera en la cuenca de aporte y el depósito de sedimentos en el embalse lagunar. Para lograrlo se realiza la estimación del aporte de sedimentos de origen continental a la laguna de Sontecomapan, Veracruz durante un periodo de 30 años, a través de un modelo de simulación utilizando como información base fotos y cartografía histórica. Adicionalmente se realiza la comparación cartográfica del material histórico, a fin de evaluar la confiabilidad de los resultados del análisis numérico.

### ÁREA DE ESTUDIO

La laguna de Sontecomapan se localiza sobre la zona costera del estado de Veracruz, en la región sudeste del país, entre los paralelos 18°30'47" y 18°32'53" de Latitud

Cuadro 1. Distribución de áreas por subcuenca.

SUBCUENCA	NO. DE ORDEN	ÁREA (KM <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (CUENCA) (%)
2 Amates	1	22.94	13.58
Agua Caliente	1	11.26	6.66
Palma-Basura	3	39.76	23.54
Sábalo	2	8.87	5.25
Coxocapan	4	62.12	36.78
Drenaje ind.	1	23.93	14.16
Total		168.88	100.00

Norte y los meridianos 95°00'58" y 95°07'17" de Longitud Oeste. Pertenece al pueblo de Sontecomapan, enclavada en la parte sudeste del municipio de Catemaco; colinda al sudeste con el Golfo de México, al noreste con el municipio de San Andrés Tuxtla, y la periferia restante con la planicie costera del Río Papaloapan. Pertenece a la Región Hidrológica No. 28-A (Río Papaloapan sur). La laguna se conforma por una cuenca exorréica que recibe aportes de 6 corrientes para posteriormente descargar sobre el Golfo de México; el Cuadro 1 enumera las corrientes y su extensión, mientras que el plano 1 muestra la ubicación geográfica.

Dado que sólo en algunos puntos se tiene información hidrométrica y climática, se determinó realizar las evaluaciones sólo para una de las subcuencas. Esta se considera como representativa y los resultados se extrapolan al resto de la cuenca a través de ponderaciones sobre las áreas (valor medio ponderado por unidad de área). La cuenca de trabajo es la del río Palma-Basura con un orden intermedio de 3; presenta toda la gama de prácticas vegetativas utilizadas en la región, además de ser similar geomorfológicamente a las demás cuencas. Se localiza sobre la porción oeste de la laguna, su área recoge los escurrimientos del flanco izquierdo, con extensión de aproximada de 40 km<sup>2</sup> (Figura 1).

El núcleo de la cuenca es parte del sistema "Sierra de los Tlaxtlas"; se compone de basaltos cubiertos por depósitos de cenizas y coladas lávicas, donde se aprecian conos volcánicos poco erosionados y algunas crestas romas o lomerios que rodean áreas planas. Además existen aparatos menores, como es la caldera que alberga a la laguna, conos cineríticos y cañadas producto de la actividad volcánica. Los principales tipos de rocas localizadas en los afloramientos y derrames son basaltos de olivino, algunas

rocas andesíticas, así como brechas y cenizas volcánicas de composición básica (INEGI, 1984).

Topográficamente se trata de una sierra de mediana envergadura que contrasta con la llanura costera lateral. La cuenca desarrolla un valle aluvial entre lomeríos que delimitan al parteaguas hasta la caldera de la laguna. Cuya altitud media es de 800 msnm, con una altitud mínima de 0 msnm y una máxima de 1100 msnm y orientación de oeste a este. La parte más abrupta se desarrolla sobre La Perla de San Martín con 1100 msnm y el cerro Basura con 200 msnm; el resto son lomeríos de laderas tendidas y cañadas resultantes de los plegamientos que desembocan en la caldera; hacia el sudeste de la cuenca (boca de la laguna) se desarrolla una pequeña planicie de inundación de poca influencia hidrológica (INEGI, 1984) (Figura 2).

Al pertenecer a la discontinuidad fisiográfica de los Tuxtles, es una sierra volcánica que irrumpe sobre la continuidad de la llanura costera en la zona de descarga del río Papaloapan. El núcleo ligeramente alargado le da su orientación de noreste a sudeste con topofomas de rasgos altamente erosivos; los sinclinales y anticlinales producen plegamientos que en las zonas altas se ven afectados por afloramientos de rocas calcáreas, dando origen a las cañadas (INEGI, 1984).

La cuenca es de clima cálido-húmedo en la parte alta, mientras que en la parte baja es cálido-subhúmedo. Recibe precipitaciones todo el año, con un promedio anual de 2272.7 mm.; presenta 2 ciclos lluviosos, siendo los meses de enero a abril la estación de baja precipitación, con menos del 10% anual, y de junio a octubre la de alta precipitación que se presentan de forma torrencial y con duraciones de más de 24 horas. La temperatura media anual es de 24.3°C, presentando una mínima de 16°C y una máxima de 32.6°C; el mes más frío es enero con una temperatura media 20.6°C,

mientras el mes con más alta temperatura es Junio con una media anual de 27.4°C (INEGI, 1987).

Los suelos son de formación reciente debido a una fuerte erosión sobre rocas preexistentes. Las unidades de suelo FAO/UNESCO (INEGI, 1991) localizadas son Andosoles con dos fases químicas, los andosoles vítricos con una presencia de 48% mientras que los de tipo mólico tienen una presencia del 24%, vertisoles con el 9% asociados a Feozems altamente erosionables mientras que los litosoles son mixtos con presencia del 12% también asociados a Feozems. Las texturas van desde arenas medias a gruesas con alta presencia de gravas y boleos que contienen materia orgánica menor al 1%. Las profundidades de suelos varían de 3.0 m en la sierra, 1.5 m en promedio para las zonas agrícolas así como se localizaron capas menores a los 80 cm en las zonas abiertas a la agricultura y periferia de la laguna (Galván, 1995).

La vegetación endémica se compone de 3 unidades altitudinales con variantes asociadas a las influencias estacionales. Son selva alta perennifolia que cubren el 51% del área, bosque de encino con cobertura del 43%, y bosque caducifolio con cobertura del 3%. El área restante esta asociada con cuerpos de agua. Las especies vegetales introducidas por el hombre son pastos inducidos, granos y forrajes para consumo local y frutales; la ubicación de las zonas agrícolas no es planificada por lo que su distribución es caótica. El Cuadro 2 presenta las variedades vegetales endémicas asociadas con la altitud (Galván, 1995).

