



01146

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS



**Cantidad de sedimento drenado hacia el Oceano Pacifico por los
principales rios del norte de Baja California.**

(1950 - 1983)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

OCEANOLOGO

PRESENTA

Guillermo Pozos Salazar

Ensenada, B. C. Septiembre de 1985.

BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA

RESUMEN

Se evaluó la cantidad de sedimento drenado hacia el Océano Pacífico por las corrientes principales del norte de Baja California, en el período de 1950 a 1983. Estas cantidades se calcularon para cada una de las cuencas de drenaje definidas en la zona, mediante el modelo numérico de Langbein y Schumm (1958). Para la aplicación del modelo, en cada cuenca se evaluó la precipitación anual media efectiva y su área. La precipitación anual media efectiva de la cuenca fue calculada en términos del escurrimiento anual promedio en base a las características propias de las cuencas como son: precipitación anual media, tipos y porcentaje de cobertura vegetal, textura del suelo, pendiente y área de la cuenca. El área de las cuencas se calculó mediante un sistema digital administrador y procesador de un banco de archivos topográficos. En base a las cantidades de sedimento que se drenan en las cuencas definidas, en la parte norte de Baja California se pueden distinguir tres subzonas de aporte sedimentario: la Subzona Norte, la más importante dado que ésta contribuye en promedio con 1.76×10^6 ton/año de sedimento. La Subzona Centro, que es la de menor contribución dado que en promedio se drenan 613.6×10^3 ton/año de sedimento. La Subzona Sur, en donde en promedio se drenan 1×10^6 ton/año de sedimento. Las diferencias de aporte sedimentario entre las tres subzonas, es el resultado de las diferencias en precipitación, en el porcentaje y tipo de cobertura vegetal, y en el área que presentan sus cuencas de drenaje. Los ríos de la parte norte de Baja California en promedio drenan hacia el Océano Pacífico 3.4×10^6 ton/año de sedimento. Se buscó la relación entre la cantidad de aporte sedimentario por cuenca y las dimensiones existentes en las playas. No se encontró ninguna relación consistente.

"CANTIDAD DE SEDIMENTO DRENADO HACIA EL OCEANO PACIFICO
POR LOS PRINCIPALES RIOS DEL NORTE DE BAJA CALIFORNIA"
(1950-1983)

T E S I S
QUE PRESENTA:

GUILLERMO POZOS SALAZAR

Aprobada por:

Presidente del Jurado
Oc. Sergio Pou Albert

Sinodal Propietario
Oc. Lorenzo Gómez-Morín N.

Sinodal Propietario
Oc. Roberto Pérez H.

Sinodal Suplente
Oc. Guillermo E. Avila S.

Sinodal Suplente
Oc. Miguel Tellez

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

GUILLERMO POZOS MENDOZA Y
ERNESTINA SALAZAR DE POZOS.

A MIS HERMANOS:

TERESA, POR SU EJEMPLO
ERNESTINA, POR SU TENACIDAD
GERARDO, POR SU APOYO
ALFREDO Y LORENA.

A MIS NIÑOS:

KAREN, GERARDO HERNESTO Y
EDGAR GUILLERMO.

A MIS BUENOS AMIGOS:

POR SU CARINO Y COMPANIA

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud y reconocimiento al Ocean. Sergi Pou Alberú, por haber dirigido este trabajo, y al Ocean. Lorenzo Gómez-Morín, por su apoyo y sugerencias.

El agradecimiento más sincero a todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de este estudio, especialmente al Oc. Alejandro Hinojosa C. por su colaboración en el desarrollo de TOPOGRAFIC.

I N D I C E

	<u>Pag</u>
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES:	
Generales	4
Particulares	6
OBJETIVOS	9
DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO:	
Clima	11
Vegetación	11
Hidrología	12
Morfología costera	17
MATERIALES Y METODO:	
Materiales	22
Método	23
RESULTADOS	27
DISCUSIONES	43
CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFIA	61
APENDICE No 1: Descripción del sistema TOPOGRAFIC	67
APENDICE No 2: Cálculo de la precipita ción media efectiva	74
APENDICE No 3: Cálculo del área de las cuencas de drenaje	79
APENDICE No 4: Cálculo del volumen del sedimento depositado	84

LISTA DE FIGURAS

<u>FIG.</u>	<u>Pag</u>
1 Area de estudio y los principales ríos que en ésta se identifican	13
2 Principales playas en el área de estudio	18
3 Cuencas de drenaje definidas en la zona de estudio	30
4 Area de las cuencas definidas	31
5 Total de sedimento drenado en las cuencas (ton) durante el período considerado	31
6 Total de sedimento drenado en las cuencas (m^3) durante el período considerado	32
7 Promedio de sedimento drenado en las cuencas durante el período considerado	32
8 Precipitación anual media en las distintas cuencas de drenaje	33
9 Precipitación anual media efectiva en las distintas cuencas de drenaje	33
10 Precipitación anual media en la cuenca del río Tijuana	49
11 Relación entre la precipitación anual media y aporte de sedimento en la cuenca Tijuana ..	51
12 Cantidad promedio de aporte de sedimento anual de las cuencas y la longitud de las playas adyacentes a estas cuencas	58
13 Cartas presentes en la base de archivos	68
14 Gráfica en tres dimensiones de la cuenca del río Guadalupe	82
15 Una aproximación en el cálculo del área de la cuenca del río Guadalupe	83

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>Pag</u>
1: Resultados de la cuenca del río Tijuana ..	34
2: Resultados de la cuenca del río Guagua- tay y Descanso	35
3: Resultados de la cuenca del río Guadalupe.	36
4: Resultados de la cuenca de los ríos San Miguel, Sauzal, Ensenada y Gallo	37
5: Resultados de la cuenca del río San Car- los	38
6: Resultados de la cuenca del río Las Animas	39
7: Resultados de la cuenca del río Santo Tomas	40
8: Resultados de la cuenca del río San Isidro	41
9: Resultados de la cuenca del río Salado ...	42
10: Valores para el cálculo del coeficiente de escurrimiento	77
11: Coeficiente de escurrimiento de las cuenas	78

I .- INTRODUCCION

Es evidente la importancia de conocer el aporte sedimentario para el desarrollo de ciudades, centros turísticos y obras en la zona costera, ya que nos auxilia a conocer el equilibrio de sus playas y el grado de azolvamiento de las estructuras (Holeman, 1968).

Algunas playas presentan equilibrio, esto significa que el sedimento sustraído por diferentes medios puede ser reemplazado por sedimento proveniente de varias fuentes (Komar, 1976). Para el mejor aprovechamiento de las playas, el hombre ha querido mantener por distintos medios este equilibrio.

En las playas, los mecanismos más probables de pérdida de sedimentos son: abrasión de las olas, movimiento hacia aguas profundas a través de cañones submarinos, acción del viento y remoción de material con propósitos de construcción. Las fuentes que proveen de sedimentos a las playas son: ríos y arroyos, erosión y caída de acantilados y movimiento en la costa por la acción del oleaje y del viento (Johnson, 1959).

El aporte de sedimentos a la playa por ríos y arroyos

no es directo en todos los casos, en algunos, los grandes volúmenes de sedimentos acarreados por corrientes a través de las cuencas drenadas son depositados en estuarios y posteriormente se irán agregando a la playa (Rodolfo, 1970).

El proceso de erosión de los continentes por ríos es la fuente principal, tanto del sedimento como del material disuelto que es aportado al océano (Komar, 1976).

La cantidad de sedimentos que aporta a la playa un sector continental depende de las características de la zona, como son: fisiografía, tipo de suelo y por último del clima de la región.

Los principales factores que intervienen en el proceso de drenado de cuencas por ríos son: Precipitación, escurrimiento, tipo de vegetación, tipo de suelo y el uso de la tierra por el hombre, que aunados a las características particulares de la cuenca (longitud, pendiente, área, forma, etc.) hacen difícil la proposición de modelos para el cálculo del aporte sedimentario.

La precipitación es el factor climático determinante en los estudios de aporte sedimentario, ya que influye en las características de la vegetación y del escurrimiento. Sin embargo, se ha demostrado que las variaciones en la

temperatura, intensidad de lluvia, número de tormentas y la distribución estacional de la precipitación, también influyen en el aporte de sedimentos (Leopold, 1951).

De forma general, se han usado dos métodos para evaluar la cantidad de sedimentos que aportan los continentes y que son introducidos por los ríos al océano. El primero, es directo, que por diferentes técnicas cuantifica la masa que es acarreada por las corrientes (Holeman, 1968; Rodolfo, 1970), y el segundo que indirectamente estima la razón de erosión de los continentes (Fournier, 1960; Lanbeing y Schumm, 1958). Las cantidades calculadas con este último método son mayores que las calculadas por el primero, y se debe a que al evaluar la razón de erosión del continente e interpretarla como la cantidad de material que se aporta al océano, implícitamente se está considerando sedimento que en varias ocasiones será atrapado de forma natural en la misma cuenca y probablemente jamás llegue a las costas (Milliman y Meade, 1983).

En estos trabajos los cálculos de áreas se hacen a través de mapas topográficos y planímetros, lo cual requiere de labor y tiempo considerable. Actualmente, gracias a los adelantos en sistemas computacionales estos cálculos resultan más rápidos y precisos. En la División de Ciencias de la Tierra del Centro de investigación Científica y de

Educación Superior de Ensenada (CICESE), se desarrolló un programa para manejar una base de archivos topográficos generada a partir de la digitización de las cartas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). La base de archivos incluye 44 mapas de la zona norte del Estado de Baja California. A través de un menú y mensajes interactivos con el usuario, el programa TOPOGRAFIC realiza entre otras funciones: despliegue gráfico en dos y tres dimensiones de alguna ventana seleccionada, vaciado de archivos de símbolos o estructuras sobre alguna ventana y cálculo de perfiles. Conociendo las características de la base de archivos así como del programa, en el cual el autor participó en su elaboración, el algoritmo ha sido modificado para su aplicación a estudios hidrológicos, como son: cálculo de áreas y de volúmenes en cuencas de drenaje.

I.1 .- ANTECEDENTES

I.1.1 .- Generales

Langbein y Schumm (1958) relacionan la precipitación anual media efectiva con el aporte sedimentario de las cuencas de drenaje en regiones de los E.U.A. Su estudio fue bastante detallado llegando a evaluar matemáticamente la carga anual de sedimento, incluyendo variables como el

escurrimiento anual y la densidad de la vegetación, concluyendo en el análisis que existe variación de la erosión con el cambio de clima.

Johnson (1959) identifica los procesos que determinan el balance de sedimentos en una porción de la costa de California, E.U.A., considerando ampliamente los ríos y arroyos de la zona, así como los principales factores que influyen en la pérdida y ganancia de material.

Inman y Chamberlain (1960) mostraron que la costa al sur de California puede ser dividida en regiones que presentan ciclos de permanencia de material sedimentario, ciclos conformados por secciones de aporte, transporte litoral y sedimentación de material. También observan que son los ríos de la zona la principal fuente del material y los cañones submarinos los principales sumideros del mismo.

Rodolfo (1970) evalúa el aporte sedimentario en el sur de California, E.U.A., obteniendo muestras de los arroyos para determinar la carga de material en suspensión. Encuentra que esta zona suministra anualmente a las costas 3.5×10^6 toneladas de material transportado en suspensión y estima que como carga de fondo son aportadas 4.2×10^6 toneladas. Concluye que la zona Pacífico sur de California aporta anualmente al Océano un total de 7.7×10^6 toneladas

de material sedimentario.

Long y Xiong (1981) mediante observaciones en el río Amarillo (Huangho) en China, calculan que el 33 % del material sedimentario es depositado para formar aluviones dentro de su misma cuenca y otro 43 % para formar un sistema de deltas, por lo que sólo el 24 % del total de sedimento que el río drena es llevado hasta el océano.

Milliman y Meade (1983) calculan la cantidad de material sedimentario que aportan los continentes por ríos a los océanos, para ello sólo consideran la contribución de los ríos más grandes del mundo (aporte anual mayor a 15×10^6 toneladas). Mediante extrapolaciones encuentran que el total de sedimento acarreado en suspensión y aportado anualmente al océano por todos los ríos del mundo es de aproximadamente 13.5×10^9 toneladas. También, que el total de sedimento acarreado como carga de fondo y aportado al océano anualmente por todos los ríos del mundo es de aproximadamente 2×10^9 toneladas.

I.1.2 .- Particulares

En la Bahía de Todos Santos, Walton (1955) observa que los sedimentos derivan del proceso normal de erosión por los arroyos de las partes altas y de los extensos depósitos de

aluvión al norte de la Bahía. Indica que el aporte presente no es muy grande, por lo que es posible que los sedimentos deriven de ciclos previos de lluvias.

Shepard (1950) para un período de un año a lo largo de Coronado e Imperial Beach, E.U.A., abarcando parte de la costa mexicana, encontró que la dirección de las corrientes litorales es de Sur a Norte.

Duffet (1969) analiza la configuración de la línea de costa de Baja California, principalmente en la desembocadura de los ríos y arroyos, observa que los vientos prevaleciente del Noroeste contribuyen a la formación de olas y corrientes en la costa, debido a esto, se inician corrientes litorales que fluyen hacia el Sureste. No obstante, olas originadas en los cuadrantes Norte y Sur remueven sedimento de los cantiles y puntas, siendo repartidos diferencialmente a lo largo de la costa. Finalmente, establece que el aporte de material sedimentario por ríos en esta zona es poco significativo.

Baca (1981) observa que la mayoría de los minerales pesados identificados en las playas de la Bahía de Todos Santos están presentes en los arroyos que desembocan en la zona, concluyendo que los arroyos son los aportadores. En base a parámetros texturales, infiere que en el sur de la

Bahía (Punta Banda) la corriente litoral es hacia el Norte, mientras que en el noroeste (Punta San Miguel) es hacia el Sur.

Gómez-Morin (1981) aplicando el análisis Hipsométrico calcula el volumen de sedimentos depositado en la rada del puerto de Ensenada, entre 1967 y 1981. Observa que los sedimentos provienen del Sur acarreados por la difracción del oleaje por el rompeolas y los aportes terrígenos del arroyo Ensenada.

Pérez (1982) realizó un estudio acerca de la proveniencia de los minerales del lecho, la desembocadura y la playa del arroyo El Carmen. Concluyendo que la existencia de las rocas batolíticas en la zona es determinante en la composición mineralógica de los sedimentos.

Cupul (1983) observó las causas de la erosión de playas de Tijuana, determinando que principalmente se debe a la mayor ocurrencia de olas de períodos largos en la temporada de invierno y al efecto de la Presa Rodríguez y la canalización del río Tijuana como trampas de sedimento interrumpiendo el aporte al sistema litoral.

Aranda (1983) infiere la dirección y el sentido de la

corriente litoral en la Bahía de Todos Santos observando la distribución de los minerales pesados, encontrando que en la parte norte de la Bahía el sentido de la corriente es hacia el sureste y que enfrente de Ensenada existe una divergencia de corrientes atribuyendolo a la difracción del oleaje por el rompeolas.

I.2 .- OBJETIVOS

1).- Calcular el aporte de sedimentos hacia el Océano Pacífico por los principales ríos de la parte norte de Baja California, en el período 1950 a 1983.

2).- Identificar las principales zonas de aporte de sedimentos por ríos a la costa de Baja California desde el paralelo 33° hasta el 31°.

3).- Establecer la relación entre la existencia y características de playas con la cantidad de sedimento aportado por ríos hacia la costa.

I.3 .- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra entre los 31° y 33° Norte, y los $115^{\circ}30'$ y $117^{\circ}8'$ Oeste (Fig. 1).

El sistema montañoso central está formado por una serie de serranías, que orientadas de sureste a noroeste forman una cadena principal, de Sur a Norte las más importantes son: la Sierra de San Pedro Mártir y la Sierra de Juárez (S.R.H., 1971).

Estas cordilleras originan dos vertientes a lo largo de la zona: la vertiente oriental hacia el Golfo de California y la vertiente occidental hacia el Océano Pacífico. En general las Serranías se encuentran más cercanas al Golfo de California y en consecuencia la vertiente oriental es muy escarpada y se continúa en una extensa planicie aluvial desértica que llega al mar en forma de playas. Contrariamente, hacia el Occidente la vertiente presenta un tramo inicial de fuerte pendiente y posteriormente un trayecto más o menos largo y de una pendiente media que muchas veces remata en la costa en forma de playas o acantilados.

