

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO



---

---

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
LABORATORIO DE SEDIMENTOLOGÍA

ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA PLATAFORMA  
CONTINENTAL SOMERA EN EL SUROESTE DEL GOLFO DE  
MÉXICO, ADYACENTE AL RÍO PAPALOAPAN.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS  
PRESENTA:  
GEOGR. GERMÁN GÓMEZ ROCHA

DIRECTOR DE TESIS: DR. ARTURO CARRANZA EDWARDS  
COMITÉ TUTORAL: DR. LIBERTO DE PABLO GÁLÁN  
DR. JUAN JOSÉ KASPER ZUBILLAGA  
DRA. BEATRIZ ORTEGA GUERRERO  
DR. MARIO ARTURO ORTIZ PÉREZ



MÉXICO, D. F.

2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**Dedico este trabajo:**

Con amor y respeto para mis padres:

*María Luisa Rocha Flores y Martín Gómez Casillas*

Les doy las gracias por el apoyo recibido a lo largo del posgrado, por haberme inculcado el hábito del estudio y el trabajo.

A mi Familia:

*Mi mujer, Susana; mi hija Ximena y a Elisa Mitzi*

Por su apoyo incondicional en todo momento, que por ustedes no hay obstáculos imposibles de vencer, además de ayudarme con su ánimo a concluir esta tesis,  
Gracias

A mi hermano y su esposa:

*Luis Martín y Rosalba*

Gracias, por el apoyo que me han otorgado en todo momento y las alegrías que hemos pasado.

### **Agradecimientos:**

**Al Doctor Arturo Carranza Edwards** por dirigir esta tesis con tesón y paciencia, además de toda la asesoría recibida, orientándome también con sus observaciones y comentarios que me ayudaron para el enriquecimiento del mismo.

**Al Doctor Liberto De Pablo Gálan** por sus acertados comentarios y sugerencias para la realización exitosa de esta tesis.

**Al Doctor Juan José Kasper Zubillaga** por haber sido uno de mis sinodales, por su amistad durante la estancia de mi trabajo de esta tesis, por animarme a seguir adelante, además de sus atinados comentarios para el mejoramiento de este trabajo.

**A la Doctora Beatriz Ortega Guerrero** por su exhaustiva revisión y que con sus consejos han hecho de este un mucho mejor trabajo.

**Al Doctor Mario Arturo Ortiz Pérez**, por sus conocimientos vertidos sobre el tema que resultaron muy valiosos para la elaboración de esta tesis, Gracias.

Un Especial agradecimiento al **Maestro Eduardo Morales de la Garza** por su apoyo en el estudio de las muestras en el laboratorio de sedimentos. Así también para la Coordinadora del Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología **Doctora Gloria Vilaclara Fatjó**, por su apoyo y consejos durante mi estancia en el postgrado. También un agradecimiento muy especial al **Doctor Raúl Gío Argaéz**, por su apoyo para la realización de mi estancia de estudios en la **U. de Cádiz, España**.

**Gracias al Doctor Francisco Javier Gracia Prieto, Asesor Académico** durante mi estancia en la **Universidad de Cádiz**, que con sus comentarios al trabajo lo enriquecieron significativamente, además de sus consejos en relación a proyectos de investigación en un futuro.

**A la UNAM**, sin discrepancias la mejor y más valiosa institución educativa de **México**, pésele a quien le pese, una de las mejores universidades del mundo. Gracias por el apoyo otorgado, por ser **PUMA** de corazón, **GOYA, GOYA.....**, Gracias.

**Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología**, por el apoyo otorgado en el uso de sus instalaciones, tecnología, laboratorio de sedimentología y especialmente por permitirme ser parte de las campañas oceanografías SAV1 y SAV2, a bordo del **Buque Oceanográfico Justo Sierra**, que contribuyeron a la adquisición de muestras para el estudio. Un agradecimiento especial para la **tripulación de este buque**, que sin su ayuda hubiera sido casi imposible la realización de este trabajo.

**Al Postgrado de Ciencias del Mar y Limnología**, por toda la fuente inagotable de conocimientos que adquirí mientras curse la maestría, además de ser uno de los mejores postgrados en México, Gracias. También un agradecimiento muy especial al personal administrativo que ahí labora por sus atenciones hacia mi persona; Chantal, Diana, Gabriela y Lupita.

Con agradecimiento y reconocimiento especial al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por su apoyo moral y económico por la beca otorgada a mi persona con el número (CVU/Becario): 235568/211281, que sin este apoyo hubiera sido imposible la realización de esta tesis.

Un agradecimiento especial al **Programa de Apoyos a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica**, por su apoyo al presente trabajo, con el Proyecto: **PAPIIT (INI08808) Estudio Ambiental del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y su Relación con las Descargas Fluviales**, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la UNAM.

A los compañeros del laboratorio de sedimentología; Anita, Marlene, Alonso y Enrique, que con su apoyo de todo tipo fue posible la realización de la investigación, pero sobretodo al compañerismo y amistad que mostraron hacia mi persona y que hicieron más llevadera mi estancia en el laboratorio.

A mis compañeros de clases del postgrado; Verónica López, Omar Celís, así también Anita y Edgar, gracias por haber compartido tan enriquecedores momentos durante las clases y de antemano pido disculpas si algún nombre se me olvida, pero estarán siempre en mi corazón. Gracias.



I WISH YOU COULD SWIM  
LIKE THE DOLPHINS  
LIKE THE DOLPHINS CAN SWIM  
THOUGH NOTHING  
THOUGH NOTHING WILL KEEP US TOGETHER  
WE CAN BEAT THEM  
FOR EVER AND EVER  
OH WE CAN BE HEROES  
JUST FOR ONE DAY

ME GUSTARÍA QUE PUDIÉRAMOS NADAR  
COMO LOS DELFINES  
COMO LOS DELFINES QUE SABEN NADAR  
AUNQUE NADA  
SEGUIREMOS JUNTOS  
PODEMOS GANARLES  
PARA SIEMPRE JAMÁS  
OH PODEMOS SER HÉROES  
SÓLO POR UN DÍA

(Fragmento canción, *Heroes*, David Bowie)

## Índice

	Pag.
<b>RESUMEN</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	2
Planteamiento y justificación del estudio	2
Hipótesis	3
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Antecedentes	4
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	7
Localización del área de estudio	7
Fisiografía	8
Sistema Hidrológico de la cuenca del río Papaloapan	8
Llanura costera	8
Plataforma Continental	9
Golfo de México	9
Litología	10
Clima	10
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	13
<b>RESULTADOS</b>	20
<b>ANÁLISIS TEXTURAL DE LOS SEDIMENTOS</b>	20
Diagrama triangular	29
Parámetros Texturales	31
Tipos de población del sedimento y procesos de depósito	49
<b>ESTUDIO MINERALÓGICO Y DE PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS</b>	65
Estudio mineralógico	65
Procedencia	81
Color de los sedimentos	85
Elementos mayores y traza	90
<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	93
Batimetría	93
Cartografía morfométrica de la cuenca del río Papaloapan	94
Perfiles topográficos de los ríos de la cuenca del Papaloapan	96
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	106
<b>Bibliografía</b>	110

## Lista de Figuras

## Página

Figura 1	Mapa de localización del área de estudio	7
Figura 2	Mapa litológico sintetizado del INEGI	10
Figura 3	Graficas de precipitación y temperatura de estaciones representativas del área	11
Figura 4	Mapa de localización del área de muestreo	13
Figura 5	Ubicación de las estaciones de muestreo en época de <i>nortes</i>	14
Figura 6	Ubicación de las estaciones de muestreo en época de lluvias.	14
Figura 7	Ejemplo de gráfica de la curva acumulativa del transporte de sedimentos	17
Figura 8	Distribución de la textura sedimentaria durante la temporada de <i>nortes</i>	23
Figura 9	Distribución de la textura sedimentaria durante la temporada de lluvias	23
Figura 10	Distribución del porcentaje de arenas por estación en época de <i>nortes</i>	24
Figura 11	Distribución del porcentaje de arenas por estación en época de lluvias	24
Figura 12	Distribución espacial del porcentaje de arenas en época de <i>nortes</i>	26
Figura 13	Distribución espacial del porcentaje de arenas en época de lluvias	26
Figura 14	Distribución espacial del porcentaje de limos en época de <i>nortes</i>	27
Figura 15	Distribución espacial del porcentaje de limos en época de lluvias	27
Figura 16	Distribución espacial del porcentaje de arcillas en época de <i>nortes</i>	28
Figura 17	Distribución espacial del porcentaje de arcillas en época de lluvias	28
Figura 18	Diagrama triangular de las estaciones en las dos épocas	30
Figura 19	Promedio grafico de los sedimentos en época de <i>nortes</i>	33
Figura 20	Promedio grafico de los sedimentos en época de lluvias	33
Figura 21	Tamaño grafico promedio ( $Mz\Phi$ ) de los sedimentos en época de <i>nortes</i>	34
Figura 22	Tamaño grafico promedio ( $Mz\Phi$ ) de los sedimentos en época de lluvias	34
Figura 23	Desviación grafica inclusiva de los sedimentos en época de <i>nortes</i>	36
Figura 24	Desviación grafica inclusiva de los sedimentos en época de lluvias	37
Figura 25	Grado de asimetría grafica de los sedimentos en época de <i>nortes</i>	39
Figura 26	Grado de asimetría grafica de los sedimentos en época de lluvias	39
Figura 27	Grado de asimetría grafica de los sedimentos en época de <i>nortes</i>	40
Figura 28	Grado de asimetría grafica de los sedimentos en época de lluvias	40
Figura 29	Curtosis gráfica de los sedimentos en época de <i>nortes</i> .	41
Figura 30	Curtosis gráfica de los sedimentos en época de lluvias	42
Figura 31	Correlación entre $Mz\Phi$ y $\sigma_1\Phi$ en <i>nortes</i>	44
Figura 32	Correlación entre $SK_1$ y $K_G$ en época de <i>nortes</i> .	45
Figura 33	Correlación entre $Mz\Phi$ y $\sigma_1\Phi$ en época de lluvias	46
Figura 34	Correlación entre $SK_1$ y $K_G$ en época de lluvias	47
Figura 35	Correlación entre $Mz\Phi$ - $SK_1$ en lluvias	48
Figura 36	Correlación entre $Mz\Phi$ - $K_G$ en lluvias	49
Figura 37	Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de <i>nortes</i> .	51
Figura 38	Gráficas de curvas granulométricas acumulativas en época de <i>nortes</i> .	52
Figura 39	Gráficas de curvas granulométricas acumulativas en época de <i>nortes</i> .	53
Figura 40	Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de <i>nortes</i> .	54
Figura 41	Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de lluvias.	55
Figura 42	Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de lluvias.	56

Figura 43	Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de lluvias.	57
Figura 44	Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de lluvias.	58
Figura 45	Poblaciones de los sedimentos en saltación en época de <i>nortes</i> .	63
Figura 46	Poblaciones de los sedimentos en saltación en época de lluvias	63
Figura 47	Poblaciones de los sedimentos en suspensión en época de <i>nortes</i> .	64
Figura 48	Poblaciones de los sedimentos en suspensión en época de lluvias	64
Figura 49	Distribución de cuarzos monocristalinos en el área de estudio	67
Figura 50	Distribución de cuarzos policristalinos en el área de estudio	68
Figura 51	Distribución de cuarzos totales en el área de estudio.	68
Figura 52	Mapa que muestra la distribución y contorno de costas antiguas	69
Figura 53	Distribución de fragmentos de roca en el área de estudio.	70
Figura 54	Triangulo basado en Folk (1974), petrología en época de <i>nortes</i>	71
Figura 55	Correlación cuarzo-fragmentos de roca.	74
Figura 56	Concentraciones mayores de cuarzo	74
Figura 57	Concentraciones mayores de fragmentos de roca	75
Figura 58	Distribución de feldespatos plagioclasas.	76
Figura 59	Distribución de feldespatos potásicos	77
Figura 60	Distribución de feldespatos totales	78
Figura 61	Distribución de minerales pesados	79
Figura 62	Distribución de micas.	80
Figura 63	Distribución de pedernal	81
Figura 64	Sedimentos cuyos $I_m$ son mayores que el promedio del total de muestras.	84
Figura 65	Sedimentos cuyos $I_p$ es mayor que el promedio del total de muestras.	85
Figura 66	Color de los sedimentos en húmedo en época de <i>nortes</i> .	86
Figura 67	Color de los sedimentos en seco en época de <i>nortes</i> .	87
Figura 68	Color de los sedimentos en húmedo en época de lluvias.	89
Figura 69	Color de los sedimentos en seco en época de lluvias.	89
Figura 70	Porcentaje de elementos mayores en el area de estudio	91
Figura 71	Batimetría del área de estudio.	93
Figura 72	Desniveles topográficos de la plataforma continental en sección transversal.	94
Figura 73	Mapa hipsometrico de la cuenca del Papaloapan.	95
Figura 74	Mapa de relieve sombreado de la cuenca del Papaloapan	95
Figura 75	Mapa de pendientes de laderas de la cuenca del Papaloapan.	96
Figura 76	Sistema hidrológico de la cuenca del Papaloapan.	97
Figura 77	Perfil topografico del río Blanco	98
Figura 78	Perfil topografico del Hueyapan-San Juan	99
Figura 79	Perfil topografico del río Papaloapan	100
Figura 80	Perfil topografico del río Salado	100
Figura 81	Perfil topografico del río San Juan	101
Figura 82	Perfil topografico del río Santo Domingo	101
Figura 83	Perfil topografico del río Tonto	102
Figura 84	Perfil topografico del río Tehuacán	103
Figura 85	Perfil topografico del río Tesechoacan	104
Figura 86	Perfil topografico del río Trinidad	104

**Lista de Tablas**

**Pág.**

Tabla 1.	Textura de los sedimentos. Porcentaje de lodos y arena para cada una de las muestras tomadas en época de <i>nortes</i> , durante el crucero SAV-I.	20
Tabla 2.	Porcentaje de lodos y arenas para cada una de las muestras tomadas en época de lluvias, durante el crucero SAV-II.	21
Tabla 3.	Correlaciones de parámetros texturales en <i>nortes</i>	43
Tabla 4.	Correlaciones de parámetros texturales en lluvias	43
Tabla 5.	Tipos de población del sedimento.	61
Tabla 6.	Porcentaje de las clases petrológicas de los sedimentos.	66
Tabla 7.	Correlación petrológica del área de estudio	73
Tabla 8.	Madurez mineralógica e índice de procedencia de cada muestra y un promedio Total del área. Se resaltan los valores mayores que el valor promedio.	82
Tabla 9.	Elementos mayores en muestras selectas del área de estudio.	90
Tabla 10.	Elementos traza en el área de estudio.	92

## RESUMEN

Los estudios sedimentológicos de la plataforma continental en el suroeste del Golfo de México son necesarios para conocer las características ambientales asociadas con los sedimentos. El objetivo de esta tesis es investigar los sedimentos superficiales de la plataforma continental somera adyacente a la desembocadura del río Papaloapan, para analizar las variaciones de la distribución de sedimentos superficiales en épocas de lluvias y de *nortes*. Se determinaron parámetros texturales (el tamaño gráfico promedio, la desviación estándar, el grado de asimetría y la curtosis de los sedimentos). También se realizó un estudio mineralógico y de procedencia, así como la morfometría de la cuenca del río Papaloapan. Se efectuaron dos muestreos de sedimentos, uno en época de *nortes* y otro en la temporada de lluvias. La colecta de muestras se obtuvo durante los cruceros oceanográficos SAV-1 y SAV-2 (Sistema Arrecifal Veracruzano 1 y 2). La textura de los sedimentos es predominantemente arenosa durante la época de *nortes*, con excepción de las estaciones de muestreo más cercanas a la propia desembocadura, en donde son lodosas. En contraste, en la época de lluvias predominan sedimentos lodosos en toda el área de estudio. Los sedimentos durante los *nortes* son en su mayoría moderadamente bien clasificados a bien clasificados; en la desembocadura se nota una muy mala clasificación y en cuanto los sedimentos se alejan de la costa estos tienden a tener una mejor clasificación. En época de lluvias, debido a una mayor turbulencia y mayor carga de sedimentos en el río, influyen en una peor clasificación en toda el área de muestreo durante esta época. La curtosis gráfica ( $K_G$ ), indica que los sedimentos en el área se presentan de mesocurticas a leptocurticas durante las dos épocas de muestreo, indicando diferentes fuentes de aporte. La correlación tamaño gráfico promedio ( $Mz\Phi$ ) vs. clasificación ( $\sigma\Phi_1$ ), indica que entre más fino es el sedimento se encuentra más mal clasificado por diferencias en el tamaño de los granos del sedimento debido a la interacción de ambientes fluviales, lagunares y marinos. Se encontraron los tres tipos de transporte en los *nortes* (suspensión, saltación y tracción). En contraste, durante la época de Lluvias el sedimento se encontró sólo en suspensión y saltación; esto causado por las características hidrológicas del río durante esta época. Se obtuvieron de la fracción arenosa ocho clases petrológicas que correspondieron con las características geológicas del área, exclusivamente en la época de *nortes*, pues durante las lluvias no se encontraron sedimentos arenosos. Las clases petrológicas más abundantes fueron cuarzos y fragmentos de roca. Los granos que proceden de fuentes cercanas y que cuentan con índices de procedencia bajos y de procedencia supracortical proceden de la Sierra de los Tuxtlas y los que proceden de fuentes más lejanas, cuando los cuarzos que han recorrido una gran distancia con características de margen pasivo, presentando una procedencia infracortical. Los perfiles de los ríos reflejan características relacionadas con procesos de acumulación y erosión. Hay cambios abruptos en el relieve en las cabeceras de los ríos, donde hay un fuerte gradiente, contrastando con una suave pendiente al llegar a la llanura costera veracruzana. Los sedimentos en su mayoría, se relacionan con un amplio recorrido que han sufrido desde las partes altas de la Sierra Madre del Sur. Las características sedimentarias del área también son influidas particularmente por el río Hueyapan-San Juan que aporta una gran cantidad de arenas de fragmentos de roca volcánica, que tienen un recorrido relativamente corto con característica de un margen activo. Los eventos meteorológicos tanto en lluvias como en *nortes* afectan la costa del golfo de México respecto a la granulometría y los parámetros texturales próximos a la desembocadura del río Papaloapan en la plataforma costera.

## **INTRODUCCIÓN**

La plataforma continental frente a la desembocadura del río Papaloapan es un área costera con un fuerte interés científico, ambiental y económico, por lo que el estudio en relación a los sedimentos es prioritario. Ya que de acuerdo con Rosales Hoz *et al.* (1992), los sedimentos del piso marino representan el destino final de materiales disueltos y suspendidos en el océano y su estudio permite identificar diferentes condiciones en su depósito.

Los estudios geológicos de los sedimentos de la plataforma continental en el suroeste del golfo de México son necesarios para conocer las características ambientales derivadas de estos y como se relacionan a su cuenca hidrológica de procedencia, ya que en el área el material depositado se relaciona a la amplitud y la dirección del abanico fluvial de sedimentos terrígenos del río Papaloapan y de la laguna de Alvarado (Cruz-Abrego y Flores Andolais, 1992; Pérez, 1988).

Este trabajo tiene como perspectiva principal definir las características granulométricas y petrológicas de los depósitos sedimentarios vertidos por el río Papaloapan a la plataforma continental somera, para su conocimiento básico y su interacción con sus características ambientales.

Los sedimentos localizados en la desembocadura del río Papaloapan están influidos por las características meteorológicas de las zonas costeras del golfo de México, ya que se presentan diversos eventos como lluvias de verano, huracanes y frentes fríos (*nortes*), que afectan las condiciones de sedimentación en la plataforma costera.

Este proyecto forma parte del Proyecto PAPIIT (INI08808) *Estudio Ambiental del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y su Relación con las Descargas Fluviales*, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la UNAM.

### **Planteamiento y justificación del estudio**

La investigación básica de los sedimentos aportados por el río Papaloapan a la plataforma continental somera en el suroeste del Golfo de México, es necesaria, ya que el río Papaloapan marca una frontera natural, a partir de la cual se inhibe el crecimiento

arrecifal del sistema veracruzano, debido a la descarga de sedimentos lodosos en época de Lluvias

Es importante mencionar que se deben tomar en cuenta aspectos climáticos que inciden en la distribución y el tamaño del sedimento en la plataforma continental, realizándose muestreos tanto en la época de lluvias y de *nortes* que influyen en el área de estudio. También es necesario observar la interacción entre los sedimentos y las características tanto geológicas como morfométricas de las áreas de procedencia en la cuenca. Esto es de particular importancia, sobre todo si se considera el acelerado desarrollo costero del golfo de México, así como la amenaza latente de la elevación del nivel del mar.

Por consiguiente, el conocimiento de las características de las partículas sedimentarias indica diferentes condiciones en los ambientes de depósito, ya que los sedimentos terrígenos de grano grueso pueden tener un significado completamente diferente al de sedimentos de partículas finas. Estas diferencias granulométricas y su distribución en la desembocadura del río Papaloapan están definidos por la litología de las áreas fuente, la distancia del transporte y la energía del sitio de depósito (Carranza-Edwards, 1997).

El representar las variables sedimentológicas respecto a las características geomorfológicas en un documento cartográfico, permite obtener una idea clara y precisa de un área determinada, para poder entender la magnitud, distribución e interrelación de los factores que influyen en la sedimentación, además de notarse la dinámica y afectación de cada cambio (Gómez-Rocha, 2006).

### **Hipótesis**

El estudio de las características y distribución de los sedimentos en la plataforma continental es importante porque indica las condiciones de energía presente en las áreas de procedencia y depositación, en función de las características sedimentológicas, mineralógica y geoquímica.

Las características de la cuenca hidrográfica en aspectos geomorfológicos y litológicos, son indicadores del tipo de sedimentación en un ambiente marino.

**Objetivo General:** Realizar una investigación sedimentológica de la plataforma continental somera adyacente a la desembocadura del río Papaloapan, para analizar las variaciones de la distribución de sedimentos superficiales en épocas de lluvias y de *nortes*.

**Objetivos Específicos:**

Determinar la distribución granulométrica de los sedimentos superficiales de la plataforma continental somera, para saber si los sedimentos superficiales tienen el mismo comportamiento durante la época de *nortes*, cuando el oleaje tiene una mayor capacidad de remoción de sedimentos superficiales, que en la época de lluvias.

Realizar un estudio mineralógico y de procedencia de la fracción arenosa de los sedimentos superficiales, para saber si la litología de la cuenca del área de estudio se está reflejando en los sedimentos de la plataforma continental somera.

Analizar la morfometría de la cuenca de drenaje que aporta sedimentos hacia la zona costera adyacente a la desembocadura del río Papaloapan.

**Antecedentes**

En lo que se refiere a trabajos científicos que se han realizado para analizar los sedimentos recientes del golfo de México, se mencionan los siguientes.

Carranza Edwards ha realizado varios trabajos sobre sedimentación en el área, destacando un trabajo de clasificación de costas de México con un criterio morfológico-estructural (Carranza-Edwards *et al.*, 1975), estableciendo nueve unidades morfotectónicas continentales para las costas mexicanas, tomando como referencia la clasificación tectónica de Inman y Nordstrom (1971) y la clasificación genética y geomorfológica de Shepard (1973). Las costas en el área, corresponden a la Unidad II de las unidades morfotectónicas costeras mexicanas, definidas por Carranza-Edwards *et*

*al.* (1975). La Unidad morfotectónica II (Carranza-Edwards, 1975), señala que es una unidad de costas de mares marginales.

El mismo autor ha realizado otros trabajos en relación a la sedimentación en el área, estudio las fuentes de procedencia del sedimento, demostró cómo influyen las tendencias y procedencia en el tamaño de las partículas del sedimento en arenas de playas en el suroeste del Golfo de México (Carranza-Edwards y Rosales-Hoz, 1995). Con el cual se obtuvieron muestras de 30 playas en el área litoral, enfatizando en que se muestrearon tres playas dentro del área de estudio del presente trabajo.

Otro trabajo llevado a cabo por Carranza-Edwards (2001), sirvió para estudiar el tamaño, clasificación y parámetros texturales de los sedimentos en los distintos sub-ambientes sedimentarios que se encuentran en las playas mexicanas, explicando la dinámica de sedimentos en los distintos perfiles que se encuentran en una playa, así se muestrearon playas cerca del área de estudio, donde se vieron como se distribuyen los sedimentos en la mesoplaya y la supraplaya.

Cabrera-Ramírez y Carranza-Edwards (2002), elaboraron un estudio de ambientes de playas en México y su potencial como fuente de minerales de placeres, en donde tomaron en cuenta las condiciones geomorfológicas, tectónicas y litológicas de las nueve regiones costeras delimitadas por Carranza-Edwards *et al.* (1975). Este estudio determinó las características texturales (tamaño de la partícula y coeficiente de clasificación).

Méndez, *et al.* (1985), estudiaron algunos parámetros texturales del sedimento y su relación con la macrofauna béntica litoral. Analizaron 29 localidades de playa en el estado de Veracruz, muestreándose dos playas en el área de estudio. Los resultados mostraron que los sedimentos dominantes fueron arenas finas, bien clasificadas, con curvas de frecuencias casi simétricas y curvas de frecuencia mesocúrticas.

Otro trabajo que engloba al área de estudio, fue medir el contenido de materia orgánica, carbonatos y metales traza así como el tamaño gráfico promedio, la desviación estándar, el grado de asimetría y la curtosis, fueron medidos en sedimentos del sistema lagunar de Alvarado en Veracruz, México, trabajo realizado por Rosales-Hoz *et al.* (1985).

Otro estudio que sirvió para contar con antecedentes del sedimento en el área, fue el análisis químico y sedimentológico en sedimentos aportados por el río Papaloapan (Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1985), es importante porque da un panorama general de una de las fuentes de donde provienen los sedimentos que se depositan en la plataforma continental en el área de estudio.

Cruz-Abrego y Flores Andolais (1992), realizaron un estudio en el aspecto de cómo las plumas de sedimentos en suspensión de fondo afectan la distribución de moluscos en diferentes puntos de desembocaduras de ríos en el golfo de México, definieron las zonas de distribución malacológica A, B, C y D que corresponden en ubicación con las provincias geológicas. De las zonas de distribución de moluscos que abarcan el área de estudio de esta tesis, se ubico en la B. En el fondo marino la amplitud y la dirección del abanico arenoso se relacionó directamente con los aportes de terrígenos del río Papaloapan y la laguna de Alvarado.

Otros dos trabajos se realizaron en las costas del golfo de México, que aunque no tienen una relación directa con el área de estudio, es importante mencionarlas por sus aportes estadísticos en el estudio de los sedimentos, lo que a continuación se mencionan. En el primer caso, se elaboró un trabajo sobre petrología y geoquímica de arenas del holoceno en el occidente del golfo de México, además de sus implicaciones por proveniencia y su ambiente tectónico, realizado por Kasper-Zubillaga *et al.* (1999). Se hicieron análisis en sedimentos recientes fluviales, playa y dunas, derivados de una fuente terrígena que muestra la utilidad para determinar el ambiente tectónico de la fuente de donde procedían los sedimentos.

El segundo trabajo que se hizo referencia anteriormente, es el realizado por Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards (2003), donde hacen un análisis de discriminación lineal, una prueba A-Nova y un análisis factorial en arenas actuales de playas, dunas y río para discriminar la distribución geográfica y composicional entre las diferentes arenas derivadas de fuentes volcánicas procedentes del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM) y de áreas de rocas sedimentarias, como las arenas de la cuenca veracruzana (CV).

## ÁREA DE ESTUDIO

### Localización

El área de estudio se localiza en la cuenca del río Papaloapan, perteneciente a la región hidrológica número 28, siendo la segunda cuenca en importancia del país (CENAPRED, 1994). Se encuentra entre los  $19^{\circ}00'00''$  a  $16^{\circ}55'47''$  N y de  $97^{\circ}40'17''$  a  $94^{\circ}52'40''$  W, donde se incluye el estudio de la morfometría de los ríos de la cuenca y el área de muestreo de los sedimentos en la plataforma continental del golfo de México, donde el muestreo se realizó exclusivamente frente a la desembocadura del río Papaloapan (ver metodología para ver localización del muestreo), en el sureste del estado de Veracruz, Méx. (Fig. 1). Tanto el río Papaloapan como la laguna costera de Alvarado son los suministradores principales de sedimentos de la plataforma continental en el área de estudio.