El patrón de drenaje superficial es radial sobre los conos, con corrientes intermitentes que se vinculan a sistemas de avenamiento paralelo semiperennes entre áreas colindantes y con volúmenes de poca importancia. Este patrón desemboca sobre cañadas que dan origen a las corrientes perennes que alimentan la laguna. La

Cuadro No. 2. Clases de vegetación. Subcuenca Río Palma-Basura.

<b>SELVA BAJA CADUCIFOLIA</b>	Presente únicamente en la zona de playa, lo representa algunos arbustivos.
<b>PALMAR</b>	Asociado a las zonas de dunas y el límite entre la línea de la playa; se encuentra hasta los 20 msnm.
<b>SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA</b>	Se encuentra desde las inmediaciones de la laguna hasta los 150 msnm. su agente más representativo es el mangle y las trepadoras.
<b>SELVA ALTA PERENNIFOLIA</b>	Se nota a partir de los 50 msnm, pero se vuelve predominante hasta los 150 msnm; sus agentes representativos son los cedros, framboyanes y caobas.
<b>BOSQUE CADUCIFOLIO</b>	Se encuentra sobre las partes altas de la sierra; las especies representativas son las casuarinas, pinos que se localizan desde los 500 msnm y algunos abetos que conviven con las pináceas hasta los 1100 msnm.

densidad de corrientes es de media a alta, por lo que no colectan grandes volúmenes de agua al tener áreas de influencia relativamente pequeñas.

Geohidrológicamente se encuentra asentada sobre materiales consolidados que forman una sola unidad, de potencial geohidrológico de medio a alto. Las características hidrológicas y fisiográficas de la cuenca Palma-Basura se resumen en el Cuadro 3.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo simulación utilizado es el Agricultural Non-Point Source Pollution Model (AGNPS) V 5.0 desarrollado por Trust Fund Cooperative Agreement, con apoyo del Soil Conservation Service (SCS) en 1994. Predice el efecto del manejo del suelo en cuencas, estimando la producción de agua, sedimentos, depósito de sedimentos de salida, y concentración de contaminantes en escurrimientos, todo ello asociado con eventos aislados de lluvia. Se trata de un modelo de parámetros distribuidos por lo que la información necesaria para alimentarlo debe ser homogenizada por unidades de área. Parte de una discretización en malla regular equidistante en ambas direcciones y se compone de los siguiente módulos:

**Hidrología:** Calcula a partir de un evento de lluvia, el escurrimiento generado por cada celda; los datos de

entrada son área de drenaje ( $A$ ), altura precipitación ( $hp$ ) del evento, además de parámetros fisiográficos. Calcula también el tiempo pico ( $tp$ ) a partir de la duración de la tormenta ( $d$ ), las ecuaciones que definen volumen escurrido y ( $Q_i$ ) tiempo pico son:

$$Q_i = \frac{[hp_i - 0.2S_i]^2}{[hp_i + 0.8S_i]} \quad [1]$$

$$\text{En la que: } S_i = \frac{25400}{CN} + 254 \quad [2]$$

Donde:

$Q_i$  = Lámina de escurrimiento producida por el evento  $i$  [mm]

$h_{pi}$  = Altura de precipitación acumulada en el evento  $i$  [mm]

$S_i$  = Parámetro de retención de humedad para el evento  $i$  [mm]

CN = Número de curva [0]<sup>1</sup>

Las variables de pendiente, cobertura vegetal y capacidad de infiltración del suelo se engloban en  $S_i$  y CN. El escurrimiento pico esta definido por:

$$Q_p = A \frac{Q_i}{T_p} \quad [3]$$

Donde:

$Q_p$  = Gasto pico [mm/hr]

$A$  = Área de drenaje [m<sup>2</sup>]

$T_p$  = Tiempo pico [hr]

$$T_p = \frac{d}{2} \quad [4]$$

Donde

$d$  = duración del evento ?

### Producción de sedimentos-arrastre de nutrientes:

El cálculo de la producción de sedimentos lo realiza a partir de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (UEPS), definida por:

$$SL = RKLSCP \quad [5]$$

Donde:

$SL$  = Pérdida de suelo [ton/ha]

$R$  = Factor de erosividad de la lluvia [MJ mm/ ha hr año]

$K$  = Factor de erosionabilidad del suelo [ton ha hr/ha MJ mm]

$S$  = Factor del grado de pendiente [0]

$L$  = Factor del grado de longitud [0]

Cuadro 3. Parámetros hidrológicos y fisiográficos. Subcuenca Río Palma-Basura

Área de la cuenca	39.76 km <sup>2</sup>
Longitud de flujo superficial	0.4793 km /km <sup>2</sup>
Perímetro	33.5 km
Densidad de drenaje	1.043 km/km <sup>2</sup>
Relación de bifurcación	2.58
Longitud máxima	11.82 km
Diámetro máximo	7.6 km
Número de orden de la cuenca	3
Diámetro a la boquilla	10.07 km
Pendiente media de la cuenca	15.78%
Pendiente Media del cauce	6.055 %
Cota máxima del cauce	1700 msnm
Cota mínima	3.5 msnm
Orientación de la cuenca	W-E
Altitud media	560 msnm
Longitud total de cauces	41.5 km
Longitud del cauce principal	11.56 km

<sup>1</sup>[0] = variable adimensional

C = Factor del manejo de vegetación [0]

P = Factor de prácticas mecánicas [0]

Capacidad de transporte: La capacidad de transporte esta asociada a los canales; calcula la fracción de elementos minerales y contaminantes que son transportados a partir de las características hidráulicas de la sección por medio de la ecuación de Manning, definida por:

$$V = \frac{1}{n} S^{1/2} R_h^{2/3} \quad [6]$$

en la que:  $R_h = \frac{A}{P_m}$  [7]

Donde:

V = Velocidad media en una sección de canal [m/s]

n = Coeficiente de rugosidad de Manning [0]

S = Pendiente de fricción del canal [0]

$R_h$  = Radio hidráulico de la sección transversal [m]

$P_m$  = Perímetro de mojado de la sección transversal [m]

A = Área de la sección transversal [m<sup>2</sup>]

Calcula el porcentaje de reducción de la masa de sedimentos que entran en los canales como la fracción de la curva granulométrica que es capaz de sostener la corriente, comparando la velocidad del flujo (V) contra la velocidad crítica de caída para partículas ( $V_c$ ) definida por la ley de Stokes:

$$V_c = \frac{g(\rho_s - \rho)d}{18\mu} \quad [8]$$

Donde:

$V_c$  = Velocidad de caída de una partícula [m/s]

g = Aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$\rho_s$  = Densidad de la partícula [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho$  = Densidad del agua [kg/m<sup>3</sup>]

d = Diámetro de la partícula [m]

$\mu$  = Viscosidad absoluta del agua [kg/m s]

## CALIBRACIÓN DEL MODELO

La primera actividad realizada es la calibración del modelo. Los parámetros necesarios se obtuvieron a partir de planos topográficos editados por INEGI, reeditados 1990, y fotografías aéreas del año 1987 las más cercanas al año de 1996, fecha de muestreo en campo; los muestreos cubren un periodo completo de lluvias.