La topografía típica de la costa Oeste de Baja California es muy similar a la topografía del sur de

California y fue descrita por Emery (1960).

I.3.1 .- Clima

El clima de Baja California es cálido y seco, y con lluvias irregulares. De acuerdo al sistema de clasificación de Koppen (Marham, 1972), esta zona se describe como árida (BW) o semi-árida (BS). La mayoría de las lluvias a través del año suceden a lo largo de la cadena montañosa, ya que es ésta quien determina las diferentes zonas de precipitación (S.R.H., 1971).

I.3.2 .- Vegetación

En Baja California, la vegetación está integrada básicamente por tres tipos: bosque, matorral-pastos y agrupaciones de halófitos (S.R.H., 1971).

Bosques: La vegetación existente en los bosques de pino (bosque aciculifolio) y de encino-pino (bosque esclero-aciculifolio), es una asociación de arbustos, gramíneas y árboles con alturas entre 10 y 50 metros, para el primer caso y entre 3 y 15 metros, para el segundo. Estos bosques se localizan en las partes altas de la Sierra de Juárez y San Pedro Mártir.

Matorral-pastos: El matorral esclerófilo (chaparral) es una asociación de pastos y arbustos que miden de 0.5 a 2 metros de altura, y se caracterizan por un sistema radicular muy desarrollado. Se localizan en las estribaciones de la Sierra de Juárez y San Pedro Mártir, inmediatamente abajo de los bosques. Este tipo de vegetación también se localiza en los planos y valles que se encuentran entre las Sierras de Juárez y San Pedro Mártir.

Agrupaciones de halófitos: Son asociaciones de arbustos halófitos de poca altura con tallo y hojas carnosas, hierbas rastreras y algunos zacates perennes. Este tipo de vegetación se localiza a lo largo de las costas del estado.

1.3.3 .- Hidrología

Para describir las corrientes principales de la zona de estudio se seguirá el orden en que van desembocando en la costa del Océano Pacífico recorrida de Norte a Sur (Fig. 1).

Río Tijuana

Su origen es el arroyo Agua Hechicera, que nace en la Sierra Juárez a 1860 m de altitud. La dirección inicial de

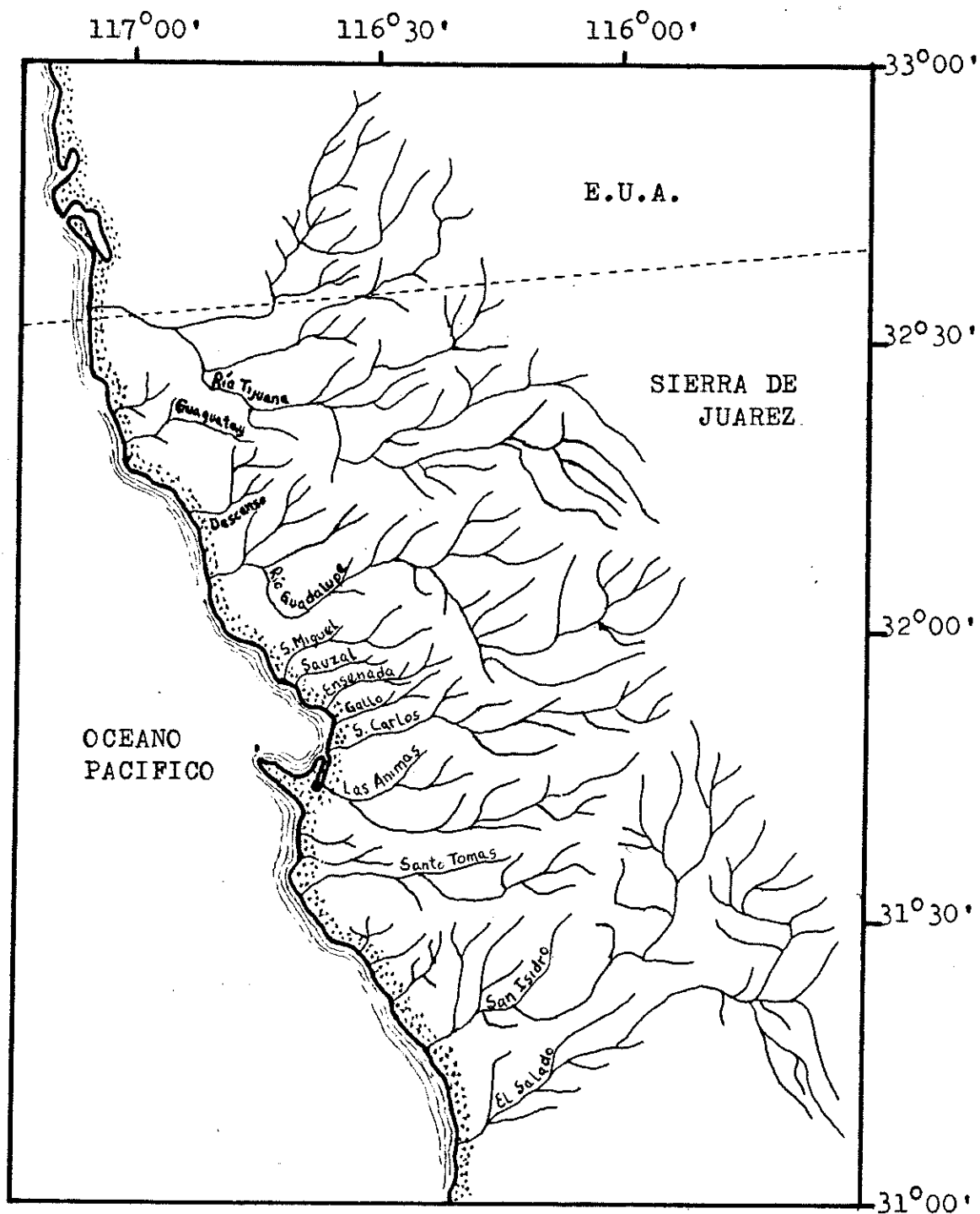


Fig 1 Area de estudio y los principales ríos que en ésta se identifican.

esta corriente es noreste y toma diferentes nombres según los afluentes que recibe hasta llegar a la Presa Rodríguez, al pasar esta última recibe el nombre de río Tijuana. Posteriormente se interna en territorio de E.U.A. y por último desemboca en el Océano Pacífico a 2.5 km al norte del límite internacional. Este río drena los siguientes tipos de roca: granodiorita, tonalita, volcánicas no diferenciadas, aluvión y sedimentarias de origen marino (Gastil et al., 1971).

Arroyo Guaguatay

Entre el río Tijuana y la desembocadura del río Guadalupe hay varios arroyos, entre los que sobresalen: El Arroyo Guaguatay que desemboca a la altura de El Rosarito y el Arroyo El Descanso que desemboca cerca del poblado de igual nombre. Sus aguas drenan los siguientes tipos de roca: volcánicas no diferenciadas, sedimentarias de origen marino y basalto (Gastil et al., 1971).

Río Guadalupe

Nace en la Sierra de Juárez originada por varios arroyos, entre los principales se mencionan El Barbón, Agua Dulce, La Zorra y Agua Escondida. Desemboca a la altura de La Misión de San Miguel. En su recorrido erosiona los

siguientes tipos de roca: esquisto, volcánicas no diferenciadas, granodiorita y basalto (Gastil et al., 1971).

Entre el río Guadalupe y el río San Carlos hay otras corrientes que desembocan en la Bahía de Todos Santos: el río San Miguel, el arroyo Sauzal, el arroyo Ensenada y el arroyo Gallo. El más importante es el arroyo Ensenada que tiene una longitud de 28 km hasta su desembocadura. Sus aguas drenan los siguientes tipos de roca: volcánica no diferenciada, tonalita, granodiorita, gneis, conglomerado y aluvión (Gastil et al., 1971).

Arroyo San Carlos

Es originado en la Sierra de Juárez a 1860 m de altitud. Desemboca en la Bahía de Todos Santos, a 12 km al sur de Ensenada. En su recorrido erosiona los siguientes tipos de roca: volcánicas no diferenciadas, tonalita, gabro y aluvión (Gastil et al., 1971).

Arroyo Las Animas

El recorrido a lo largo de su cauce principal es de 75 km. La trayectoria general del escurrimiento es de Este a Oeste y la desembocadura ocurre a 18 km al sur de Ensenada. En su recorrido cruza las siguientes litologías: gabro,

granodiorita, gneis, volcánicas no diferenciadas, conglomerado y aluvión (Gastil et al., 1971).

Arroyo Santo Tomás

Su parteaguas no se remonta hasta la Sierra de Juárez, sino que se inicia en una ramificación de ella que ocurre hacia el suroeste, en el cerro El León, de 1700 m de altitud. Desde aquí hasta la desembocadura en el puerto Santo Tomás, tiene una longitud de 70 km. Sus aguas cruzan los siguientes tipos de roca: gabro, gneis, tonalita, volcánica no diferenciada, conglomerado y aluvión (Gastil et al., 1971).

Río San Isidro

Nace en la Sierra de Juárez a 1800 m de altitud. Cuenta con afluentes como el arroyo Del Tule y el arroyo El Rincón. La corriente principal desemboca en Eréndira a 16 km aguas abajo del cruce con la carretera federal No. 1. Sus aguas drenan los siguientes tipos de roca: tonalita, gneis, basalto, gabro, volcánica no diferenciada, aluvión y conglomerado (Gastil et al., 1971).

Arroyo Salado

En el origen cuenta con varios afluentes, los más importantes son: Arroyo El Carrizo, arroyo del Picacho y arroyo El Jonuco, los cuales, se unen al Salado en el Valle de la Trinidad. Aguas abajo el cauce principal se cruza con la carretera federal No. 1 y a 20 km aguas abajo desemboca en el Pacífico, en playas San Antonio del Mar. Sus aguas drenan los siguientes tipos de roca: esquisto, volcánica no diferenciada, gneis, basalto y aluvión (Gastil et al., 1971).

I.3.4 .- Morfología costera

La costa en la zona de estudio es una alternancia de acantilados y playas. La altura de los cantiles oscila entre los 23 y 30 metros, localizándose las mayores elevaciones en la parte norte, en la región de la Misión (Walter et al., 1974).

Existen algunos promontorios rocosos como: Punta Descanso, Punta San Miguel, Cabo Punta Banda, Punta Santo Tomás, Punta China y Punta San José.

De Norte a Sur por la costa se encuentran, las siguientes playas (Fig. 2): playas de Tijuana, formada de

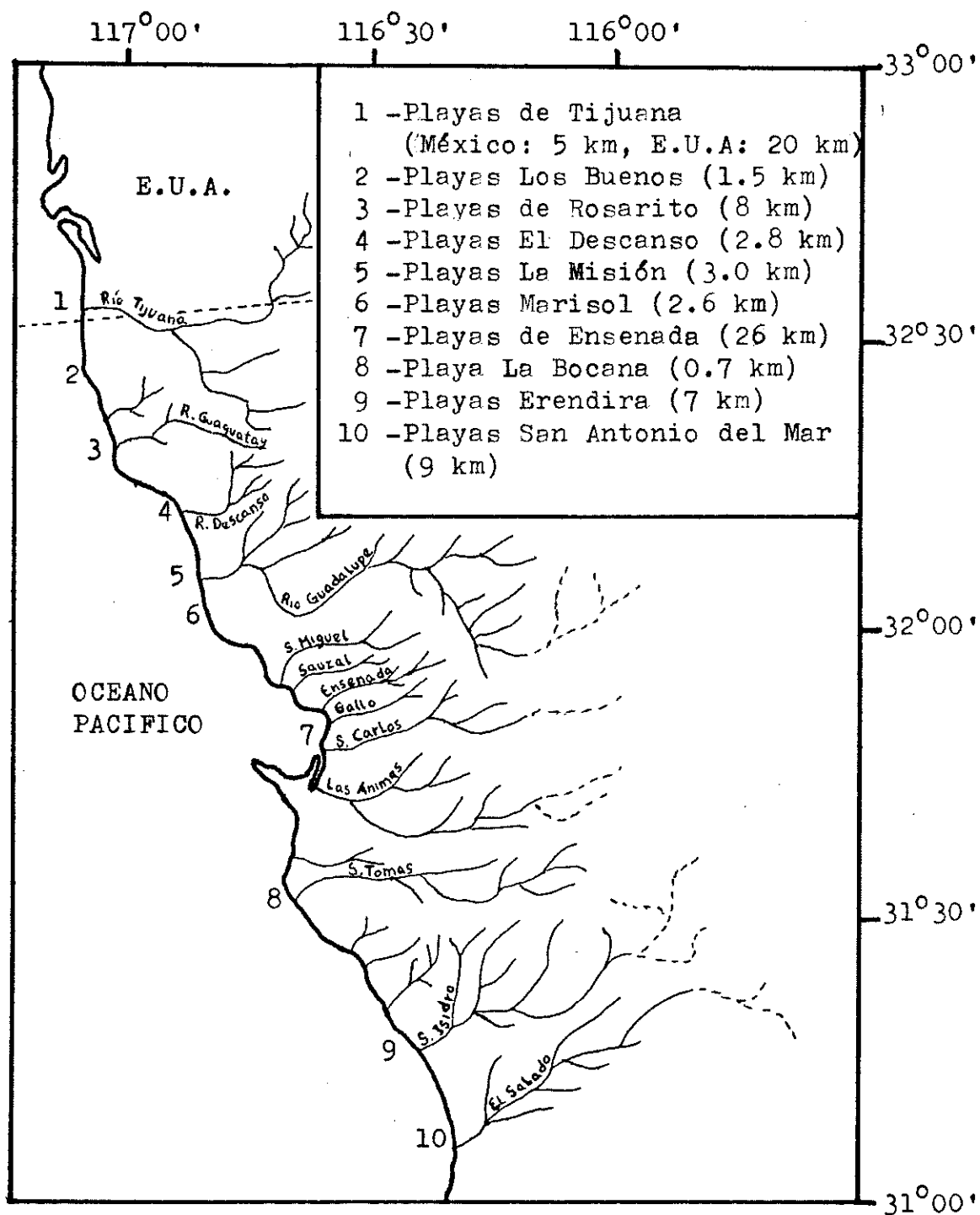


Fig 2 Principales Playas en el área de estudio.

arenas claras, se localiza entre la línea internacional México-E.U.A. y Punta Bandera. Mide aproximadamente 5 km de longitud, sin embargo hacia el Norte se extiende aproximadamente 20 km dentro de E.U.A.

Entre Punta Los Buenos y el poblado San Antonio del Mar, se encuentra la playa Los Buenos que mide aproximadamente 1.5 km de longitud y es formada por material muy similar al de playas de Tijuana.

Desde Santa María del Sur hasta la Cd. de Rosarito se encuentra playas de Rosarito, cuya extensión es de aproximadamente 8 km. Está formada por arenas finas con predominancia de granos claros, hacia el sur limita con una pequeña saliente rocosa.

Al sur de Rosarito existe una zona con alternancia de pequeñas puntas rocosas y playas de bolsillo, esta zona tiene una longitud aproximada de 8.0 km. y al sur está limitada por Punta Descanso. Estas playas están formadas por arenas y fragmentos de roca.

Entre el poblado Primo Tapia y el campo La Bloquera se encuentra la playa Las Dunas, formada por arenas claras. La longitud aproximada de esta playa es de 2.8 km. Esta zona se caracteriza por la existencia de grandes dunas que siguen

la forma de la playa.

A la altura del campo turístico La Burrita se inicia playas de La Misión, limitada hacia el sur por Punta Piedra. La longitud aproximada de esta playa es de 3.0 km.

Tres kilómetros al sur de Punta Piedra se inicia playas La Salina formada por arenas con dominancia de materiales oscuros. Hacia el sur es limitada por cantiles a la altura del campo turístico Marisol. La extensión de esta playa es de aproximadamente 2.6 km.

A partir del campo turístico Marisol se encuentra una zona con alternancia de cantiles y pequeñas playas de bolsillo, que se extiende por 22 km hasta Punta San Miguel.

De Punta San Miguel al Puerto de Ensenada, se pueden identificar algunas playas de bolsillo formadas por arenas gruesas, cantos rodados y fragmentos de roca. Frente a la Cd. de Ensenada, se inicia una playa que se extiende hasta el campo turístico Punta Banda, siendo interrumpida por la boca del Estero de Punta Banda. Esta playa tiene una longitud de aproximadamente 26 km y está formada de arena de color claro.