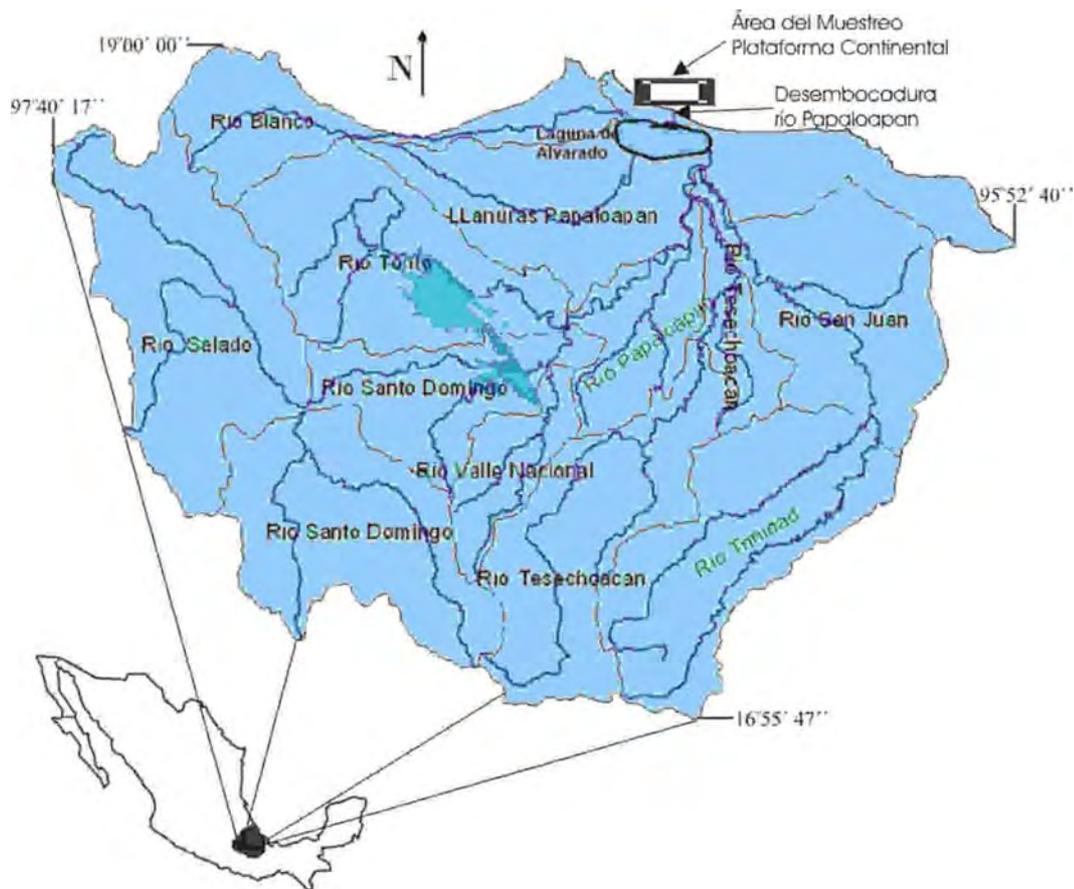


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio (Modificado de Tamayo, 1970 en Rosales-Hoz *et al.*, 1986 y CONAGUA, 2006).

## **Fisiografía**

Para tener una acertada visión del estudio de los sedimentos en el área de estudio fue necesario una revisión de las características físicas de las 4 regiones que influyen en el aporte y depositación de estos, así se explican las características fisiográficas tomando en cuenta sus dimensiones; 1. Sistema hidrológico de la cuenca del río Papaloapan; 2 llanura costera; 3 plataforma continental y 4. Golfo de México.

## **Sistema hidrológico de la cuenca del río Papaloapan**

La cuenca del río Papaloapan cubre un área aproximada de 57,756 km<sup>2</sup> (Rosales Hoz *et al.*, 1985). El río tiene un escurrimiento 47,000 millones de m<sup>3</sup> anuales (Ortiz-Pérez y Méndez-Linares, 1999). Los ríos Grande y Salado son los principales afluentes del sistema, al juntarse forman el río Santo Domingo, mientras que el río Tonto (controlado por la presa Miguel Alemán), nace al norte de este sitio. Ambos ríos confluyen aguas debajo para crear el río Papaloapan. Después el río Santo Domingo (controlado por la presa Miguel de la Madrid Hurtado), recibe por su margen sur la aportación del río Valle Nacional. Al suroeste de la población de Cosamaloapan, se incorpora el río Obispo. Cerca de su desembocadura, el río Papaloapan recibe las aportaciones en su margen sur de dos de sus afluentes más meridionales y más importantes; el río Teseochacán-San Juan se une al Papaloapan en la ciudad de Tlacotalpan, este último río a su vez recibe las aguas del río Trinidad bajando de las estribaciones de la sierras. Finalmente el río Papaloapan descarga en la parte este de la Laguna de Alvarado. Por su parte el río Blanco corre por la parte noreste del sistema hidrológico y descarga directamente en el lado oeste de la laguna de Alvarado (CONAGUA, 2006; CENAPRED, 1994).

## **Llanura costera**

La llanura costera cuenta con un aporte de sedimentos aluviales por parte de los ríos más caudalosos del país, que atraviesan la mayor parte de su superficie, para desembocar en el golfo de México, con excepción de la discontinuidad de los Tuxtlas y algunos lomeríos bajos. Estando muy cerca al

nivel del mar, comúnmente se observan superficies bajas que tienden a anegarse (INGEVIN, 2006).

La llanura costera aluvial en la área de estudio es angosta en el norte, con una área alargada de dunas costeras del Puerto de Veracruz hasta Alvarado, se ensancha en la desembocadura del río Atoyac, cerca de Boca del río, en la desembocadura del Papaloapan y sus afluentes se amplía de nuevo (INGEVIN, 2006).

### **Plataforma Continental**

Benavides (1956), indica que la estructura geológica de la plataforma continental está constituida por una serie de cuencas de sedimentación marginal y/o deltaica del Cenozoico, formadas por sedimentos terrígenos y marinos que se inclinan suavemente hacia la porción central del golfo de México. Las capas marcan un rumbo generalizado norte-sur con fuertes espesores en el este de la plataforma.

Para Aguayo-Camargo (2004), el sedimento tiene un origen mixto pelágico y terrígeno, con un aporte estacional que va de los ríos Soto la Marina, Panuco y Tuxpan en el oeste y Papaloapan-Alvarado, Coatzacoalcos, Grijalva, Usumacinta y Champotón en el suroeste

### **Golfo de México**

El golfo de México es un mar que se sitúa en el sureste de Norteamérica, cuyos límites son las islas del Caribe y las masa continentales de Estados Unidos, México y América Central (Gallegos *et al.*, 1993). El golfo de México corresponde con un margen continental pasivo, la parte occidental del golfo de México tiene un estrecho de por lo menos 50 km de ancho, que alcanza de 100 a 200 m de profundidad (Bergantino, 1971).

La corteza oceánica en el centro del golfo de México se creó cuando la corteza continental alcanzó un adelgazamiento crítico, el tiempo en el cual ocurrió la instauración de una dorsal oceánica en la parte central en el Jurásico Temprano Tardío al Jurásico Medio Tardío aproximadamente, esta dorsal afectó las secuencias evaporíticas presentes en el golfo de México (Salvador, 1991).

## Litología

La litología del área de la cuenca del Papaloapan presenta cinco unidades principales (Fig. 2).

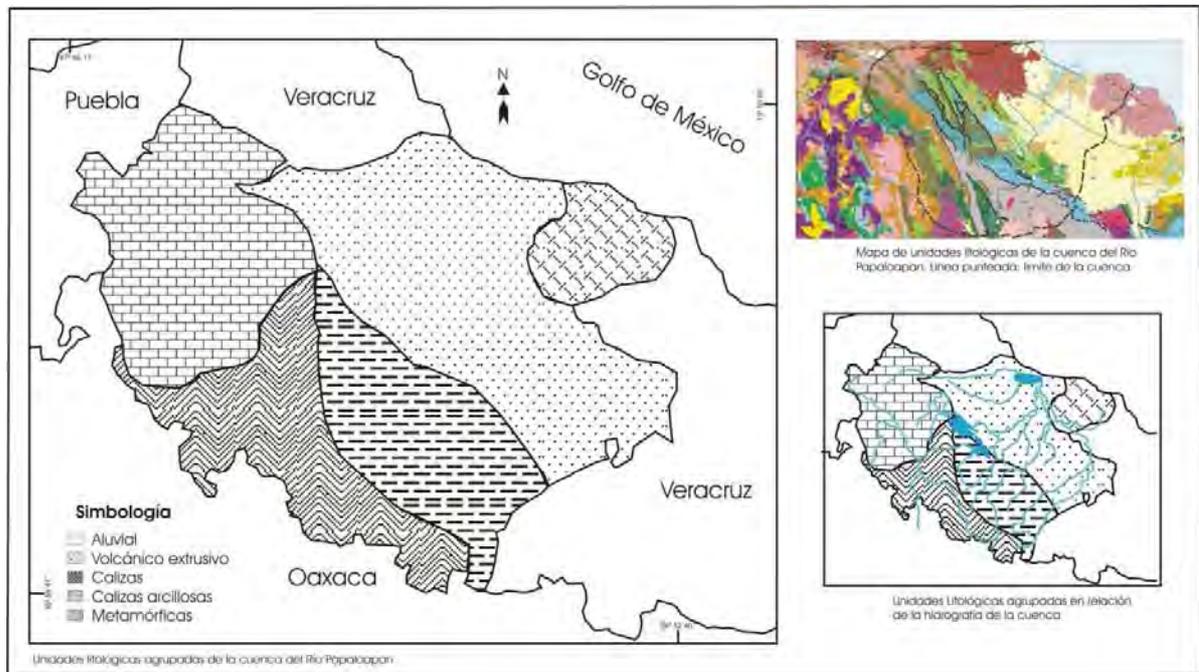


Figura 2. Mapa litológico sintetizado del INEGI (1994).

## Clima

El clima  $Aw_2$  se caracteriza por ser muy cálido y subhúmedo con lluvias en verano, con temperaturas medias anuales mayores de  $18^{\circ}C$ , se presenta este tipo de clima desde el bajo Papaloapan hasta las estribaciones de las montañas. En la parte sur de los Tuxtlas existe el clima  $Aw_1$ , con características similares al clima  $Aw_2$ , pero un poco más seco. El clima  $Am$  es también muy cálido pero más húmedo en comparación a los  $Aw$ . Se presenta desde la confluencia de los ríos Santo Domingo y Valle Nacional hasta la confluencia del río Tonto con el río Papaloapan. El clima  $Af$  es del tipo cálido y más húmedo que existe, se encuentra en la sierra de los Tuxtlas. El climas  $A(C)f$  es semicálido-húmedo, se localiza en lomeríos al sureste de la región, en las sierras de Huautla, Juárez, y Mixe. Clima  $A(C)W_2$  es un clima semicalido ysubhúmedo se localiza

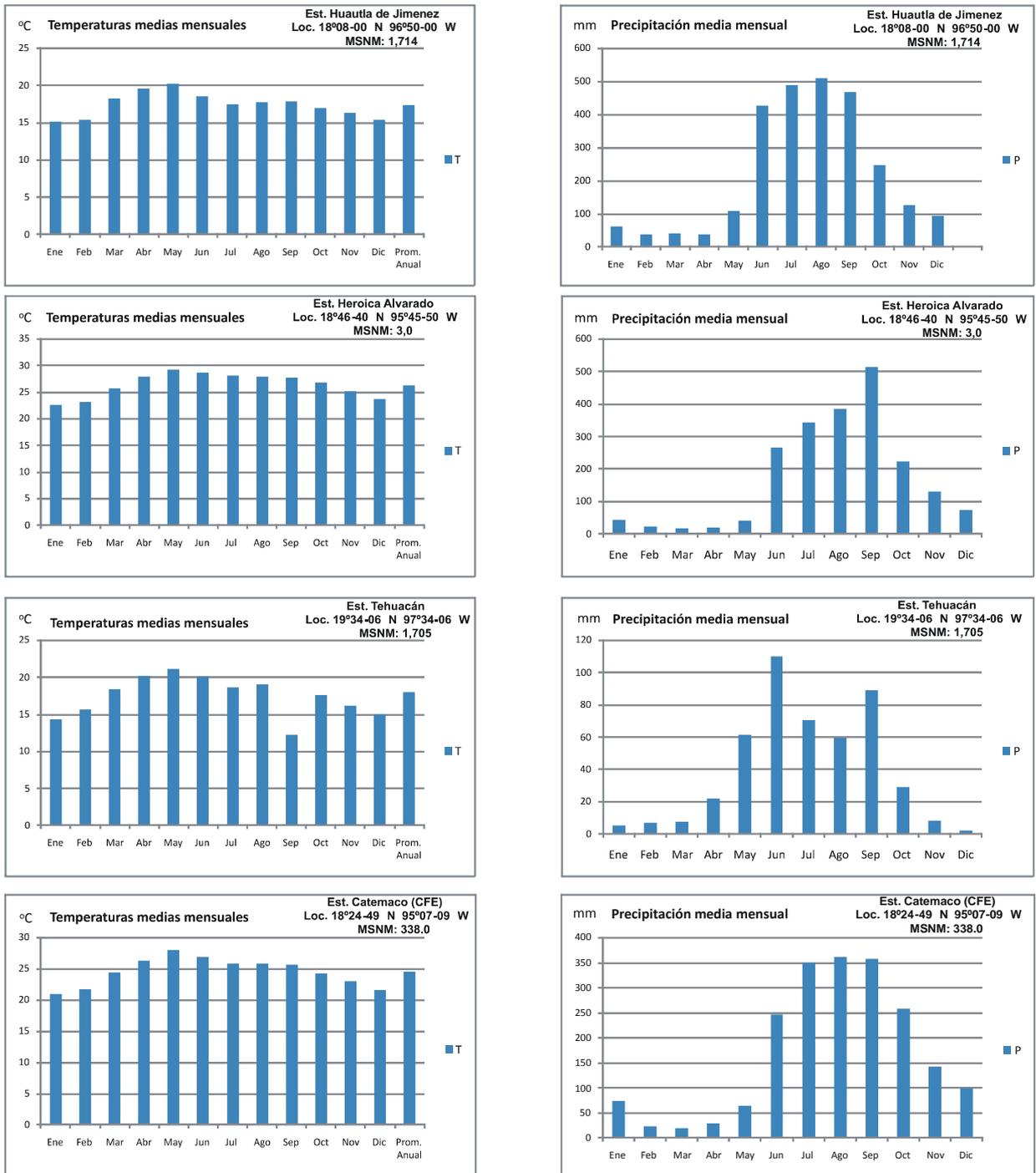


Figura 3. Graficas de precipitación y temperatura de estaciones representativas del área, años 1971-2000 (Tomado de SMN, 2009).

en las partes más altas de la cuenca, por último el clima Bs<sub>1</sub>hw, pertenece a los semicálidos-semiaridos, con temperaturas medias mensuales entre 18 a 22° , se

encuentra en la Alta Mixteca y el Valle de Tehuacán (ANM, 1989).

El clima en el área de estudio está influenciado por diversos fenómenos meteorológicos como tormentas estacionales que se presentan durante el verano y parte del otoño producidas por ondas tropicales. Los huracanes se presentan a principios del otoño, apareciendo en ocasiones en verano, provocando que la temporada lluviosa se prolongue. Los frentes fríos o *nortes*, son muy frecuentes en invierno y se prolongan hasta la primavera, son masas de aire frío que provienen de las zonas polares, pero al tener contacto con las cálidas aguas del golfo del México las elevan, formando nubes con precipitaciones y vientos de hasta 110 km/h, con descenso de temperaturas de 2 a 15 °C en un día (Acevedo et al, 2005; Diaz-Leal, 1975). Los *nortes* aportan el 15% de la precipitación anual en el área (Guevara *et al.*, 2000).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de muestreo se localizó en la plataforma continental del golfo de México. Se encuentra entre los  $18^{\circ}47'10''$  a  $18^{\circ}51'52''$ N y de  $95^{\circ}41'05''$  a  $95^{\circ}46'47''$ W, frente a la desembocadura del Río Papaloapan en el sureste del estado de Veracruz, México (Fig. 4).

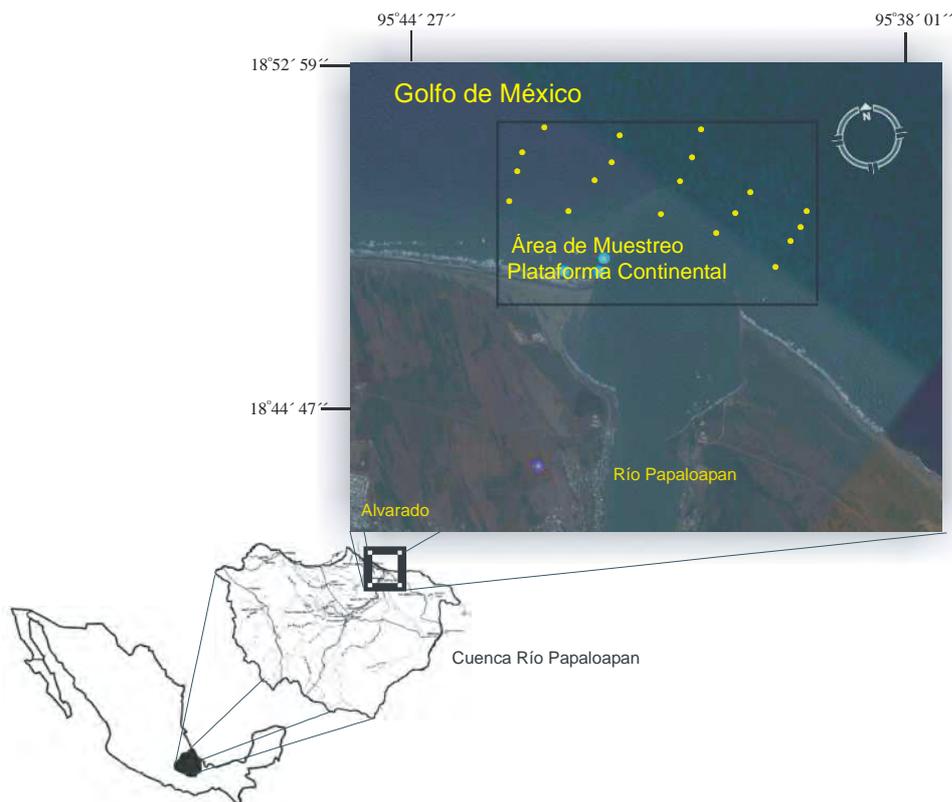


Figura 4. Mapa de localización del área de muestreo.

Se hizo la colecta de 19 y 24 muestras de sedimentos en el área de estudio, se obtuvieron por medio de los cruceros oceanográficos SAV-1 y SAV-2 (Sistema Arrecifal Veracruzano 1 y 2), realizados a bordo del buque oceanográfico "Justo Sierra", durante noviembre-diciembre del 2007 y agosto del 2008 respectivamente. La ubicación de las estaciones de colecta se determinó mediante transectos, considerando la forma del delta generado por las descargas del río Papaloapan en el área. La georeferenciación de las estaciones de muestreo se hizo con un navegador por satélite conocido como GPS (Sistema de Posicionamiento Global), la ubicación de éstas se presenta en las figuras 5 y 6.

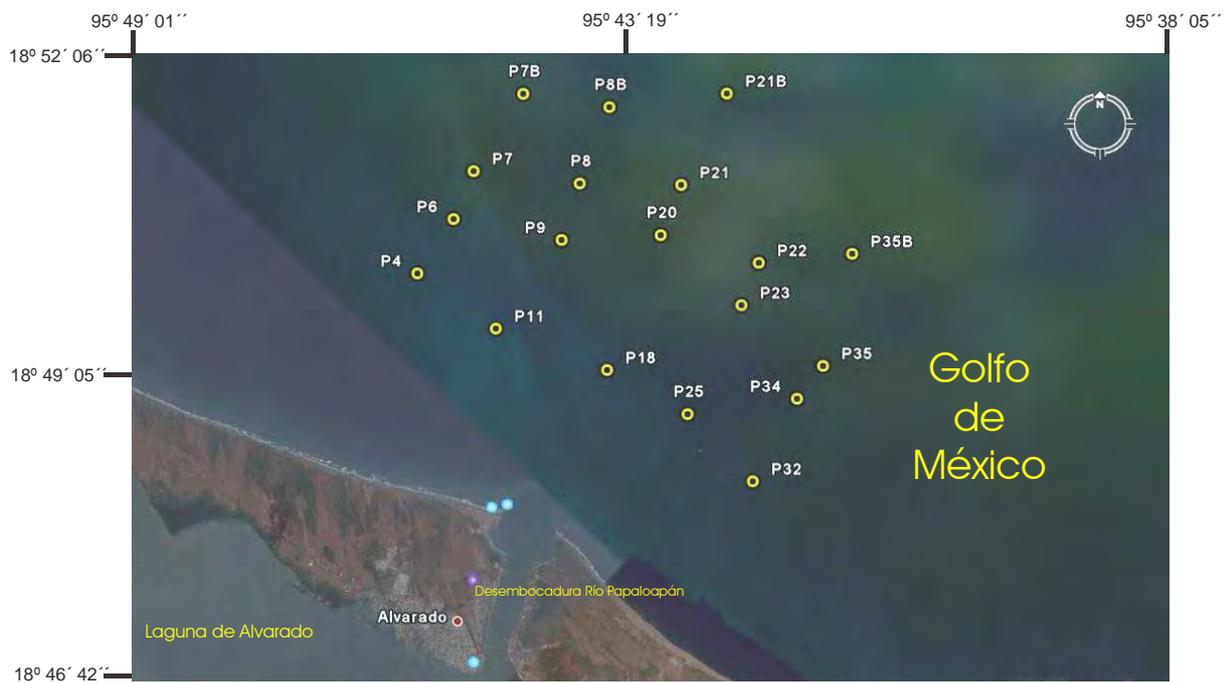


Figura 5. Ubicación de las estaciones de muestreo en época de *nortes*.

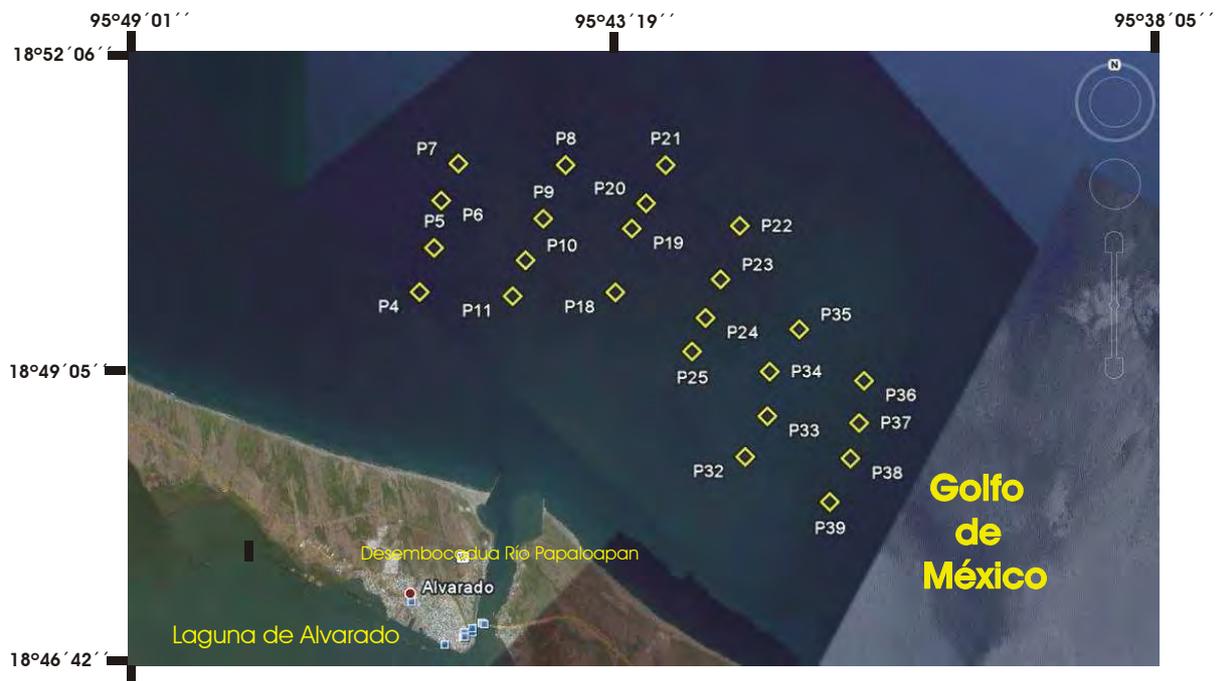


Figura 6. Ubicación de las estaciones de muestreo en época de lluvias.

Para poder realizar la colecta de sedimentos se emplearon 2 muestreadores, un nucleador de caja Reineck, de 40 a 50 litros de capacidad y una draga Smyth MacIntyre de 20 litros. En cada estación de muestreo se tomaron los primeros centímetros superficiales de sedimento para su análisis en la plataforma continental.

Las propiedades de los sedimentos que se estudiaron fueron; el color, granulometría, parámetros texturales, petrología (estudio mineralógico), índice de madurez textural, índice de procedencia, Geoquímica (metales traza y elementos mayores), y estudio geomorfológico (morfometría) del área fuente de los sedimentos que en este caso es la cuenca del río Papaloapan.

La Sedimentología (distribución de los sedimentos), del área adyacente a la desembocadura del río Papaloapan, parámetros texturales y la petrología de la fracción arenosa, la procedencia de los sedimentos e índice de madurez mineralógica, se realizó utilizando la metodología propuesta por Folk (1974) y apoyado por Pettijohn (1949).

El color del sedimento se obtuvo mediante la técnica de las tablas de Münsell, que permitió identificar los colores de los distintos tipos del sedimento. En lo que respecta a la Geomorfología se realizó con la metodología propuesta por Verstappen (1991), en aspectos relacionados para la obtención de parámetros y cartografía geomorfológica-morfométrica. Los elementos mayores y traza se determinaron en el Instituto de Geología de la UNAM, por fluorescencia de rayos X.

Para determinar la granulometría y otros parámetros, se realizaron ciertos pasos antes de determinar el tamaño de las partículas sedimentarias de las muestras, 19 y 24 de *nortes* y de lluvias respectivamente. En primer lugar se realizó el muestreo, donde se tomó la muestra superficial de sedimento de la draga en cada estación, depositándose en bolsas de plástico y rotulándose para la identificación de la muestra, estas muestras se depositaron en el frigorífico del barco y del instituto del ICMYL a una temperatura menor de 4 °C.

Al tenerse las submuestras, para el estudio textural primero se hizo un análisis granulométrico previo que consistió en separar las partículas con tamaños de gravas que pudieran existir, luego se lavaron con agua destilada, después se tomó cierta cantidad de muestra en vasos de precipitado y se le agregó H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 3% a 11 volúmenes para eliminar la materia orgánica presente en el sedimento, se dejó reposar y se tomó

otra cantidad en vasos más pequeños para después agregarle una cantidad de dispersante exametafosfato de sodio, para que no se aglutinaran las muestras para poder realizar el estudio granulométrico en el equipo laser (El equipo utilizado fue un Coulter Modelo LS230). El fundamento de este equipo es medir el tamaño de las partículas por difracción del haz de luz láser, que es usada como analizador, todas las partículas que la atraviesan difractan la luz y determinan el tamaño del grano y los respectivos porcentajes de arenas, gravas y limos de cada muestra.

En lo que respecta a las submuestras para el estudio petrográfico también se realizó el mismo procedimiento para obtener los parámetros texturales, pero la diferencia radicó en que se tamizaron para solo adquirir la fracción arenosa de las submuestras, para la construcción de las laminas delgadas para su observación por microscopia para el estudio de la composición mineralógica de los sedimentos.

Para el estudio detallado de los sedimentos, la precisión es importante, por lo que se eligieron los parámetros texturales propuestos por Folk (1974), el cual es el sistema de clasificación del tamaño del grano más ampliamente utilizado para el estudio de los sedimentos. Se determinaron tamaño gráfico promedio  $Mz \Phi$ , desviación gráfica inclusiva  $\sigma_1 \Phi$ , asimetría y curtosis de acuerdo con los procedimientos de Folk (1974).

Es importante mencionar que se realizaron pruebas estadísticas en los parámetros texturales por medio de la prueba Anova para ver el grado de dispersión de las varianzas entre los diferentes parámetros texturales en las épocas de *nortes* y de lluvias.

Se utilizaron diagramas para representar las proporciones de las poblaciones en tracción, saltación y suspensión siguiendo la metodología de Visher (1969) como se observa por ejemplo en la figura 7.

Después de que a las muestras se les realizó el análisis granulométrico, se lavaron perfectamente con agua destilada, separándose de la submuestra dedicada para la petrología las arenas del resto del sedimento, por medio de un tamiz de malla de 0.062 mm para separarlas de los lodos, para así crear las láminas delgadas, esto con el fin de ver los minerales de las que está compuesta fracción arenosa. El estudio mineralógico también sirvió para obtener el índice de madurez mineralógica y el estudio de la procedencia del sedimento.