Se tiene que no todos los eventos son capaces de aportar sedimentos a la laguna; del total de lluvias que se

presentaron en el periodo de observación, sólo el 30% de ellos estuvieron por encima de este valor crítico y son para esos eventos de lluvia que se realizan las simulaciones de escurrimiento y sedimentos para posteriormente acumularlo mensualmente. Es este valor el que se compara con el volumen de sedimentos llegados a la laguna a la salida del Río Palma. Este valor se obtiene de la diferencia entre las curvas batimétricas levantadas en las fechas 24 de febrero y 19 de noviembre de 1992. En total se produjeron 659.71 toneladas de sedimentos, que en volumen representan 414.91 m<sup>3</sup>, tomando una densidad de 1.59 m<sup>3</sup>/ton. El cuadro 4 muestra el número de días con lluvia (hp) significativa por mes, sedimentos acumulados ( $Q_s$ ), escurrimiento de agua (Q) para el periodo de observación en reportes mensuales; finalmente se presenta acumulado de las simulaciones, todo esto asociado a un Número de Curva (CN) de 88 (condición de mejor ajuste).

Se observa que el parámetro hp determina el comportamiento general del modelo, dado que controla numéricamente las condiciones de saturación (CN), mientras que el de cobertura controla la producción de suelos. En el presente trabajo, la necesidad de realizar simulaciones retrospectivas para un periodo de 30 años, asociadas a diferentes condiciones de cobertura y manejo, provoca que se requieran bases de datos de información histórica no existente, como lluvias y los cambios de cobertura vegetal. Entonces se realizan simulaciones para periodos anuales con valores medios de las variables.

El ajuste de modelo muestra que bajo las condiciones medias descritas, se genera una sobrestimación del 1.61% equivalente a un error de 161.8 kg. por cada tonelada calculada.

Cuadro 4. Calibración del modelo

MES	$H_p$ (MM)	Q (Mm <sup>3</sup> )	$Q_s$ (TON)
Febrero	30.20	182.88	20.30
Mayo	49.03	294.64	25.92
Junio	128.93	1493.52	88.47
Julio	195.58	1930.40	130.93
Agosto	235.97	25.60.32	148.72
Septiembre	202.37	1605.28	134.26
Octubre	133.46	1076.96	84.08
Noviembre	48.16	172.72	27.03
Total	1023.70	9316.72	659.71

## APLICACIÓN DEL MODELO

La información utilizada en las simulaciones retrospectivas proviene del material gráfico editado por INEGI 1990, en complemento con fotografías aéreas, recopilaciones bibliográficas donde se presentan resultados de otras investigaciones e información colectada en campo. A continuación se describe brevemente la evaluación de cada uno de los parámetros del modelo, al tiempo que se presentan los resultados correspondientes.

### FACTOR DE EROSIVIDAD DE LLUVIA (R).

El parámetro de erosividad (R) se calcula de manera interna por el modelo a partir de los montos de lluvia ( $h_p$ ) y duración de la tormenta (d).

### VALORES DE PRECIPITACIÓN ( $h_p$ )

Para determinar las lluvias de simulación se establecieron intervalos de proyección con Periodos de Retorno ( $T_r$ ), de la siguiente forma: a partir de la información histórica localizada se definieron sus Funciones de Ajuste (FA) de forma mensual para Precipitación Máxima en 24 hrs. ( $PM_{24}$ ); a partir de estas funciones se realiza la proyección de diferentes alturas de Precipitación ( $h_p$ ) máxima en 24 hrs, y de lluvia mensual acumulada (PMA), (INEGI, 1987). El Cuadro 5 muestra los valores de  $h_p$  utilizados en el modelo.

Por cada año ( $T_r$ ) y mes a simular, se toma el valor correspondiente del cuadro, mientras que la duración se mantiene constante en 1 hora.

## CURVA NUMÉRICA Y CONDICIÓN DE HUMEDAD (CN)

Para estimar la condición media de humedad por mes, se divide la PMA entre el número de días con lluvia por mes. Este valor es la lluvia promedio diaria y es su acumulado quinquenal el que se compara para tener la condición de humedad; representa a la humedad que existiría en caso de que se presentara una tormenta diaria con un monto del acumulado mensual. Para el total de la cuenca se utilizó  $CN=88$  (calibración del modelo), y condición II, resultado del cálculo anterior.

### PENDIENTE DE CAUCE ( $s_o$ )

Por cada celda definida en la cuenca de trabajo (Río Basura), se determinan las longitudes hasta cauces o puntos de acumulación; estas distancias son el trazo de los laterales de la celda hasta la corriente que le atraviesa. Los canales son permanentes con lecho arenoso, con una densidad de 1.05 km. por cada  $km^2$ , indicativo de que cada celda es cruzada transversalmente por un canal permanente. La pendiente de cada celda se obtiene como:

$$S_o = \frac{\Delta H}{L} \quad [9]$$

Donde:

$s_o$  = Pendiente [0]

$\Delta H$  = Diferencia entre curvas de nivel [m]

L = Longitud de Ladera [m]

Cuadro 5. Alturas de Precipitación para el proceso de simulación.