Del campo turístico Punta Banda hasta Bahía Soledad la

línea de costa está formada por cantiles que algunas veces son de rocas sedimentarias y otras de rocas de origen ígneo. En Bahía Soledad existe una playa de aproximadamente 1 km y está formada por arenas gruesas y fragmentos de roca.

Pasando Bahía Soledad la costa sigue siendo formada por cantiles que se extienden hasta el lugar llamado La Bocana, en donde nuevamente se presenta una playa de arena fina, con longitud de 700 m aproximadamente y ancho de 40 m.

Desde Punta Clara hasta el puerto San Isidro, la costa se encuentra formada por cantiles de rocas sedimentarias. En puerto San Isidro se inicia la playa Eréndira que se extiende aproximadamente 7 km hasta donde es limitada nuevamente por cantiles, el ancho aproximado de esta playa es de 40 m y es formada por arena fina de color claro.

Hacia el Sur, nuevamente la costa está formada por cantiles de rocas sedimentarias continuandose hasta el lugar de pesca llamado Veinte de Enero en donde se encuentra la Playa San Antonio del Mar. Esta playa está formada por arena fina y de color oscuro, presentando una longitud aproximada de 9 km y 50 m de ancho. En el extremo sur de esta playa se inician una costa formada por cantiles de rocas sedimentarias.

II .- MATERIALES Y METODO

II.1 .- Materiales

- TOPOGRAFIC: Un programa para manejar una base de archivos topograficos generada a partir de las cartas de INEGI correspondientes a la zona de estudio (apendice No. 1).

- Estadística de precipitación pluvial de las estaciones metereológicas No. 1, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 18, 21, y de la No. 25 a la 32, de la Secretaría de Recursos Hidráulicos para los años 1950 a 1983.

- Cartas Batimétricas de la zona de estudio.

- Cartas de Tipos de Vegetación del Estado de Baja California editado por la S.R.H. (1973).

- Mapa Geológico de la zona (Gastil et al., 1971).

- Computador PRIME 750.

II.2 .- Método

Considerando el tipo de datos disponibles, se usó la ecuación de Langbein y Schum (1958), ya que ésta relaciona la variación climática con el aporte sedimentario considerando paralelamente el efecto erosivo de la lluvia con la acción protectora de la vegetación y se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$S = aP^m \frac{1}{1+bP^n}$$

en donde:

S = carga anual en toneladas por milla cuadrada,

P = precipitación anual media efectiva (pulgs.),

m y n = exponentes y

a y b = coeficientes.

Los siguientes factores describen:

aP^m = acción erosiva de la lluvia con ausencia de vegetación y

$\frac{1}{1+bP^n}$ = acción protectora de la vegetación.

El uso de esta relación se ha generalizado para las diferentes zonas climáticas y fisiográficas a lo largo de los Estados Unidos, ya que mediante ésta se han obtenido resultados aproximados que concuerdan con los observados en estaciones sedimentarias y depósitos de sedimento.

Las características fisiográficas y climáticas del sur de California, E. U. y Baja California, México, son muy similares, por lo que para calcular la cantidad de sedimento drenado hacia las costas en las difentes cuencas se usó la ecuación de Langbein y Schum (1958) para un depósito sedimentario, que se expresa de la forma siguiente:

$$S = \frac{20 P^{2.3}}{1 + 0.0007 P^{3.33}}$$

en donde:

S = carga anual en toneladas por milla cuadrada,

P = precipitación anual media efectiva, y los valores constantes son para un depósito de sedimento.

La consideración de variaciones en temperatura, intensidad de lluvia, número de tormentas y distribución estacional de la precipitación como factores determinantes en el aporte de sedimentos van más allá del alcance de la relación de Lanbeing y Schumm (1958). Sin embargo, mediante esta ecuación es posible tomar en cuenta efectos debidos a la temperatura, que controla la pérdida de agua debido a evapotranspiración.

Por tal motivo, es de interés conocer la cantidad de agua precipitada que logre permanecer sobre el suelo el tiempo suficiente para que escurra, ya que ésta es quien realmente se encarga de remover y transportar el sedimento. Entonces, se introduce el término de precipitación anual media efectiva, entendiéndose éste, como la cantidad de precipitación requerida para producir una cantidad conocida de escurrimiento.

Los datos de precipitación pluvial fueron tomados de los registros de la S.A.R.H. , así como también los de cobertura vegetal de la zona norte de Baja California. Con dicha información se evaluó la precipitación anual media efectiva por cuenca de drenaje (apendice No. 2).

Las áreas de las cuencas se calcularon mediante el sistema TOPOGRAFIC (apendice No. 3). La porción del área

de la cuenca del río Tijuana localizada dentro de Estados Unidos, se tomo del Boletín Hidrológico No 28 editado por la S.R.H. (1971).

Se evaluó la cantidad de sedimento drenado hacia la costa por cada uno de los diferentes ríos para los años 1950 a 1983 y con estos resultados se hizo la distinción de zonas de aporte sedimentario.

Las observaciones de las características de las playas se hicieron en el campo.

III .- RESULTADOS

Para facilitar la representación de los resultados obtenidos para las cuencas definidas (Fig. 3), éstas serán identificadas bajo el siguiente orden:

- Cuenca 1: Río Tijuana
- Cuenca 2: Río Guaguatay-Descanso
- Cuenca 3: Río Guadalupe
- Cuenca 4: Río S. Miguel-Sauzal-Ensenada-Gallo
- Cuenca 5: Río San Carlos
- Cuenca 6: Río Las Animas
- Cuenca 7: Río Santo Tomás
- Cuenca 8: Río San Isidro
- Cuenca 9: Río Salado

Los valores de cantidad de material drenado obtenidos son expresados en términos de toneladas por milla cuadrada (ton/mill^2), por lo que se hizo la conversión a metros cúbicos por kilómetro cuadrado (m^3/km^2), haciendo la consideración igual que Langbein y Schum (1958), que la densidad promedio de depositación es de 60 lb/pie³ (apéndice No. 4).

Se muestran (Fig. 4) las diferencias en área entre las distintas cuencas, sobresaliendo las cuencas 1,3,8 y 9.

Las tablas del 1 al 10, muestran los resultados obtenidos para cada cuenca.

La Fig. 5 muestra el total de material (en términos de toneladas) que se ha drenado en las distintas cuencas durante los 34 años considerados en este estudio (1950-1983). En la misma vemos que en las cuencas 1 y 3 es donde mayor cantidad de material se ha drenado (siendo estas cantidades similares), y es en la cuenca 2 en la que menos sedimentos se han drenado.

Se presentan los totales de material drenado en términos del volumen (m^3) del depósito que fue generado (Fig. 6).

Para la mejor interpretación de los resultados se presenta la figura 7, en la que se muestran las cantidades promedio de material (toneladas) que han sido drenadas en cada una de las cuencas.

La figura 8 muestra los promedios (en 34 años) de la precipitación anual media para cada cuenca. El máximo de precipitación se localiza en las cuencas 3 y 5, siendo menor en la última. Los mínimos se registran en las cuencas 1 y 2, siendo sus valores similares.

En la figura 9 se muestran los promedios (en 34 años) de la precipitación anual media efectiva para cada una de las cuencas. En esta gráfica al igual que en la anterior, sobresale la máxima precipitación en la cuenca 3. Los mínimos se localizan en las cuencas 1 y 2, siendo menor el valor de la última.

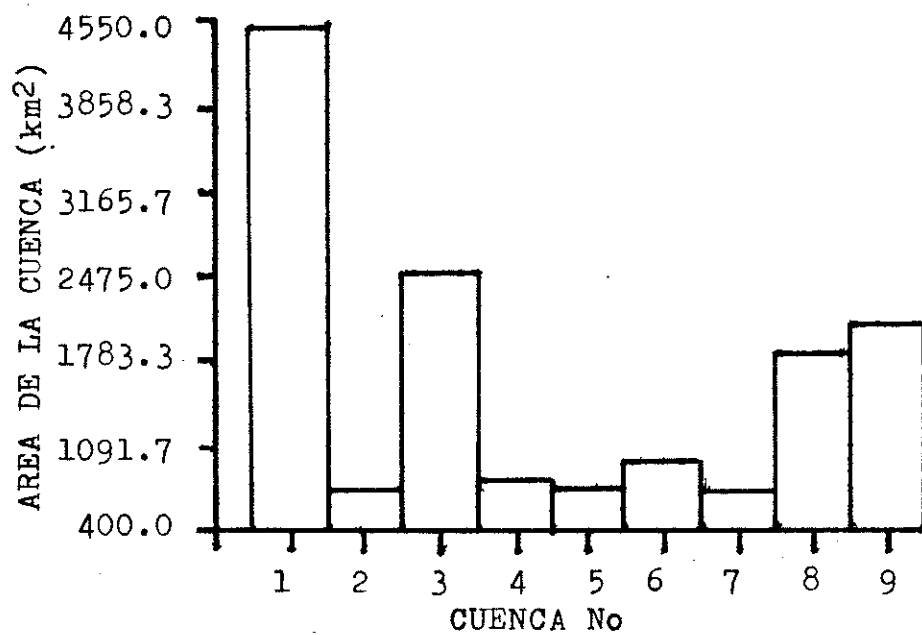


Fig 4 Area de las cuencas definidas.

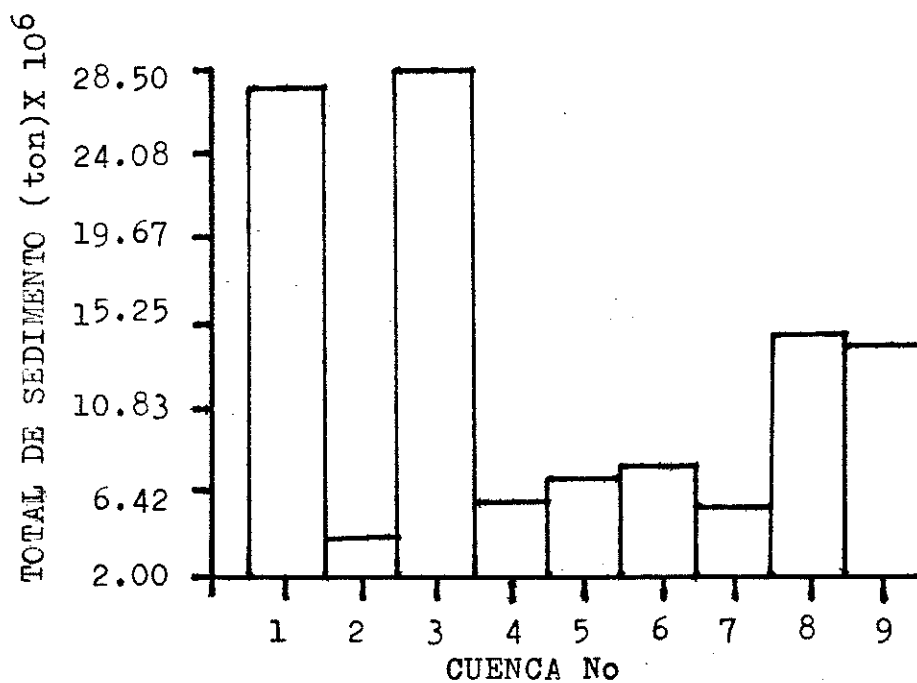


Fig 5 Total de sedimento drenado en las cuencas durante el período estudiado.

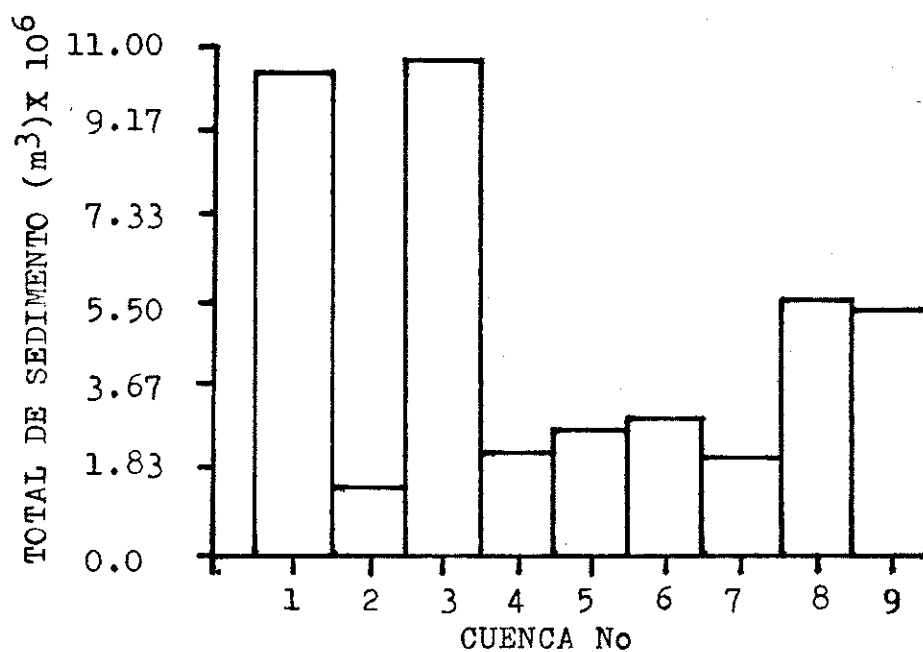


Fig 6 Total de sedimento drenado en las cuencas durante el período estudiado.

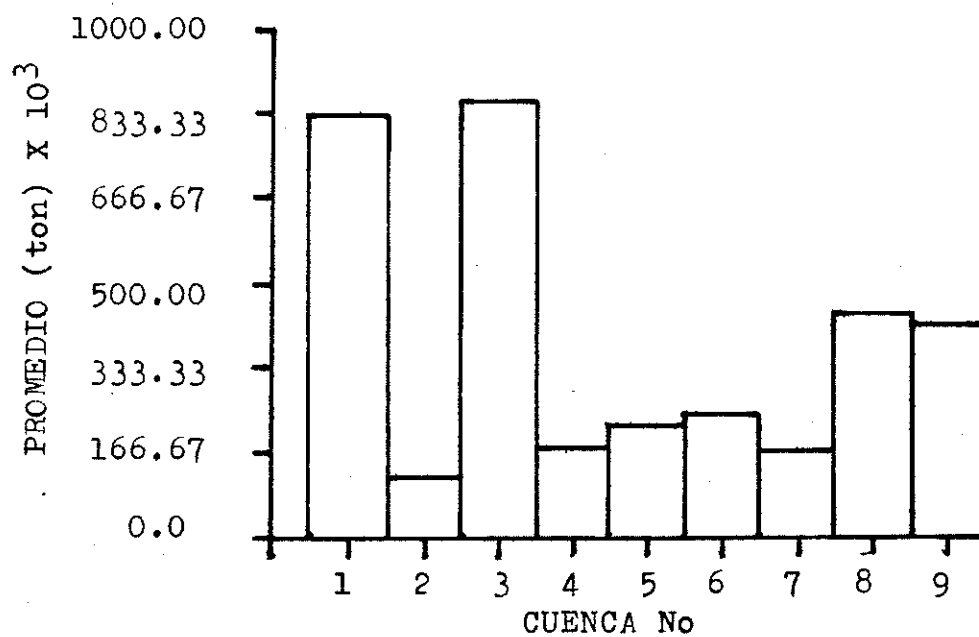


Fig 7 Promedio de sedimento drenado en las cuencas durante el período estudiado.

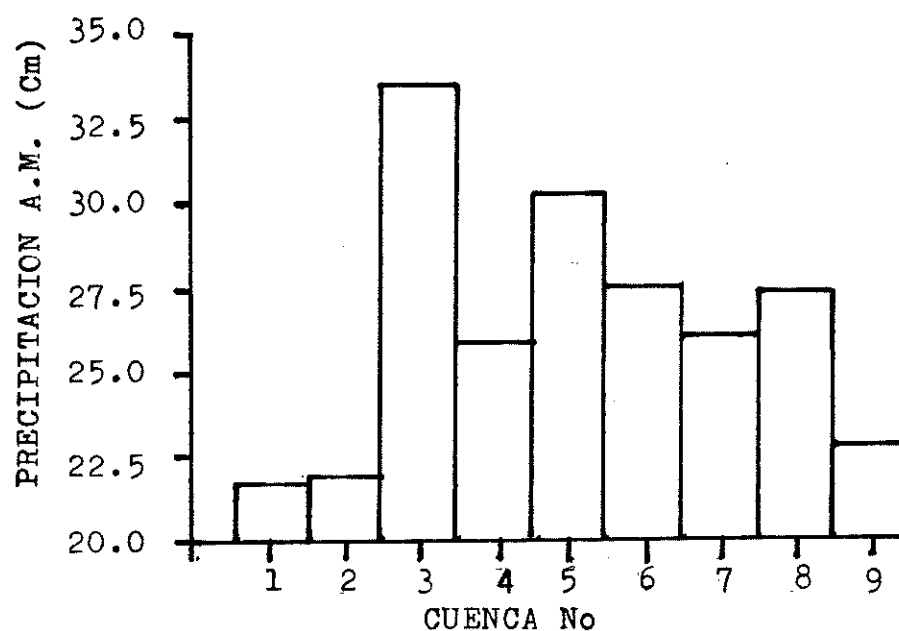


Fig 8 Precipitación anual media en las distintas cuencas de drenaje.