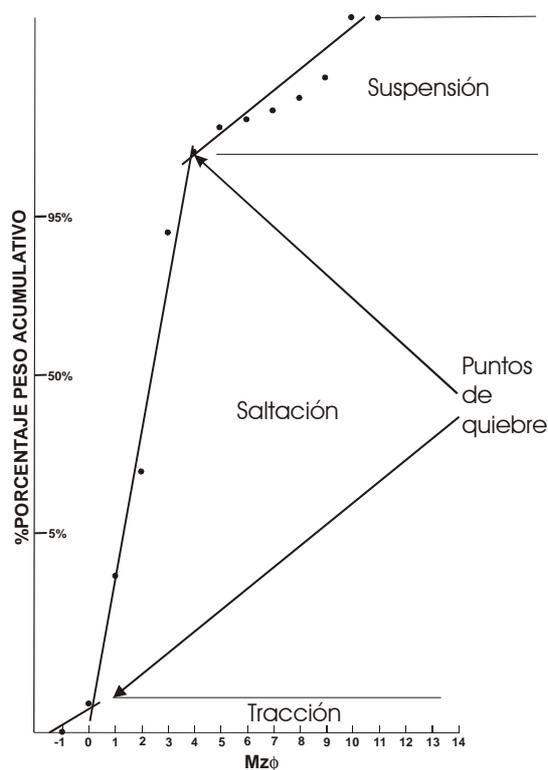


Figura 7. Ejemplo de gráfica de la curva acumulativa y los puntos de quiebre que muestran la diferencia del transporte de los sedimentos.

Se hicieron observaciones en el microscopio en las laminas delgadas con relación a puntos de muestreo que tuvieran ciertas características espaciales, como ubicación cerca o lejos de la desembocadura o también a determinada distancia de las costa, entre otros criterios para determinar las muestras más representativas en el área de estudio.

Se observaron en el microscopio petrográfico las 19 laminas delgadas de las correspondientes muestras solo para la época de *nortes* para obtener la petrología del área de estudio, en donde se analizaron 300 granos de cada lamina, ya que esta cantidad es la adecuada basándose en el método tradicional estándar de conteos de partículas utilizado por Franzinelli y Potter (1983). No se realizó este procedimiento para las muestras en época de lluvias, debido a que no se obtuvo la fracción arenosa, debido a su ausencia en el sedimento, como se podrá observar en resultados.

Se escogieron ocho clases petrológicas que correspondieron a las características geológicas de área, por lo que se escogieron; cuarzo monocristalino, cuarzo policristalino, feldespatos plagioclasas, feldespatos potásicos, fragmentos de roca, micas, pedernales y minerales pesados. Cabe resaltar que en estudios posteriores dentro del mismo trabajo se procedió a contabilizar en forma conjunta los cuarzos monocristalinos y policristalinos para obtener los índices de madurez mineralógica y también se procedió de la misma forma con los feldespatos plagioclasas y potásicos, estos últimos contabilizándose como feldespatos totales

Al obtener las clases mineralógicas antes descritas de los 300 granos en cada muestra, en donde a las cantidades cuantificadas de cada uno de las 8 clases de minerales que se encontraron en las muestras obtenidas en cada lamina, se procedió a sacar su porcentaje en relación al total de granos contados, para que este dato proporcional sirviera para tener una visión más clara de los datos y así poder representarlos en mapas de interpolación que se realizaron para ver su distribución porcentual en toda el área de estudio, esto sirvió para visualizar en qué puntos se tenía una mayor o menor concentración de cada clase petrológica.

El índice de madurez mineralógico ( $M_i = C / (F + FR)$ ) e índice de Procedencia ( $P_i = F/FR$ ), se obtuvo mediante el método indicado por Pettijohn (1975), el cual toma la relación cuarzo-feldespato, al ser el cuarzo el componente más estable y el feldespato, al estar inicialmente asociado con el cuarzo, se determina la madurez mineralógica por la desaparición del feldespato durante el transporte.

Se obtuvo la valoración de la asociación entre diferentes variables cuantitativas de los parámetros texturales y petrográficos de los sedimentos utilizando el método conocido como correlación.

Para tener un panorama de algunos aspectos geomorfológicos que inciden en la sedimentación en la plataforma continental, se realizaron los perfiles topográficos de los ríos que conforman el área mediante el programa informático "Global Mapper 10", que cuenta con una función que crea el perfil, trazando con el ratón de la computadora el curso del río en una imagen cartográfica del área, este perfil se obtiene indicando su gradiente de altitud en una gráfica, donde se pudieron notar los desniveles del terreno.

En lo que se refiere a la morfometría geomorfológica de la cuenca se menciona como se obtuvieron. Primero se elaboró un Modelo Digital del Terreno (MDT), para obtener la geometría del relieve, que es un conjunto de puntos con coordenadas X, Y y Z registrados en una base de datos (Skidmore, 1989). El MDT sirvió para conocer a detalle las formas y características del relieve en la cuenca del río Papaloapan para el análisis geomorfológico detallado.

Posteriormente a la creación del MDT se elaboró un mapa de relieve sombreado, el cual se obtiene por diferencias de iluminación creadas por el SIG. Para su realización es necesario una aplicación de filtros direccionales al Modelo Digital del Terreno, la aplicación de estos filtros se hizo de manera parecida para la obtención de las pendientes, con la aplicación de este filtro el programa simula la fuente de luz a 45° sobre la horizontal, ya que esta posición angular es la que se considera normal (Burrough, 1989).

Se realizó un mapa altimétrico para definir a partir de la altura máxima y mínima los intervalos de altitud. Para su definición, se tomó el valor más bajo, (0 msnm), hasta el más alto (5 650 msnm), en la cima del volcán Pico de Orizaba.

Se elaboró un mapa de pendientes para la cuenca del río Papaloapan. Este tipo de cartografía consiste en transformar las distancias entre curvas de nivel a valores de pendiente (Lugo, 1988). Se hizo necesaria una reclasificación de intervalos, tomando como referencia la división propuesta por Verstappen y van Zuidam (1991), así también con criterios propios para clasificar la inclinación de las laderas con los valores dominantes que se presentan. Se tuvo como resultado un mapa con once intervalos de pendiente.

# RESULTADOS

## ANÁLISIS TEXTURAL DE LOS SEDIMENTOS

La textura sedimentaria de las muestras obtenidas durante los cruceros SAV-I (*nortes*) y SAV-II (Lluvias), con 19 y 24 estaciones, se indican en las tablas 1 y 2 respectivamente, donde se nota la distribución y porcentaje textural de las estaciones muestreadas, basados en los parámetros texturales propuestos por Folk (1974).

Tabla 1. Textura de los sedimentos. Porcentaje de lodos y arena para cada una de las muestras tomadas en época de *nortes*, durante el crucero SAV-I.

Muestra	%Gravas	%Arenas	%Limos	%Arcillas	Mz $\Phi$	$\sigma_1\Phi$	SK <sub>I</sub>	K <sub>G</sub>
P04		99.400	0.400	0.200	1.688	0.572	0.010	1.028
P06		98.716	0.984	0.300	2.122	0.560	0.123	1.126
P07		99.216	0.673	0.112	1.824	0.595	0.100	1.028
P07B		99.900	0.100	0.000	1.588	0.572	0.109	1.083
P08		98.816	0.884	0.300	2.412	0.423	0.007	1.008
P08B		98.500	1.100	0.400	1.640	0.684	0.143	1.037
P09		99.016	0.800	0.184	2.389	0.453	0.058	1.077
P11	3.196	96.545	0.258	0.001	0.804	0.870	0.014	1.063
P18		1.703	69.510	28.787	7.019	1.756	0.079	0.946
P20		99.416	0.473	0.112	2.367	0.384	0.022	0.981
P21		100.000	0.000	0.000	2.219	0.436	0.036	0.998
P21B		99.600	0.300	0.100	1.504	0.633	0.075	1.047
P22		92.847	5.741	1.412	2.555	0.707	0.381	2.400
P23		98.131	1.369	0.500	2.504	0.357	0.088	0.992
P25		17.704	63.216	19.079	6.029	2.079	0.158	0.861
P32		93.362	5.126	1.512	2.639	0.623	0.405	1.929
P34		96.331	2.669	1.000	2.500	0.383	0.199	1.169
P35		95.747	3.141	1.112	2.538	0.455	0.235	1.254
P35B		84.824	11.440	3.736	2.998	1.137	0.674	3.089

En 17 de las 19 estaciones, la textura predominante fue arenosa, las muestras P-18 y P-25, indicaron una textura lodosa (Limos+arcillas) indicando la influencia del río, con un 98.297% y 81.295% respectivamente, las restantes muestras en su mayoría tienen arriba del 90% de arenas. La muestra P-11 indica una textura de gravas de 3.196%, la grava tenía una composición biogénica formada por fragmentos coralinos.

Las estaciones con sedimentos finos lodosos (P-18 y P-25), fueron las más cercanas a la desembocadura del río Papaloapan (Fig. 8).

Tabla 2. Porcentaje de lodos y arenas para cada una de las muestras tomadas en época de lluvias, durante el cruce SAV-II.

Muestra	%Gravas	%Arenas	%Limos	%Arcillas	Mz $\Phi$	$\sigma_1\Phi$	SK <sub>I</sub>	K <sub>G</sub>
P04		55.171	34.621	10.208	4.217	2.290	0.686	0.716
P05		47.271	41.198	11.531	4.773	2.280	0.340	0.692
P06		6.713	73.872	19.415	6.430	1.788	0.103	0.984
P07		85.047	11.529	3.424	2.548	1.177	0.785	5.279
P08		5.200	74.962	19.838	6.586	1.704	0.083	1.063
P09		1.262	76.287	22.451	6.756	1.655	0.157	0.991
P10		4.359	76.238	19.403	6.476	1.730	0.160	0.996
P11		2.545	78.840	18.615	6.494	1.649	0.178	0.999
P18		8.755	72.942	18.303	6.268	1.842	0.136	0.953
P19		2.310	75.640	22.050	6.736	1.666	0.148	1.015
P20		83.231	12.033	4.736	3.158	1.467	0.814	4.281
P21		53.972	34.709	11.319	4.355	2.322	0.654	0.697
P22		94.916	3.672	1.412	2.346	0.518	0.382	1.973
P23		97.016	2.173	0.811	2.382	0.419	0.072	1.115
P24		16.902	66.319	16.779	5.970	2.031	0.068	0.988
P25		1.620	78.853	19.527	6.605	1.608	0.182	1.018
P32		87.647	9.629	2.724	2.747	0.960	0.584	3.354
P33		2.406	73.343	24.251	6.773	1.751	0.147	0.955
P34		95.631	3.257	1.112	2.509	0.416	0.270	1.450
P35		30.380	53.565	16.055	5.428	2.418	0.013	0.750
P36		8.219	71.666	20.115	6.346	1.892	0.127	0.918
P37		5.349	74.148	20.503	6.437	1.829	0.151	0.947
P38		74.793	19.547	5.660	3.680	1.738	0.862	1.571
P39		33.073	56.831	10.096	5.080	1.934	0.276	0.891

Es indudable la influencia de la temporada de lluvias durante el muestreo en esta época en la desembocadura del río Papaloapan, en donde a lo contrario a la época de *nortes*, las muestras arrojaron en su mayoría un predominio de sedimentos lodosos como indica en la tabla 2, donde 9 de las 24 estaciones solo tuvieron un predominio de arenas, en comparación a la época de "nortes" donde casi el 90% de las estaciones tuvieron una textura arenosa. Es notorio en la figura 9, la distribución homogénea de los sedimentos lodosos en el área muestreada, debido a las fuertes descargas de sedimentos lodosos aportados durante las crecidas del río debido al mayor aporte de

lluvias. Los sedimentos en suspensión abarcaron una mayor área y no solo se encontraron en la desembocadura. Las estaciones con predominio de sedimentos arenosos fueron P-22 y P-32 (Fig. 9).

Las muestras con el mayor porcentaje de arenas en los *nortes*, fueron la 21 y 21B, con un 100% y 99.6% respectivamente. Las que tuvieron un menor porcentaje de arenas fueron las muestras P-18 y P-25 con un 98.2% y 81.2% de lodos respectivamente (Fig. 10). En temporada de lluvias hubo un mayor porcentaje de lodos (Fig. 11).

Se puede observar que durante la época de *nortes*, la textura predominante es arenosa, con excepción de las muestras que están en la desembocadura del río Papaloapan, esto indica que las crecidas del río aportan material fino de la Laguna de Alvarado y de la amplia llanura costera de Veracruz, estos sedimentos finos han recorrido en algunos casos grandes distancias desde la fuente de origen.

La distribución espacial de las arenas en sus valores altos se encuentran en las muestras más alejadas de la desembocadura del río Papaloapan, donde se tienen valores de 100 y 90%, estos se reducen hasta alcanzar menos del 10% en la desembocadura del río, indicando procesos de alta y baja energía que suceden temporalmente en el área por influencia del oleaje del océano provocados por los fuertes vientos de los *nortes* en combinación con la profundidad de -32 m, provocando que los materiales finos sean removidos hacia la desembocadura y la costa en el área de estudio (Fig. 12).

En la época de lluvias, la textura arenosa tiende a disminuir por razones de mayor escurrimiento y materiales más finos en suspensión que desembocan del río Papaloapan, notándose una dispersión de arenas hacia las orillas del área, con una mayor concentración de estas hacia el oriente debido a la energía del oleaje que influye en su concentración en este punto (Fig. 13).

En la parte central del área de estudio se nota una disminución de arenas debido al aporte de materiales finos y por ser un lugar de más baja energía en relación al área circundante que tiene una mayor energía del océano, que redundaría en su distribución.

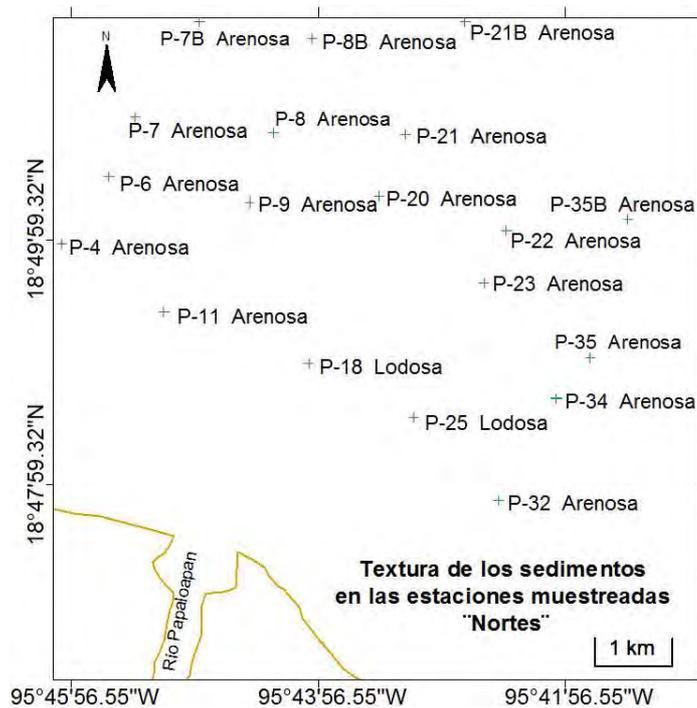


Figura 8. Distribución espacial de la textura sedimentaria durante la temporada de *nortes*.

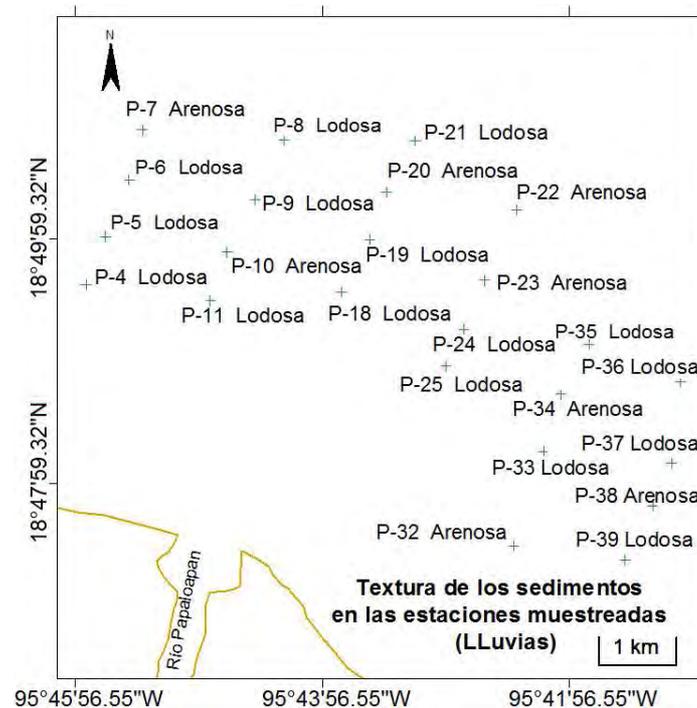


Figura 9. Distribución espacial de la textura sedimentaria durante la temporada de lluvias.

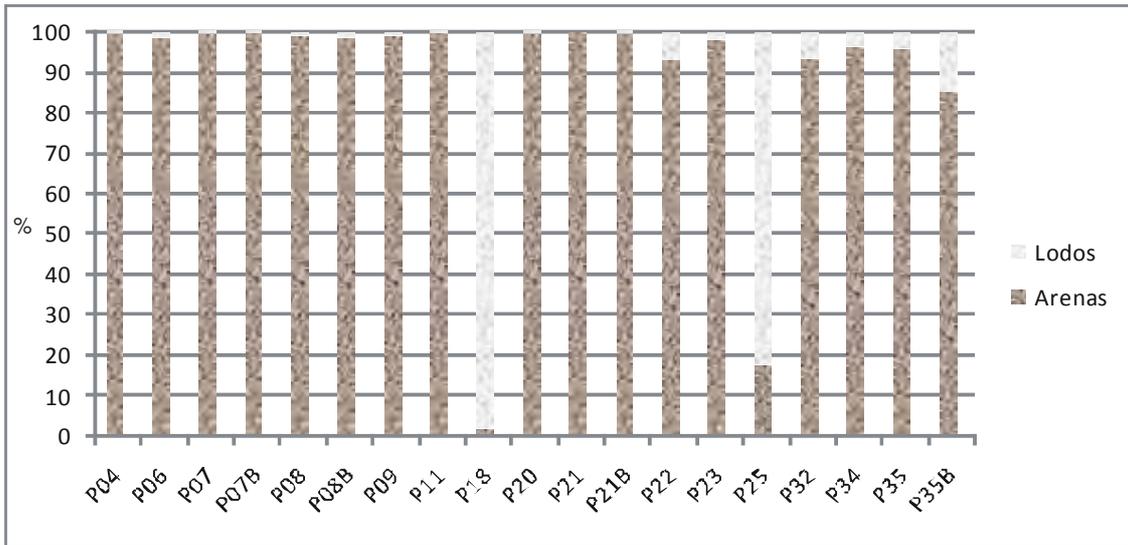


Figura 10. Distribución del porcentaje de arenas por estación en el transecto llevado a cabo en la plataforma continental en el Golfo de México en época de *nortes*, durante el crucero oceanográfico SAV-I.

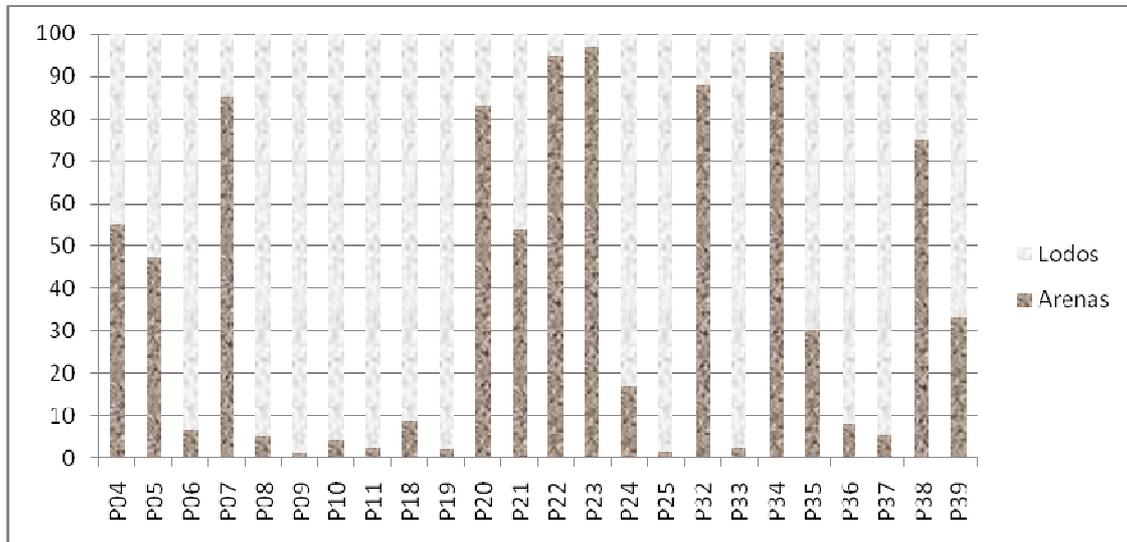


Figura 11. Distribución del porcentaje de arenas por estación en el transecto llevado a cabo en la plataforma continental en el Golfo de México en época de *lluvias*, durante el crucero oceanográfico SAV-II.

En lo que respecta a los limos durante la época de *nortes* se tienen valores contrarios a las arenas, con porcentajes de hasta 60% en las muestras que se localizan

en las cercanías de la desembocadura, disminuyendo su valor en las muestras más alejadas de este punto (Fig. 14), esto causado por las descargas del río Papaloapan, pero estos sedimentos en suspensión se ven limitados en su distribución al norte por la acción de los vientos de los *nortes* que soplan y evitan su dispersión mar adentro teniéndose valores de cero al norte del área. Esto contrasta fuertemente con la distribución de los limos en la época de lluvias como se nota en la (Fig. 15), donde las isolíneas indican una distribución más amplia y alejada de la desembocadura.

En la época de lluvias se nota una disminución en el porcentaje de limos hacia el oriente y nororiente del área de muestreo, debido a la influencia de corrientes litorales de alta energía que distribuyen materiales más finos hacia distintos puntos de la plataforma continental.

Es notorio que la energía de descarga del río en la época de lluvias y la fuerza del oleaje por causa de los vientos provocados por los *nortes*, juegan un papel determinante en la distribución de los sedimentos en la plataforma continental, ya que el mismo caso se refleja en materiales más finos como las arcillas, donde en las dos épocas se tienen los valores más altos en las estaciones más cercanas situadas en la desembocadura del río.

Las arcillas muestran el mayor porcentaje en el mismo punto que los limos, pero solo alcanzan valores del 22% durante la época de *nortes*, las arcillas también disminuyen su porcentaje al alejarse de las muestras que se localizan cerca de la desembocadura y al acercarse a la costa, ya que la playa tiene una textura arenosa en el área de estudio (Fig. 16).

También se nota la influencia del viento durante los *nortes*, ya que se muestran valores de cero en las arcillas en las estaciones situadas en el norte del área de estudio, que ven limitada su movilidad en suspensión por los fuertes vientos que vienen en esta dirección. En contraste, durante la época de lluvias (Fig.17), las arcillas se distribuyeron más uniformemente en la plataforma continental, viéndose limitada su distribución por eventos de mayor energía como el oleaje y las corrientes litorales que influyen en su distribución con tendencias de transporte siguiendo el contorno del litoral hacia el norte, provocando valores bajos de arcillas en la cercanía de la costa. En las estaciones más cercanas a la desembocadura se obtuvieron valores de un 26% durante las lluvias,

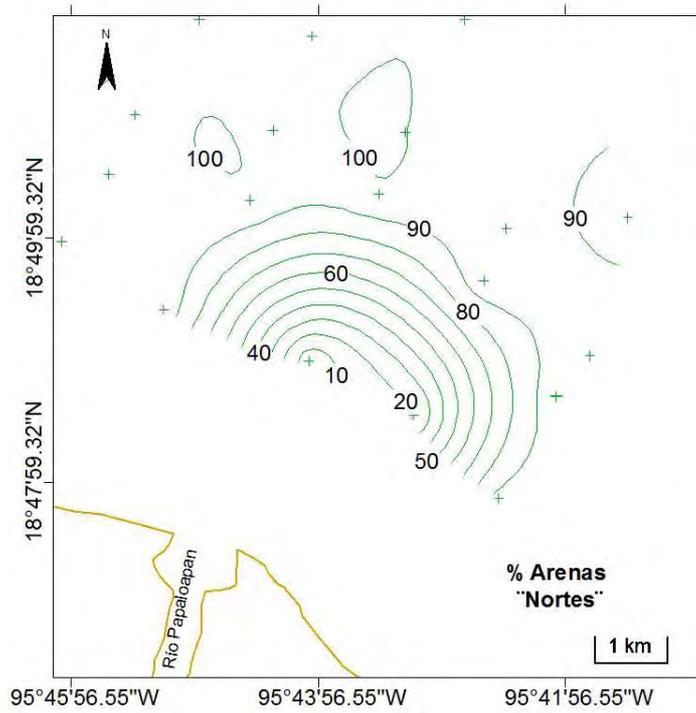


Fig. 12 Distribución espacial del porcentaje de arenas en época de *nortes*, durante el SAV-I.

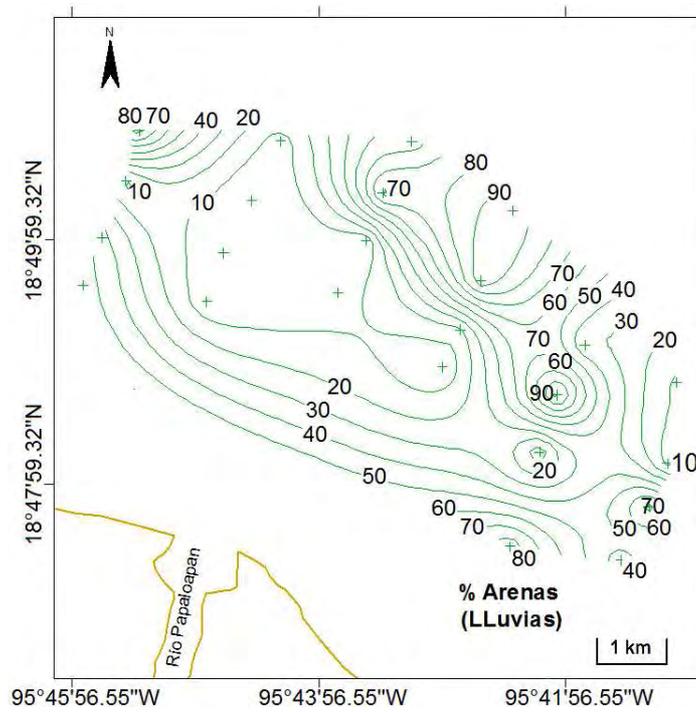


Fig. 13 Distribución espacial del porcentaje de arenas en época de lluvias, durante el SAV-II.

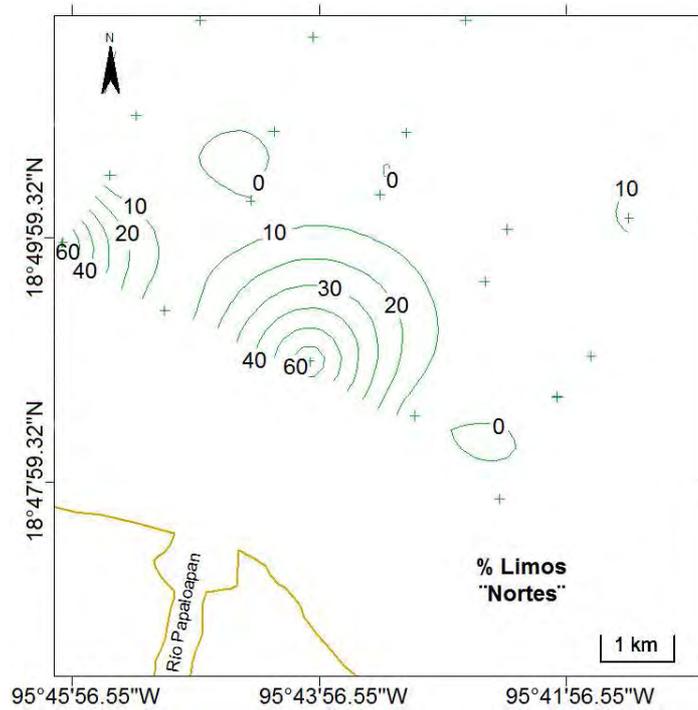


Figura 14. Distribución espacial del porcentaje de limos en época de *nortes*.

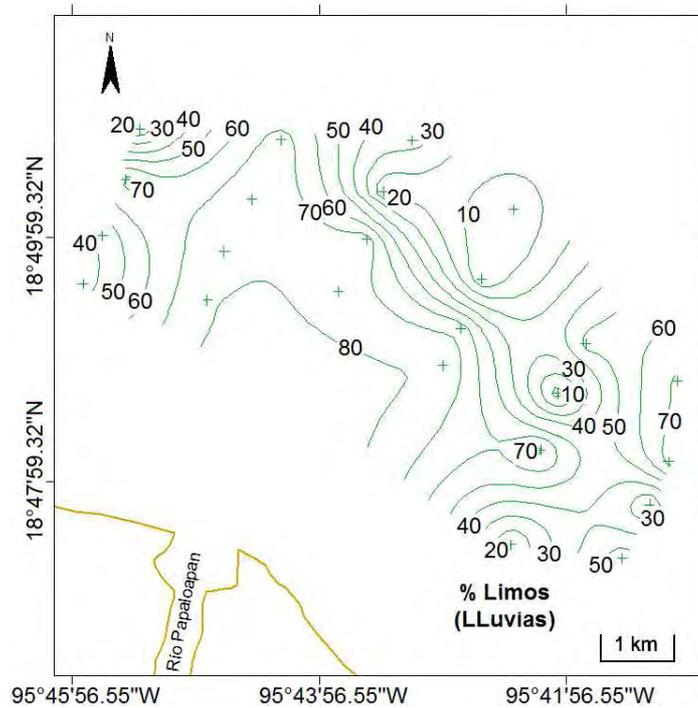


Figura 15. Distribución espacial del porcentaje de limos en época de lluvias.