MES	$T_r$ (AÑOS), $H_p$ (MM)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ene	4,73	16,39	17,75	18,55	19,34	20,78	21,85	34,92	46,96	50,31
Feb	3,03	7,84	8,74	9,01	10,09	10,12	11,37	19,26	24,33	25,12
Mar	1,99	6,66	7,52	7,84	8,84	8,45	7,45	14,40	19,23	20,52
Abr	2,09	6,57	7,41	7,70	8,67	8,38	7,84	14,64	19,30	20,44
May	4,33	18,34	20,91	21,94	24,91	23,02	16,23	35,84	50,19	54,97
Jun	10,54	26,39	29,39	30,25	33,80	34,15	39,53	65,98	82,73	85,06
Jul	15,71	34,91	38,59	39,48	43,89	45,60	58,90	93,18	113,73	114,96
Ago	16,55	35,52	39,16	39,99	44,38	46,53	62,07	96,70	117,10	117,74
Sep	15,09	37,10	41,27	42,45	47,40	48,08	56,58	93,66	116,96	119,95
Oct	12,47	30,68	34,13	35,10	39,19	39,76	46,78	77,44	96,71	99,19
Nov	7,74	20,34	22,71	23,43	26,23	26,23	29,04	49,58	62,83	65,02
Dic	8,55	21,65	24,12	24,85	27,78	27,99	32,05	53,79	67,62	69,64

Tanto los datos de desnivel, como de distancia se obtienen de planos topográficos editados por INEGI en escala 1:50,000 por cada celda. Los valores de  $S_0$  varían de 0.38% en la planicie de descarga, a 60% en las cañadas e inmediaciones de la sierra.

### EROSIONABILIDAD DE SUELOS (K)

La erosionabilidad de los suelos se calculó a partir de los nomogramas de Wischmeier (Figueroa, 1991). Dentro de los trabajos de campo se realizaron muestreos de suelos para definir las características de grano medio, contenido de materia orgánica, textura, profundidad y permeabilidad

Este muestreo se hizo para áreas representativas de la cuenca donde se encontró un gradiente altitudinal del diámetro de sedimentos, y el resto de la información como contenidos de materia orgánica, profundidad de suelos y permeabilidad se mantienen constantes a lo largo de la cuenca; estos parámetros se obtuvieron a través de análisis de laboratorios (análisis de sedimentos). La información obtenida se enuncia a continuación:

1. Existe un material, tanto de ladera como en cauces muy semejante en toda la cuenca (diámetro de sedimento,  $D_{50}$ , color, forma y % representativos).
2. Los diámetros preponderantes son de arenas medias a limos (0.002 a 0.1 mm)
3. Los contenidos de materia orgánica son muy bajos, menores al 4%.
4. La estructura granular es arenosa angular, de color pardo rojizo.
5. La permeabilidad es de moderada a rápida.

Con esta información se obtienen los valores de K por cada celda. Los valores de K para la cuenca varían de 0.001 a 0.25, con predominancia de 0.001.

### COEFICIENTE DE MANNING

Varios autores han propuesto ecuaciones empíricas que relacionan directamente el diámetro de alguna fracción representativa de sedimento, con los coeficientes de rugosidad, principalmente Manning. Según Maza, una ecuación de alto valor de correlación para el caso de las arenas es la siguiente:

$$n = \frac{1}{16} D_{65} \quad [10]$$

Donde:

n = Coeficiente de rugosidad de Manning [0]

$D_{65}$  = Diámetro asociado al 65% de la muestra retenida [0]

Con la limitante de que el 65% contiene a los diámetros más representativos; para nuestro caso, aún cuando los sedimentos están dentro del rango de las arenas, tenemos diámetros mucho mayores, o bien el  $D_{65}$  está muy por debajo de lo representativo, por lo que se cambió este valor por el definido como diámetro predominante. Este diámetro es el que en relación absoluta, representa la mayoría de la muestra.

Con la información de diámetro utilizada en el parámetro anterior, se resuelve la ecuación 10 para cada celda. Se tiene los coeficientes por celda varían de 0.001 a 0.45, con una fuerte tendencia al valor de 0.45, dada la predominancia de diámetros de arenas a gravas.

### LONGITUD PENDIENTE (LS)

El factor longitud-pendiente se calcula en dos fases, para el subfactor L y el subfactor S; donde L se define por:

$$L = \left[ \frac{\lambda}{22.1} \right]^m \quad [11]$$

Donde:

L = Longitud de la pendiente [m]

m = exponente [0]

Este valor varía dependiendo de la relación entre la erosión entre canalillos, debida al impacto de las gotas de lluvia, de acuerdo a la relación:

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad [12]$$

Los valores de  $\beta$  fueron calculados utilizando la relación:

$$\beta = \frac{\text{sen } \theta / 0.0896}{[3(\text{sen } \theta)^{0.8} + 0.56]} \quad [13]$$

Donde :

$\theta$  = ángulo de la pendiente [rad]

Por cada celda se determinan las longitudes hasta cauces; estas distancias son el trazo de los laterales de la celda hasta la corriente que le atraviesa. La pendiente media se obtiene para cada celda, y el ángulo  $\theta$  se calcula como la tangente de la pendiente; finalmente se calculan



los parámetros  $b$  y  $m$ . El parámetro  $S$  se calcula a partir de las ecuaciones:

$$S = 13.8 \text{ sen } \theta + 0.03 \quad \text{para } S_o < 9\% \quad [14]$$

$$S = 16.8 \text{ sen } \theta - 0.50 \quad \text{para } S_o \geq 9\% \quad [15]$$

Los valores de  $SL$  varían de 0.12 en la zona de descarga con un tramo menor a 2 km., hasta 100 en las inmediaciones de la sierra. Predominan las celdas con valores entre 20 y 50, pudiéndose decir que es el valor característico de la cuenca.

### MANEJO Y COBERTURA VEGETAL (C)

Se tienen 2 tipos de vegetación: endémica e inducida. La vegetación endémica presenta un gradiente altitudinal, (Cuadro 2) que comienza en las inmediaciones de la laguna con áreas de manglar en combinación con palmares; continúa selva baja con trepadoras y algo de pastos; le sigue la selva media en combinación con trepadoras y alta densidad de malezas, a esta franja se le considera como transición. A partir de los 150 hasta los 500 msnm se encuentra selva alta pereinifolia de alta densidad, para finalmente tener bosque caducifolio en las inmediaciones de la sierra. Esta parte de la vegetación se mantiene constante en su densidad y cobertura a lo largo del año. El cuadro 6 muestra la asignación de  $C$  para las especies endémicas.