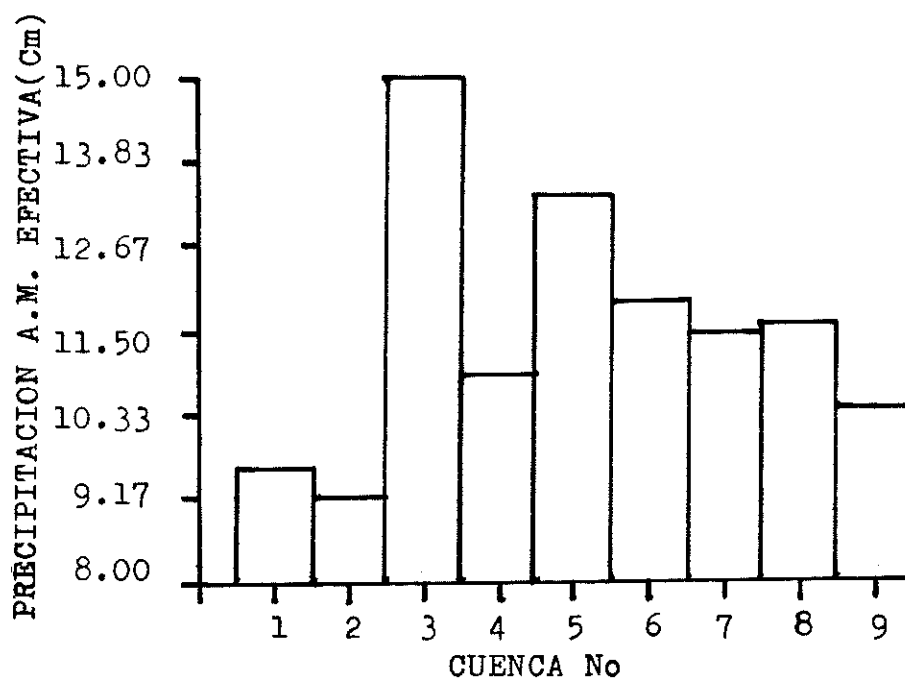


Fig 9 Precipitación anual media efectiva en las distintas cuencas de drenaje.

CUENCA No. 1 : RIO TIJUANA

AREA DE LA CUENCA (KM²) : 4502.0
 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : 0.4423

ANO	PRECIPIT. MEDIA (Cm)	PRECIPIT. EFECTIVA (Cm)	MATERIAL DRENADO (Ton)	VOLUMEN DEL DEPOSITO (m ³)
1950	11.36	5.02	165876.66	62624.76
1951	20.62	9.12	627135.50	236767.50
1952	29.67	13.12	1303303.00	492046.50
1953	13.16	5.82	231543.91	87416.64
1954	18.26	8.08	431520.69	181792.38
1955	14.54	6.43	290222.94	109570.22
1956	14.85	6.57	304037.50	114785.72
1957	22.69	10.03	767472.00	289749.88
1958	20.40	9.02	612995.83	231429.25
1959	15.67	6.93	343059.44	129513.00
1960	14.56	6.44	290941.75	109841.58
1961	18.05	7.99	469786.56	177362.31
1962	16.03	7.11	363423.19	137206.84
1963	18.61	8.23	501852.81	189468.53
1964	15.66	6.93	342765.88	129407.16
1965	37.49	16.58	1910394.25	721335.25
1966	17.63	7.86	445617.63	168237.59
1967	27.13	12.02	1104717.25	417072.81
1968	20.55	9.09	622190.38	234900.53
1969	21.62	9.56	693307.38	261750.09
1970	20.99	9.23	651180.75	245845.53
1971	13.43	5.94	242473.73	91543.08
1972	15.33	6.80	329111.56	124252.14
1973	25.93	11.47	1007751.13	380464.38
1974	17.75	7.85	452332.19	170772.59
1975	15.54	6.87	336823.69	127163.77
1976	25.36	11.22	964117.63	363991.06
1977	27.66	12.23	1142865.75	431475.38
1978	48.42	21.42	2536412.50	957592.25
1979	23.90	10.57	854636.63	322657.81
1980	40.32	17.83	2105838.50	795034.13
1981	21.22	9.38	666484.13	251623.16
1982	33.54	14.83	1611955.73	608574.63
1983	55.86	24.71	2753483.50	1039344.83

PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO (Cm) : 10.07

TOTAL EN 34 ANOS (Tons) : 27,528,096.00
 PROMEDIO (Tons) : 809,649.88

TOTAL EN 34 ANOS (m³) : 10,392,906.00
 PROMEDIO (m³) : 305,673.69

TABLA 1

CUENCA No. 2 : ARROYOS GUAGUATAY, DESCANSO

AREA DE LA CUENCA (Km²) : 698.0
 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : 0.4200

ANO	PRECIPIT. MEDIA (Cm)	PRECIPIT. EFFECTIVA (Cm)	MATERIAL DRENADO (Ton)	VOLUMEN DEL DEPOSITO (m ³)
1950	18.82	7.90	71224.05	26889.79
1951	20.76	8.72	88238.36	33313.34
1952	36.68	15.41	265489.50	100232.39
1953	16.59	6.97	53839.98	20326.64
1954	22.03	9.25	106304.70	37868.84
1955	13.49	5.67	33817.72	12767.48
1956	17.18	7.22	58204.09	21974.26
1957	26.06	10.94	142241.75	53701.68
1958	23.96	10.07	119766.14	45216.27
1959	14.22	5.97	38070.35	14373.01
1960	15.83	6.65	48439.44	18287.73
1961	17.90	7.52	63761.06	24072.23
1962	16.02	6.73	49753.37	18783.79
1963	18.53	7.78	68828.30	25985.36
1964	12.41	5.21	27982.24	10564.36
1965	36.40	15.29	262809.56	99031.84
1966	12.53	5.26	28601.13	10798.02
1967	24.19	10.16	122078.33	46089.21
1968	12.04	5.06	26095.60	9852.08
1969	20.80	8.73	88569.78	33438.46
1970	19.38	8.14	75986.84	28627.93
1971	15.82	6.64	48377.65	18264.40
1972	14.07	5.91	37168.41	14032.49
1973	25.13	9.71	111139.61	41959.43
1974	16.56	6.96	53622.68	20244.60
1975	18.13	7.61	65589.03	24762.36
1976	32.93	13.83	221942.72	83791.81
1977	25.13	10.55	132129.41	49383.88
1978	48.37	20.31	376089.13	141987.94
1979	23.20	9.74	111890.52	42242.93
1980	37.13	15.59	270566.63	102149.19
1981	19.38	8.14	75961.09	28678.21
1982	31.14	13.08	200793.56	75809.09
1983	50.40	21.17	389655.50	147109.78

PRECIPITACION EFFECTIVA PROMEDIO (Cm) : 9.53

TOTAL EN 34 ANOS (Tons) : 3,928,529.50
 PROMEDIO (Tons) : 115,544.98

TOTAL EN 34 ANOS (m³) : 1,483,168.50
 PROMEDIO (m³) : 43,622.60

TABLA 2

CUENCA No. 3 : RIO GUADALUPE

AREA DE LA CUENCA (Km²) : 2484.0
 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : 0.4478

ANO	PRECIPIT. MEDIA (Cm)	PRECIPIT. EFECTIVA (Cm)	MATERIAL DRENADO (Ton)	VOLUMEN DEL DEPOSITO (m ³)
1950	21.94	9.82	405163.31	152964.56
1951	45.97	20.59	1354467.75	511363.13
1952	50.28	22.52	1449537.50	547274.38
1953	18.69	8.37	287287.56	108462.00
1954	27.39	12.27	633794.63	239231.63
1955	27.56	12.34	641315.25	242120.94
1956	11.50	5.15	96892.55	36530.63
1957	49.39	22.12	1432704.00	540900.25
1958	43.64	19.54	1289161.00	486707.31
1959	21.63	9.69	393315.63	148491.63
1960	29.65	13.28	734451.50	277283.38
1961	21.02	9.41	370189.25	139760.53
1962	30.12	13.49	755526.50	285240.00
1963	19.52	8.74	315722.88	119197.41
1964	19.92	8.92	329853.75	124532.34
1965	51.30	22.97	1467329.00	553972.50
1966	31.11	13.93	799649.50	301898.13
1967	33.81	15.14	919011.88	346961.94
1968	14.03	6.28	151788.06	57305.77
1969	29.59	13.25	731761.63	276267.81
1970	30.19	13.52	758665.25	286423.00
1971	25.58	11.45	554590.38	209379.00
1972	18.99	8.50	297356.75	112263.56
1973	32.04	14.35	841249.25	317603.63
1974	27.88	12.48	655285.25	247395.13
1975	27.15	12.16	623158.25	235265.97
1976	40.74	18.24	1194547.50	450987.13
1977	36.72	16.44	1041891.63	393353.75
1978	74.96	33.57	1518765.25	573391.63
1979	33.66	15.07	912661.75	344564.50
1980	69.64	31.18	1548536.75	584631.63
1981	31.98	14.32	838671.75	316630.50
1982	55.56	24.88	1523159.00	575050.38
1983	74.96	33.57	1518765.25	573391.63

PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO (Cm) : 15.52

TOTAL EN 34 ANOS (Tons) : 28,386,232.00
 PROMEDIO (Tons) : 834,889.13

TOTAL EN 34 ANOS (m) : 10,716,884.00
 PROMEDIO (m) : 315,202.44

TABLA 3

CUENCA No. 4 : SAN MIGUEL, EL SAUZAL, ENSENADA, GALLO

AREA DE LA CUENCA (Km²) : 780.0

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : 0.4200

ANO	PRECIPIT. MEDIA (Cm)	PRECIPIT. EFECTIVA (Cm)	MATERIAL DRENADO (Ton)	VOLUMEN DEL DEPOSITO (m ³)
1950	19.58	8.23	85862.92	32794.05
1951	33.61	14.12	256966.56	97014.64
1952	40.94	17.20	348107.13	131423.69
1953	18.63	7.82	77786.30	29367.29
1954	27.51	11.55	177178.19	66891.52
1955	14.81	6.22	46596.48	17591.94
1956	11.06	4.65	24054.00	9081.30
1957	31.18	13.10	224981.66	84939.14
1958	27.11	11.39	172174.75	65002.52
1959	17.23	7.24	65463.93	24715.13
1960	17.78	7.47	70153.34	26485.55
1961	16.10	6.76	56261.74	21240.95
1962	17.72	7.44	69637.88	26290.95
1963	20.11	8.44	91935.23	34727.92
1964	17.51	7.35	67818.55	25604.08
1965	44.92	18.87	389952.06	147221.72
1966	26.26	11.03	161500.69	60972.66
1967	27.57	11.58	177941.31	67179.61
1968	12.27	5.15	30444.84	11494.08
1969	28.23	10.60	148383.38	56209.14
1970	28.98	10.07	133987.56	50585.41
1971	17.83	7.49	70670.66	26680.36
1972	16.11	6.77	56371.39	21282.34
1973	37.08	15.57	301724.38	113912.42
1974	16.58	6.96	60084.02	22684.00
1975	26.56	11.16	168208.19	62372.38
1976	26.40	11.09	163214.56	61619.71
1977	30.95	13.00	221882.72	83769.17
1978	54.35	22.83	459045.31	173307.06
1979	45.77	19.22	397943.56	150238.81
1980	47.73	20.05	415108.25	156719.16
1981	18.45	7.75	76183.39	28762.13
1982	25.79	10.83	155679.34	58774.88
1983	51.69	21.71	443980.25	167619.44

PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO (Cm) : 11.20

TOTAL EN 34 ANOS (Tons) : 5,865,827.00

PROMEDIO (Tons) : 172,524.31

TOTAL EN 34 ANOS (m³) : 2,214,572.50

PROMEDIO (m³) : 65,134.48

TABLA 4

CUENCA No. 5 : ARROYO SAN CARLOS

AREA DE LA CUENCA (Km²) : 729.0
 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : 0.4390

ANO	PRECIPIT. MEDIA (Cm)	PRECIPIT. EFECTIVA (Cm)	MATERIAL DRENADO (Ton)	VOLUMEN DEL DEPOSITO (L ³)
1950	19.35	8.49	87085.33	32878.02
1951	34.44	15.12	269164.00	101619.66
1952	36.34	15.95	292515.69	110455.80
1953	19.20	8.43	85622.67	32325.82
1954	26.89	11.80	172714.75	65206.39
1955	13.99	6.14	42350.74	15989.02
1956	16.65	7.31	62560.16	23618.84
1957	41.70	18.31	352083.81	132925.03
1958	36.83	16.19	298918.31	112853.03
1959	18.93	8.31	83018.59	31342.68
1960	21.38	9.39	107949.34	40754.98
1961	22.12	9.71	116019.13	43801.63
1962	23.83	10.46	135445.00	51155.64
1963	24.45	10.73	142850.34	53931.45
1964	19.41	8.52	87693.17	33107.51
1965	41.36	18.15	348553.25	131592.13
1966	29.18	12.81	201772.94	76176.97
1967	34.15	14.99	265528.56	100247.13
1968	15.06	6.61	49954.91	18859.83
1969	27.04	11.87	174560.03	65903.05
1970	26.21	11.51	164261.53	62014.93
1971	18.70	8.21	80877.03	30534.16
1972	17.32	7.60	68293.34	25785.22
1973	28.09	12.33	187887.03	70934.50
1974	29.16	12.80	201644.47	76120.45
1975	23.13	10.13	127337.13	48074.61
1976	37.49	16.46	306192.69	115599.39
1977	35.27	15.43	279472.31	105511.44
1978	71.18	31.25	454291.44	171512.31
1979	37.75	16.57	309197.69	116733.39
1980	64.73	28.41	458185.75	172982.56
1981	31.10	13.65	226583.28	85543.81
1982	59.42	26.09	453321.50	171146.13
1983	74.60	32.75	449160.81	169575.23

PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO (Cm) : 13.90

TOTAL EN 34 ANOS (Tons) : 7,143,062.00
 PROMEDIO (Tons) : 210,090.03

TOTAL EN 34 ANOS (m) : 2,696,777.50
 PROMEDIO (m) : 79,316.98

TABLA 5

CUENCA No. 6 : ARROYO LAS ANIMAS

AREA DE LA CUENCA (Km²) : 940.0
 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : 0.4320

ANO	PRECIPIT. MEDIA (Cm)	PRECIPIT. EFECTIVA (Cm)	MATERIAL DEBNADO (Ton)	VOLUMEN DEL DEPOSITO (m ³)
1950	10.27	4.44	26073.93	9843.92
1951	41.55	17.95	443246.63	167342.44
1952	45.72	19.75	493092.44	186161.16
1953	11.92	5.15	36660.77	13840.84
1954	18.02	7.78	92748.03	35014.77
1955	16.42	7.09	75457.45	28488.06
1956	18.23	7.88	95201.19	35942.07
1957	24.14	10.43	173667.72	65566.17
1958	24.70	10.67	181960.75	68697.11
1959	14.58	6.30	57760.96	21806.96
1960	23.51	10.16	164342.88	62045.70
1961	10.88	4.68	29466.16	11124.60
1962	16.77	7.25	79119.11	29870.48
1963	19.20	8.29	106552.38	40227.76
1964	20.03	8.65	116833.92	44109.25
1965	50.33	21.74	535613.13	202214.34
1966	27.84	12.03	230853.81	87156.09
1967	27.20	11.75	220706.81	83325.22
1968	12.95	5.59	44183.49	16680.95
1969	24.02	10.38	171262.28	64884.55
1970	30.62	13.23	276059.88	104223.11
1971	20.99	9.07	129251.02	48797.17
1972	15.13	6.54	62827.35	23719.71
1973	29.19	12.61	252770.13	95430.33
1974	25.22	10.90	189388.91	71690.28
1975	24.27	10.48	175464.69	66244.59
1976	36.71	15.86	373827.44	141134.09
1977	27.38	11.83	223568.94	84405.73
1978	76.77	33.16	576988.50	217835.09
1979	36.23	15.65	366461.94	138353.31
1980	58.13	25.11	578257.88	218314.34
1981	29.13	12.59	251811.28	95068.33
1982	40.60	17.54	430501.00	162530.50
1983	65.63	28.35	590773.88	223039.63

PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO (Cm) : 12.38

TOTAL EN 34 ANOS (Tons) : 7,853,843.00
 PROMEDIO (Tons) : 230,995.38

TOTAL EN 34 ANOS (m³) : 2,965,124.50
 PROMEDIO (m³) : 87,209.53

TABLA 6

CUENCA No. 7 : ARROYO SANTO TOMAS

AREA DE LA CUENCA (Km²) : 707.0
 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : 0.4410

ANO	PRECIPIT. MEDIA (Cm)	PRECIPIT. EFFECTIVA (Cm)	MATERIAL DRENADO (Ton)	VOLUMEN DEL DEPOSITO (m ³)
1950	19.57	8.63	87444.33	33013.56
1951	37.03	16.33	293567.50	110832.89
1952	41.42	18.27	340551.25	128571.05
1953	12.03	5.30	29473.88	11127.51
1954	20.44	9.01	95981.39	36236.63
1955	15.23	6.72	50221.88	18960.67
1956	17.93	7.91	72170.69	27247.18
1957	24.55	10.83	140970.41	53221.70
1958	24.51	10.81	140457.28	53027.97
1959	16.55	7.30	60473.09	22830.89
1960	24.28	10.71	137830.81	52036.38
1961	10.92	4.81	23627.85	8920.41
1962	19.72	8.70	83902.91	33564.23
1963	18.95	8.36	81466.03	30756.53
1964	16.61	7.32	60928.91	23002.98
1965	43.08	19.00	356152.06	134460.94
1966	28.73	12.67	191810.78	72415.86
1967	25.52	11.23	152422.91	57545.48
1968	11.14	4.91	24773.10	9352.79
1969	20.75	9.15	99132.13	37426.15
1970	26.79	11.81	167721.88	63321.39
1971	18.59	8.20	78158.48	29507.80
1972	13.45	5.93	37985.23	14340.87
1973	23.53	10.37	129185.98	48772.63
1974	21.82	9.62	110406.27	41682.56
1975	19.03	8.39	82283.98	31065.34
1976	33.05	14.58	245909.34	92840.33
1977	24.29	10.71	137946.69	52080.13
1978	72.16	31.82	433870.06	165690.16
1979	35.26	15.55	272836.44	103006.14
1980	58.16	25.65	437746.44	165265.91
1981	27.36	12.07	174765.34	65980.56
1982	37.12	16.37	294645.56	111239.92
1983	60.02	26.47	441020.25	166501.94

PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO (Cm) : 11.93

TOTAL EN 34 ANOS (Tons) : 5,577,834.00
 PROMEDIO (Tons) : 164,053.94

TOTAL EN 34 ANOS (m) : 2,105,844.50
 PROMEDIO (m) : 61,936.60

TABLA 7

CUENCA No. 8 : RIO SAN ISIDRO

AREA DE LA CUENCA (Km²) : 1846.0
 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : 0.4200

ANO	PRECIPIT. MEDIA (Cm)	PRECIPIT. EFECTIVA (Cm)	MATERIAL DRENADO (Ton)	VOLUMEN DEL DEPOSITO (m ³)
1950	10.43	4.38	49793.20	18798.83
1951	35.81	15.04	676634.00	255228.56
1952	42.41	17.81	352313.13	325556.00
1953	14.15	5.94	99615.39	37608.59
1954	25.58	10.74	362245.81	136761.56
1955	15.59	6.55	123929.92	46788.26
1956	16.87	7.08	147733.06	55774.86
1957	23.58	9.90	306114.25	115569.80
1958	24.98	10.49	345255.81	130347.22
1959	18.58	7.80	183180.28	69157.52
1960	21.84	9.17	260281.81	98266.28
1961	11.64	4.89	63851.70	24106.45
1962	20.85	8.76	235557.94	88932.08
1963	24.17	10.15	322416.38	121724.45
1964	22.45	9.45	276035.06	104213.73
1965	42.03	17.67	853731.00	322315.94
1966	23.76	9.98	311111.63	117456.48
1967	28.18	11.83	439498.69	165927.47
1968	11.16	4.69	58049.52	21915.90
1969	22.88	9.61	287366.56	108491.81
1970	25.81	10.34	369079.75	139341.66
1971	19.02	7.99	192796.41	72787.98
1972	15.77	6.62	127146.93	48002.83
1973	23.44	9.84	302393.25	114164.97
1974	28.22	11.35	440806.56	166421.25
1975	19.51	8.20	203902.75	76981.05
1976	34.91	14.66	648490.63	244829.91
1977	28.34	11.90	444613.38	167858.44
1978	70.42	29.58	1158935.50	437542.25
1979	36.60	15.37	699741.00	264178.88
1980	68.96	28.96	1160155.00	438002.63
1981	28.50	11.97	449342.94	169644.06
1982	47.56	19.98	979076.13	369638.44
1983	70.26	29.51	1159121.00	437612.25

PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO (Cm) : 12.04

TOTAL EN 34 ANOS (Tons) : 14,599,698.00
 PROMEDIO (Tons) : 429,402.88

TOTAL EN 34 ANOS (m) : 5,511,940.00
 PROMEDIO (m) : 162,113.88

TABLA 8

CUENCA No. 9 : ARROYO SALADO

AREA DE LA CUENCA (Km²) : 2065.0

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : 0.4559

ANO	PRECIPIT. MEDIA (Cm)	PRECIPIT. EFECTIVA (Cm)	MATERIAL DRENADO (TON)	VOLUMEN DEL DEPOSITO (m ³)
1950	10.27	4.68	64774.85	24454.97
1951	27.97	12.75	566885.33	214020.81
1952	32.83	14.97	750149.50	283210.00
1953	12.92	5.89	109155.72	41210.44
1954	19.08	8.70	259713.97	98051.91
1955	12.93	5.39	109346.92	41282.62
1956	16.52	7.53	189383.53	71499.48
1957	21.31	9.72	328966.06	124197.20
1958	28.25	12.83	577470.00	218016.91
1959	20.51	9.35	303212.00	114474.08
1960	14.43	6.58	139955.25	52838.43
1961	13.17	6.00	113911.08	43005.77
1962	17.39	7.93	212239.84	80128.63
1963	16.37	7.46	185467.44	70021.02
1964	18.00	8.20	228661.78	86323.53
1965	39.52	18.02	978235.50	369321.13
1966	22.46	10.24	367301.94	138670.44
1967	26.43	12.05	509121.56	192212.75
1968	10.71	4.88	71264.05	26904.89
1969	20.76	9.47	311352.25	117547.33
1970	22.25	10.14	360102.63	135952.44
1971	15.53	7.08	165072.47	62321.14
1972	13.83	6.31	127347.13	48078.38
1973	16.84	7.68	197595.50	74599.83
1974	15.39	7.02	161769.94	61074.30
1975	13.27	6.05	115375.03	43747.23
1976	24.18	11.02	427064.31	161233.00
1977	23.39	10.89	416876.63	157386.73
1978	57.90	26.40	1287427.25	486052.81
1979	33.93	15.47	790574.63	295472.00
1980	54.38	24.79	1264627.75	477445.06
1981	22.30	10.16	361653.13	136537.81
1982	38.55	17.57	943208.33	357984.75
1983	49.13	22.40	1201054.50	453443.75

PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO (Cm) : 10.77

TOTAL EN 34 ANOS (Tons) : 14,201,802.00

PROMEDIO (Tons) : 417,700.00

TOTAL EN 34 ANOS (m) : 5,361,718.00

PROMEDIO (m) : 157,697.56

TABLA 9

IV .- DISCUSIONES

El área de las cuencas a través de la zona de estudio no presentan un patrón en cuanto al tamaño de éstas se refiere, existiendo similitud sólo entre las de los ríos San Miguel-Sauzal-Ensenada, San Carlos y Santo Tomás. Las diferencias en área entre las cuencas se debe a que están definidas directamente por las características orográficas de la región.

Sin embargo, la forma y orientación general de las cuencas sí presentan similitud, mostrando una tendencia a formas elongadas y orientadas de Este a Oeste. Lo cual se debe a que la mayoría de las corrientes nacen en las partes altas de la zona (serranías) y sus cauces son dirigidos por el relieve del terreno.

Según los cálculos realizados por la S.R.H. (1971) mediante mapas topográficos y planímetros, el área de las cuencas de los ríos Tijuana, Guadalupe, Las Animas y San Isidro son de 4484 km², 2373 km², 890 km² y 1826 km² respectivamente. El área de cuencas de los ríos Tijuana y San Isidro calculadas en el presente trabajo difieren hasta en 1% con las calculadas por la S.R.H. Asimismo las de los ríos Las Animas y Guadalupe difieren hasta en un 5% con las

calculadas por la S.R.H. No obstante, las discrepancia en área del 1% y 5% se pueden considerar aceptables debido a las diferencias básicas entre los métodos usados para los cálculos.

La precipitación anual media por cuenca no es igual en toda la zona, pues estos valores difieren de cuenca a cuenca aún cuando éstas sean contiguas, observandose diferencias de hasta 12 cm.

Se aprecia la relación esperada entre precipitación y altitud, esto se observa en los valores altos de precipitación (para la zona) que presentan las cuencas cuyo parteaguas principal se remonta hasta la serranía, comparados con los valores bajos de precipitación (típicos de la zona) que presentan las cuencas cuyo parteaguas principal se localiza lejos de las serranías. Con lo anterior se confirma la observación hecha por la S.R.H. (1971): que la fisiografía es la característica determinante en la distribución espacial de las lluvias en la zona, fenómeno conocido como precipitación orogénica.

En general, las cuencas de los ríos Guadalupe y San Carlos presentan los valores mayores de precipitación, ya que estas cuencas se extienden hasta las partes altas de la Sierra de Juárez en donde existe mayor precipitación

comparado con el resto de la zona.

La cantidad y tipo de información de precipitación usada en este trabajo no permitió definir un patrón en el comportamiento de los valores de precipitación media en las diferentes cuencas, ya que dichos valores no muestran alguna periodicidad. Sin embargo, de forma general, en todas las cuencas la precipitación anual media muestra la tendencia a aumentar de valor hacia los últimos años del período considerado (Fig. 10).

La precipitación anual media efectiva por cuenca presenta una distribución en la zona, similar a la precipitación anual media y se observa que:

- Las cuencas de los ríos Tijuana y Guaguatay-Descanso presentan valores similares de precipitación anual media de aproximadamente 22 cm, sin embargo, el valor de precipitación anual media efectiva de la cuenca del río Tijuana es poco menor que el de la cuenca del río Guaguatay-Descanso.

- El valor de precipitación anual media observado en la cuenca del río Santo Tomás es menor que el de la cuenca del río San Isidro, sin embargo, el valor de precipitación anual media efectiva es similar para las dos cuencas.

Lo anterior se debe a que el parteaguas principal de las cuencas de los ríos Tijuana y Santo Tomás se presentan desde las partes altas de la Sierra de Juárez, por lo que una porción considerable de estas cuencas está cubierta por vegetación tipo bosques lo cual se refleja en el valor del coeficiente de escurrimiento (calculado para cada cuenca) quien en este caso determina las diferencias entre la precipitación anual media y la precipitación anual media efectiva.

Parte de la cuenca del río San Isidro también está cubierta por vegetación tipo bosque pero en menor proporción comparada con la del río Santo Tomás, ya que el parteaguas principal de la primera se desarrolla en la zona que dividen la Sierra de Juárez y la de San Pedro Mártir, zona en la que predomina la vegetación tipo matorrales-pastos.

En base a las cantidades de material sedimentario que se han drenado en las cuencas, se pueden definir tres subzonas de aporte:

- La primer subzona (Fig. 3) está formada por las cuencas de los ríos Tijuana, Guaguatay-Descanso y Guadalupe. En ésta se drenan en promedio (para el período considerado) hacia el Océano Pacífico aproximadamente 1.76×10^6 ton/año de sedimentos.

A pesar de que el área de la cuenca del río Tijuana es casi el doble que la del río Guadalupe, en las mismas se drenan cantidades muy similares de sedimento. Explicandose esto, dado que los valores de precipitación anual media efectiva de la cuenca del río Tijuana generalmente son menores que los de la cuenca del río Guadalupe.

En esta subzona la cuenca del río Guaguatay-Descanso es la que presenta menor contribución de sedimentos y se debe a sus bajos valores de precipitación anual media efectiva y su área.

- La segunda subzona (Fig. 3) está formada por las cuencas de los ríos San Miguel-Sauzal-Ensenada-Gallo, San Carlos y Las Animas, que desembocan en la bahía de Todos Santos con excepción del último que desemboca en el estero de Punta Banda. A través de esta subzona en promedio (para el período considerado) se drenan aproximadamente 613.6×10^3 ton/año de sedimentos.

El río las Animas es quien tiene mayor contribución de sedimentos y se debe a que su cuenca de drenaje es la que tiene mayor área comparada a la del río San Carlos que es donde se presentan los más altos valores de precipitación anual media efectiva.

- La tercer y última subzona (Fig. 3) está formada por las cuencas de los ríos Santo Tomás, San Isidro y Salado. En ésta, en promedio (para el período considerado) se drenan hacia el Océano Pacífico aproximadamente 1×10^6 ton/año.

Son las cuencas de los ríos San Isidro y Salado las que mayor cantidad de sedimento drenan, siendo sus cantidades similares. Aunque el área de la cuenca del río Salado es mayor que la del río San Isidro, las cantidades similares de aporte sedimentario por parte de estas cuencas se deben a que en la cuenca del río San Isidro se presenta mayor valor de precipitación anual media efectiva.

Las cantidades de aporte sedimentario promedio fueron calculadas considerando todos los valores de precipitación anual media (por cuenca) del período de interés, por lo que estas cantidades de aporte pueden ser sobreestimadas, dado que para el cálculo se han considerado los eventos de precipitación extraordinarios para la zona (Fig. 10). Estos promedios difieren hasta en un 20 % (cuenca del río Tijuana) de los calculados sin considerar los eventos extraordinarios.