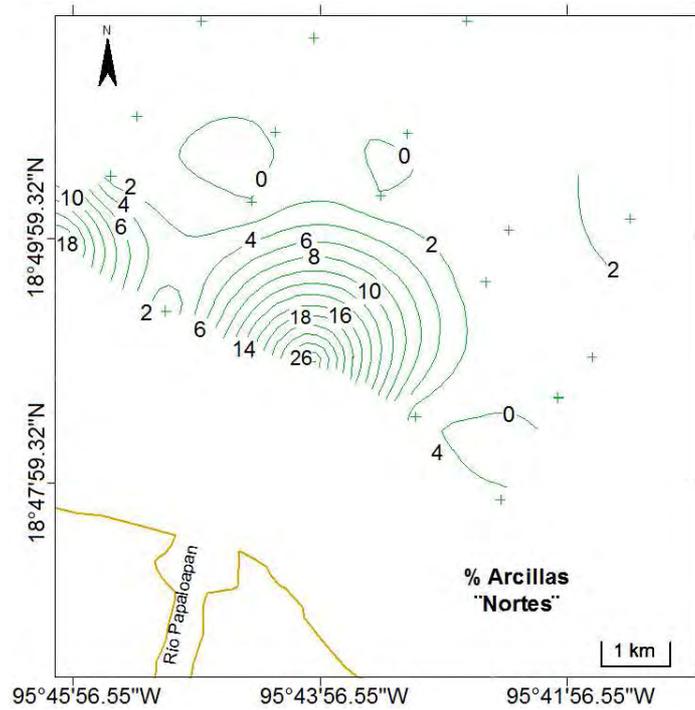


Figura 16. Distribución espacial del porcentaje de arcillas en época de *nortes*.

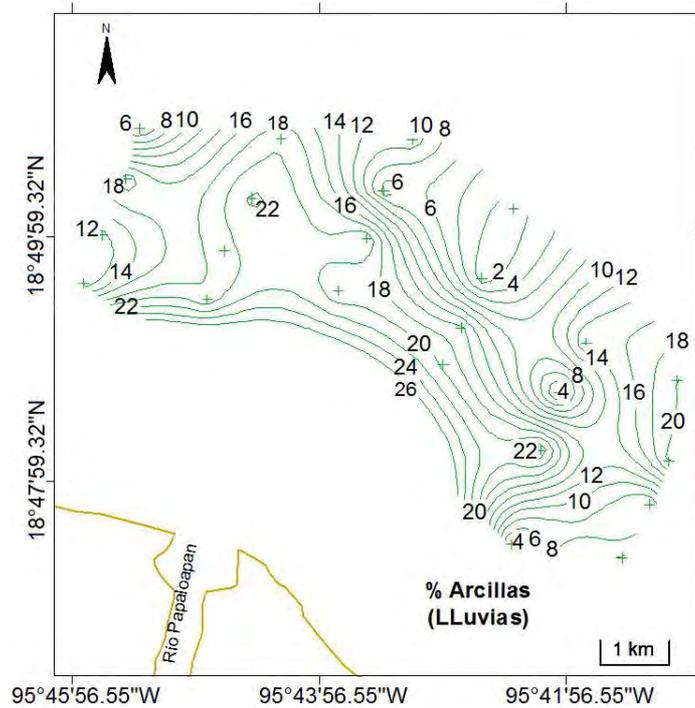


Figura 17. Distribución espacial del porcentaje de arcillas en época de lluvias.

notándose un incremento en comparación a la época de *nortes*. Otro fenómeno que puede observarse en la época de lluvias es la abundancia en la cantidad de sedimento en suspensión procedente del río, que provoca su mayor dispersión en el área y su concentración en lugares de más baja energía.

### **Diagrama triangular**

La representación en diagramas triangulares de las de las arenas, limos y arcillas que se reconocen en los sedimentos en la desembocadura del río Papaloapan, sirvieron como ayuda en la interpretación genética de los sedimentos. En los diagramas triangulares hay diferencias significativas entre las diferentes épocas en que se tomaron las muestras (*nortes* y lluvias), en primer lugar, en la época de *nortes* (Fig. 18), se nota que en 17 de las 19 muestras totales se cargan hacia el vértice de las arenas, con solo dos estaciones (P18 y P25), desplazadas hacia el vértice de sedimentos limosos-arcillosos (ver metodología).

Siguiendo el diagrama triangular basado en Shepard (1954), las estaciones P-18 y P25 son las más cercanas a la desembocadura del río Papaloapan, así las descargas del río aunadas a las características de los vientos en esta época provocan las características en la distribución textural de estas muestras en el diagrama.

En la figura 18, en la época de lluvias las estaciones tienden a ir del vértice de las arenas (estaciones más alejadas a la desembocadura, 23 y 34), pasando por estaciones areno-limosas (estaciones 21 y 04), encontrándose con un área de mezcla, donde se encuentra la estación 05, con un 50% respectivamente de arenas y limos, las restantes estaciones se cargan hacia el vértice de limosos-arenosos, hasta llegar al vértice extremo de limos (estaciones 06, 08, 11 y 25), inclusive las estaciones 09, 19 y 33 se ubican según el diagrama triangular creado para el presente estudio (Fig. 18), dentro de los sedimentos de tipo limosos arcillosos.

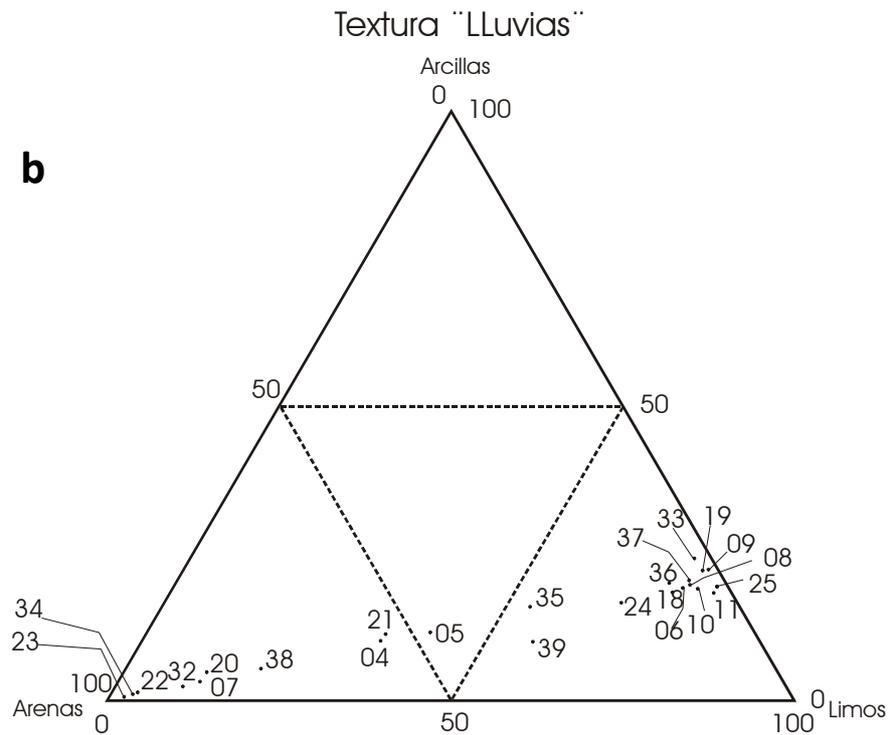
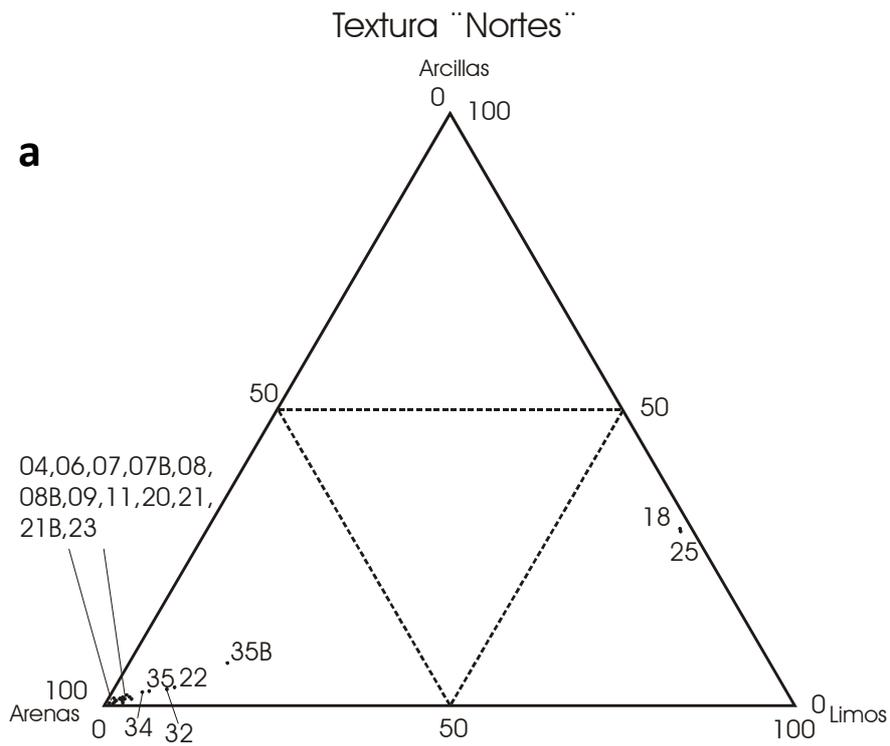


Figura 18. Diagrama triangular de las estaciones en las dos épocas, a) *nortes* y b) *lluvias*, en los polos arenas: limos: arcillas.

## Parámetros Texturales

Los parámetros texturales (ver metodología), se basaron en los parámetros estadísticos de Folk (1974), en donde el promedio grafico ( $Mz\Phi$ ) de los sedimentos influye en diferentes factores. El tamaño grafico promedio de los sedimentos indicó que distintos factores en sus características, son el resultado de la influencia del río Papaloapan, además de las olas y corrientes litorales del Golfo de México, en las dos épocas en que se obtuvieron las muestras (ver Tablas 1 y 2 para ver el tamaño grafico promedio en  $\Phi$  para cada estación de muestreo).

En la fracción arenosa los sedimentos de arenas finas fueron las más representativas en el área en el muestreo realizado en la temporada de *nortes*, el patrón que tiene las arenas finas basadas en unidades  $\Phi$  propuesto por Folk (1974), para señalar el tamaño grafico promedio, indica que estas se encuentran más cerca de la costa, más específicamente en la desembocadura del río Papaloapan, su tamaño grafico promedio refleja una variación en las condiciones de depositación de más baja energía en comparación con las muestras ( P-4, P-7, P-7B, P-8B y P-21B, con unidades de -1 a  $2\Phi$ ), más alejadas a la desembocadura que muestran condiciones de más alta energía, que indican la influencia del océano, ya que en dichas muestras se encontraron arenas medias (menores de  $4\Phi$ ), (Fig. 19).

Durante los *nortes*, las muestras más cercanas a la desembocadura del río Papaloapan, muestras P-18 y P-25 con  $\Phi$  de 0.87 a 2.0 (Fig. 19), corresponden a una zona de depositación de sedimentos finos (limos y arcillas), que son el reflejo de la descarga de material del río Papaloapan y de la laguna de Alvarado hacia el océano.

En contraste en la época de lluvias los sedimentos finos se distribuyeron más ampliamente sobre el área de estudio (Fig. 20), notándose un porcentaje mayor de lodos finos y medios directamente en la desembocadura en relación a los depósitos en los sitios más alejados a esta, donde se notan sedimentos de lodos gruesos, incluso teniéndose en las estaciones P-7, P-20, P-22 y P-23 predominio de arenas gruesas a finas por el efecto de la energía del medio y de la descarga del río. Estas muestras son el reflejo de la influencia de las épocas de lluvias y *nortes*, ya que según la fecha del muestreo, indicó una depositación de materiales finos producto de los aportes fluviales durante los *nortes* en la desembocadura, a diferencia de la época de lluvias. El tamaño

gráfico promedio (mayor de  $4\Phi$ ), es muy alto en estas muestras, principalmente durante la época de lluvias, ya que estuvieron compuestas por limos finos y medios, que indican una zona de baja energía producto de la compensación de la descarga del río en relación con la influencia de las olas por los vientos y las corrientes litorales que atenúan su energía.

Hay una variación importante en los valores encontrados en el tamaño gráfico promedio, ya que en la estación P11 en la época de *nortes* (Fig.19), se reflejan valores muy bajos ( $1.64 \Phi$ ), que muestran arenas gruesas con restos de gravas biogénicas, como restos de corales y conchas de organismos, en esta muestra se notan condiciones de depositación de alta energía debido a las corrientes litorales del Golfo de México, además de la influencia de los arrecifes del área, siendo posible que esta estación que se encuentra al noreste de la desembocadura, pueda encontrarse una parte de los arrecifes del sistema arrecifal veracruzano (SAV).

Es importante mencionar que en el muestreo llevado a cabo en la época de Lluvias no se encontraron valores tan bajos en el  $Mz\Phi$ , como restos de gravas de origen biogénico, debido tal vez a que habían cambiado los patrones de energía en la misma área en relación a la época de *nortes*.

El tamaño gráfico promedio de los sedimentos indica algunas diferencias y similitudes entre los muestreos llevados a cabo en las dos épocas. Se puede ver por medio de la interpolación gráfica de valores por el método matemático *Kriging* (Figs. 21 y 22), que los valores del  $Mz\Phi$ , indican en la temporada de *nortes* un desplazamiento de mayor a menor  $\Phi$  al alejarse de la desembocadura del río hacia mar abierto (Fig. 21). Ya que los vientos procedentes de los *nortes* provocan que la energía del oleaje aunado a la profundidad (-32 m) provoquen una resuspensión de sedimentos más finos, evitando la concentración de sedimentos finos en las muestras lejanas a la desembocadura del río, así que los sedimentos con  $2\Phi$  (sedimentos gruesos), se encuentren más alejados de la desembocadura y que los sedimentos más finos con un  $7\Phi$  se queden atrapados en la desembocadura, evitando una distribución más amplia debido a que los sedimentos finos sean movidos del fondo por el oleaje provocado por los *nortes*, en comparación con la época de lluvias donde se nota una distribución más anárquica (Fig. 22).

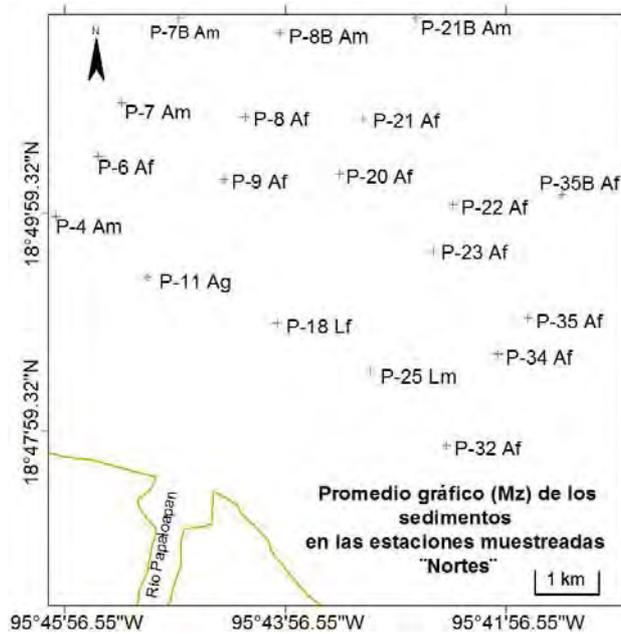


Figura 19. Promedio gráfico de los sedimentos en época de *nortes*; Af, arenas finas; Am, arenas medias; Ag, arenas gruesas; Lf, lodos finos y; Lm, lodos medios.

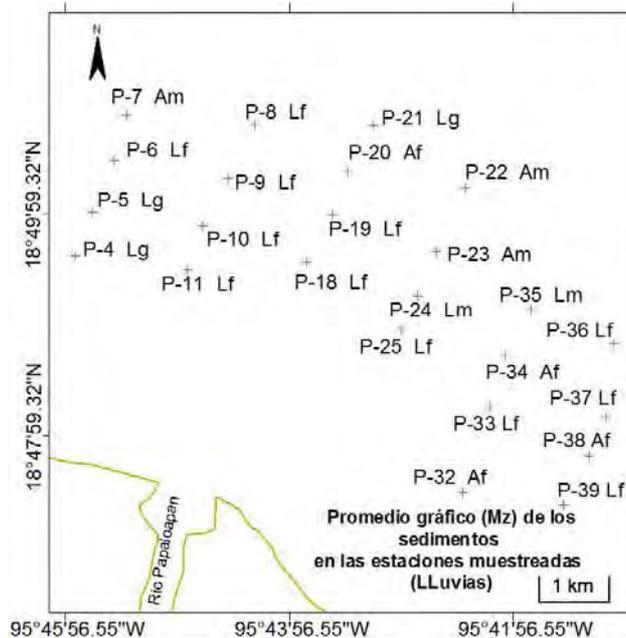


Figura 20. Promedio gráfico de los sedimentos en época de *lluvias*; Af, arenas finas; Am, arenas medias; Ag, arenas gruesas; Lf, lodos finos; Lm, lodos medios y Lg, lodos gruesos.

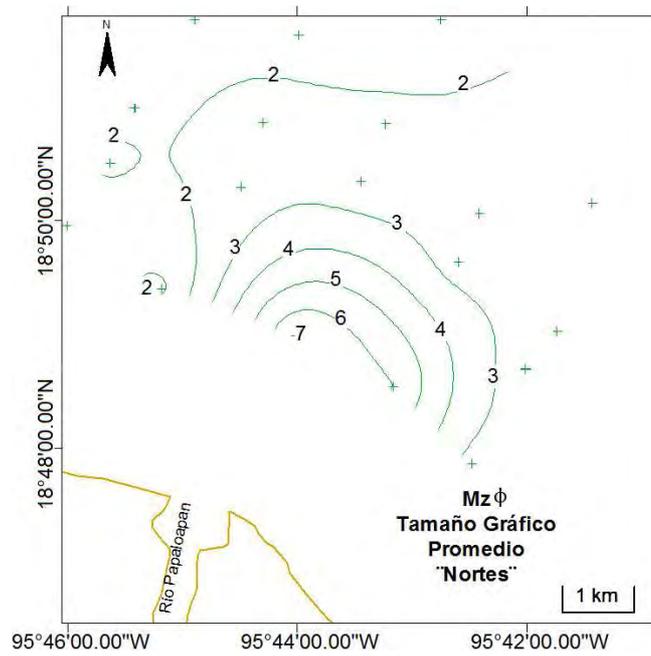


Figura 21. Tamaño gráfico promedio ( $Mz\Phi$ ) de los sedimentos en época de *nortes*.

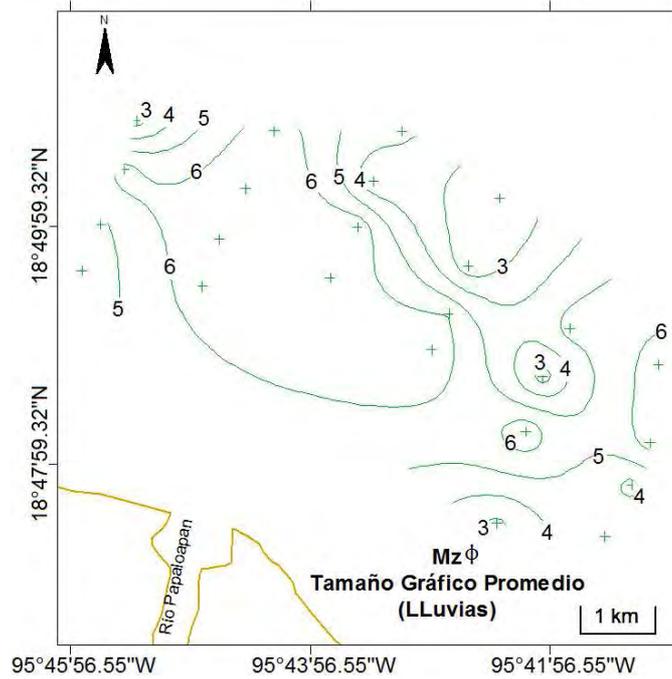


Figura 22. Tamaño gráfico promedio ( $Mz\Phi$ ) de los sedimentos en época de lluvias, unidades en  $\Phi$

Durante la temporada de lluvias se nota casi una distribución similar que en los *nortes*, donde en la desembocadura se encuentran valores de  $6\Phi$ , reduciéndose el valor de las unidades  $\Phi$  hacia los costados del flujo de agua que desemboca en el océano, así se ve en la figura 22 en ciertas áreas, una concentración de sedimentos finos a los lados de la desembocadura, en donde por acción de las corrientes litorales se depositan sedimentos finos y gruesos hacia los flancos, en toda el área de estudio.

La clasificación del sedimento en el área de estudio, depende de diferentes factores como son el tamaño de grano y la energía del medio en las áreas de depositación de los sedimentos (Folk, 1974). Así en la clasificación de los sedimentos en el área influyen fuertemente las descargas del río Papaloapan y el patrón de corrientes del océano en la desembocadura.

La desviación estándar grafica inclusiva ( $\sigma_1\Phi$ ) de los sedimentos indica la clasificación de los sedimentos de las muestras en el área, en general los sedimentos durante los *nortes* van en su mayoría de moderadamente bien clasificados a bien clasificados, indicando que las arenas finas en su mayoría están bien clasificadas en contraste con las arenas medias que están moderadamente bien clasificadas.

La turbulencia en la desembocadura del río influye en las muestras de lodos finos en que estén mal clasificadas, ya que como se puede ver hay un patrón de energía en las corrientes del agua en el área, que influye en el tamaño del grano en su distribución, y una mayor promedio grafico en el tamaño (2 a 3  $\Phi$ ), que como indica Folk (1974), esto influye en una peor clasificación en las arenas finas y que la clasificación empeora en los sedimentos medios debido a que la fuerza de la energía de las corrientes marinas no alcanza a hacer una mejor clasificación en relación al tamaño de los granos en las arenas medias del área.

Las muestras P18 y P35b en los *nortes*, son las que tienen sedimentos mal clasificados, llegando a la muestra P25 que indica un sedimento muy mal clasificado, estos resultados están en relación directa a su tamaño grafico promedio en relación al tamaño del grano (6 a 8  $\Phi$ ), ya que en estas dos muestras se tienen limos finos y medios, además de la energía de la turbulencia en la desembocadura del río Papaloapan al encontrarse dos ambientes distintos en el área que afecta a una buena clasificación de los sedimentos.

En la época de *nortes* (Fig. 23), se nota una muy mala clasificación en la zona directa en la desembocadura del río con valores de  $2.00 \Phi$ , y en cuanto los sedimentos se alejan de la costa estos tienden a tener una mejor clasificación (de  $0.35$  a  $0.71 \Phi$ ), estos valores contrastan en comparación en la época de lluvias (Fig. 24), en donde debido a una mayor turbulencia y carga de sedimentos en el río, influyen en una peor clasificación en toda el área de muestreo durante esta época, donde se nota una disminución en los valores de la desviación estándar, indicando una peor clasificación hacia el norte, por la afectación que sufre por el movimiento de las corrientes litorales de sur a norte, aunque encontramos una mejor clasificación en las estaciones situadas en el centro-orientado del área de estudio (con valores de  $0.50$  a  $0.71\Phi$ ), esto se debe a ambientes de depósito (fluvial y marino), del sedimento que influyen en que estén mejor clasificados (Folk, 1974).

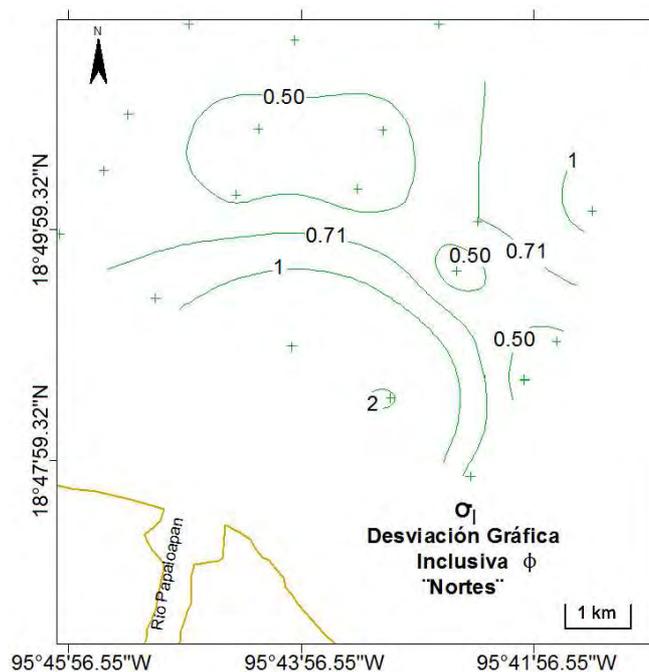


Figura 23. Desviación gráfica inclusiva de los sedimentos en época de *nortes*, unidades en  $\Phi$

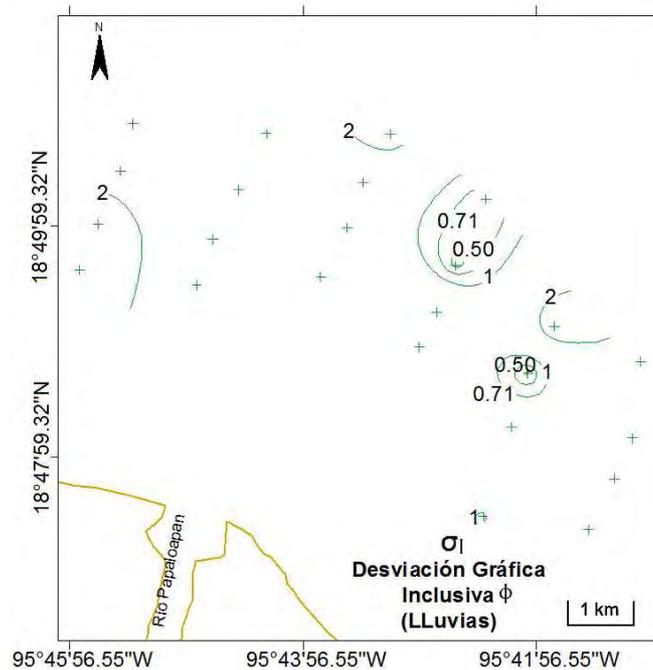


Figura 24. Desviación grafica inclusiva de los sedimentos en época de lluvias, unidades en  $\Phi$

El grado de asimetría ( $SK_i$ ), en las muestras del área de estudio durante los *nortes* y época de lluvias cambian drásticamente (Figs. 25 y 26). Los sedimentos hacia el este del área en los *nortes* tienden a ser muy simétricos y simétricos hacia los finos, los sedimentos finos siguen el camino trazado por los vientos provenientes del norte, debido a que hay niveles menores de energía por la influencia del río Papaloapan que influyen en su distribución y hacia la parte oeste de la desembocadura el grado de asimetría se presenta cargado hacia simétricos y asimétrico hacia los gruesos por unos mayores niveles de energía por influencia de las corrientes y el oleaje del océano provocado por los vientos provocados por los *nortes* (Fig. 25), este fenómeno también probablemente se debe a la energía que actúa sobre los sedimentos por las corrientes litorales que se desplazan de sureste a noreste en el Golfo de México.

En contraste las muestras obtenidas durante el crucero SAV-II, en la época de lluvias (Fig. 26), indicaron una simetría muy asimétrica y asimétrica hacia los finos, donde se muestra que las áreas de sedimentos simétricos se cargan hacia el oriente de la desembocadura, a diferencia de la época de *nortes*, donde se nota una simetría con valor de cero en las estaciones paralelamente a la desembocadura del río. Estos

diferencias se corroboran más ampliamente en las figuras 27 y 28, en donde el  $SK_i$  en época de *nortes* (Fig. 27), indica valores de cero (sedimentos simétricos), en clara alusión a la influencia de los vientos durante esta época en la desembocadura del río, en que los vientos provenientes del norte empujan los sedimentos más finos hacia el sur, ya que al oriente de la desembocadura se tienen valores de 0.30, en cambio hacia el oeste de la desembocadura hay valores de -0.10, donde se encuentran sedimentos más asimétricos hacia los gruesos. Durante la época de lluvias (Fig. 28), la simetría en los sedimentos se rompe, notándose una mayor asimetría hacia los finos en toda el área de muestreo durante el crucero SAV-II, se tuvieron valores de 0.30 (sedimentos asimétricos y muy asimétricos hacia los finos), esto se debe seguramente a que no hay una influencia directa de los vientos provenientes del norte en los sedimentos finos que los encajone hacia la costa, esto, aunado a una mayor descarga de sedimentos finos en suspensión del río, que provocan su dispersión en toda el área de muestreo.