La vegetación inducida se trata de cultivos agrícolas y pastizales para ganado; los primeros se limitan a granos en régimen de temporal (Uribe y Camacho, 1994); en escala mucho menor se encuentran las hortalizas ya que son exclusivamente de subsistencia y algo de cítricos. Existen dos ciclos de cultivo, verano-invierno, asociados a la presencia de lluvias; los patrones de rotación son del tipo maíz-maíz con algunas combinaciones de hortalizas: maíz calabaza-maíz frijol, maíz hortaliza-maíz haba en el mismo surco.

Los pastizales son permanentes, inducidos de especies endémicas del tipo alto y denso sin rotación; las cargas animales por unidad de área se calculan de forma empírica, y por observación directa se tiene que van de 2 a 4 animales/ha. Las áreas de cítricos y frutales son poco significativas, dado que se manejan como ornato, barreras contra viento y subsistencia familiar. El Cuadro 7 presenta el valor del coeficiente  $C$  para la vegetación inducida; para un clima tropical húmedo, sin labranza y ciclos de 120 días.

### PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN

El parámetro  $P$  asociado a las prácticas agrícolas de conservación, cuando no se realizan su valor es de 1, ya

Cuadro 6. Valor de  $C$  para vegetación Endémica.

TIPO DE VEGETACIÓN	ALTITUD (MSNM)	COEFICIENTE C
Manglar y palmar	0- 10	0.0004
Palmar y selva baja	10-16	0.011
Selva Baja, selva media malezas	16-100	0.019
Selva alta, selva media	100-130	0.064
Selva alta densa, selva media con malezas	130-500	0.0042
Bosque caducifolio denso, selva alta	500-1200	0.0006

que representa que el 100% del suelo puede ser removido. Para el caso de la cuenca en evaluación, el valor de  $P$  es 1, ya que las prácticas agrícolas ensayadas por los lugareños son surcado en favor de la pendiente, laboreo constante de tierra para combatir malezas, prácticas de roza, tumba y quema para el cultivo en laderas de alta pendiente.

## RESULTADOS

### CICLOS ANUALES

Las variaciones anuales obedecen a 2 procesos físicos independientes en la fase temporal. El primero son los cambios mensuales de precipitación y contenido de humedad a lo largo del año, por lo que las proyecciones de lluvia están asociadas a cada mes y por ciclos anuales. La información de cultivos, suelos y fisiografía se maneja con

Cuadro 7. Valor de  $C$  para vegetación Inducida (valor medio anual).

COMBINACIÓN	ALTITUD (MSNM)	VALOR MEDIO ANUAL
Maíz-maíz	16-100	0.660
Maíz-frijol	16-100	0.569
Maíz-haba	16-100	0.526
Maíz-hortaliza	16-100	0.457
Pastizales	16-100	0.040
Maíz-maíz	100-500	0.674
Maíz-frijol	100-500	0.637
Maíz-haba	100-500	0.558
Maíz-hortaliza	100-500	0.558
Pastizales	100-500	0.040

valores medios anualizados. El segundo proceso esta asociado a los cambios de la vegetación endémica, como el paso de selva a suelos agrícolas.

El incremento de áreas deforestadas es lento, por lo que de mes a mes no se encuentran diferencias substanciales, se requiere de intervalos de 3 a 10 años para que se noten estos cambios. Además existen los patrones de abandono de terrenos; cuando un terreno agrícola ha sido agotado o erosionado a tal grado que su producción es muy baja, se abandona abriendo nuevas áreas al cultivo. Este ciclo presenta avances de terrenos denudados en dirección a las zonas más altas, invadiendo laderas cada vez mas escarpadas.

### SIMULACIONES

La evolución de la cobertura vegetal se localizó en mapas topográficos, fotografías aéreas e información bibliográfica donde se menciona y acotan las áreas abiertas a la agricultura desde 1962 según registros de la Secretaría de la Reforma Agraria, hasta 1996 cubriendo un total de 34 años con 6 intervalos de tiempo. El Cuadro 8 detalla por intervalo, el crecimiento de áreas deforestadas y el origen de la información.

Las Figuras 3 y 4 representan la distribución de la vegetación para el año de 1962 y 1996 respectivamente, y son el inicio y final del periodo de evaluación.

Con la información anterior se generaron las bases de datos necesarias para las simulaciones por cada intervalo de tiempo. Por cada año ( $T_a$ ) y mes, se realizó la simulación (hp) en adición a la base de datos correspondiente del intervalo de tiempo, para posteriormente realizar el acumulado de las salidas numéricas por mes, año y periodo. El Cuadro 9 presenta estos valores acumulados, como volúmenes totales y tasas anuales para producción de agua y sedimentos.

Los cambios en el tiempo se obtienen a partir de los volúmenes totales por periodo; la gráfica de tiempo contra sedimentos y agua (Figura 5), presenta el comportamiento lo largo del tiempo en tasas anualizadas.

Con estos resultados de  $Q$  y  $Q_s$  por cada periodo se construye la curva que muestra la tendencia de crecimiento en ambos parámetros (Figura 5). Es sobre esta curva que se extrapolan los volúmenes máximos de captación en el embalse lagunar en el siguiente apartado.

### AZOLVAMIENTO POTENCIAL

Se cuantificaron los cambios de la morfología lagunar y cubierta vegetal a través de la comparación gráfica entre material histórico para estimar el tiempo en que se azolvaría completamente el embalse en caso de que las condiciones en la cuenca de aporte no cambiaran, esto permite calcular la vida productiva del sistema.