La consideración de tales flujos extraordinarios se hizo ya que estos eventos en conjunto, pueden provocar que la razón de aporte de sedimento en la zona se vea

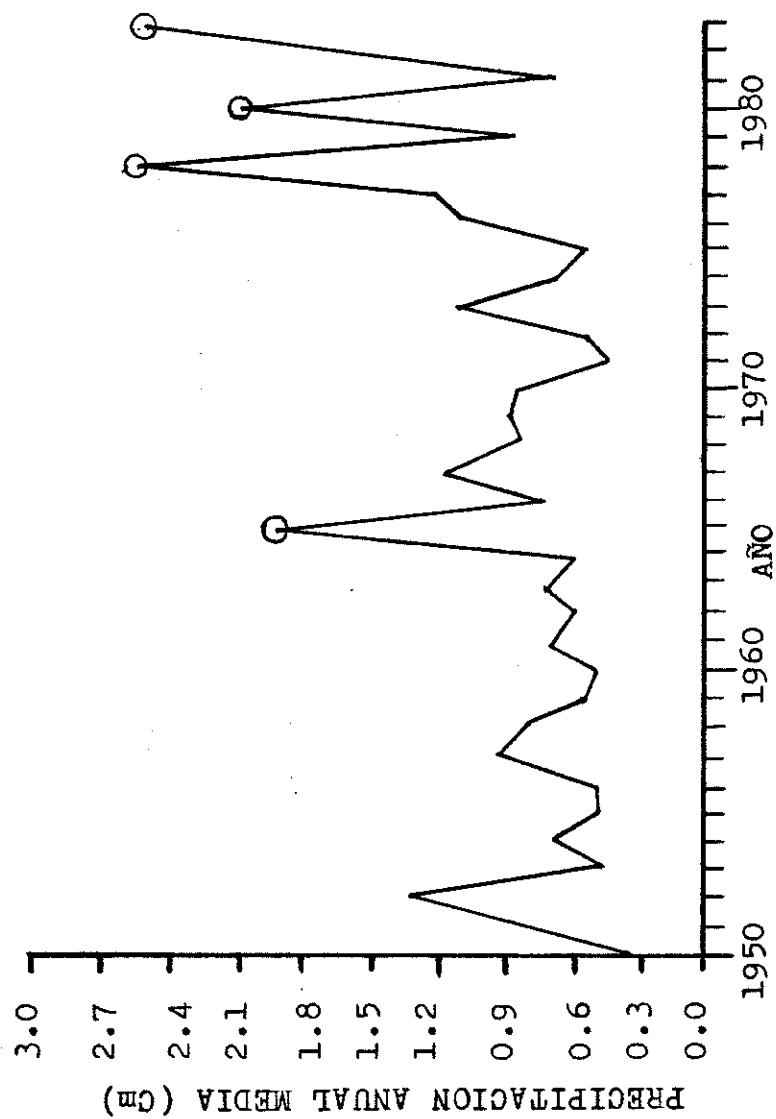
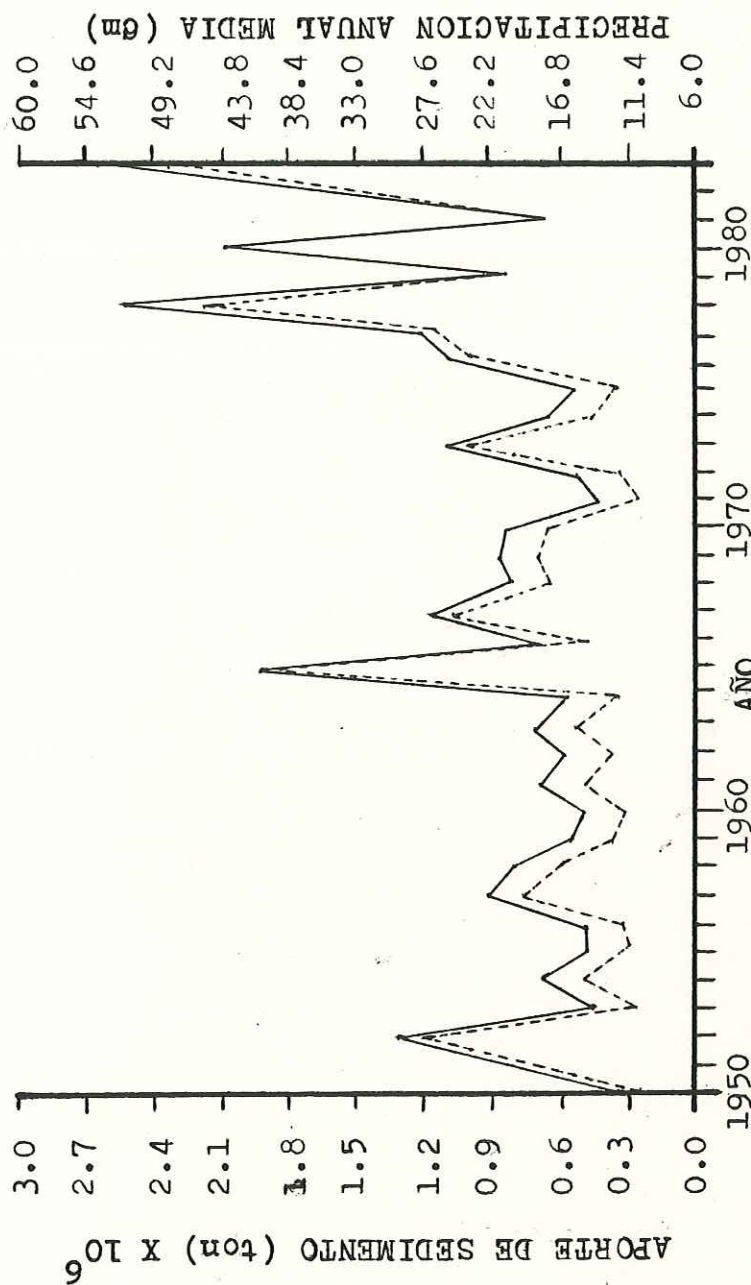


Fig 10 Precipitación anual media (Cm) de la cuenca del río Tijuana, se encierra en un círculo los eventos extraordinarios para la zona.

incrementada hasta en varios órdenes de magnitud (Milliman y Meade, 1983), característica más importante en cuencas de drenaje pequeñas (área menor de $10,000 \text{ km}^2$). Por ejemplo, el Río de Santa Clara en el sur de California, que drena una cuenca de sólo $4,100 \text{ km}^2$ y con aporte promedio de sedimento en suspensión de $69 \times 10^3 \text{ ton/año}$, sin embargo, durante un evento extraordinario en el año de 1969, este río aportó $50 \times 10^6 \text{ ton}$, de las cuales $22 \times 10^6 \text{ ton}$ fueron transportadas en un sólo día (Milliman y Meade, 1983).

Además, la consideración de estos eventos se hizo ya que el modelo usado para el cálculo de las cargas de sedimento (Langbein y Schumm, 1958) muestra que aún para estos casos, en las cuencas de drenaje de la zona existen cantidades de sedimento susceptibles a ser drenadas por los escurrimientos resultantes de tales eventos (Fig. 11).

Las cantidades de sedimentos que se drenan en las distintas cuencas reportadas en este trabajo no deben ser confundidas o interpretadas como cantidades de sedimento que aportan las cuencas directamente al océano, dado que se observa que en muchas zonas del mundo la razón de erosión de los continentes debido a escurrimientos superficiales es mucho mayor que las cantidades de sedimentos que son llevadas hasta el océano a través de las corrientes (Milliman y Meade, 1983). Como lo muestra Holeman (1980) al



Fi. 11 Relación entre la precipitación anual media y el aporte de sedimento en la cuenca del río Tijuana en el período considerado.

observar que sólo 0.4×10^9 ton/año de sedimentos llegan al océano como producto de los 5×10^9 ton/año de sedimentos que se erosionan en el suelo de E.U.A.

Lo anterior indica que parte del sedimento erosionado cuenca arriba se va perdiendo al ser depositado por las corrientes cuenca abajo debido a diversas causas impuestas en muchas ocasiones por las características fisiográficas de la cuenca, como son:

- Área de la cuenca: Milliman y Meade (1983) lo muestran al observar el notable decrecimiento de las cantidades de sedimentos que llegan al océano conforme se incrementa el tamaño de las cuencas. Lo anterior puede explicarse debido a que el tamaño grande de la cuenca (área mayor de $10,000 \text{ km}^2$) da lugar a que las trayectorias de las corrientes secundarias (tributarios) describan formas complejas que pueden favorecer la formación de trampas naturales de sedimentos ya que las distancias entre el nacimiento del ramal y el colector general en estas cuencas suelen ser largas (Schumm y Hadley, 1957).

- Pendiente de la cuenca: más que el área de la cuenca, la pendiente demuestra ser el factor determinante para que grandes cantidades de sedimento sean atrapadas de forma natural dentro de la cuenca (Einstein, 1950). La

pendiente es quien caracteriza la forma y velocidad como se presentan los escurrimientos, dando lugar a que en zonas con pendiente media o alta (8-30 %) los escurrimientos sean de altas velocidades (mayor a 3 m/seg) durante su trayectoria, desfavoreciendo la formación de grandes trampas naturales.

- De forma indirecta, la distribución estacional de las lluvias es otro factor determinante para que los sedimentos acarreados por corrientes sean o no atrapados de forma natural dentro de la cuenca, ya que en zonas donde el período de lluvias es limitado a tiempos cortos, éstas son de mayor intensidad, desarrollando mayor actividad erosiva en el suelo dado que en estos casos se incrementa la cantidad, el tamaño, la velocidad de caída y la energía cinética de las gotas de agua (S.A.R.H., 1977), al escurrir estos grandes volúmenes concentrados en cortos tiempos, toman altas velocidades (Matalas, 1963) impidiendo la depositación de los sedimentos (con excepción de los fragmentos grandes y pesados) y probablemente barrerán con los depósitos sedimentarios ya existentes corriente abajo producto de la depositación sucedida al menguar el poder de carga de la avenida anterior.

El uso del suelo por el hombre es otro factor que puede reflejarse en las cantidades de sedimentos que son aportadas por los ríos al océano (Lanbeig y Schumm, 1958). La

agricultura es una actividad que puede causar aumento o disminución de estas cantidades de sedimento segun sea la forma en como se practique.

En lugares donde se realizan actividades agrícolas con escasos programas de conservación del suelo, la razón de erosión normal de la zona se incrementa (S.A.R.H., 1977) ya que en el desarrollo de esta actividad se realiza desforestación y remoción de material, lo que facilita el transporte del sedimento por las corrientes. Sin embargo, cuando la práctica agrícola se hace en conjunto con programas de riego y conservación del suelo, la razón de erosión normal de la zona disminuye (S.A.R.H., 1977) ya que la construcción de muros y represas para la acumulación de grandes volúmenes de agua favorecen la retención del sedimento en tales estructuras.

En el caso de la costa Oeste de Baja California, la agricultura se realiza sin considerar programas de conservación del suelo (Avila, 1983). Además, es poca la infraestructura desarrollada para la acumulación de aguas de riego, por lo que en la zona la actividad agrícola es un factor que ha de incrementar la razón de erosión normal.

Cabe mencionar, la existencia de la Presa Rodríguez en el río Tijuana y la Presa Emilio Lopez en el río Ensenada,

que seguramente han de actuar como trampas de sedimentos (Cupul, 1983: Avila, 1983).

En la zona de interes podemos observar que:

a) El área de las cuencas definidas se pueden considerar pequeñas (área mucho menor que 10,000 km²) por lo que las trayectorias de las corrientes en estas cuencas han de describir formas sencillas que desfavorecen la formación de grandes depósitos sedimentarios en sus cauces.

b) Sin excepción de alguna cuenca, éstas se desarrollan en una zona que se caracteriza por su pendiente media-alta (8-30 %), por lo que los escurrimientos han de presentar altas velocidades, dando lugar a que la mayoría de los sedimentos drenados serán depositados solamente cuando las condiciones de velocidad del flujo disminuyan, lo que sucederá cerca de la desembocadura o en en lugares de baja pendiente, última característica que en la zona sólo se presenta en algunos valles con gran actividad agrícola.

c) El período de lluvias es limitado a tiempos cortos por lo que son de mayor intensidad, dando lugar a que los volúmenes de agua concentrados en tiempos cortos fluyan con altas velocidades a través de sus cauces.

En base a las características generales de la zona de estudio y a las observaciones hechas por otros autores (Einstein, 1950; Schumm y Hadley, 1957; Langbein y Schumm, 1958; Milliman y Meade, 1983) sobre la forma en como pueden determinar que una parte del sedimento erosionado sea depositado dentro de las cuencas de drenaje, se puede inferir que las cuencas de drenaje de la zona no reúnen las características fisiográficas como para retener grandes cantidades del sedimento que viene siendo drenado por las corrientes, lo que significa, que la mayoría del sedimento drenado en estas cuencas ha de ser llevado por las corrientes hasta sus desembocaduras.

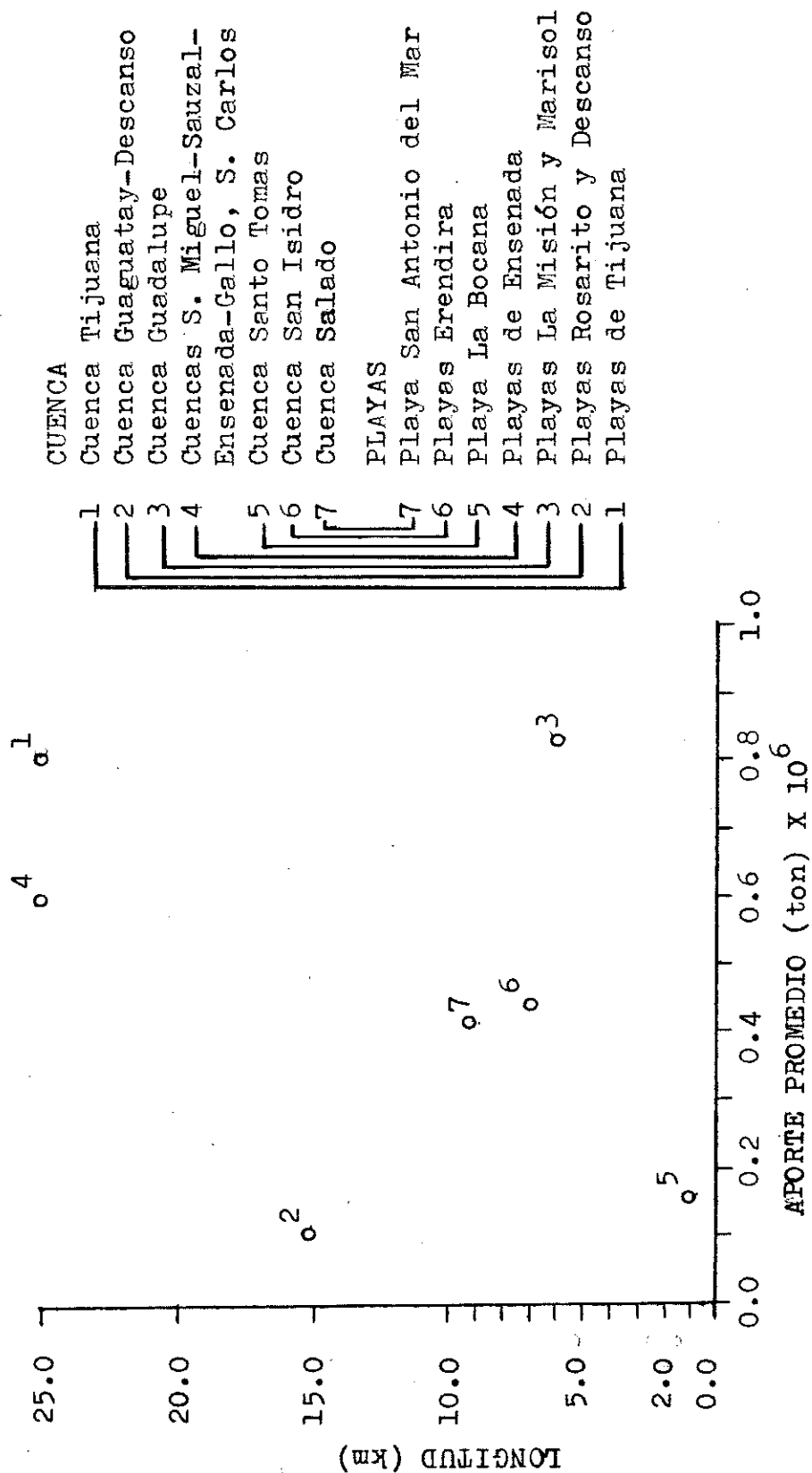
Sin embargo, en los valles de algunas de las cuencas de drenaje existen depósitos sedimentarios con dimensiones considerables, como es el caso del Valle de Guadalupe, el Valle de San Rafael, el Valle de Maneadero y el Valle de Santo Tomás, entre otros, que se caracterizan por presentar alto desarrollo agrícola. El establecimiento de zonas agrícolas en estos lugares, obedece a que las condiciones del terreno entre otras cosas ofrece la seguridad de que los cultivos no serán perdidos debido a inundaciones, por lo que esta actividad se ha de realizar en las terrazas sedimentarias situadas en los flancos de los canales de escurrimiento activos, dando lugar a que, lo que anteriormente fueron zonas de depositación, actualmente se

han reducido a canales naturales de escurrimiento, en los que sí existe depositación ha de ser en menor proporción.

Si la mayoría del sedimento sale de las cuencas, es de esperarse entonces, que las distintas cantidades de sedimento que se drenan en cada una de éstas se reflejen en el tamaño de los depósitos de sedimento resultantes, que para la zona de interés corresponde al tamaño de las playas existentes en la desembocadura de las corrientes.

Sin embargo, la relación anterior no se aprecia en la zona de estudio, observandose (Fig. 12) que las dimensiones de las playas inmediatas a las desembocaduras no guardan relación directa con las cantidades de sedimento que se drenan hacia éstas a través de las cuencas. Esto puede explicarse satisfactoriamente al considerar los valles agrícolas mencionados como trampas naturales de sedimentos.