La curtosis grafica ( $K_G$ ), indica que los sedimentos en el área se presentan de mesocurticas a leptocurticas durante las dos épocas de muestreo, así, en la época de *nortes* (Fig. 29), las muestra ubicadas hacia el oriente del área (P-22, P32, P-34, P-35 y P35B), son leptocurticas y en algunos casos muy leptocurticas, debido a que hay pocos rangos de diferencia en el tamaño del grano, estos sedimentos son más homogéneos, con menos fuentes de aporte de materiales de distinto origen, esto se debe a que es una zona con una permanente energía ocasionada por las corrientes marinas.

Las muestras obtenidas hacia el poniente y la desembocadura del río indican variaciones en las diferencias de aporte de materiales, ya que hay muchos rangos en el tamaño del grano, siendo sedimentos muy heterogéneos, con un mayor aporte de materiales del distinto origen y con esto se nota que hay mayores variaciones en la energía del medio por influencia de las descargas del río Papaloapan, estas características en la curtosis grafica indica que los diferentes niveles de energía del medio se da por la presencia de distintos ambientes, tanto fluvial, lagunar y marino, dando a la curtosis grafica una forma mesocurtica.

En la desembocadura del río se nota que en las estaciones más cercanas, se tienen similares  $K_G$  de 0.94 y 0.86 indicando sedimentos platicurticos y mesocurticos,

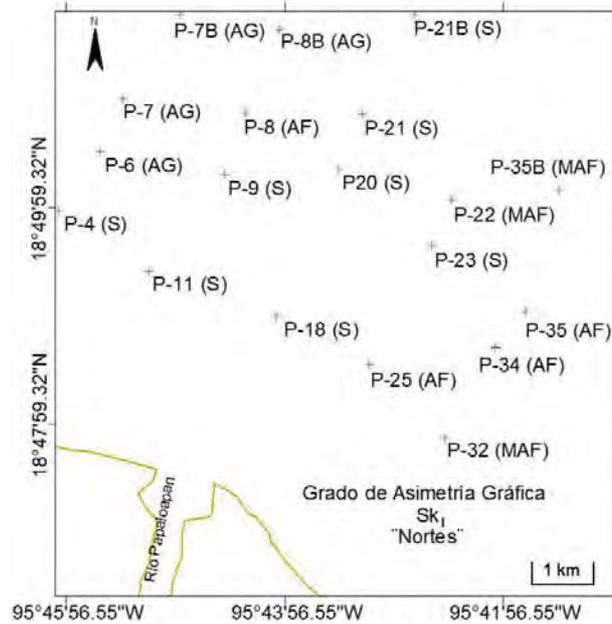


Figura 25. Grado de asimetría gráfica de los sedimentos en época de *nortes*; AG, asimétrico hacia gruesos; S, simétrico; AF, asimétrico hacia finos; MAF, muy asimétrico hacia los finos.

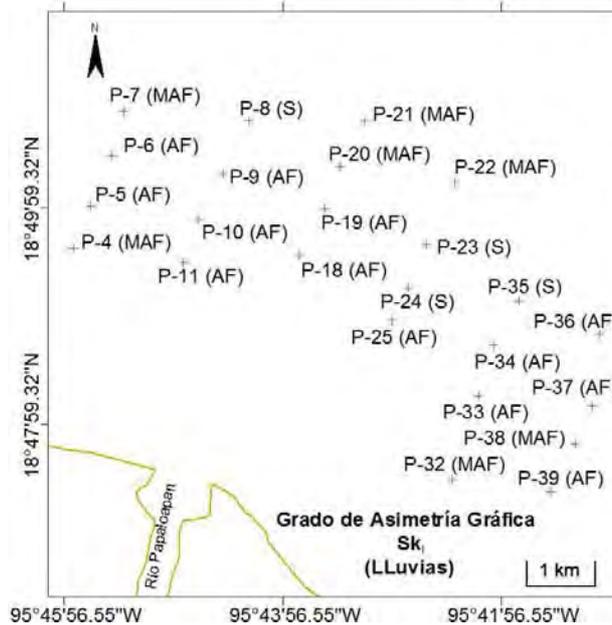


Figura 26. Grado de asimetría gráfica de los sedimentos en época de lluvias; S, simétrico; AF, asimétrico hacia finos; MAF, muy asimétrico hacia los finos.

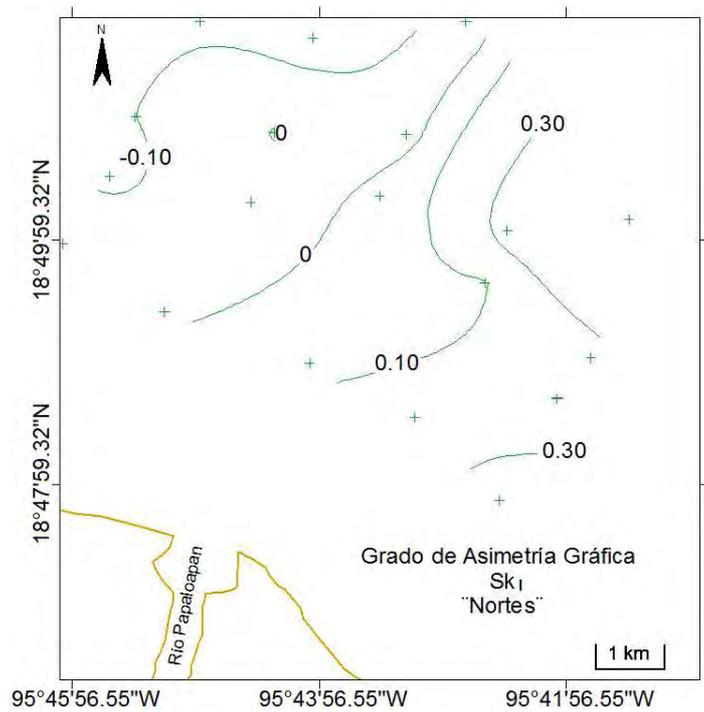


Figura 27. Grado de asimetría grafica de los sedimentos en época de *nortes*.

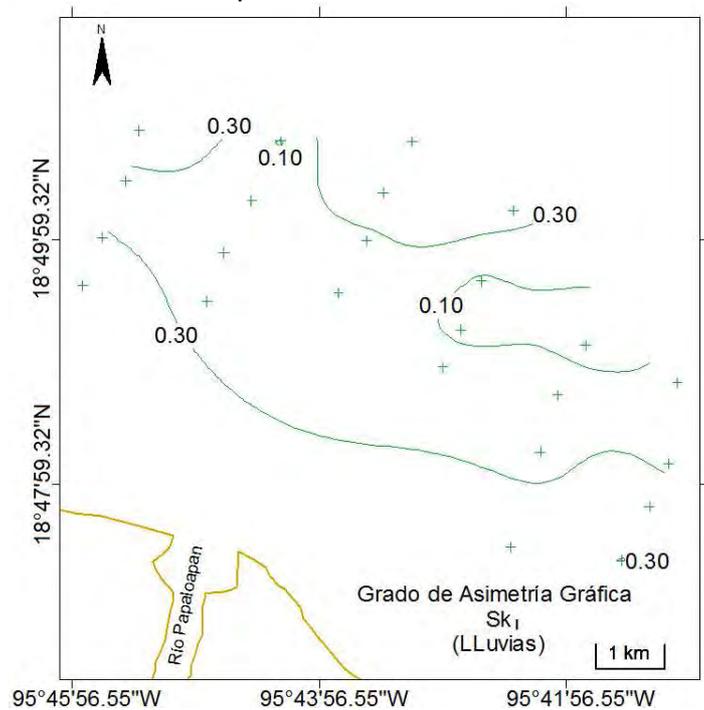


Figura 28. Grado de asimetría grafica de los sedimentos en época de lluvias.

indicando que están influenciados por diferentes ambientes marino y fluvial, que afectan la dispersión de los sedimentos (mal clasificados).

Durante la época de lluvias (Fig. 30), se notan los mismos valores que durante los *nortes*, notándose una mayor curtosis leptocurtica debido a la mayor influencia de un solo ambiente poco disperso (bien seleccionado) del sedimento, debido a que en esta época hay una mayor influencia del aporte fluvial que provoca niveles de fuerte energía mas allá de la desembocadura del río.

Se nota que durante la época de lluvias los sedimentos tienden en la curtosis a ir de platicurticos a muy leptocurtico mientras más se alejan de la desembocadura, así demostrando a que cuando hay una influencia menor de diferentes ambientes los sedimentos tiende a estar menos dispersados, ya que en la desembocadura del río se tiende a estar muy dispersado el sedimento, causando con esto una forma platicurtica en el  $K_G$ . Así, en la época de lluvias se tiene que la estaciones P18 y P25, tienen un  $K_G$  similar al que presentaron durante los *nortes*, indicando la influencia del río, en cambio la

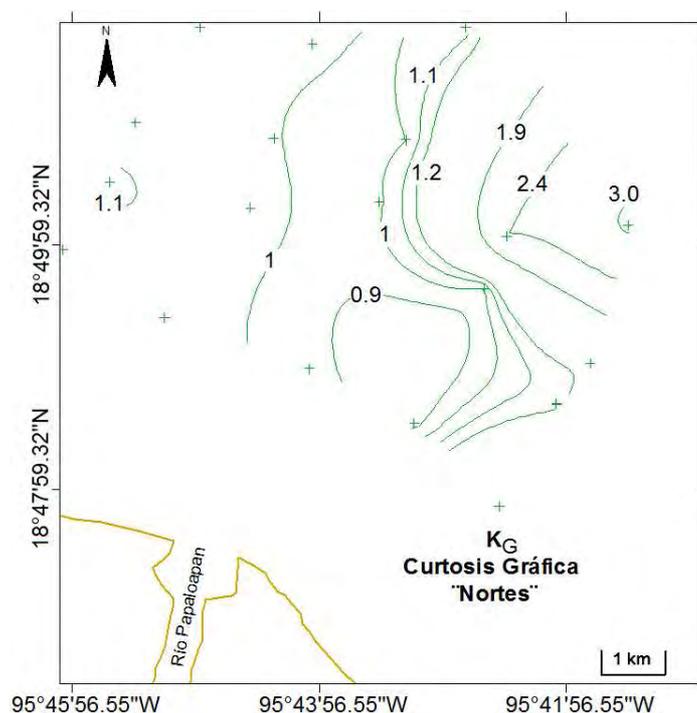


Figura 29. Curtosis gráfica de los sedimentos en época de *nortes*.

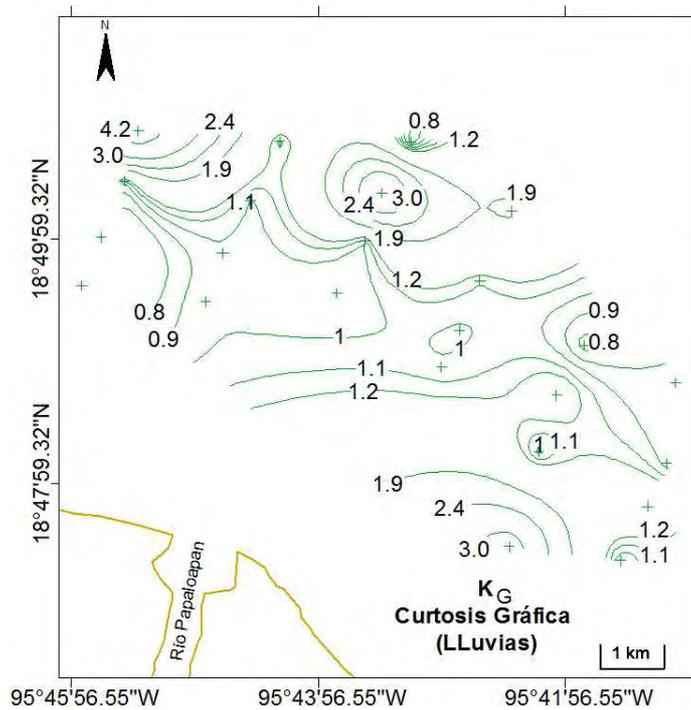


Figura 30. Curtosis gráfica de los sedimentos en época de lluvias

estación P32 indico el mayor valor mayor a 3.00  $K_G$ , indicando un sedimento extremadamente leptocurtico con pocos ambientes que afectaran la curtosis.

El coeficiente de correlación de Pearson, es un índice estadístico que midió la correlación lineal entre las variables de las matrices de datos de los parámetros texturales y mineralógicos de las muestras. El cálculo del coeficiente de correlación lineal se realizó dividiendo la covarianza por el producto de las desviaciones estándar de las variables utilizadas.

En lo que respecta a los parámetros texturales de las muestras durante la época de *nortes*, mostró correlaciones con valores significativos para correlación lineal simple en los grados de libertad de ( $n= 19-2$ ,  $99\%=0.575$ ), las variables entre  $Mz\Phi$ -  $\sigma_1\Phi$  y  $SK_r$ -  $K_G$ , teniendo entre estas dos una correlación positiva directa (Tabla 3), siendo la otras correlaciones entre los distintos parámetros texturales insignificantes. La correlación  $Mz\Phi$ - $\sigma_1\Phi$ , indica que entre más fino esta el sedimento mas mal clasificado se encuentra por diferencias en el tamaño de los granos del sedimento debido a la influencia de

distintos ambientes fluviales, lagunares y del oleaje del océano provocado por los vientos en los *nortes*. La correlación  $SK_I-K_G$ , indica que durante los *nortes*, los sedimentos entre mas asimétricos hacia los finos estén, tienden a ser mas leptocurticos, indicando una sola fuente de aporte, que en este caso es la influencia del río.

Se observa que al disminuir el tamaño gráfico promedio ( $Mz(\Phi)$ ), aumenta la presencia de sedimentos gruesos teniendo una correlación negativa y con los lodos ocurre una correlación positiva, totalmente inversa a los valores en lo sedimentos más gruesos encontrados en el área de estudio (Tabla 3). Esto contrasta con las correlaciones llevadas a cabo en las muestras durante la época de lluvias, donde se ven un mayor número de correlaciones con valores mayores de 0.515 casi en todas las variables, como indica la tabla 4, teniéndose las correlaciones positivas más importantes entre el  $Mz(\Phi)-\sigma_I(\Phi)$  y  $SK_I-K_G$  en forma similar a la época de *nortes*, pero en diferencia, en época de lluvias se encontraron correlaciones negativas entre el  $Mz(\Phi)-SK_I$  y el  $Mz(\Phi)-K_G$ .

En el caso de las correlaciones de los parámetros texturales y los tipos texturales de los sedimentos se tuvieron correlaciones significativas tanto positivas como negativas con las mismas explicaciones que en la época de *nortes*, pero hubo una diferencia notable, ya que hay una correlación positiva entre el  $SK_I$  y  $K_G$ , que se explica más adelante en la figura 32.

Tabla 3. Correlaciones de parámetros texturales en *nortes* (n= 19-2, 99%=0.575).

	$Mz(\Phi)$	$\sigma_I(\Phi)$	$SK_I$	$K_G$
$Mz(\Phi)$	1	<b>0.812</b>	0.284	-0.021
$\sigma_I(\Phi)$		1	0.248	0.071
$SK_I$			1	<b>0.859</b>
$K_G$				1

Tabla 4. Correlaciones de parámetros texturales en lluvias (n=24-2, 99%=0.515).

	$Mz(\Phi)$	$\sigma_I(\Phi)$	$SK_I$	$K_G$
$Mz(\Phi)$	1	<b>0.611</b>	<b>0.639</b>	<b>0.593</b>
$\sigma_I(\Phi)$		1	0.060	0.434
$SK_I$			1	<b>0.633</b>
$K_G$				1

En la grafica de la figura 31, se tiene una correlación positiva entre el  $Mz\Phi$ -  $\sigma_1\Phi$  en la época de *nortes*, en donde se comprueba que al aumentar el tamaño grafico promedio ( $Mz\Phi$ ) del sedimento (sedimentos más finos), los valores de la desviación grafica inclusiva ( $\sigma_1\Phi$ ) aumentan, notándose una mala clasificación de los sedimentos en la desembocadura del río, por la influencia de la energía fluvial, lagunar y del océano.

Es importante notar que en esta grafica, que la tendencia central de las muestras es fuertemente determinada por las estaciones que se encuentran más cercanas a la desembocadura del río, así se nota que las muestras más alejadas al grupo en la figura 31 (estaciones 18, 22, 25, 32 y 35B), dan una tendencia a la línea central positiva, pero se puede notar en la línea negra que en estas cinco estaciones de muestreo, se encuentran los sedimentos más finos y mas mal clasificados por la condiciones de sedimentación antes expuestas, por lo que las restantes muestras del área (línea roja), indican una relación inversa que explica que los sedimentos más gruesos (arenas), tiene una mejor clasificación, debido a la influencia del oleaje y a la profundidad de donde se obtuvieron las muestras (-32 m), que provocan una mejor clasificación del sedimento debido a la interacción entre estos dos últimos factores antes mencionados.

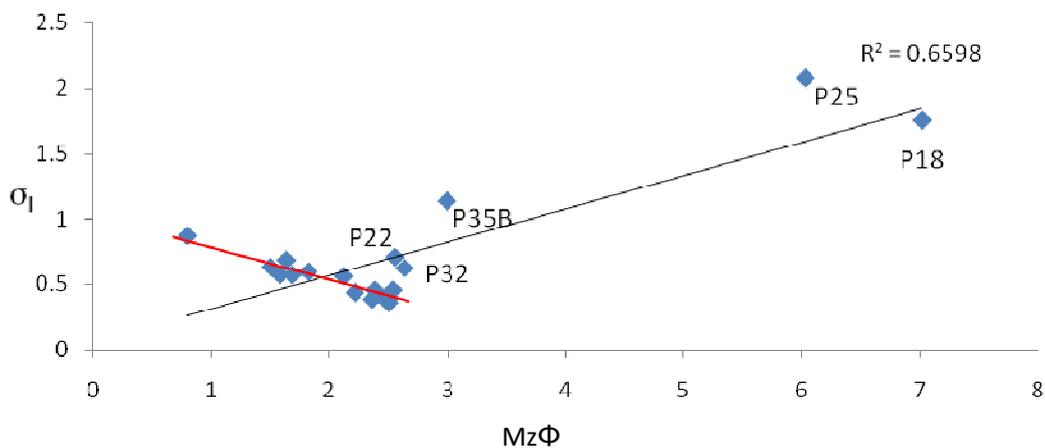


Figura 31. Correlación entre  $Mz\Phi$  y  $\sigma_1\Phi$  en *nortes*

La correlación positiva entre  $SK_r$ - $K_G$  (Fig. 32), indica que la asimetría en los sedimentos hacia los finos tiende a aumentar la curtosis grafica, mostrando una forma leptocurtica, esto indica un solo ambiente influido por el oleaje durante los *nortes*, predominando sobre otros factores. Pero en las muestras situadas al noroeste de la

desembocadura tienden a ser mas asimétricas hacia los gruesos como se observa en la figura 32, además aunado a su correlación con la  $K_G$  que tienden a una forma platicurtica, indican la presencia de más ambientes de depositación. También hay que notar ciertas diferencias entre las estaciones de muestreo, donde la tendencia de la línea central es positiva (línea negra), influida por las estaciones que se encuentran con sedimentos asimétricos y muy asimétricos hacia los finos (estaciones 22, 32, 34 35 y 35B), pero que también las estaciones simétricas y asimétricas hacia los gruesos dan una tendencia ligeramente inversa (línea roja), indicando que al aumentar el valor de los sedimentos asimétricos hacia los gruesos, tienden a disminuir a valores más bajos en la curtosis, siendo mas platicurticos, indicando la presencia de diferentes ambientes de depósito.

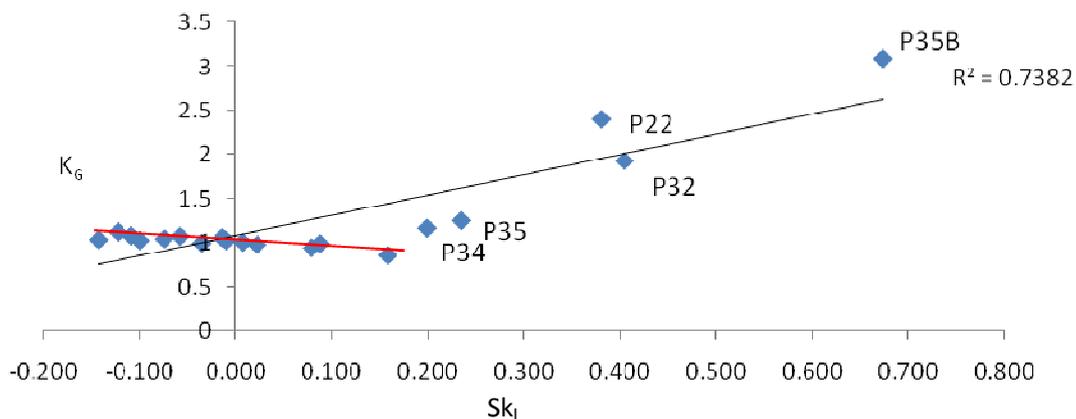


Figura 32. Correlación entre  $SK_i$  y  $K_G$  en época de *nortes*.

En la época de lluvias, esto se extiende a todas las muestras del área tomadas durante el crucero SAV-II, así, a diferencia de la época de *nortes*, en donde las muestras tienden a una curva, indicando unas características particulares que explican la dinámica río-laguna-océano.

En la figura 33 es posible observar en la correlación  $Mz\Phi - \sigma_1\Phi$  como los sedimentos en las muestras forman una curva convexa, notándose cierta similitud con el cuadro mostrado por Folk (1974), donde el tamaño gráfico promedio esta en relación con la clasificación (desviación Estándar) del sedimento. Es notorio como las arenas finas y muy finas de  $2 \text{ a } 3 \Phi$  y  $3 \text{ a } 4 \Phi$  respectivamente, tienden a estar bien clasificadas, pero

al ir haciéndose más finas estas, tienden a tener una peor clasificación ( $2.5 \sigma_1\Phi$ ), hasta llegar a los sedimentos limosos con un  $\Phi$  de 4, donde la curva tiende a cambiar y a mostrar sedimentos muy mal clasificados, esto debido a que los niveles de energía discurren de mayor a menor energía provocando en las muestras con sedimentos más gruesos estén mejor clasificados y que al aproximarse a los sedimentos más finos entre arenas finas y limos gruesos se note una peor clasificación por una energía más baja del medio y al aporte en la plataforma de sedimentos fluviales-lagunares en combinación con depósitos de corrientes litorales. En la grafica también es posible notar que los sedimentos entre 4 y 6  $\Phi$  tienden a mantenerse en mal clasificado, pero los sedimentos de limos finos entre 6 y 7  $\Phi$  tienden a tener una mejor clasificación en relación con los limos más gruesos.

Comparando las figuras 32 y 33 entre la época de "nortes y la de lluvia, es que durante los *nortes* se tiene una influencia de sedimentos finos en la desembocadura del río, a diferencia en la época de lluvias en donde por efecto de la descarga del río y la ausencia de vientos que se producen en la época de *nortes*, los sedimentos finos tienen una mayor influencia hacia un sección más grande en la plataforma continental en el área de estudio.

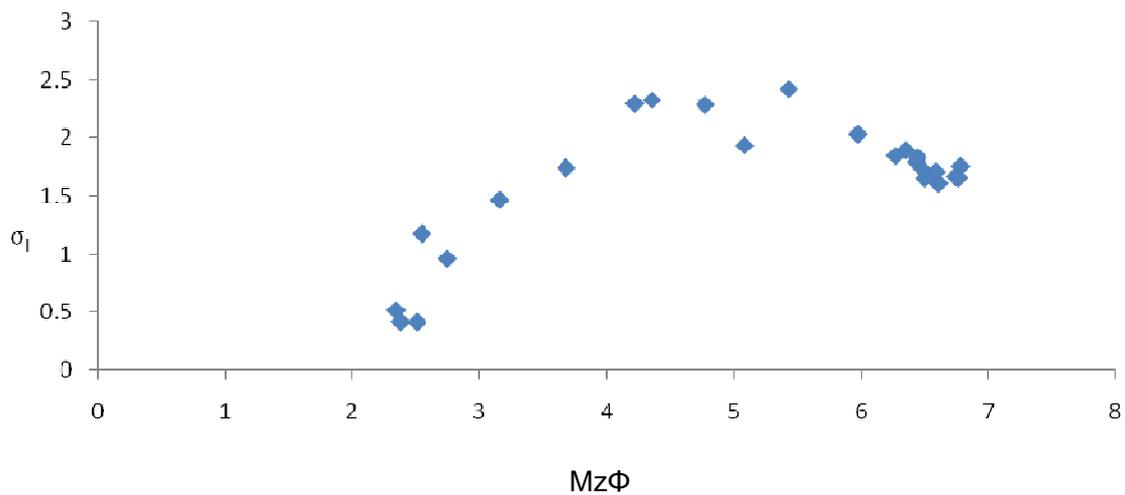


Figura 33. Correlación entre  $Mz\Phi$  y  $\Sigma_1\Phi$  en época de lluvias.

En la grafica de la figura 34, donde la correlación  $SK_I-K_G$ , en época de lluvias, tiene una tendencia positiva, influenciada por los eventos de lluvia característica de esta época del año, un poco similar a la tendencia mostrada en época de *nortes*, pero sin una influencia clara exclusiva de las muestras ubicadas en la desembocadura, que sin duda son influenciadas por las descargas del río Papaloapan. Los sedimentos durante esta época tienden a tener una dispersión mayor en relación al valor central que en los *nortes*, teniendo una correlación positiva, indicando que los sedimentos del área en esta época son simétricos y asimétricos hacia los finos, no teniendo valores negativos como en los *nortes*, así indicando que entre más asimétricos hacia finos, los sedimentos tienden a ser mas leptocurticos, llegando incluso a ser muy extremadamente leptocuticos, aunque una mayoría de las muestras se aglutina en una curtosis platicurtica, las restantes muestras indican una forma leptocurtica, las muestras platicurticas se encuentran en zonas en el área de estudio donde la influencia de distintos ambientes influyen en distintos tamaños en los sedimentos, que por lo general están más alejadas a la desembocadura del río Papaloapan, en cambio las leptocurticas solo se encuentra una sola fuente de aporte y generalmente más cercanas a la desembocadura del río, por lo que generalmente se encuentran dominadas por solo un factor que este predominando los eventos fluviales aumentados por la descarga fluvial.

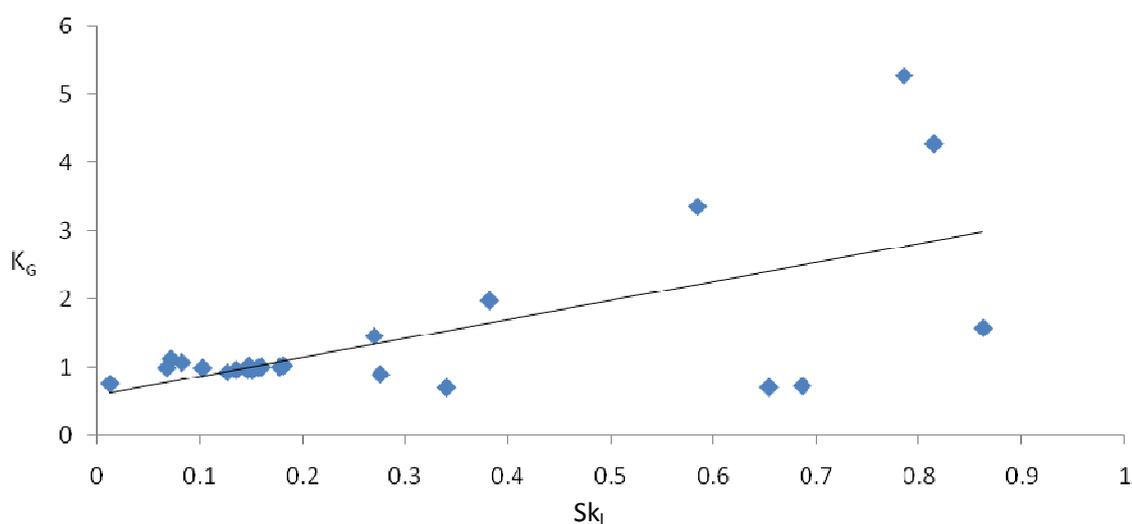


Figura 34. Correlación entre  $SK_I$  y  $K_G$  en época de lluvias.