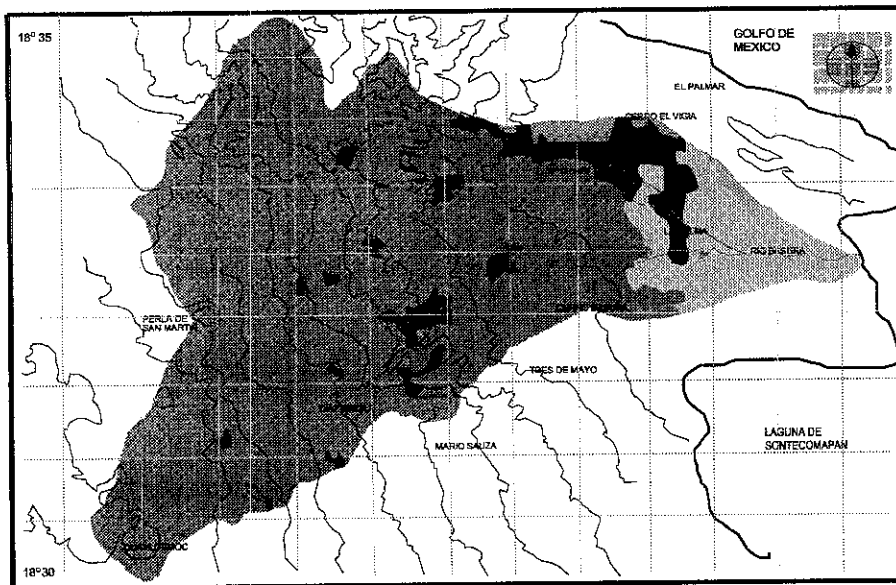
A partir de curvas batimétricas tomadas en junio de 1995, se calculó el volumen del embalse; siendo de 20 millones de  $m^3$ ; con una producción sostenida de sedimentos de 50,258.93 ton, se requerirían de 398 años para llenar por completo este volumen. Sin embargo, el incremento de arrastre de sedimentos tiene una función exponencial por lo que esta demanda de tiempo se reduce drásticamente; realizando la regresión sobre la Figura 5, se tiene que el tiempo en que se llenará la laguna será de 10 años a partir del año de evaluación (Fig. 6).

### PÉRDIDA DE EMBALSE

Para detectar las pérdidas de área de embalse y crecimiento del área de manglar se analizaron fotografías aéreas sobre 2 aspectos: cambios en la cobertura vegetal y perdida de área del embalse lagunar. El Cuadro 9 muestra las áreas denudadas para los diferentes años. En este

Cuadro 8. Crecimiento de áreas denudadas por intervalo de evaluación.

BLOQUE	PERIODO QUE ABARCA	ORIGEN DE INFORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	1962-1964	Diario Oficial	Tierras distribuidas en ambas márgenes del río la Palma, desde el pueblo la Palma hasta el manglar.
2	1964-1968	Foto aérea	Crecimiento de áreas radial sobre el emplazamiento anterior.
3	1968-1974	Foto aérea	Crecimiento remontante de ladera en dirección de la Perla de San Martín
4	1974-1978	DETENAL	Se mantiene el patrón remontante, pero con la variación de los laterales de la cuenca.
5	1978-1986	Cartas INEGI	Los límites de la deforestación alcanzan el parteaguas de la cuenca.
6	1986-1996	Foto aérea	Se expanden las manchas de zonas completamente denudadas, desaparece el patrón de abandono de terrenos, para dar paso a zonas permanentemente ocupadas.



DISTRIBUCIÓN DE VEGETACIÓN PARA EL AÑO 1962.

- AGRICOLA CUBIERTA DENSA
- ▨ SELVA BAJA PERMA. CON ARBUSTOS
- ▩ SELVA ALTA PERMA. BOSQUE DENSO CON ARBUSTOS
- ▧ PALMAR CON VEGETACION COSTERA

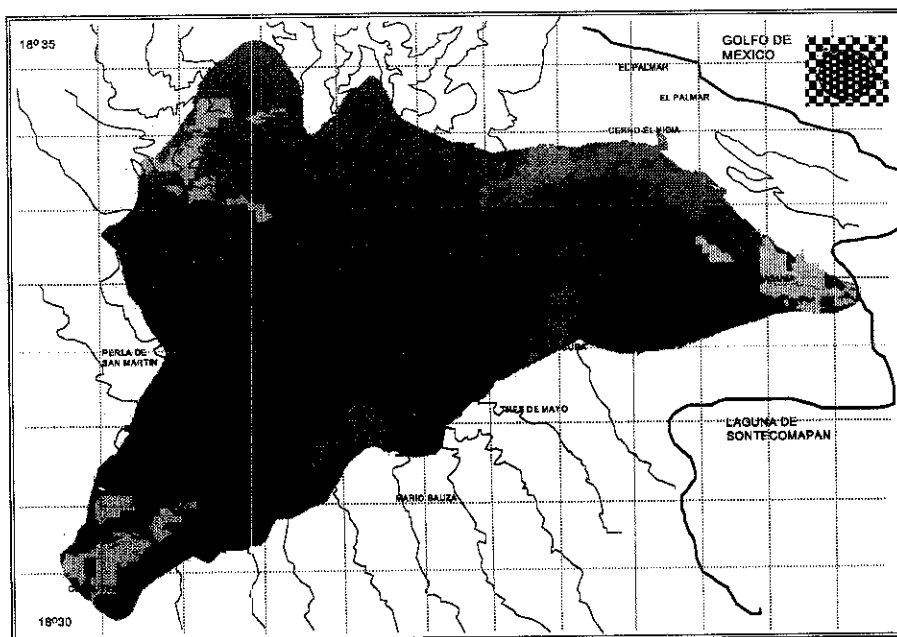
Figura 4. Distribución de la vegetación para el año de 1962. Subcuenca Palma-Basura, Veracruz.

mismo cuadro se reportan los cambios de áreas para el embalse y la zona de manglar.

La Figura 7 muestra las curvas de crecimiento de áreas denudadas-decrecimiento del embalse respecto al tiempo.

El crecimiento de las áreas denudadas tiene una velocidad de 4.05 ha/año, mientras que el manglar tiene

una velocidad de 2.25 ha/año, aproximadamente la misma velocidad de pérdida que presenta el embalse. Se observa que las zonas de mayor crecimiento de manglar están frente a las desembocaduras de los ríos con mayor volumen de escurrimientos así como el nacimiento de nuevas tierras (islas), y cierre de áreas lagunares -cercadas por tierras nuevas.



DISTRIBUCIÓN DE VEGETACIÓN PARA EL AÑO DE 1966

- AGRICOLA CUBIERTA ESPASA O EN SURCOS
- ▨ SELVA ALTA PERMA. CON ARBUSTOS
- ▩ AGRICOLA EN SURCOS O PASTIZAL SEMI DENSO
- AGRICOLA SEMPRE CUBIERTO FRUTALES
- ▧ PALMAR CON ARBUSTIVOS
- SELVA ALTA PERMA. BOSQUE DENSO CON ARBUSTOS. VEGETACION RECUPERADA
- PASTOS Y MEZCLAS PARA GANADO
- DESNUDO PERMANENTE
- ▨ AGRICOLA VEGETACION PERMANENTE
- ▧ PASTOS DE MONTAÑA

Figura 4. Distribución de la vegetación para el año de 1966. Subcuenca Palma-Basura, Veracruz.