Cabe mencionar, que sin excepción de alguna corriente de las consideradas en este trabajo, presentan playas en sus desembocaduras, lo que lleva a pensar, que el sedimento que es transportado hasta las playas por dichas corrientes, no encuentra las condiciones necesarias para poder integrarse a estos depósitos dado que inmediatamente es transportado a lo largo o fuera del sistema litoral debido a la alta energía de estos lugares por el oleaje prevaeciente (Duffet, 1969).



V.- CONCLUSIONES

En la parte noroeste de Baja California, se pueden definir tres subzonas de aporte sedimentario hacia el Océano Pacífico:

- La Subzona Norte: formada por las cuencas de los ríos Tijuana, Guaguatay, Descanso y Guadalupe. Es la principal dado que en esta subzona en promedio se drenan 1.76×10^6 ton/año de sedimentos.

- La Subzona Centro: formada por las cuencas de los ríos San Miguel, El Sauzal, Ensenada, Gallo, San Carlos y Las Animas. Presenta la menor contribución de sedimentos, dado que en promedio se drenan 613.6×10^3 ton/año de sedimentos.

- La Subzona Sur: formada por las cuencas de los ríos Santo Tomás, San Isidro y Salado. Después de la Subzona Norte, la Subzona Sur es la más importante, ya que en ésta se drenan en promedio 1×10^6 ton/año de sedimentos.

-Las diferencias en cantidades de aporte sedimentario entre las tres subzonas definidas, es el resultado de las diferencias en precipitación, en el porcentaje y tipo de cobertura vegetal, y en el área que presentan sus cuencas de drenaje.

- Con lo anterior, los ríos de la parte noroeste de Baja California en promedio drenan hacia el Océano Pacífico 3.4×10^6 ton/año de sedimentos.

- No se encontró ninguna relación consistente entre la cantidad de aporte de sedimentos por cuenca y las dimensiones existentes en las playas.

- Nuevamente, los adelantos en el área de la computación reflejados en el sistema TOPOGRAFIC, mostraron la eficiencia que caracteriza a tales herramientas, dando lugar a la precisión del área calculada para las diferentes cuencas de drenaje definidas en el presente trabajo.

VII .- BIBLIOGRAFIA

ARANDA, M.F.J., 1983. Estudio de Minerales Pesados Como Trazadores de la Corriente Litoral en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B.C., México.

AVILA, S.G.E., 1983. Volumen de Sedimento Aportado Anualmente a la Bahía de Todos Santos, Baja California, por los Arroyos: El Carmen, Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas. (1972-1983). Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B.C., México.

BACA, Ch.C., 1981. Procedencia de minerales pesados en la bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B.C., México.

CUPUL, M.L.A., 1983. Causas de Erosión en Playas de Tijuana durante el Invierno de 1977-1978. Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B.C., México.

DUFFET, W.N., 1969. Arroyo-Shoreline Relationships in Northwest Baja California, México. Ph.D. Dissertation, Univ. of Colorado.

EINSTEIN, H.A., 1950. The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows. Technical Bolletín No 1026, U.S. Department of Agriculture Washington, D.C.

EMERY, K. O., 1960. The Sea off Southern California. New York (John Wiley and Sons), 366 pp.

FOURNIER, F., 1960. Climat et erosion. Paris Presses Universitaires de France.

GASTIL, R. G., E. C. ALLISON y R. P. PHILLIPS, 1971. Reconnaissance of the State of Baja California. Geol. Soc. Amer. Mem.

GOMEZ-MORIN, F.L., 1981. Estudio Hipsométrico de la Rada del Puerto de Ensenada, B.C. Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B.C., México.

HOLEMAN, N.J., 1968. The Sediment Yield of Mayor Rivers of the World. Water Resources Research, Vol. 4, No. 4, 737-747.

HOLEMAN, N.J., 1980. Erosion Rates in the U.S. estimated by the Soil Conservation Service's inventory. American Geophys. Union Trans. Vol 61.

- INMAN, D.L. y T.K. CHAMBERLAIN, 1960. Littoral Sand Budget Along the Southern California Coast [Abstract]. Rpt. 21st Int. Geol. Cong. (Copenhagen), Vol. of Abstracts, 245-46.
- JOHNSON, J.W., 1959. The Supply and Loss of Sand to the Coast. Journ. of the Waterways and Harbors Division. 227-251.
- KOMAR, P.D., 1976. Beach Processes and Sedimentation. Englewood Cliffs. Prentice-Hall, Inc. 227-248.
- LANGBEIN, W.B. y S.A. SCHUMM, 1958. Yield of Sediment in Relation to the Mean Annual Precipitation. Trans. Am. Geophys. Union, 39, 1076-84.
- LEOPOLD, L.B., 1951. Rainfall frequency: An aspect of climatic variation. Trans. Amer. Geophy. Union. Vol 32.
- LONG, Y.Q. y G.S. XION, 1981. Sediment Measurement in the Yellow River, in Erosion and Sediment Transport Measurement. Int. Assoc. Hydrol. Sci. Pub. 133, p. 275-285.
- MARKHAM, C. G., 1972. Baja California's Climate.

Weatherwise, 25(2), 64-76.

MATALAS, C.N., 1963. Statistics of a Runoff-Precipitation Relation. Geological Survey Professional Paper 434-D, U.S. Government Printing Office, Washington.

MILLIMAN, J.D. y R.H. MEADE, 1983. World-Wide Delivery of River Sediment to the Oceans. The Journal of Geology, Vol. 91, No. 1 (pp. 23).

PEREZ, H.R., 1982. Relación Mineralógica Entre el Area Drenada por el Arroyo El Carmen y su Depósito. Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B.C., México.

RODOLFO, K.S.R., 1970. Annual Suspended Sediment Supplied to the California Continental Borderland by the Southern California Watershed. Journ. of Sedimentary Petrology. Vol. 40, No. 21, 666-671.

S.A.R.H., 1977. Manual de Conservación del Suelo y del Agua. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

SCHUMM, S.A. y R.F. HADLEY, 1957. Arroyos and the

Semiarid Cycle of Erosion. A.J.S., Vol. 255, p 161-174.

S.R.H., 1971. Boletín Hidrológico No. 28. Regiones Hidrológicas No. 1 a 7, Península de Baja California. Oficina de Publicaciones de la Dirección de Hidrología de la S.R.H., I-05 a I-06.

S.R.H., 1973. Mapa de Tipos de Vegetación del Estado de Baja California. No. AC-22800, México, D.F.

SECRETARIA DE MARINA, 1970. Carta Batimétrica S.M. 110 (San Diego a Cabo Colonet), Escala 1: 350,000. Dirección General de Oceanografía.

SHEPARD, F.P., 1950. Longshore Current Observation in Southern California. Scripps Institution of Oceanography. Ref. No. 456. U.S. Army Corps. of Engineers, Beach Erosion Board Tech. Memo., No. 13, pp. 54.

U.S.A. COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, 1977. Shore Protection Manual, Vol. I, 4-116 a 4-134.

WALTON, W.R., 1955. Ecology of Living Benthonic Foraminifera, Todos Santos Bay, B.C. Jour. of

Paleontology, Vol. 29, No. 6, 952-1018.

WATKINS, S. L., 1974. 'Masked Three-Dimensional Plot Program with Rotations', Communications of the ACM, Vol. 17 No. 9.

APENDICE No. 1 : DESCRIPCION DEL SISTEMA TOPOGRAFICO

Se describe en forma general la base de archivos, cómo fue generada, características del programa y algunos de los resultados que se pueden obtener.

Para generar la base de archivos, se utilizaron las cartas topográficas de INEGI (antes DETENAL) de escala 1:50,000. Cada carta abarca un rango de 15 minutos de Latitud por 20 de Longitud y el detalle de los contornos topográficos es cada 20 metros. Las cartas digitizadas (44) son de las series I11C69 a la H11B47 cubriendo la parte Norte del estado de Baja California, desde el paralelo 31 hasta la frontera con Estados Unidos. Además de la información topográfica, también contienen información de las vías de comunicaciones y asentamientos humanos. En la figura 13 se presentan las cartas que forman la base de archivos.

DIGITIZADO DE MAPAS Y EQUIPO UTILIZADO:

Para la digitización de las cartas se utilizó una mesa digitizadora marca Tektronix modelo 4956 (con resolución de .005 pulgs.) controlada por un microcomputador Tektronix modelo 4051. Dada la cantidad de información sólo se

digitizaron los contornos topográficos con valores múltiples de 100 y las vías de comunicación más importantes. La reducción y manejo de la base de archivos se llevó a cabo en el centro de cálculo del CICESE, basado en una super-mini computadora PRIME 750 con diversos tipos de periféricos.

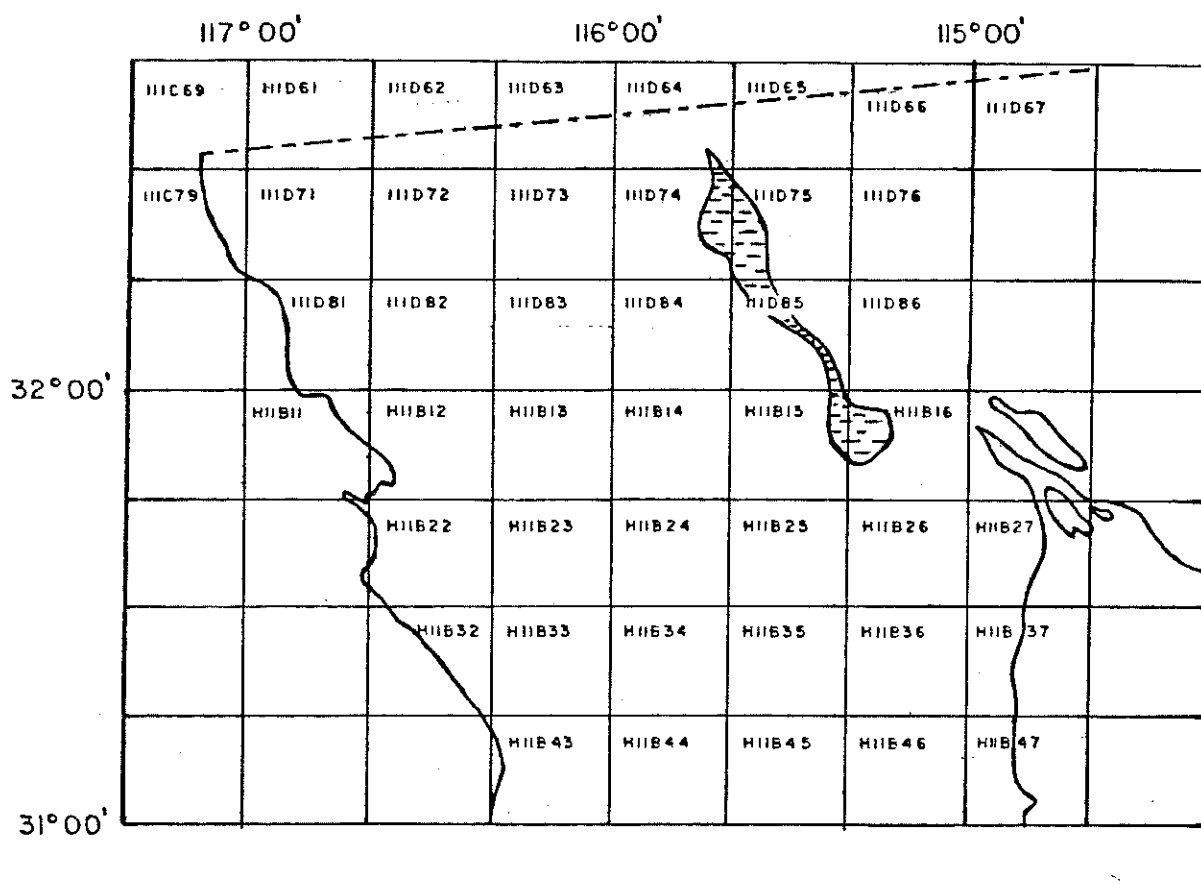


Fig. 13 Cartas presentes en la base de archivos.

ESTRUCTURA DE LA BASE DE ARCHIVOS:

A cada carta en la base de archivos le corresponde:

- Un registro dentro de un archivo de control que describe los atributos de esa carta,

- Un archivo con información de vías de comunicación terrestre y contornos topográficos,

- Un archivo que contiene una matriz de valores topográficos.

ARCHIVO DE CONTROL:

Contiene un inventario de las cartas disponibles en la base de archivos. Cada mapa está descrito por un registro. En forma general los atributos por registro son: clave (misma que INEGI), cobertura geográfica de la carta, información cuantitativa y cualitativa sobre el archivo correspondiente de contornos topográficos y vías de comunicación.

ARCHIVOS DE CONTORNOS TOPOGRAFICOS Y VIAS DE COMUNICACION:

Existe un archivo por carta, cada uno guarda las

coordenadas tridimensionales resultantes de la digitización de los contornos topográficos y vías de comunicación terrestre. La longitud del archivo es variable, dependiendo de la cantidad de información en la carta. El conjunto de archivos de contornos cuenta con un total aproximado de 6,000,000 de coordenadas tridimensionales equivalente a 3,000,000 de bytes.

ARCHIVOS DE MATRICES TOPOGRAFICAS:

Existe un archivo por carta, cada uno guarda una matriz de valores topográficos generada a partir de las cartas digitizadas. El espaciamiento entre elementos de la retícula es de 1/10 minutos, resultando una malla de 201 columnas por 151 renglones (30,351 puntos por archivo). El conjunto de archivos de malla suma aproximadamente 1.3 millones de elementos de matriz equivalente a 2,600,000 de bytes.

GENERALIDADES SOBRE EL PROGRAMA:

El programa se puede describir como un sistema administrador de archivos topográficos y generador de resultados ya sea en forma gráfica o de otros archivos. Trabaja por medio de un menú de opciones guiando al usuario en un ambiente interactivo y validando la información que

éste le proporcione. Se procuró la modularidad para permitir su fácil modificación, actualización y transporte a otros sistemas. Está codificado en tres lenguajes: PASCAL, FORTAN IV y PMA (PRIME Macro Assembler). El programa utiliza algunas rutinas del sistema operativo PRIMOS y una librería de graficado. El graficado en tres dimensiones se lleva a cabo con el algoritmo 483 de la ACM (Walkins S.L., 1974). Este algoritmo acepta datos tridimensionales en varias formas, los rota en el espacio y gráfica la proyección de la figura resultante sobre el plano X-Y. Aquellas líneas o porciones de líneas que deban estar escondidas por previas líneas son enmascaradas.

El programa se diseñó para ser operado por personal con poco entrenamiento técnico. A partir de una ventana que el usuario especifica y las opciones del menú que se soliciten, el programa identifica que archivos deberá acceder y que información de éstos habrá de discriminar.

Entre las opciones implementadas a la fecha, están las siguientes:

-Grafica en dos y tres dimensiones la información topográfica y vías de comunicación (opcional) que estén contenidas dentro de la ventana especificada por el usuario (no hay restricción respecto al número de cartas

involucradas). En el caso de tres dimensiones, el programa preguntará por las rotaciones de la figura en el espacio.

- Grafica el perfil del terreno entre dos puntos fijados por el usuario mediante cursores.

- Guarda en un archivo la información topográfica contenida en la ventana especificada.

- Guarda en un archivo los puntos de interés localizados por el usuario dentro de la ventana con ayuda de cursores.

- Sobrepone información (ya sean símbolos, estructuras o figuras geométricas) sobre las gráficas seleccionadas (2 ó 3 dimensiones).

El programa debe ejecutarse desde una terminal gráfica ADM 3A+ o TEKTRONIX que acepte salida de la biblioteca IRVING, para aprovechar mejor su capacidad. En particular, es obligatorio utilizar la terminal TEKTRONIX cuando se necesite conocer puntos de interés en una gráfica inmediata, ya que para esto es necesario hacer uso de los cursores que sólo se encuentran en este tipo de terminal.

APLICACIONES:

-El programa ha resultado una herramienta útil para los investigadores de la División de Ciencias de la Tierra del CICESE en las siguientes áreas:

-Optimización en el sistema de comunicaciones de la Red Sísmica Telemétrica del CICESE.

-Corrección por topografía de mediciones gravimétricas realizadas en Baja California.

-Mapeo de epicentros y estaciones sismológicas portátiles.

-Graficación de la fisiografía del terreno en las áreas cercanas a las fallas activas en la zona.

-Delimitación y calculo del área de zonas de interés.