La correlación en la época de lluvias entre el  $Mz\Phi-SK_I$  (Fig. 35), indica una tendencia inversa, en donde al aumentar los valores del tamaño gráfico promedio ( $Mz\Phi$ ),

tiende a disminuir de asimétrico hacia los finos a muy asimétrico hacia finos, en términos generales la tendencia en el área de estudio muestra que los sedimentos entre más finos tienden a guardar una asimetría hacia los finos, tendiendo a hacerse simétricos. Aunque la grafica no es los suficientemente indicativa, ya que no tiene una tendencia clara de las distintas muestras, esto debido a la carga del río que provoca una mayor distribución de sedimentos finos en el área de la desembocadura, a diferencia en la época de *nortes* en donde la distribución de sedimentos finos se circunscribe únicamente en la desembocadura del río Papaloapan.

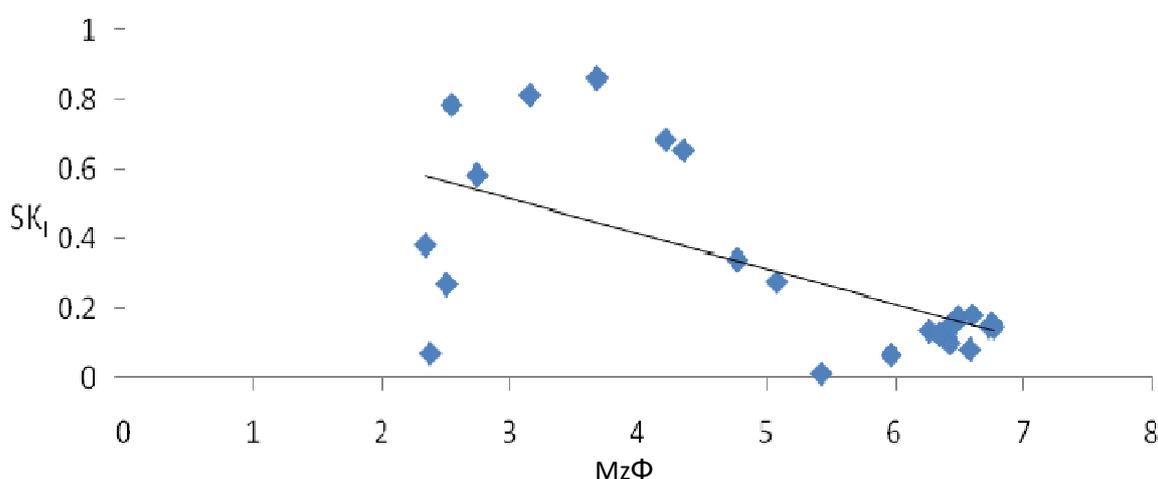


Figura 35. Correlación entre  $Mz\Phi$ - $SK_1$  en llluvias.

El  $Mz\Phi$ - $K_G$  (Fig. 36), indica una correlación también negativa en época de llluvias, en donde las muestras del sedimento indican que entre más finos estos (arenas finas 2-4  $\Phi$ , a limos gruesos a finos 4-7  $\Phi$ ), tienden a la leptocurtosis, yendo de extremadamente leptocurtica a mesocurticas en algunos casos. Sin embargo, la tendencia central negativa en general para todas las muestras en la grafica (línea negra), puede no ser representativa para todas las estaciones, ya que en las muestras donde predominan las arenas finas con un  $Mz\Phi$  de 2 a 4, tienen una dispersión pronunciada, carente de cierta correlación, pero al llegar a texturas de limos de 4 a 7 ( $Mz\Phi$ ), tiende a una tendencia ligeramente positiva (línea roja), indicando que las

muestras limosas tienden a ser de platicurticas a mesocurticas, coincidiendo en general con las estaciones que tienen una distancia intermedia entre la desembocadura y las olas, estas estaciones de muestreo tienen una mayor influencia de distintas fuentes de aporte, en donde se mezclan los aportes fluvio-lagunares con la influencia del oleaje del océano en el área de estudio.

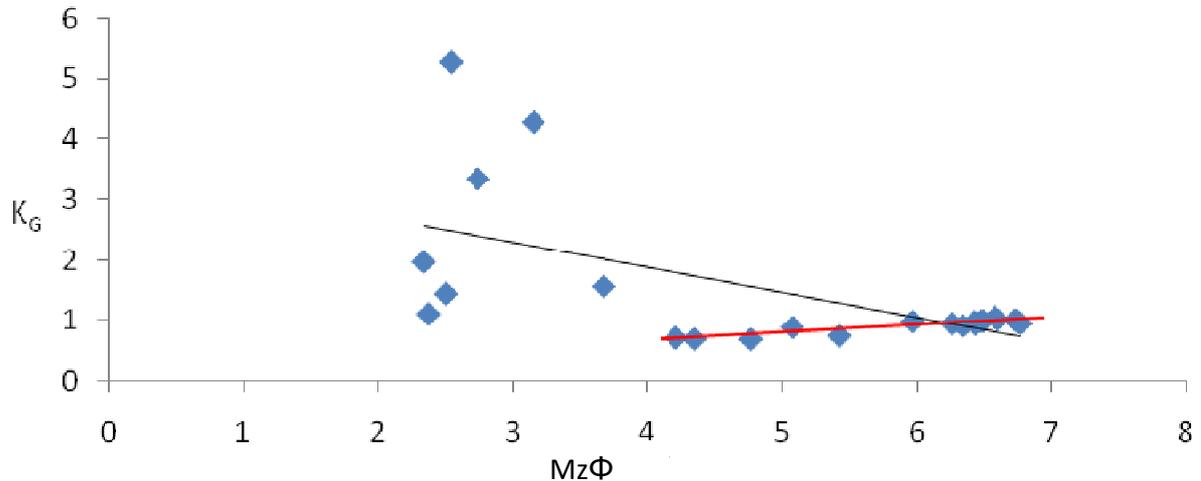


Figura 36. Correlación entre Mz- K<sub>G</sub> en lluvias

### Tipos de población del sedimento y procesos de depósito

Por muchos años se ha intentado usar el tamaño del grano para determinar ambientes sedimentarios, se han realizado trabajos para relacionar el tamaño del grano y su distribución en los procesos de depositación, así los estudios texturales pueden proveer una línea de evidencia como ayuda para interpretar y conocer los orígenes de los depósitos clásticos (Visher, 1969). Dentro de los análisis se reconocen subpoblaciones que pueden ser relacionadas con diferentes modos de transporte y depositación de los sedimentos, reflejándose tres tipos de transporte en relación al tamaño del grano; 1) suspensión; 2) saltación; y 3) tracción, cada una de estas distribuciones esta en relación a la mecánica de fluidos que afectan directamente su depositación y consecuente distribución (*op. cit.*).

Se construyeron graficas de curvas granulométricas acumulativas(Figs. 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 y 44), sirviendo para representar curvas en relación del tamaño del

grano y su porcentaje acumulativo que influyen en la distribución del sedimento, se realizaron para cada estación en el área de estudio en las dos épocas (*nortes* y Lluvias), después se estudio el porcentaje en cada gráfica, tomándose en cuenta los puntos de quiebre de la línea entre cada una de los tipos de transporte mencionados antes en la metodología en cada estación, después se elaboró una tabla (tabla 5), indicando cada uno de los porcentajes de los sedimentos encontrados en suspensión, saltación y tracción para cada época, para después obtener un mapa de isoclasas (Figs. 45, 46, 47 y 48), que sirvieron para tener una imagen espacial de la distribución y su relación a los tipos de depósito en el área de estudio.

Las curvas granulométricas acumulativas fueron construidas en relación al porcentaje de peso acumulativo con el tamaño grafico promedio ( $Mz\Phi$ ) del sedimento, como se puede ver la mayoría de las curvas en las graficas de las figuras, teniendo formas similares en las graficas de la misma época en que fueron obtenidas las muestras, pero se encontraron fuertes diferencias en las curvas granulométricas entre las épocas de *nortes* y de Lluvias, encontrándose que en los *nortes* se mezclan tres poblaciones en mayor proporción y en época de Lluvias se encontró casi en todas las estaciones solo la mezcla de dos poblaciones (suspensión y saltación), teniéndose que el transporte del sedimento se realiza en suspensión en su mayoría.

A grandes rasgos es notorio que en los *nortes*, en 16 de 19 estaciones se tienen diferencias en las colas de las curvas, encontrándose los tres tipos de transporte (suspensión, saltación y tracción). La tracción se nota en la mayoría de las estaciones (con un porcentaje menor del 0.07%), a excepción de las estaciones P11, P34 y P35B, en que el punto quiebre entre saltación y tracción entre arenas medias y finas de 1 a  $2\Phi$ , van del 0.07 al 2.0% de peso acumulativo. En la estación P11, los análisis indicaron una relación entre el tamaño grafico promedio y los puntos de quiebre con arenas muy gruesas con valores de -1 a  $0\Phi$ , compuestas principalmente de restos de carbonatos formadores de coral que se encuentran seguramente sobre un área que forma parte del Sistema Arrecifal Veracruzano, y que altera la forma de la curva acumulativa sin tener que ver con la energía del medio que provoca el transporte de estos sedimentos.

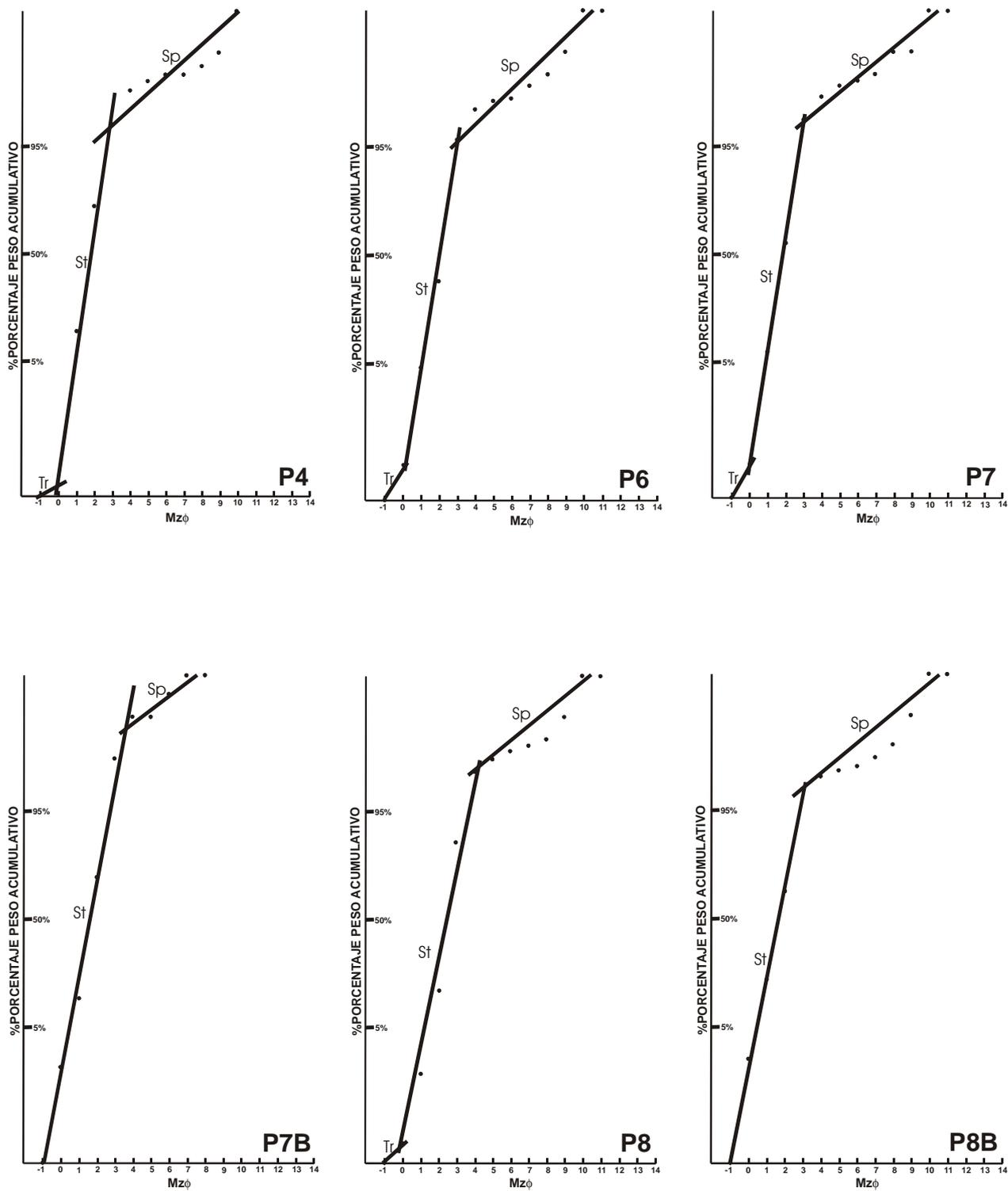


Figura 37. Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de *nortes*.

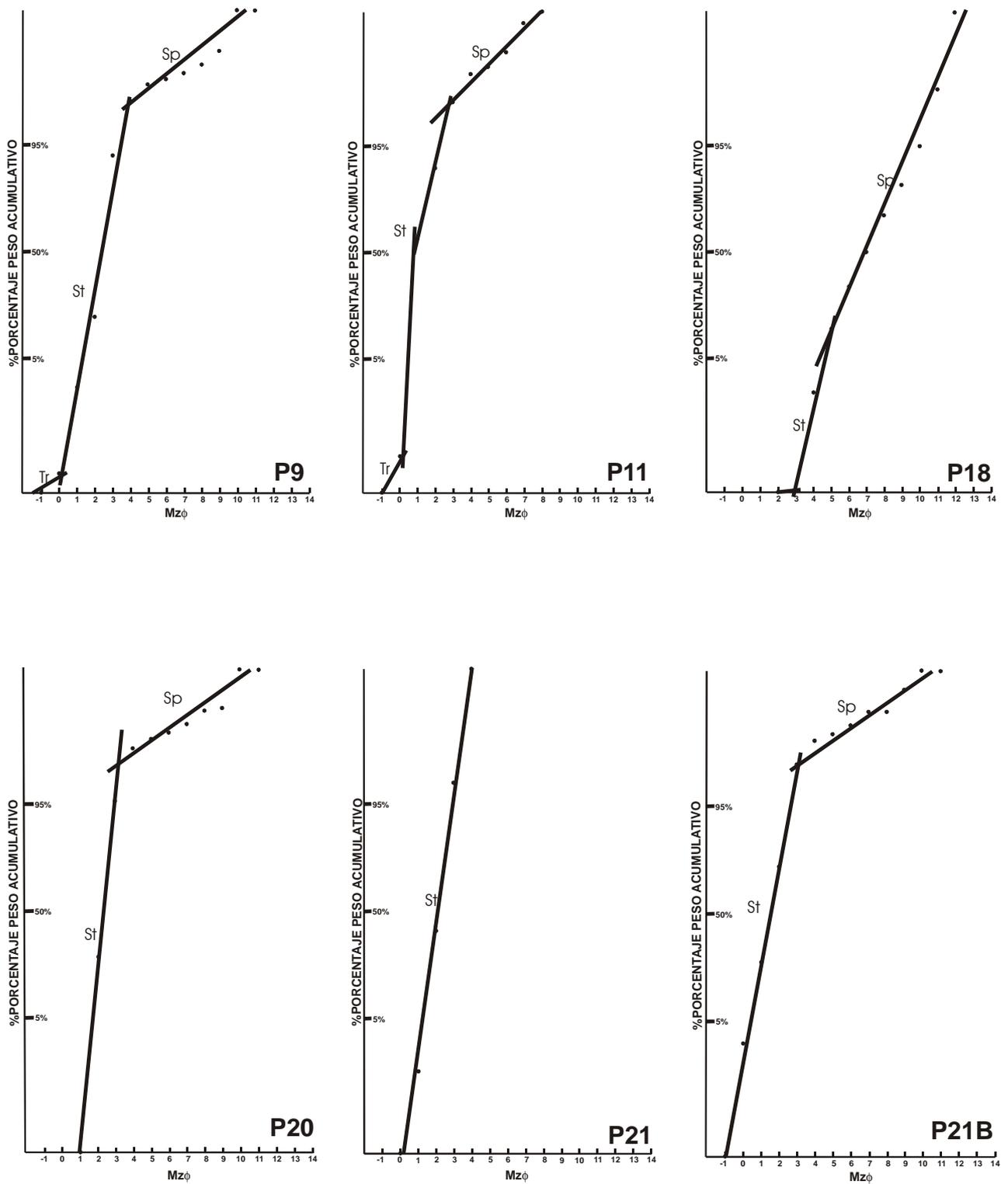


Figura 38. Gráficas de curvas granulométricas acumulativas en época de *nortes*.

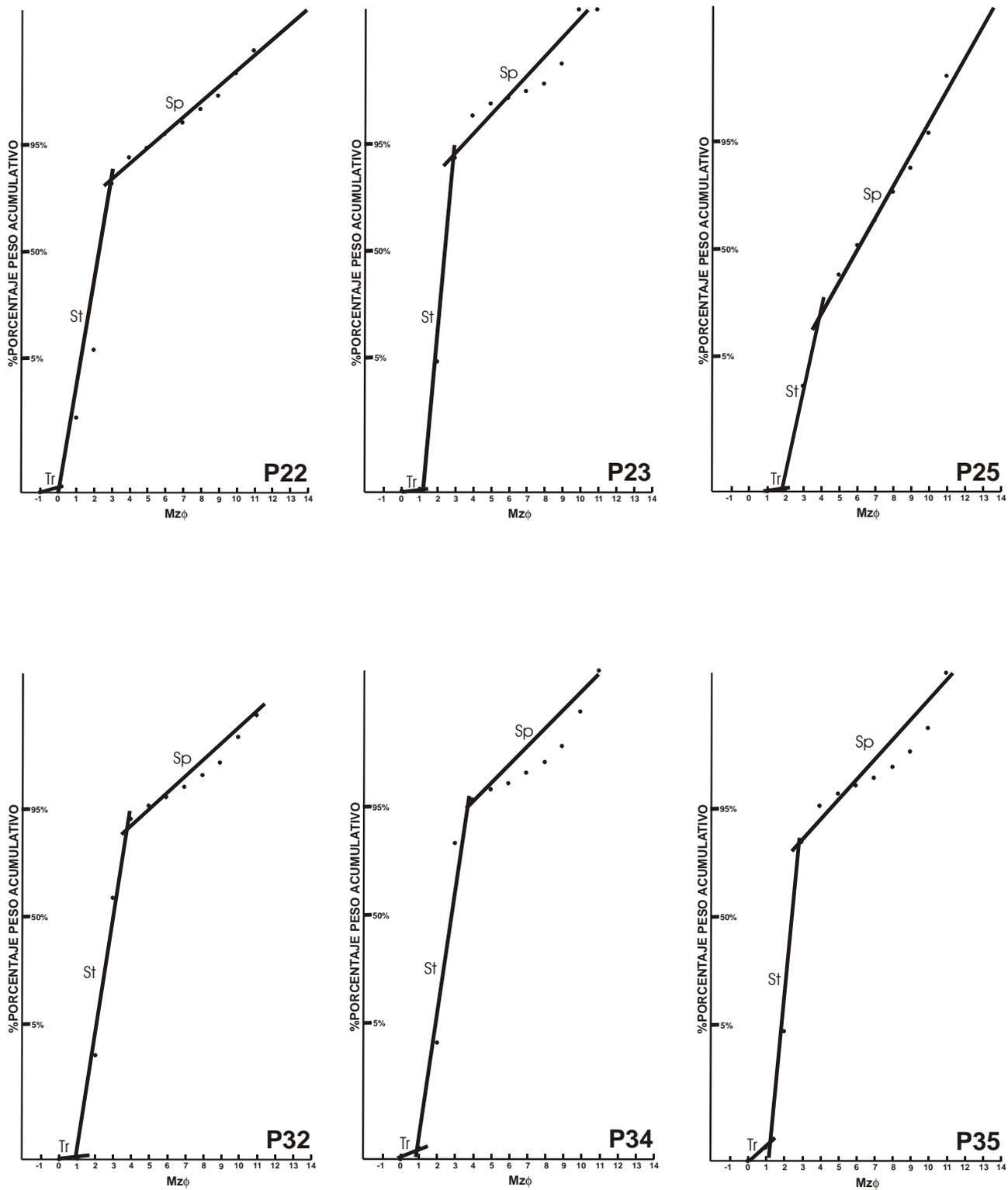


Figura 39. Gráficas de curvas granulométricas acumulativas en época de *nortes*.

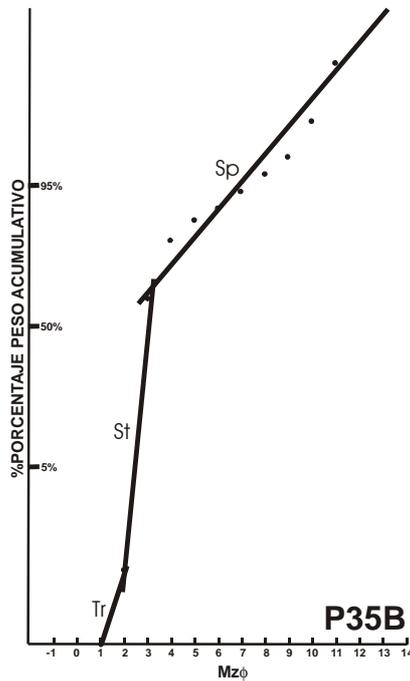


Figura 40. Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de *nortes*.

También en esta estación (P11), la curva de la distribución del tamaño del grano, muestra dos muy bien clasificadas poblaciones en lo que respecta a la saltación, el alto grado de clasificación de estas dos poblaciones deben ser transportados y depositados, una parte en saltación y con tracción de sedimentos gruesos de arenas y tal vez gravas, como antes se explicó, y la otra, una población de sedimentos en saltación de arenas medias y finas de 2 a  $4\Phi$ , este ejemplo en particular representa dos diferentes tipos en las condiciones de transporte, produciendo dos poblaciones en saltación en relación a dos tipos de flujo de energía en las corrientes que son provocadas por la turbulencia del río y las corrientes litorales, esto enfatiza que pequeños cambios en la velocidad de la corriente pueden modificar las condiciones de depósito de los sedimentos, creando dos poblaciones en saltación. En las estaciones P34 y P35B el transporte de los sedimentos es dada por la mezcla de las tres poblaciones, encontrándose estas estaciones en la parte más alejada de la desembocadura del río, en donde la energía del medio, en este caso el oleaje, provoca las condiciones hidráulicas para el tipo de transporte y depositación del sedimento, donde se da el mayor porcentaje de sedimento en tracción de arenas gruesas a medias de 0 a  $2\Phi$ .

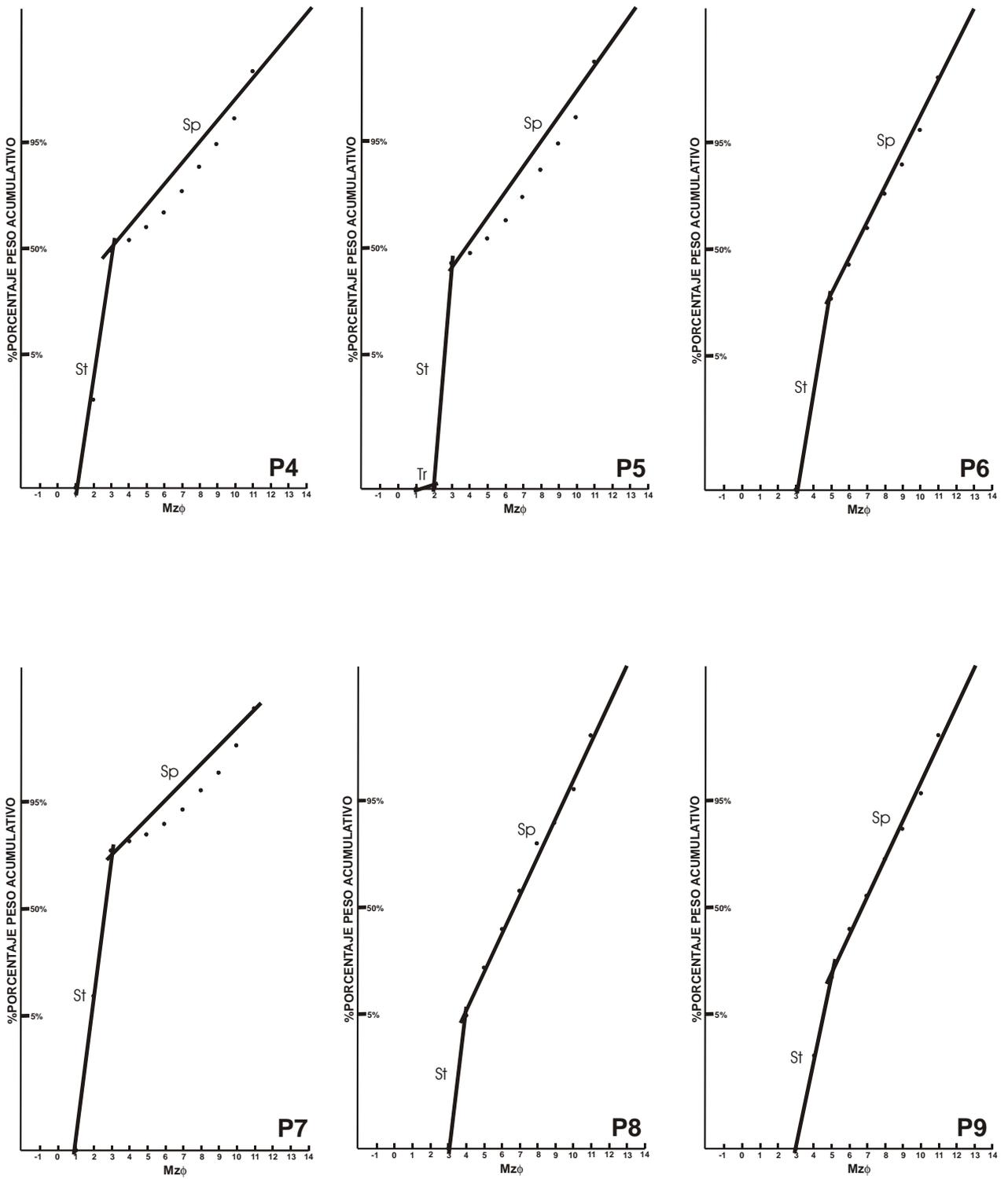


Figura 41. Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de lluvias.

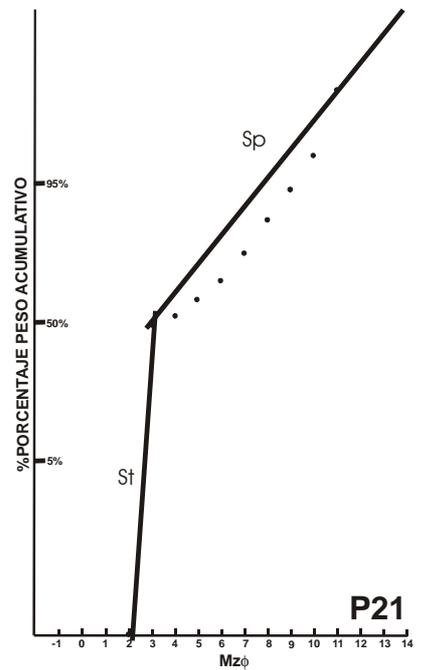
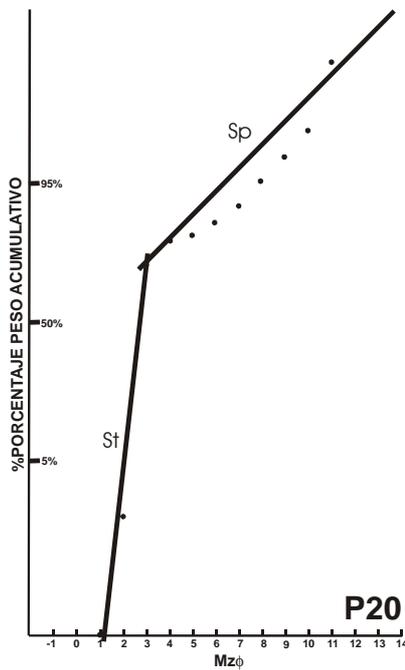
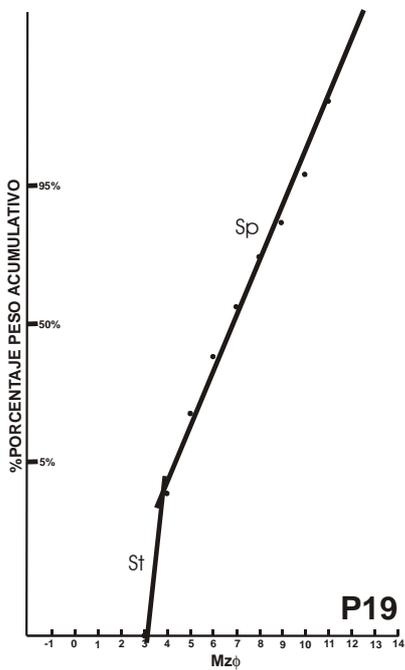
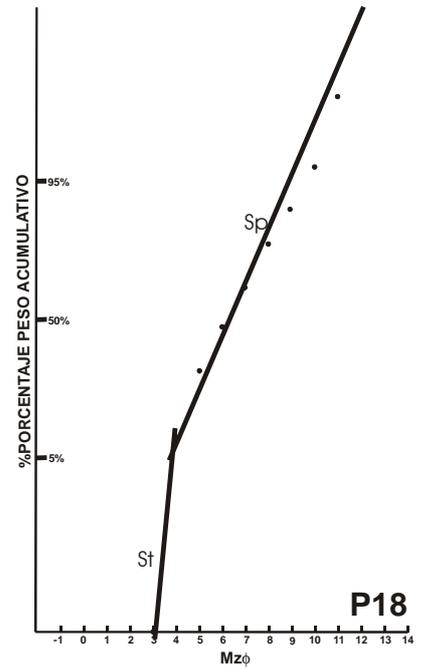
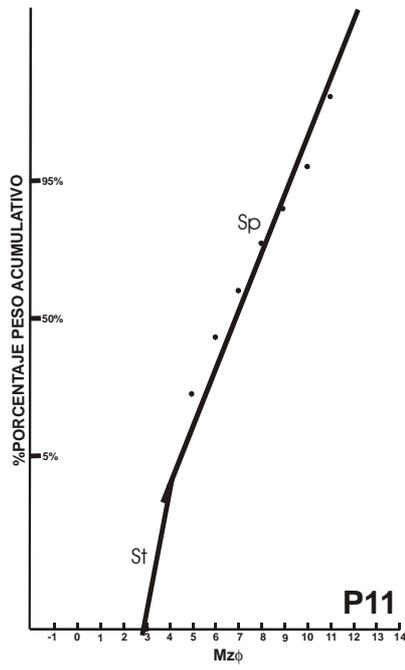
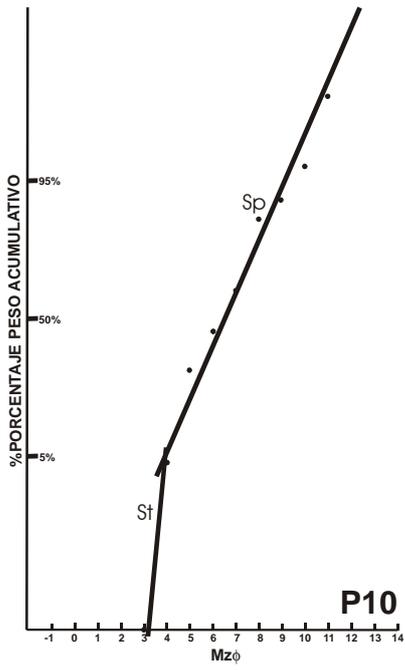


Figura 42. Gráficas de curvas granulométricas acumulativas en época de lluvias.