Cuadro 9. Producción de agua y sedimentos por periodo y tasa anual.

PERIODO	PRODUCCIÓN TOTAL		TASA ANUAL	
	Q (M <sup>3</sup> )	Q <sub>s</sub> (TON)	Q (M <sup>3</sup> )	Q <sub>s</sub> (TON)
62-64	13160.03	4417.62	6580.02	2208.81
64-68	49921.81	30727.40	12480.45	7681.85
68-74	82886.60	41335.17	13814.43	6889.20
74-78	43406.52	22351.92	10851.63	5587.98
78-86	170433.14	182409.66	21304.14	22801.21
86-96	322787.42	502589.28	32278.74	50258.93

### DISCUSIÓN

De acuerdo con el cuadro 9, sedimentos producidos por periodo y tasa anual, se observa que desde el inicio de la agricultura, la producción de sedimentos fue mayor a la producción de agua, condición que indica que la cuenca no tuvo programación en cuanto a la apertura de tierras. Para el año de 1969 se da una ligera recuperación en cuanto a la producción de sedimentos de la cuenca, que también se refleja en la producción de agua. Este fenómeno es asociable a las condiciones socioeconómicas de la región, dado que en esa época se dio una fuerte migración de la población debido al abandono de una planta procesadora de pescado. Esta fue abandonada por el detrimento de la productividad pesquera en la laguna.

A partir de 1979, se vuelve a dar un incremento en la producción de sedimentos, y por primera vez se da una producción mayor de agua respecto a la de sedimentos; esto no indica que se hayan mejorado las condiciones de explotación, sino que la apertura de tierras fue indiscriminada y con ello se incrementa el escurrimiento.

Respecto a la pérdida de embalse, los datos son significativos, ya que muestra reducciones sobre el área de

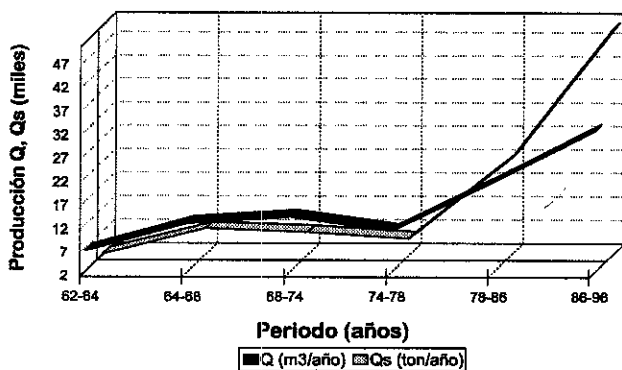


Figura 5. Producción de agua y sedimentos por periodo.

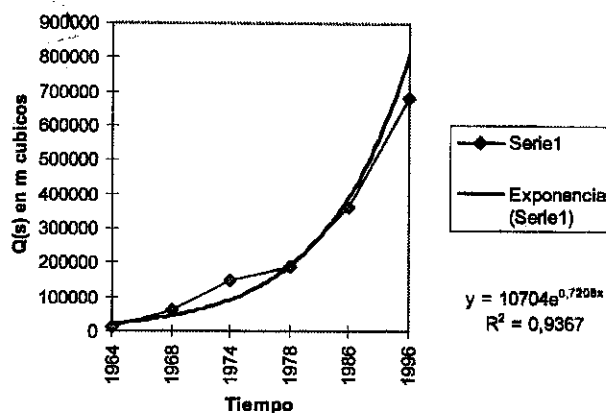


Figura 6. Regresión exponencial sobre el azolvamiento lagunar. Función de regresión y valor de ajuste. Sontecomapan, Veracruz.

embalse e incrementos sobre la superficie deforestada, prácticamente de comportamiento inverso, de donde se evidencia relación entre las modificaciones sobre la cuenca de aporte y los sedimentos.

La metodología aplicada para estimar el aporte de sedimentos de origen continental a la laguna de Sontecomapan no es nueva, ya que de siempre se han ensayado los modelos matemáticos en su orden predictivo. El modelo AGNPS permite calcular la producción de sedimentos asociados a tormentas independientes y, por supuesto, las características físicas de la cuenca, lo que genera limitantes de peso, y que son:

1. Se requiere de un volumen considerable de información, tanto hidrológica como fisiográfica. Cuando no se cuenta con información hidrológica detallada (pluviogramas), es muy difícil establecer los rangos de validez del modelo.

2. La información existente debe ser lo más cercana a las condiciones de simulación, de otra forma se corre el

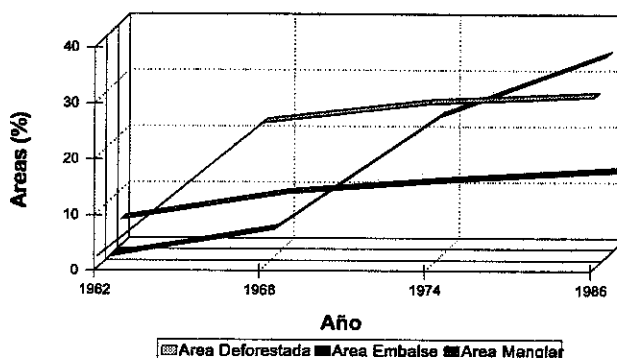


Figura 7. Relación de crecimiento-decrecimiento entre áreas.

Cuadro 10. Comparativo entre áreas. Subcuenca Palma-Basura

Año	Área Desforestada			Área Embalse		Área Manglar	
	Río Palma (km <sup>2</sup> )	Total Cuenca		(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
		(km <sup>2</sup> )	(%)				
1962	11.50	48.85	2.09	11.14	0.00	0.56	4.78
1968	18.58	78.92	25.97	10.58	5.03	1.10	9.36
1974	21.02	89.28	29.37	8.34	25.13	2.24	11.56
1986	23.46	99.64	30.70	7.13	36.00	3.80	13.22
Total	39.76	168.88	100.00				

riesgo de generar datos no confiables. En nuestro país se carece de información actualizada respecto a mapografía; respecto a los materiales fotográficos, son de mala calidad, se encuentran fraccionados y no mantienen un ritmo continuo de tomas a lo largo del tiempo.

3. Se requiere de periodos de observación de todas las variables involucradas a fin de establecer la sensibilidad del modelo. Cuando se hacen extrapolaciones en el tiempo es relativamente sencillo contar con esta información, sin embargo en el caso de las regresiones en tiempo, si las observaciones no fueron hechas, es imposible determinar los ajustes, especialmente si las condiciones son sumamente cambiantes.