APENDICE No. 2: CALCULO DE PRECIPITACION EFECTIVA

La precipitación efectiva es una forma de expresar la cantidad de agua de lluvia que logra escurrir en una cuenca, y es calculada a partir del escurrimiento de la forma siguiente:

Para calcular el escurrimiento medio o volumen medio en cuencas, es necesario conocer el valor de precipitación anual media de la cuenca de interés, el área de la cuenca de drenaje y su coeficiente de escurrimiento, de tal manera que la relación a utilizar es la siguiente (S.A.R.H., 1977):

$$E_m = A C P_m$$

en donde:

E_m --- Volumen medio que puede escurrir (miles de m^3)

A --- Area de la cuenca (km^2)

C --- Coeficiente de escurrimiento que varía de
0.1 a 1.0

P_m --- Precipitación anual media de la cuenca (mm)

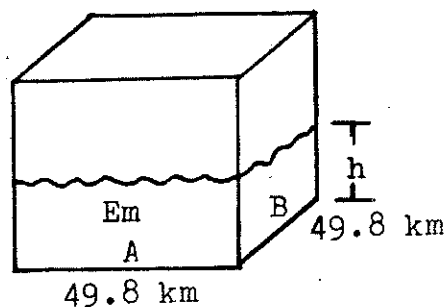
El valor del coeficiente de escurrimiento (C), se obtiene por medio de la tabla 10, de acuerdo a las

características de la cuenca y al uso del suelo. Cuando la cuenca o área de drenaje presenta diferentes tipos de vegetación, el coeficiente de escurrimiento (C), se obtiene para cada área parcial y posteriormente se calcula el promedio ponderado.

Por ejemplo, para la cuenca del río Guadalupe, para el año de 1983, se calcula una precipitación anual media de 749.6 mm, el área de la cuenca es de 2484 Km² y el coeficiente de escurrimiento calculado es de 0.4478 que se obtuvo como un promedio ponderado, ya que la parte alta de la cuenca está cubierta por vegetación tipo bosques y el resto por arbustos y pastizales. El escurrimiento medio (Em) es:

$$E_m = A C P_m = (2484) (0.4478) (749) = 833139.06 \times 10^3 \text{ m}^3$$

Si interpretamos que el volumen Em está contenido en un cubo y que el área de su base es igual al área de la cuenca:



entonces, la altura del nivel de agua en el cubo será,

$$h = \frac{8.3380647 \times 10^8 \text{ m}^3}{(A) (B)}$$

$$= \frac{8.3380647 \times 10^8 \text{ m}^3}{2.484 \times 10^9 \text{ m}^2} = 0.33567 \text{ m} = 335.6 \text{ mm}$$

Recordemos que, el criterio básico que se sigue al hacer una medición de precipitación mediante el pluviómetro es el siguiente: la medición expresa en mm el espesor o altura de la capa de agua caída o, lo que es equivalente, en litros de agua precipitada por metro cuadrado de superficie (S.A.R.H., 1977).

Al calcular la altura del nivel del de agua (h), se sigue conservando el criterio básico con el que se hace una medición de precipitación: por lo que la altura (h) calculada es equivalente al valor de precipitación anual media efectiva.

En la tabla 11 se presenta el valor del coeficiente de escurrimiento calculado para las distintas cuencas de la zona de estudio. La información de cobertura vegetal se tomó del mapa No. AC - 22800 editado por la S.R.H. (1973).

Al igual que en el caso cuando se tienen diferentes tipos de vegetación en una cuenca, el coeficiente de

Topografia	Textura del suelo		
V e g e t a c i o n	Gruesa	Media	Fina
<u>Bosques</u>			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30% pendiente)	0.30	0.50	0.60
<u>Pastizales</u>			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30% pendiente)	0.22	0.42	0.60
<u>Terrenos cultivados</u>			
Plano (0-5% Pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10% Pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30% Pendiente)	0.52	0.72	0.82

Tabla No. 10 Valores de C para el cálculo del
escurrimiento (S.A.R.H., 1977).

escurrimiento se debió de haber calculado como un promedio ponderado debido a la existencia de diferentes texturas del suelo en la cuenca, sin embargo esto no se hizo ya que para ello se requieren observaciones de campo que debido a la extensa zona de trabajo no fué posible realizar. Por tal motivo, para la selección del valor del coeficiente de escurrimiento se consideró que la textura del suelo en la zona es media y el relieve del terreno escarpado.

Se notó que variaciones en el tercer decimal del valor del coeficiente de escurrimiento calculado para cada una de la cuencas se refleja en forma notoria en los resultados de la precipitación efectiva.

C U E N C A		C O E F
Cuenca del Río Tijuana	----	0.4423
Cuenca del Río Guaguatay	----	0.4200
Cuenca del Río Guadalupe	----	0.4478
Cuenca del Río Ensenada	----	0.4200
Cuenca del Río San Carlos	----	0.4390
Cuenca del Río Las Animas	----	0.4320
Cuenca del Río Santo Tomas	----	0.4410
Cuenca del Río San Isidro	----	0.4200
Cuenca del Río Salado	----	0.4559

Tabla No. 11.- Coeficientes de escurrimiento de las cuencas

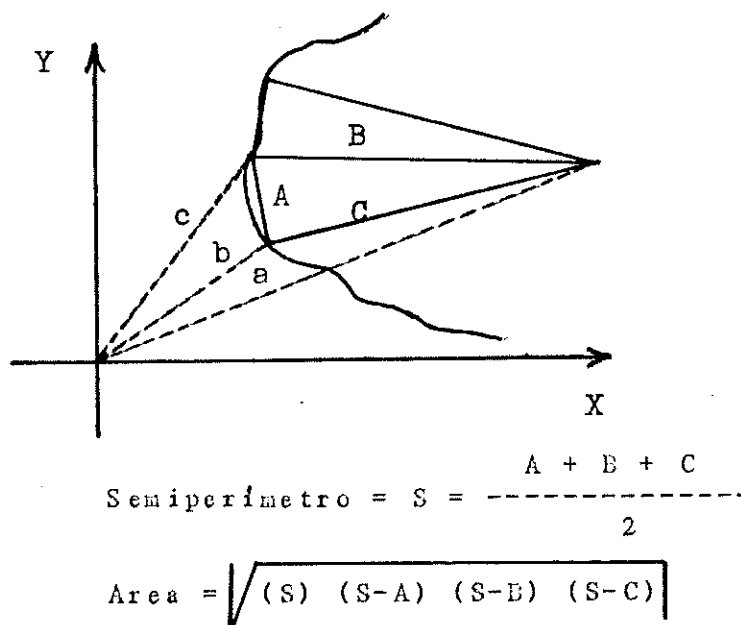
APENDICE No. 3 : CALCULO DEL AREA DE LAS CUENCAS

Conociendo previamente la forma y ubicación de los ríos, se procedió a identificar y delimitar sus cuencas de drenaje. Para hacer estas observaciones, con el programa TOPOGRAFIC se realizaron despliegues gráficos en tres dimensiones de las zonas consideradas, proyectadas de tal forma que mostraran objetivamente el relieve del terreno. La figura 14 muestra el relieve de la zona en que se ubica la cuenca del río Guadalupe: la línea punteada sigue las fronteras naturales de la cuenca (para mayor referencia se sobrepone el Río Guadalupe).

El siguiente paso, fue generar el contorno que delimitara la cuenca de interés, para posteriormente calcular el área que éste encierra. Para ello, se hizo el despliegue gráfico en dos dimensiones de la zona antes observada en tres dimensiones y con la ayuda de los cursores se hicieron lecturas consecutivas de los puntos que definen las fronteras de las cuencas (las coordenadas tridimensionales de dichos puntos, son guardadas por el programa en un archivo temporal). El número de puntos leídos es variable dependiendo de la irregularidad de las fronteras.

Para calcular el área dentro del contorno, se desarrolló el siguiente método: que se basa en que el área total dentro del contorno es igual a la suma de las áreas del mayor número de triángulos posibles a generar dentro del mismo (teniendo dichos triángulos un punto central común dentro del contorno).

El área de los triángulos es calculada de la siguiente forma:



En donde los valores de los lados del triángulo se calculan mediante sustracción vectorial.

El algoritmo calcula el área en terminos de unidades cuentas cuadradas, por lo que estos valores son traducidos a km^2 haciendo las consideraciones propias relacionadas con las escalas usadas. La gráfica 15 muestra una aproximación

al calcular el área de la cuenca del río Guadalupe.

Es claro que cuando mayor es el número de triángulos contruidos dentro del contorno, mejor sera la aproximación del área calculada. Sin embargo, existe un límite en el número de triángulos necesarios para cubrir el contorno y que el valor del área total calculado sea el más aproximado, y este límite se presenta cuando el valor del área total del contorno no varía aún cuando se incremente el número de triángulos dentro de éste.

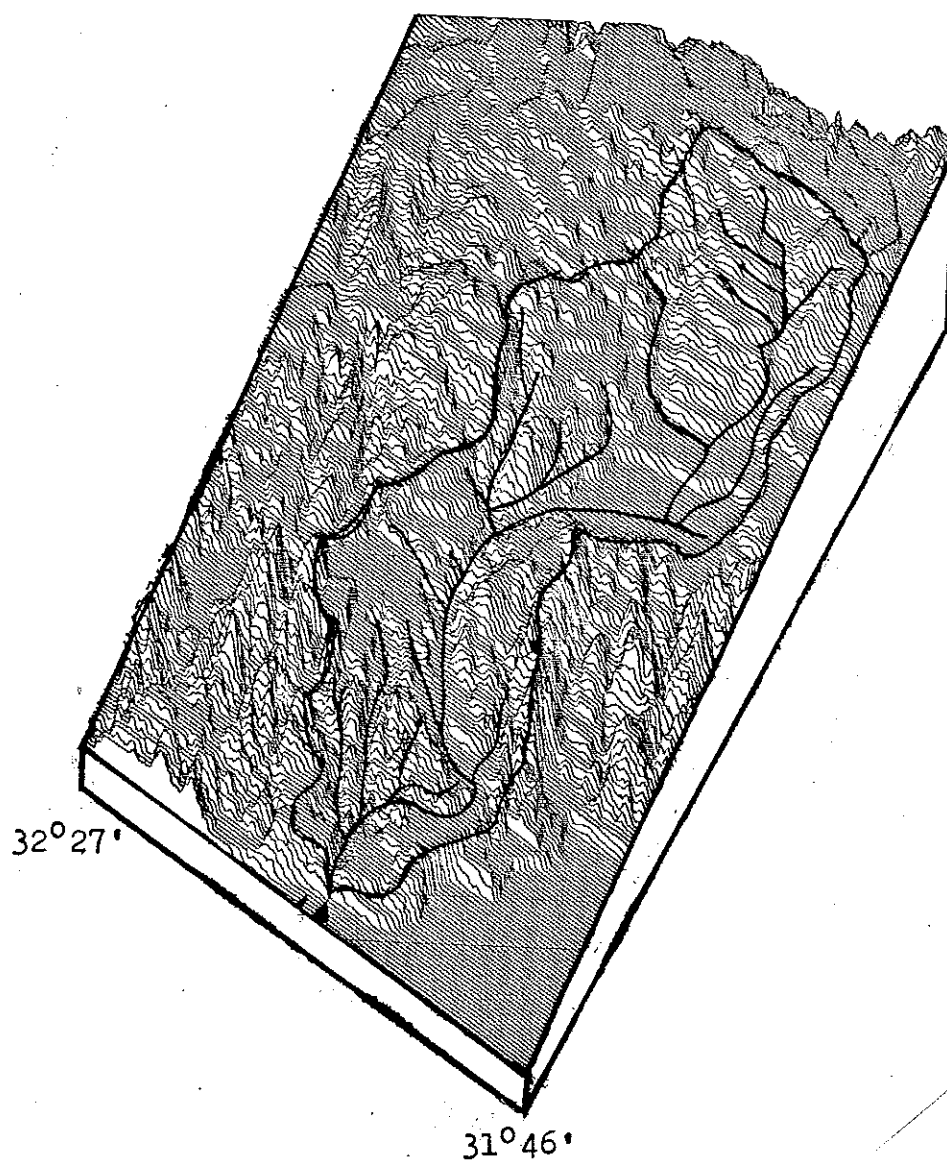


Fig 14 Grafica en tres dimensiones de la cuenca del
río Guadalupe.

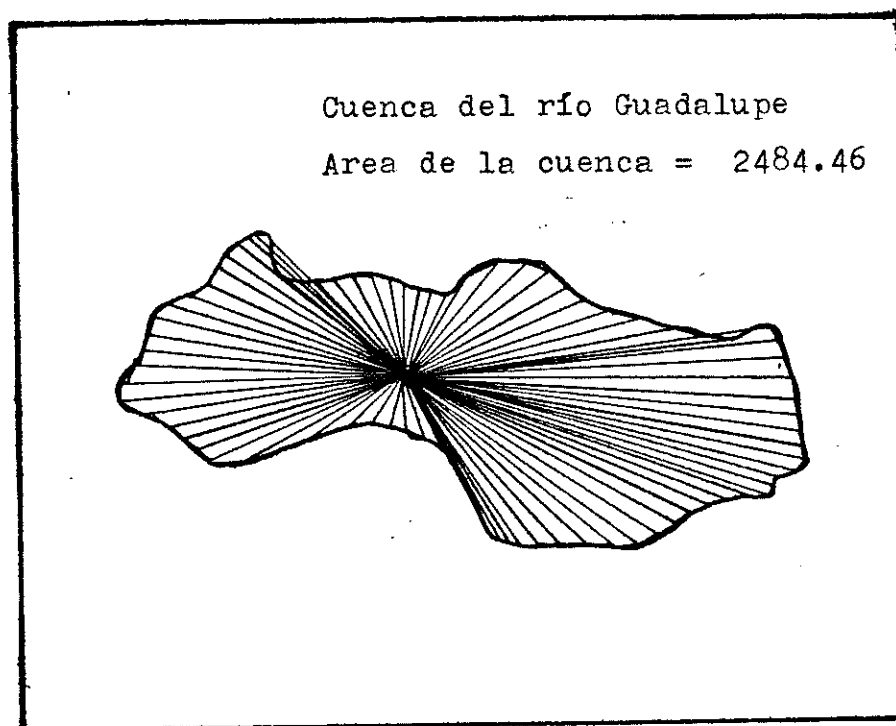


Fig 15 Una aproximación para el calculo del
Área de la cuenca del río Guadalupe.

APENDICE No. 4 : CALCULO DEL VOLUMEN DEL MATERIAL DEPOSITADO

Se describe como se transformaron los valores de cantidad de material sedimentario aportado por las cuencas (toneladas) a volumen del material depositado (m^3). Para este propósito, se presenta el siguiente ejemplo: para la cuenca del río Guadalupe, con área de drenaje de 2484 km^2 (959.48772 millas²), para el año de 1983 se calcula una precipitación anual efectiva de 33.56 cm (13.21 pulgs.). Bajo estas características, se calcula una razón de aporte (S) de 1582.893 tons. por milla cuadrada, por lo que en total para 1983 en la cuenca se drenaron aproximadamente 1,518,765.25 tons. de sedimentos.

Para mejor apreciación de estas cantidades, conviene expresarlas en términos del volumen del depósito que fue generado. Para esto, se hace la consideración igual que Lungbein y Schum (propuesta a partir de observaciones en el campo), que la densidad promedio de depositación es de 60 libras por pie cubico, y que la gravedad específica promedio de los sedimentos erosionados es de 2.65 gr/cm^3 . Lo anterior se explica de la forma siguiente: si por cada pie³ del lugar donde se formará el depósito recibe 60 libras de material, entonces la altura que alcanzará el depósito será:

$$\rho_m = \frac{m}{v} = 2.65 \text{ gr/cm}^3 = 165.4342 \text{ lbs/pie}^3$$

$$\text{Altura} = h = \frac{m}{(\text{area})(\rho_m)} = \frac{60 \text{ lbs}}{(1 \text{ pie}^2)(165.43 \text{ lbs/pie}^3)} =$$

$$h = 0.3626819 \text{ pie} = 0.1105454 \text{ m}$$

Esto es equivalente a que 27.215 kg de material sedimentario formarán un depósito con un volumen de 0.010275 m³. Entoces, si en la cuenca se drenaron aproximadamente 1.5187652 X 10⁹ kg de material, al ser éste depositado generó un depósito de 573,391.65 m³.