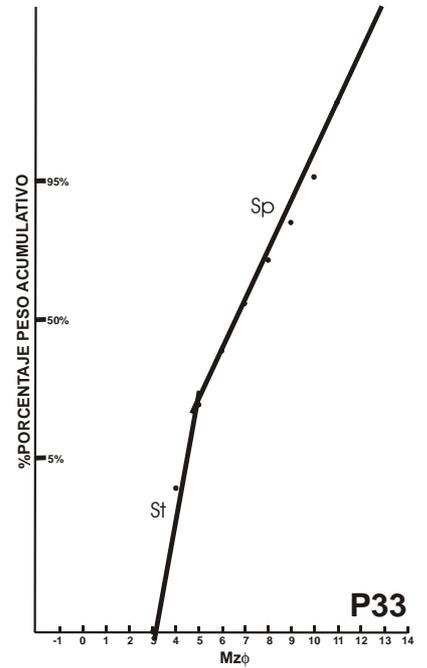
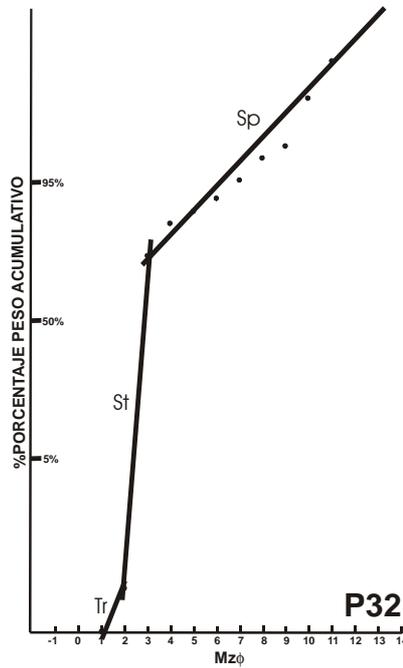
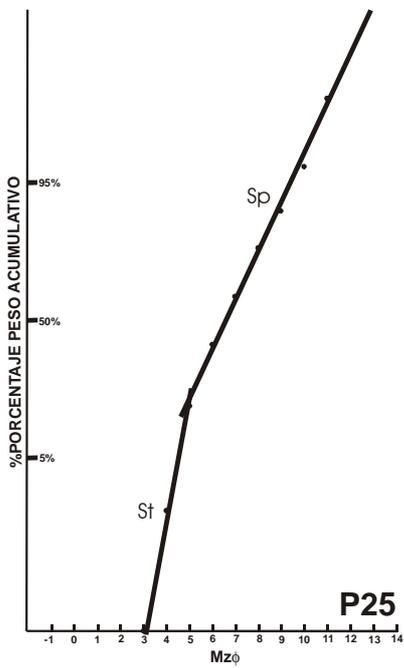
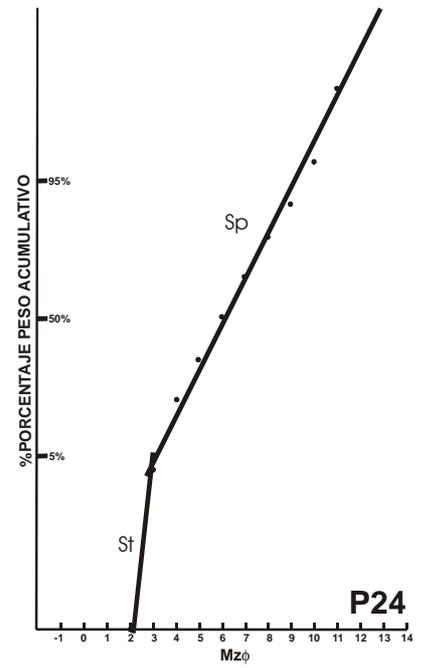
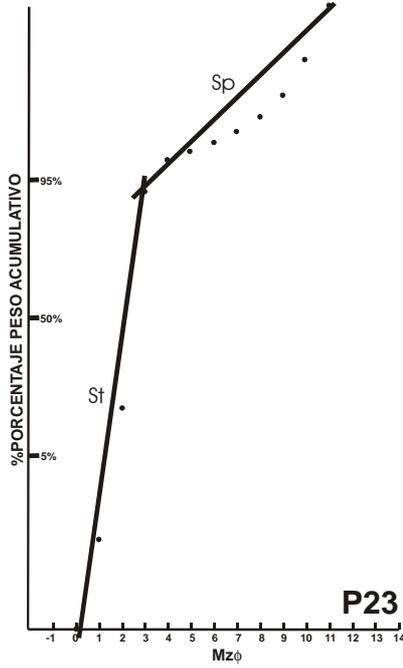
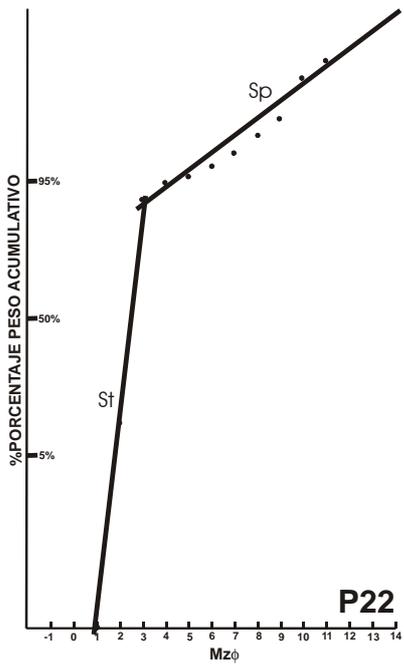


Figura 43. Graficas de curvas granulométricas acumulativas en época de lluvias.

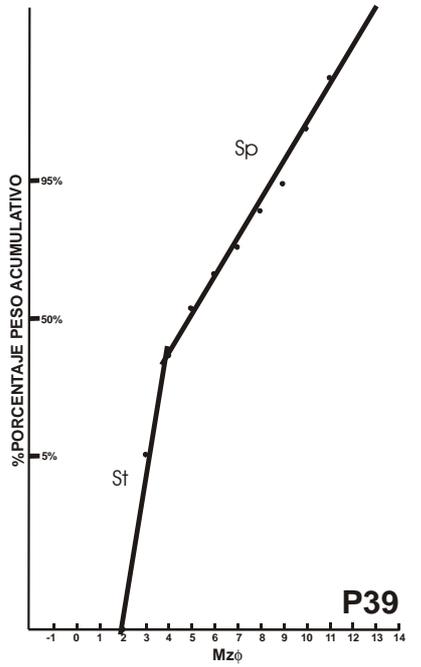
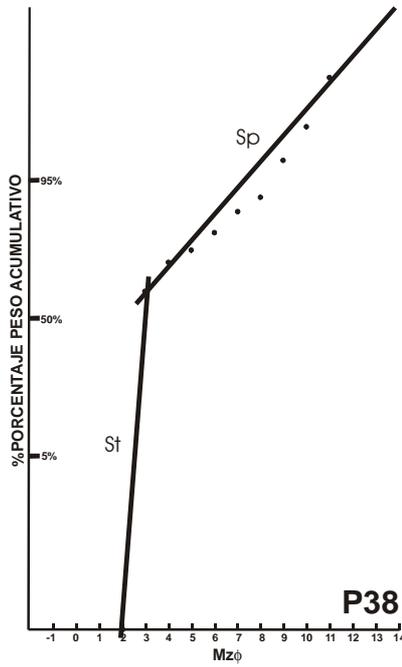
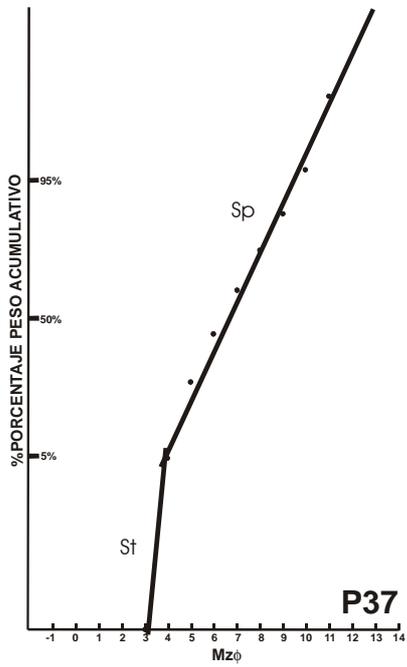
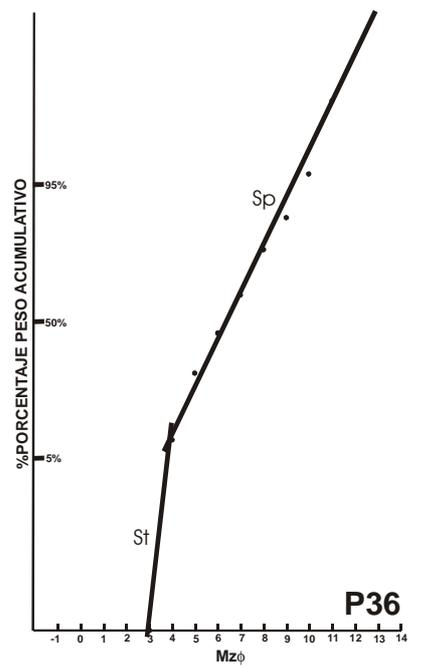
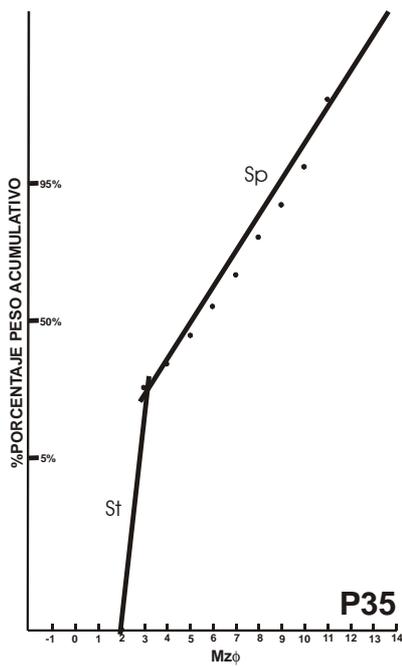
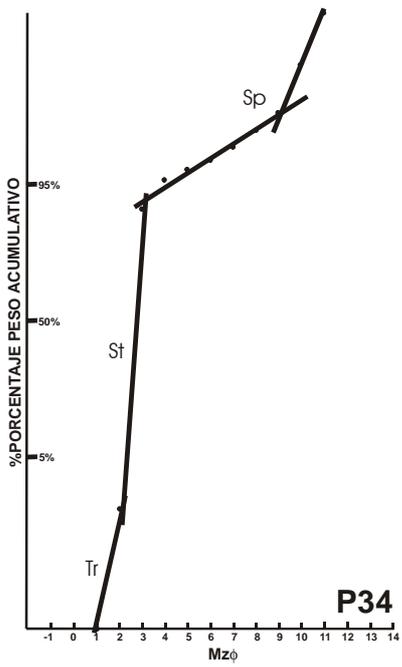


Figura 44. Gráficas de curvas granulométricas acumulativas en época de lluvias.

En todas las estaciones en la época de *nortes*, el punto de quiebre en los sedimentos se encuentran entre los 3 y 4 $\Phi$ , dándose precisamente en este punto el área de mezcla de las poblaciones en saltación y suspensión, en donde el tamaño de los sedimentos cambian de arenas finas a limos, en donde la fuerza del medio circundante permite la suspensión de este tipo de sedimentos. En las estaciones P18 y P25 se encuentra la mayor población de sedimentos en suspensión con un 87.2 y 82.0% (figuras 38 y 39), de peso acumulativo, en donde la energía en la desembocadura del río permite la suspensión causada por la turbulencia del río en el tamaño del grano en el rango de arenas muy finas de menos de 1mm (0 $\Phi$ ), y también en rangos de limos gruesos y medios, en donde se nota en las graficas de las figuras 38 y 39, que las áreas de punto de quiebre se encuentran de 2 a 4 $\Phi$ , no cabe duda que estas estaciones al estar directamente en la desembocadura del río, son influenciadas por la turbulencia del río, que influye en el transporte de partículas en suspensión sin importar mucho el tamaño del grano del sedimento, en donde granos de arenas medios pueden ser también removidas y que se encuentran limitadas en su movimiento hacia el norte de la desembocadura en la época de *nortes*, aunque los vientos generados en esta época limitan la distribución de la población de sedimentos en suspensión, en donde al incrementarse la fuerza del oleaje provocados por los *nortes*, afecta a los sedimentos provocando poblaciones en saltación hacia la desembocadura y por consiguiente también los sedimentos más finos son confinados al área de la desembocadura.

Las muestras obtenidas en época de lluvias indican una fuerte influencia de las poblaciones en suspensión por acción de una mayor turbulencia en la descarga del río en todas las estaciones y que no está restringida en una área más pequeña por la acción con una mayor energía del oleaje, provocada por los vientos durante los *nortes*, también se puede ver en todas las graficas una similitud en su distribución acumulativa con respecto al tamaño gráfico promedio de las muestras, notándose en las curvas acumulativas en 21 de las 24 muestras su punto de truncación de las poblaciones en suspensión y saltación esta entre los 3 y 4 $\Phi$  (arenas medias-finas y limos), a excepción de las muestras P4, P5, P7, P20, P22 y P23, en donde el punto de quiebre se encuentra entre los 1 y 2 $\Phi$  en el Mz $\Phi$ , estas muestras se ubican más alejadas de la desembocadura del río y tal vez el movimiento de partículas con un tamaño de grano

mayor se debe a la mayor energía del oleaje y la profundidad, que al causarse el desequilibrio de la ola con el fondo a -32 m de profundidad, provoca la turbulencia y la agitación del sedimento en el fondo provocando la resuspensión de este material de mayor tamaño, aunado a otros factores como corrientes litorales y el aporte de carga de sedimentos en suspensión del río Papaloapan, provocando la mala clasificación del sedimento en estas estaciones.

En las restantes muestras aunadas a las muestras con un punto de quiebre entre 1 a  $2\Phi$ , indican una uniformidad entre las poblaciones en suspensión y saltación, en donde la población en suspensión se encuentra en promedio en el 70%, (Fig. 43), oscilando en algunas estaciones el punto de quiebre de la curva acumulativa entre el 95 al 30% de peso acumulativo.

En las estaciones P5, P32 y P34, se tienen pequeñas poblaciones en tracción, en las dos primeras estaciones con menos del 1%, indicando una fuerte energía del oleaje que provoca la tracción en el sedimento de arenas medias con valores del  $Mz\Phi$  de 1 a  $2\Phi$ , en la estación P34 indica un valor algo mayor de casi 2% en la curva acumulativa, pero también nos indica dos ambientes con diferencia de energía del medio en donde se tienen dos poblaciones en suspensión con una acumulación del 5%, este particular muestra se debe a que representa la acción de dos diferentes condiciones de transporte que presumiblemente produce las dos poblaciones en suspensión separadas, debido a ambientes de energía diferenciales más bajas, que provocan se depositen materiales en suspensión influenciadas por los aportes de materiales finos por el río y la energía de corrientes litorales que aportan materiales en suspensión más finos.

En resumen el área está influenciada en época de lluvias por la influencia de la carga del río con poblaciones en suspensión, en donde esta población tiende a tener un mayor desplazamiento en toda el área, a comparación en la época de *nortes*, donde la distribución de las poblaciones en saltación y suspensión tienen un arreglo en las isoclasas más uniforme (Figs. 45 y 47), ya que las poblaciones en suspensión tienden a ser del 90% en la desembocadura del río y lógicamente es al revés en la población en saltación, también se nota que las muestras entre más se alejan de la desembocadura, la fuerte energía del medio circundante del océano provoca el movimiento de partículas del sedimento con un mayor  $\Phi$ .

Tabla 5. Tipos de población del sedimento.

Muestras época de <i>nortes</i>					Muestras época de Lluvias				
Muestra	%Tr	%St	%Sp	T	Muestra	%Tr	%St	%Sp	T
P04	0.02	97.68	2.30	100	P4	0	49.6	50.4	100
P06	0.01	96.09	3.90	100	P5	0.004	41.2	58.8	100
P07	0.07	97.93	2.00	100	P6	0	22.5	77.5	100
P07B	0.00	99.90	0.10	100	P7	0	81.9	18.1	100
P08	0.02	98.78	1.20	100	P8	0	4.96	95.04	100
P08B	0.00	97.60	2.40	100	P9	0	14.1	85.9	100
P09	0.04	98.96	1.00	100	P10	0	4.11	95.89	100
P11	0.09	98.91	1.00	100	P11	0	2.34	97.66	100
P18	0.04	12.76	87.20	100	P18	0	8.36	91.64	100
P20	0.00	99.40	0.60	100	P19	0	2.14	97.86	100
P21	0.00	100.00	0.00	100	P20	0	74.8	25.2	100
P21B	0.00	98.90	1.10	100	P21	0	48.5	51.5	100
P22	0.01	85.29	14.70	100	P22	0	92.1	7.9	100
P23	0.01	92.20	7.80	100	P23	0	93.1	6.9	100
P25	0.01	17.29	82.70	100	P24	0	3.57	96.43	100
P32	0.01	93.29	6.70	100	P25	0	15.5	84.5	100
P34	0.20	96.10	3.70	100	P32	0.1	77.9	22	100
P35	0.03	87.57	12.40	100	P33	0	15.9	84.1	100
P35B	0.23	62.87	36.90	100	P34	1.95	89.15	8.9	100
x	x	x	x	x	P35	0	21.5	78.5	100
x	x	x	x	x	P36	0	7.78	92.22	100
x	x	x	x	x	P37	0	4.96	95.04	100
x	x	x	x	x	P38	0	62.1	37.9	100
x	x	x	x	x	P39	0	32.7	67.3	100

En las graficas en lluvias, se percibe la influencia de la energía de las olas conteniendo una cantidad variable de arenas media-finas y limos, la característica de estas curvas incluyen áreas con mal clasificados sedimentos en áreas con poblaciones en tracción y una mejor clasificación en poblaciones en suspensión, y además, casi todas las muestras indican un variable porcentaje en las áreas de truncación, la cantidad de mayores poblaciones en suspensión en la época de lluvias está influenciada con la proximidad de una fuente de depósitos de sedimentos finos, que en este caso son proporcionados por la cuenca del río Papaloapan y la laguna de Alvarado.

Una causa más del aporte mayor en la proporción de poblaciones de sedimentos en suspensión en la época de lluvias, es el drenaje de numerosos ríos en la región que

aportan materiales finos y que son distribuidos por las corrientes litorales, en donde son influenciadas por las condiciones físicas locales como la forma de la costa y la plataforma en el área de estudio, también ciertas condiciones en la suspensión de los sedimentos en los *nortes* están en relación a los procesos de una mayor energía del oleaje y la profundidad, que provoca una mejor clasificación del sedimento, provocando un más estrecho rango en las poblaciones en suspensión en esta época.

La población en saltación de material más grueso se mezcla con materiales en suspensión en las dos épocas, en donde el quiebre se da por cambios en el patrón de energía de los ambientes fluvio-lagunar y marino, aunado al tamaño del grano, así el proceso de la energía de las olas mantiene una interface de depósito agitada que mantiene las mezclas de poblaciones en suspensión y saltación, que también dependen de los factores físicos característicos en la desembocadura del río Papaloapan.

Así se nota en la época de lluvias en la figura 46, como las isoclinas guardan una saltación en menor porcentaje en la desembocadura del río con un 10% solamente en comparación con un 90% en suspensión, también es notorio que las isoclinas no guardan una simetría en su distribución en las poblaciones en suspensión y saltación como ocurre en los *nortes* (Fig. 45), en donde es notoria la influencia de varios factores en la energía que provoca áreas de mayor y menor energía, sobre todo en donde parece ser que la descarga del río produce corrientes que distribuyen sedimentos en saltación a ambos lados de la desembocadura.

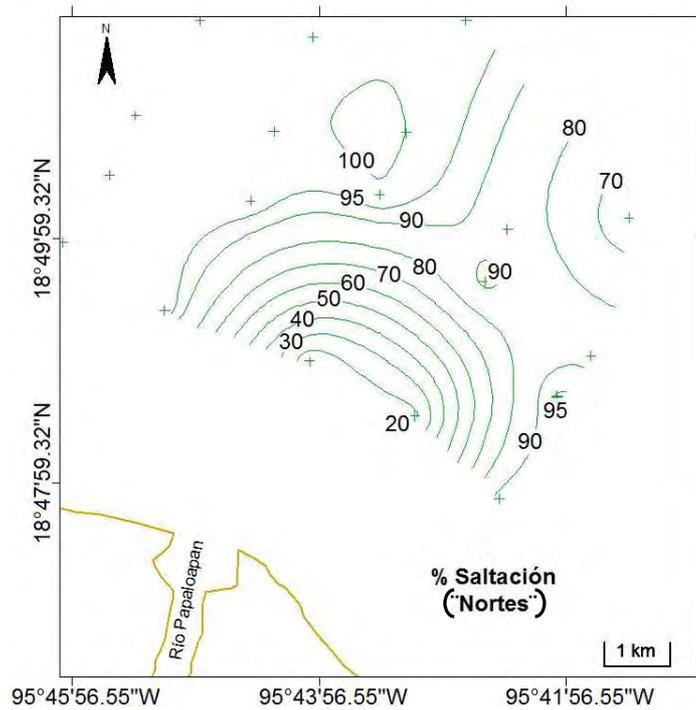


Figura 45. Poblaciones de los sedimentos en saltación en época de *nortes*.

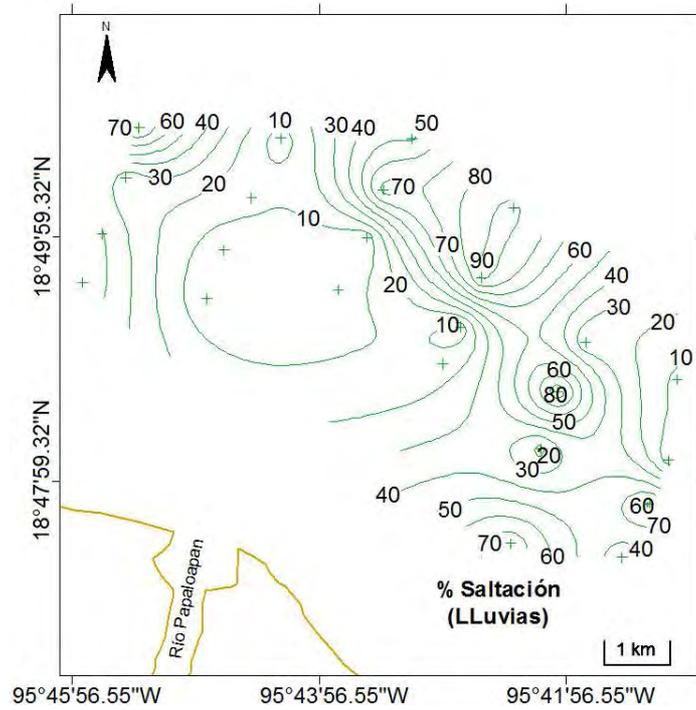


Figura 46. Poblaciones de los sedimentos en saltación en época de lluvias

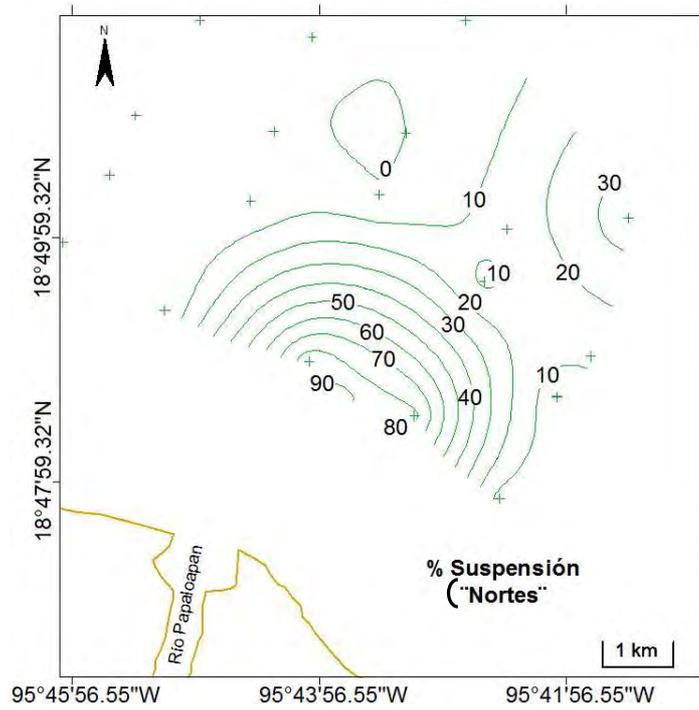


Figura 47. Poblaciones de los sedimentos en suspensión en época de *nortes*.

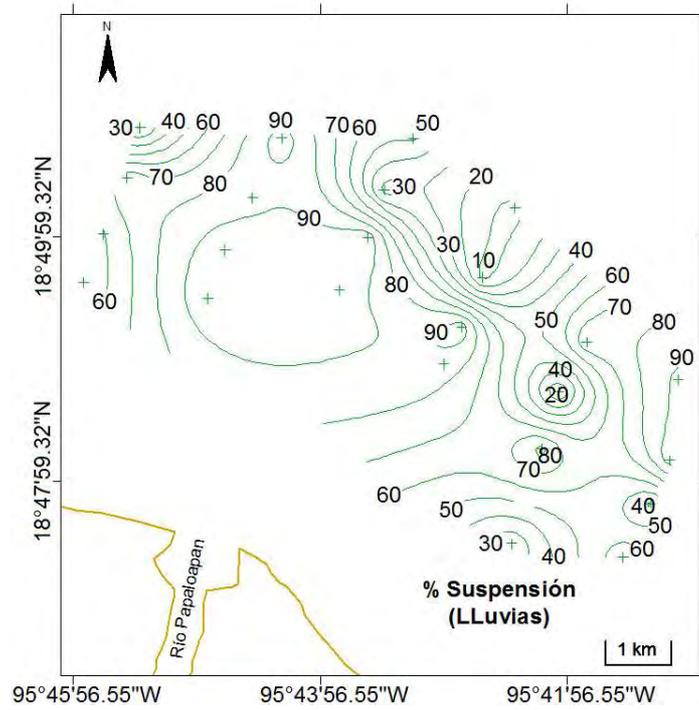


Figura 48. Poblaciones de los sedimentos en suspensión en época de lluvias

## ESTUDIO MINERALÓGICO Y DE PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS

### Estudio mineralógico

La composición mineralógica de los sedimentos muestra que el área está fuertemente influenciada por la litología que conforma la cuenca del río Papaloapan, que como es bien sabido, es la principal fuente de aporte de sedimentos en la plataforma continental en el área de estudio.