Lo que respecta a este trabajo, se considera que las simulaciones son representativas de las condiciones reales, especialmente para los intervalos cortos (4 años), ya que los cambios no son tan drásticos, sin embargo la diversidad de fuentes genera incompatibilidades difíciles de soslayar. Se ensayaron varios métodos que permiten de manera indirecta controlar al modelo, para tal fin se definieron algunas relaciones causa-efecto como índices cualitativos de fenómeno estudiado. La relación superficie desforestada-perdida de embalse es un índice representativo de la velocidad de degradación del sistema, ya que la dependencia de uno respecto al otro es evidente en la Figura 7; sin embargo y a pesar de ser notoria la dependencia no se proponen relaciones numéricas debido a que se requieren de un número mayor de observaciones para tener una correlación significativa.

Otra técnica de evaluación, es determinar de manera previa que influencias padece la cuenca, ya que de éstas depende el tipo de modelación a utilizar; el acarreo de materiales no siempre es producto de dinámica continental, bajo algunas condiciones el factor predominante es el mar, y bajo otras se dan condiciones mixtas difíciles de

separar. Se considera que la técnica de caracterizar los materiales de ladera y los depositados a fin de establecer familias de sedimentos es una buena técnica para definir las influencias de cada sector dentro del sistema.

## CONCLUSIONES

La extrapolación permite estimar el tiempo que en promedio estará activo el embalse, con base a la tasa de sedimentos llegados de la cuenca. Hablando de tiempos geológicos, la evolución natural de una laguna costera está entre 1000 y 5000 años, donde la alguna de Sontecomapan no es la excepción; el periodo de 10 años calculado para la laguna estudiada es mínimo, aún cuando se desconozca el tiempo antecedente, poniendo en evidencia que la influencia de la cuenca de aporte es determinante en su vida media. Adicionalmente para esta extrapolación se considera que las condiciones de la cuenca se mantendrán estáticas, lo que no es así, ya que los procesos de denudación tienen un ritmo muy alto de crecimiento a partir de los años 80.

Una segunda forma de establecer cualitativamente la influencia de la cuenca sobre la laguna es estableciendo un programa de manejo y seguimiento de los aportes de sedimentos. Con este estudio se pretende establecer las bases de un programa de conservación del sistema cuenca-laguna, y con ello recuperar su productividad, para lo que se requiere:

1. Sistematizar la información hidrológica, meteorológica y edafológica utilizada en el estudio.
2. Realizar mediciones de pérdida de suelos por cada escenario productivo, y sedimentos llegados a la laguna.
3. Realizar la simulación numérica de las corrientes dentro de la laguna y los afluentes para determinar los gastos de desazolve y periodo de retorno, y con ello establecer los manejos hidrológicos para la recuperación de la cuenca y laguna.
4. Aplicar el modelo de simulación, pero en sentido inverso para determinar las condiciones productivas (CP) para las cuales se mantiene una producción de suelos aceptable así como las zonas de alto riesgo de erosión (áreas protegidas), para establecer los manejos agrológicos para la conservación de cuenca.

## LITERATURA CITADA

- CONTRERAS, E. F., 1993. *Ecosistemas Costeros Mexicanos*. Centro de Ecodesarrollo (CECODES), México, 263 p.

- DÍAZ M. G., 1984. *Comparación de métodos para el cálculo de transporte de sedimentos en canales aluviales*. DEDFI Facultad de Ingeniería, UNAM. pp. 35-36.
- GALVÁN, F. A., 1995. Informe Final de Investigación Lagunas Costeras, UAM-Iztapalapa, CBI-Hidrología. Tomo II, pp- 36-45, Tomo III, pp. 67-71.
- ENGELUND F., E. HASEN, 1966. *Investigations of Flow in Alluvial Streams*. Contributions from Hydraulic Laboratory. University Polytechnic Scandinavia. Copenhagen. pp. 113-121.
- FIGUEROA, S. B., 1991. *Manual de Predicción de pérdidas de suelo por Erosión*. SARH, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. pp. 1-87.
- INEGI, 1984. Síntesis Geográfica del Estado de Veracruz y anexo Cartográfico. pp. 7-13, 24-29, 37-41, 66-89.
- INEGI, 1987. Normas Climatológicas Nacionales. Síntesis climática de 40 años. pp. 4328, 4366, 4319.
- LAU Y. L., 1994. *Temperature effect on settling velocity and deposition of cohesive sediments*. Natl. Water Research Institute Burlington. Journal of Hydraulic Research. Ont. Canada. pp. 17-24.
- PRITCHARD D. W., 1967. *What is an Estuary: Physical viewpoint*. American Association Advances of Science. Pub. No. 83, pp. 3-5. Washington.
- SATTERLUND D. R., 1972. *The place of watershed management in water resource management*. Ronald Press, pp. 175-177.
- SCHUBEL J. R., H. H. CARTER, SCHEIMER, 1971. *The estuarine environment; estuaries and estuarine sedimentation. Short course, Lectures and notes*. WYE Institute. American Geological Institute. The Johns Hopkins University, Baltimore Maryland. pp. 17-32, 64-96.
- SIMMON H. B., 1995. *Some effects of upland discharge on estuarine Hydraulics*. Proc. ASCE, Hydraulics Division. No.18, pp. 792-20.
- TREVIÑO L. G., O. VILLALOBOS, J. L. PANIAGUA, 1986. *Diagnosis de Lagunas Costeras en México: Estado Actual y Evolución*. UNAM, pp 130.
- TROPEANO D., 1991. High flow events and sediment transport in small streams in the «Tertiary basin», area in Piedmont. *Hearth suffer process*. Vol. 16, 4: 323-339.
- URIBE G. S. y C. R. CAMACHO, 1994. *Factores físicos y antropógenos-tecnológicos que influyen en la conservación de los recursos de la Sierra de los Tuxtles*. Taller sobre las Políticas para una agricultura sostenible en la Sierra de los Tuxtles y Santa Martha, Veracruz. Ver. SARH, INIFAP. pp. 17.
- WETZEL A., 1993. *Transfer of River Load to Deep-sea fans: a Quantitative approach*. American Association of Petroleum Geologist. USA. pp. 63-69.

Recibido: 7 de septiembre de 1998.

Aceptado: 18 de marzo de 1999.