El estudio de la fracción arenosa obtenida para su petrología fue obtenida solamente en la época de *nortes*, ya que fue posible por el predominio de sedimentos arenosos en contraste con la época de lluvias en que no fue posible esto debido a la escasez de sedimentos gruesos, ya que en esta época se encontraron sedimentos muy finos que hizo imposible su estudio en laminas delgadas.

Se analizaron ocho clases petrológicas que correspondieron a las características geológicas del área; cuarzo monocristalino (Qm), cuarzo policristalino (Qp), feldespatos plagioclasas (Fp), feldespatos potásicos (Fk), fragmentos de roca (FR), micas (M), pedernales (P) y minerales pesados (MP), en la tabla 6, se indican sus porcentajes contabilizados en las laminas delgadas. Se procedió a contabilizar en forma conjunta los *cuarzo monocristalino* y *cuarzo policristalino* para obtener los índices de madurez mineralógica y también se procedió de la misma forma con los Fp y Fk, estos últimos contabilizándose como feldespatos totales.

El análisis cualitativo de las arenas colectadas durante el muestreo tuvieron características muy significativas que contrastan con sus fuentes de aportes, las muestras de arena de la plataforma continental tuvieron un índice del 43% de cuarzo, ya sumados los cuarzos monocristalinos y cuarzos policristalinos, El resto son fragmentos de roca con un 42%, y el 15% las clases petrológicas restantes. Estas arenas tienen un promedio en todas sus muestras los granos de 2.60 ( $Mz\Phi$ ), entrando en el rango de arenas finas.

Estas se derivan de dos fuentes de aporte, en primer lugar el cuarzo es el elemento mineralógico más abundante en el área de estudio, éstos provienen probablemente de depósitos recientes cuaternario aluviales que se localizan al occidente de la cuenca por donde escurre el río Papaloapan en la provincia fisiografica

Tabla 6. Porcentaje de las clases petrológicas de los sedimentos.

Muestra	%Qm	%Qp	%Fp	%Fk	%FR	%P	%M	%M.P.
P04	37	5	10	0.3	36	5	2	5
P06	45	2	3	0.0	42	2	2	4
P07	28	2	5	0.3	50	2	8	5
P07B	35	5	6	0.0	41	3	3	7
P08	47	1	3	0.0	36	1	5	8
P08B	30	2	3	0.0	57	5	1	2
P09	41	2	3	0.0	39	1	3	11
P11	33	4	1	0.7	57	1	1	3
P18	35	2	3	0.0	48	1	2	8
P20	43	5	7	0.3	33	4	1	6
P21	48	1	3	0.0	36	1	2	8
P21B	27	2	4	0.0	58	2	1	6
P22	49	0	1	0.0	36	1	1	12
P23	50	1	5	0.3	34	0	1	9
P25	48	5	5	0.3	34	2	0	6
P32	43	5	6	1.0	37	2	1	5
P34	41	1	6	0.0	46	0	1	5
P35	51	2	6	0.0	35	1	0	5
P35B	40	5	4	0.0	38	1	2	11

conocida como llanura Veracruzana, y conglomerados polimícticos cuarcíferos Tm (Cg), al norte de la presa Miguel Alemán, al sur de la cuenca. Los cuarzos forman parte de los esquistos micáceos cretácicos de color verde, generalmente constituidos por minerales de moscovita, clorita, cuarzo, hematita, magnetita y pirita, con vetillas de cuarzo muy deformadas. Además, forman parte de rocas sedimentarias calizas y esquistos localizados al sur de la cuenca, en las laderas de la Sierra Madre del Sur, en donde por acción de los escurrimientos superficiales son transportadas hasta la plataforma continental (INEGI, 1994).

Los minerales de cuarzo depositados en el área, tienen que ver con la morfología de la cuenca del río Papaloapan, sufriendo una gran disgregación los sedimentos, ya que han recorrido grandes distancias característicos de un margen pasivo como es la gran llanura aluvial de Veracruz (Figuras. 49 y 50).

En la figura 51, los cuarzos se distribuyen casi uniformemente por toda el área de muestreo, viéndose una disminución en su concentración en la parte norte, la más alejada de la desembocadura, esto tal vez causado por el efecto de los *nortes*, ya que el

oleaje provocado por los fuertes vientos, empuja a los granos compuestos de minerales más ligeros como el cuarzo y sufren una limitante a distribuirse más hacia el norte por esta causa.

Otra probable fuente de aporte, son las composiciones del material donde se asienta la plataforma costera, donde tal vez se localizan dunas relicto formadas por arenas cuarcíferas que una vez estuvieron emergidas, ya que el nivel del océano fue menor durante las última glaciación, después el nivel aumento, siendo desgastadas por el oleaje ( -32 m de profundidad), esto se nota en la figura 52, en donde se observa la forma que toma la distribución de los cuarzoes en el área.

También se encontró que las concentraciones mayores de cuarzoes, siguen paralelas al contorno de la línea actual de costa, indicando esto relictos de líneas de costas antiguas. Otra fuente de aporte pueden ser las dunas que se localizan en la costa en el área del sistema de dunas de Alvarado, ya que la acción de los vientos y las lluvias pueden causar el movimiento de granos de arenas cuarcíferas a la plataforma continental.

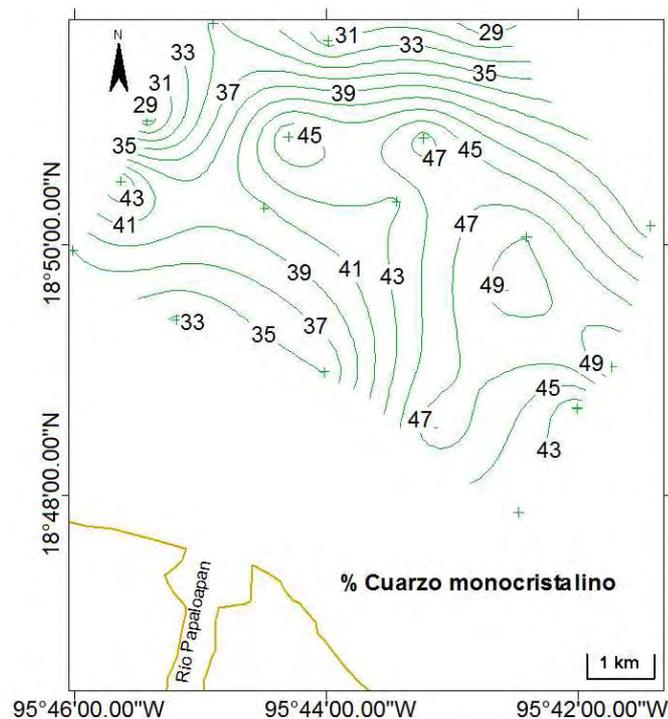


Figura 49. Distribución de cuarzoes monocristalinos en el área de estudio.

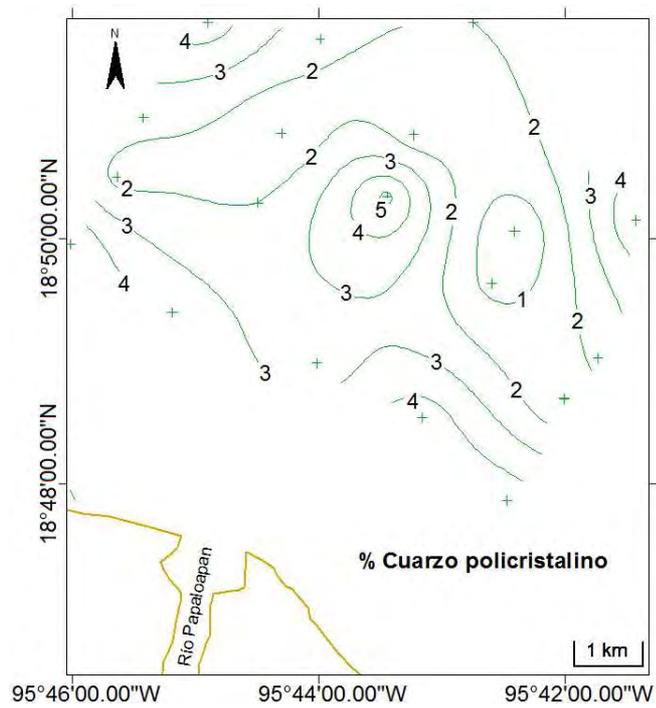


Figura 50. Distribución de cuarzoes policristalinos en el área de estudio.

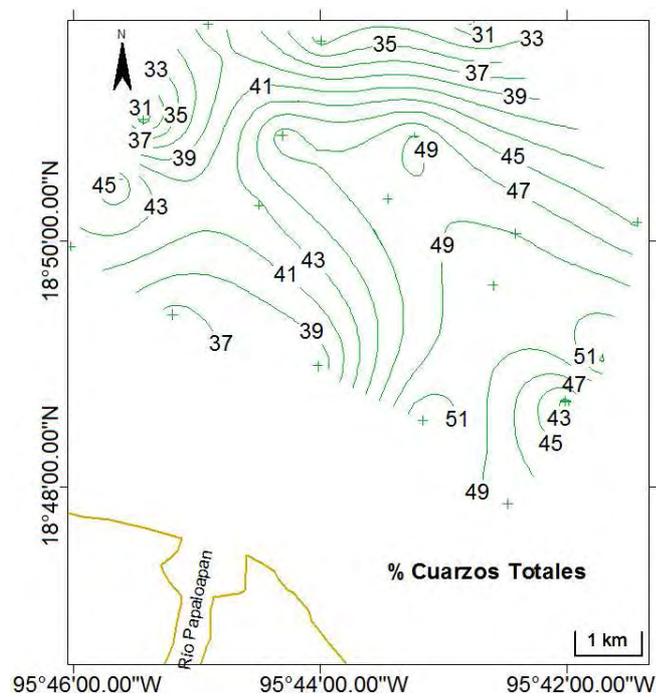


Figura 51. Distribución de cuarzoes totales en el área de estudio.

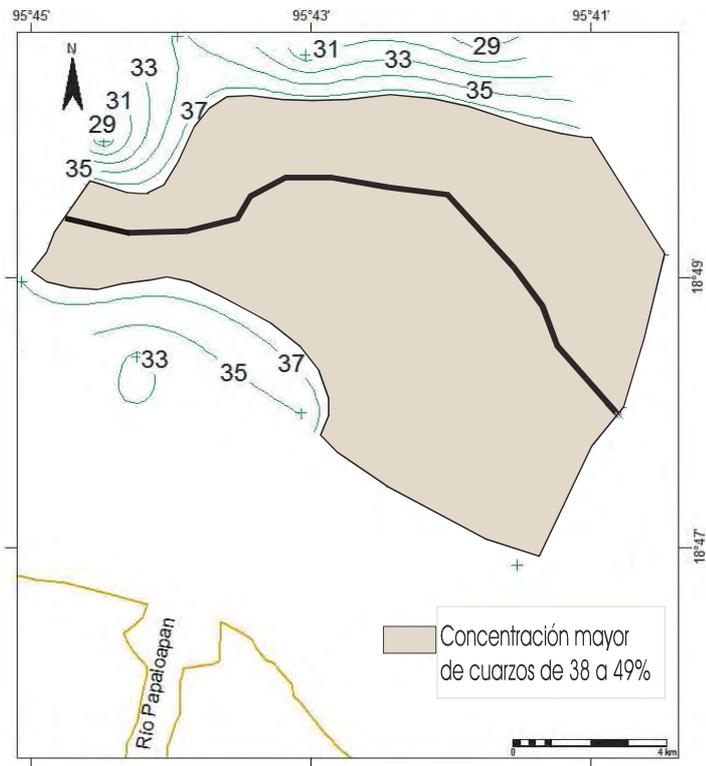


Figura 52. Mapa que muestra en la línea negra la distribución y contorno de costas antiguas.

La segunda clase petrográfica más abundante fueron los fragmentos de roca con tamaños de grano similares a los cuarzos, al analizarse en el microscopio petrográfico demostraron estar formados en una gran mayoría por basaltos, encontrándose muy pocos ejemplares de fragmentos de rocas sedimentarias, es seguro que estos últimos se encuentran limitados en su transporte al ser atrapados por los sistemas de presas Miguel Alemán y Miguel de la Madrid Hurtado

Hay que resaltar que las presas sirven como trampas de sedimentos, que al occidente de la cuenca en sus partes altas, el sistema hidrológico del río Papaloapan desciende por terrenos formados litológicamente por calizas del Cretácico Superior, siendo parte de la formación Tehuacán (INEGI, 1994).

Así, los fragmentos de rocas volcánicas tienen su origen en la Sierra de los Tuxtlas, donde los escurrimientos del río San Juan aportan una gran cantidad de estas

arenas que por tener un recorrido tan corto y por la naturaleza del material no alcanzan a disgregarse, a diferencia de los sedimentos que discurren por el río Papaloapan.

Los fragmentos de roca son fragmentos basáltico alcalinos, ricos en minerales máficos, ricos en Fe y Zr, conteniendo minerales pesados de magnetita, pirita y zirconio (Cabrera-Ramírez y Carranza-Edwards, 2002). En una pequeña proporción también estas arenas provienen del Cinturón Volcánico Transmexicano, ya que el río Blanco nace en las faldas del Pico de Orizaba y seguramente aporta en pequeñas proporciones fragmentos de roca volcánica basáltica, que al recorrer una distancia mayor algunos de estos granos ya llegan disgregados en cuarzos.

La distribución en la plataforma continental sigue un patrón contrario al encontrado en la distribución de la concentración de los cuarzos, donde es notoria una mayor distribución de los fragmentos de roca hacia las partes más alejadas al occidente de la desembocadura, donde se encuentran los mayores valores de concentración (Fig. 53).

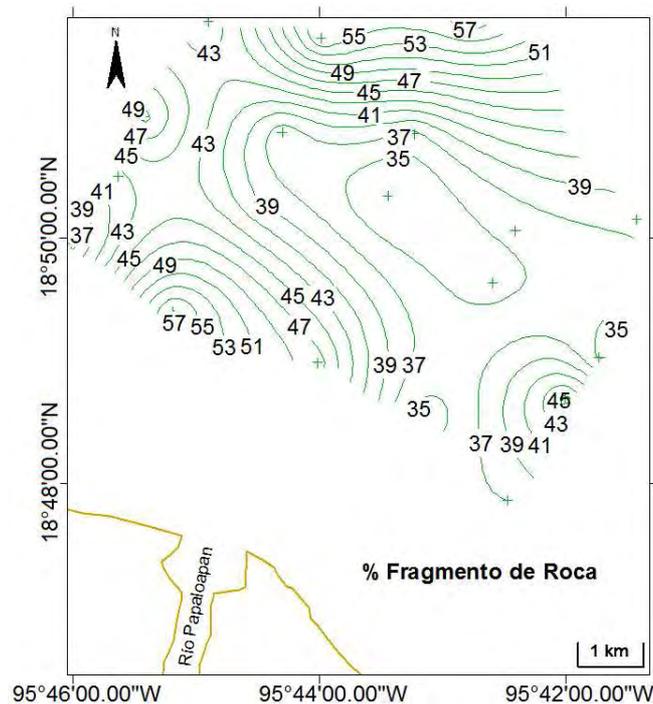


Figura 53. Distribución de fragmentos de roca en el área de estudio.

En el norte del área son notorios valores mayores, esto es debido que al contener los fragmentos de roca volcánico minerales ferromagnesianos con un peso específico

mayor en comparación a los granos más ligeros formados por minerales de cuarzo, los granos de los fragmentos de roca tienen un impacto menor en su movimiento provocado por olas impulsadas por los vientos en los *nortes* y que permiten una concentración en su distribución más lejana de la desembocadura del río Papaloapan. En el caso de la desembocadura, tal vez se debe al incremento de la energía por las crecidas del río que permite el transporte de granos más ligeros de cuarzo a comparación de los granos de fragmentos de roca más pesados que se depositan en esta parte.

La composición petrográfica presentada en la tabla 6, fue representada en un diagrama triangular con los vértices C-F-FR, mostrando la posición de cada estación dentro del triángulo del ambiente sedimentario del área de estudio. La forma en la composición petrográfica muestra una amplia dispersión hacia las litoarenitas basándose en triángulo petrográfico de Folk (1974) (Fig. 54), en la dirección C-FR, la dispersión hacia esta dirección está en relación a las diferencias petrológicas en la mineralogía de los sedimentos.

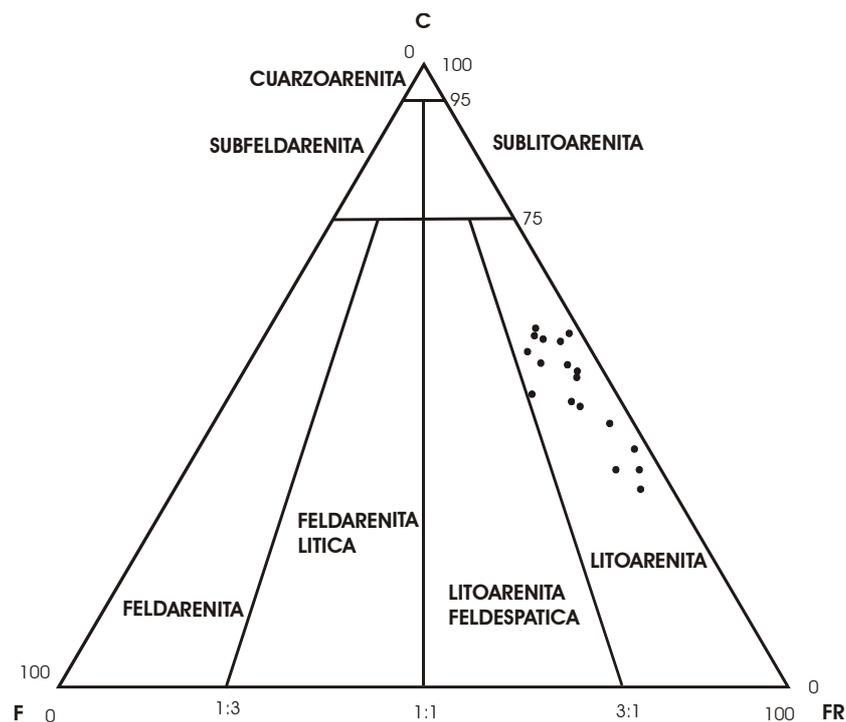


Figura 54. Triángulo basado en Folk (1974), donde se puede observar la petrología de la fracción arenosa en época de *nortes*.

Puede observarse que la mayoría de las muestras se encuentran a medio camino entre los puntos C y FR (Figura, 54), y una parte menor hacia F, demostrando la pauta

en la composición mineralógica de las muestras, donde en el triangulo se notan las distintas composiciones y fuentes de procedencia de la mayoría de los sedimentos en el área, en donde los granos compuestos de cuarzos tienen un recorrido mayor y provienen de ambientes de costas de ambientes tectónico pasivos y que han recorrido grandes distancias en la Llanura de Veracruz, mostrando una gran madurez textural.

Las muestras que se dispersan hacia FR, tienen una mayor concentración de arenas de fragmentos de roca de composición volcánica basáltica, proviniendo de ambientes que han recorrido una menor distancia, y que tienen una menor madurez textural, proviniendo de fuentes volcánicas cercanas, que forman parte de un antiguo margen activo durante su formación.

Las estaciones P4, P7B y P34 indican una composición de la misma cantidad en su composición petrográfica de cuarzo y líticos, las estaciones P7, P8B, P11, P18 y P21B, tienen una mayor composición de líticos, pareciendo no tener ninguna correspondencia en su posición respecto a los eventos en la desembocadura del río, solo que las estaciones P11 y P18 se encuentran más cerca de la desembocadura, al parecer son influenciadas por la turbulencia del río, que parece ser la causa de su distribución en este punto.

Entre las matrices de las clases petrográficas, se correlacionaron entre sí ocho variables entre los componentes mineralógicos (Tabla 7), donde solo se encontró una correlación significativa, destacando la abundancia de Q y FR, por lo que presentaron entre sí una correlación inversa. Se nota en la tabla que esta sobrepasa el índice de correlación  $n-2=17$   $99\%=0.575$ , las otras matrices no mostraron una correlación muy buena como se puede apreciar en la tabla 7.

Esta muestra claramente la correlación cuarzos-fragmentos de roca, la grafica indica que entre más concentraciones de cuarzo hay, menor cantidad en la concentración de fragmentos de roca se encuentran en el área de estudio, la línea de tendencia central muestra muy claramente el descenso de un tipo a expensas de otro (Fig. 55).

También esta correlación se puede ver en aspectos espaciales de como es su distribución en el área, en los mapas de isocuantas de las figuras 56 y 57, se sombrearon las áreas con un mayor porcentaje mineralógico de cuarzo y de fragmentos de roca,

notándose claramente las estaciones hacia el norte y más alejadas a la desembocadura del río Papaloapan, se encuentran las mayores concentraciones de fragmentos de roca, indicando la probabilidad de su procedencia por medio de corrientes litorales del río Jamapa, las concentraciones que se notan al sureste del área, provienen de los escurrimientos de la sierra de los Tuxtlas. Hacia el sur se encuentran en la parte más cercana a la desembocadura del río, en las isoclinas con el mayor porcentaje de cuarzos, y en la parte central del área de estudio se interpolan zonas con las mayores concentraciones de ambas.

Esta distribución tal vez se deba al mayor contenido de minerales pesados que tienen los fragmentos de roca, estando compuestas por rocas basáltico máficas, con minerales que se observaron al microscopio de magnetitas y minerales ferromagnesianos que en el análisis petrográfico mostraron una coloración totalmente oscura, estos minerales son más pesados y tienden a ser menos influenciados por el movimiento de las olas durante los fuertes vientos provocados por los *nortes*, y la acción de las corrientes litorales que se desplazan de sureste a noreste, en cambio los cuarzos, al ser más ligeros, tiene un menor peso específico que los hace ser más vulnerables al movimiento ocasionado por la energía del océano y por eso tienden a acumularse en dirección al oleaje durante los *nortes*, más concretamente hacia la desembocadura del río Papaloapan.

Tabla 7. Correlación petrológica del área de estudio (n= 19-2, 99%=0.575).

	%Qm	%Qp	%Fp	%Fk	%FR	%Pedernal	%Micas	%M.P.
%Qm	1	-0.2268	0.0000	-0.0430	<b>-0.8395</b>	-0.3512	-0.3554	0.3851
%Qp		1.0000	0.5630	0.4919	<b>-0.1299</b>	0.5667	-0.1245	-0.2621
%Fp			1.0000	0.2854	-0.3590	0.5423	-0.0182	-0.2853
%Fk				1.0000	-0.0378	0.0369	-0.0525	-0.3521
%FR					1.0000	0.0450	0.1053	-0.4984
%Pedernal						1.0000	-0.0582	-0.3909
%Micas							1.0000	0.1040
%M.P.								1

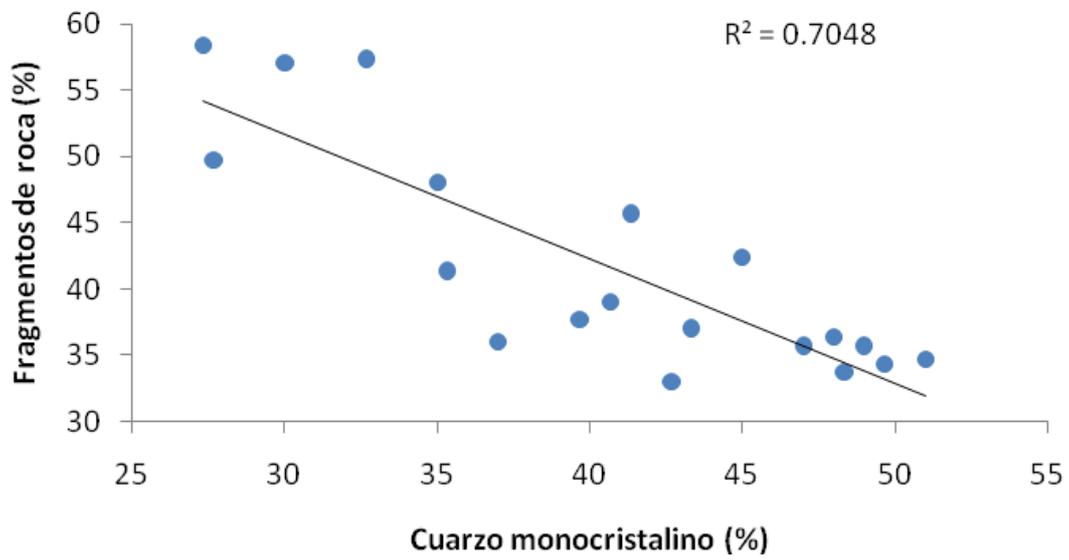


Figura 55. Correlación cuarzo-fragmentos de roca.

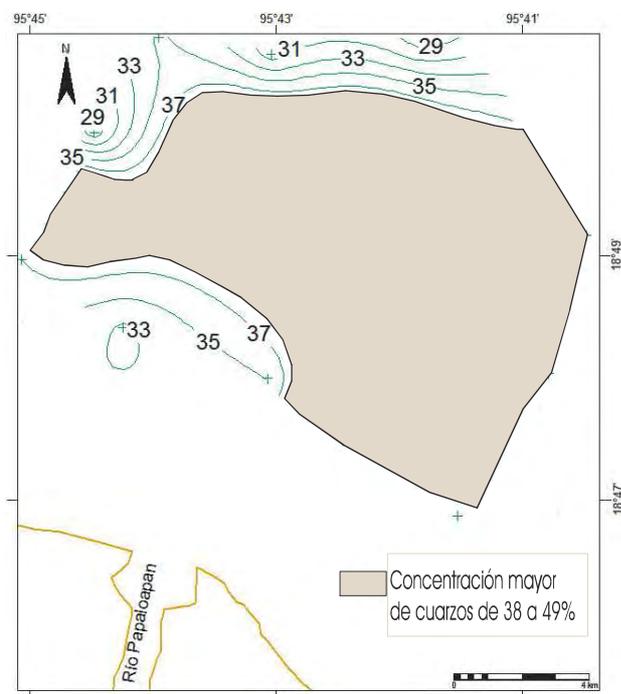


Figura 56. Concentraciones mayores de cuarzo.

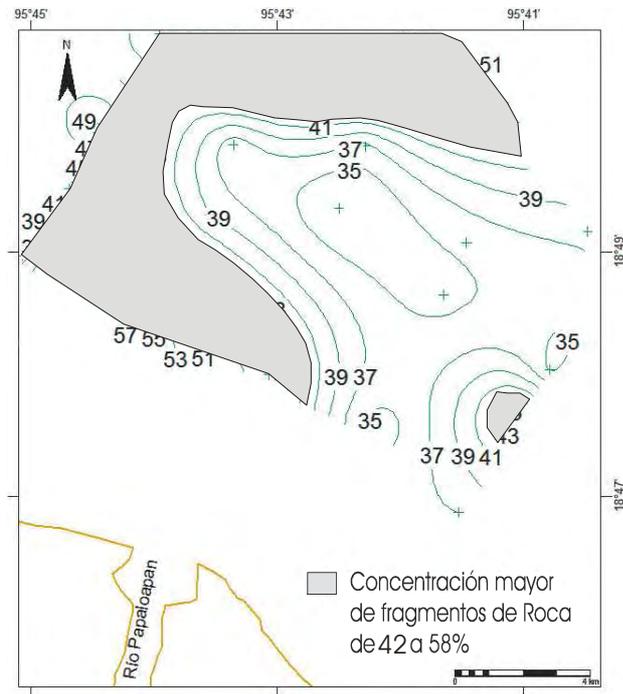


Figura 57. Concentraciones mayores de fragmentos de roca.

En lo que se refiere a otras clases mineralógicas encontradas en el área de estudio, no dejan de ser importantes por encontrarse en menor cantidad, así se tienen los aluminosilicatos conocidos como feldespatos plagioclasas (Fp) y potásicos (Fk). Las plagioclasas son minerales feldespáticos ligeros ricos en aluminio con agregados de sodio y calcio, según el predominio de estos obtiene diferentes nombres. El total de granos de arena encontrados con este mineral en esta clase petrológica en toda el área de estudio fue del 4%, teniendo una distribución uniforme, encontrándose la mayor concentración hacia los lados de la desembocadura del río, al parecer donde hay una menor influencia de la turbulencia provocadas por las descargas del río, como se nota en el mapa de isocóncas de la figura 58, la menor concentración se encuentra en las partes donde el río tiene la mayor influencia al descargar en el océano

Estos sedimentos al parecer provienen de basaltos, en donde los Fp son componentes esenciales, el área de donde provienen es de la sierra de los Tuxtlas, en donde el río San Juan-Tesechoacan escurre desde las laderas de estos edificios volcánicos, donde no han recorrido grandes distancias y no han sufrido gran

disgregación los granos, pero en general las características litológicas de la cuenca aporta estos minerales de esta clase petrológica.

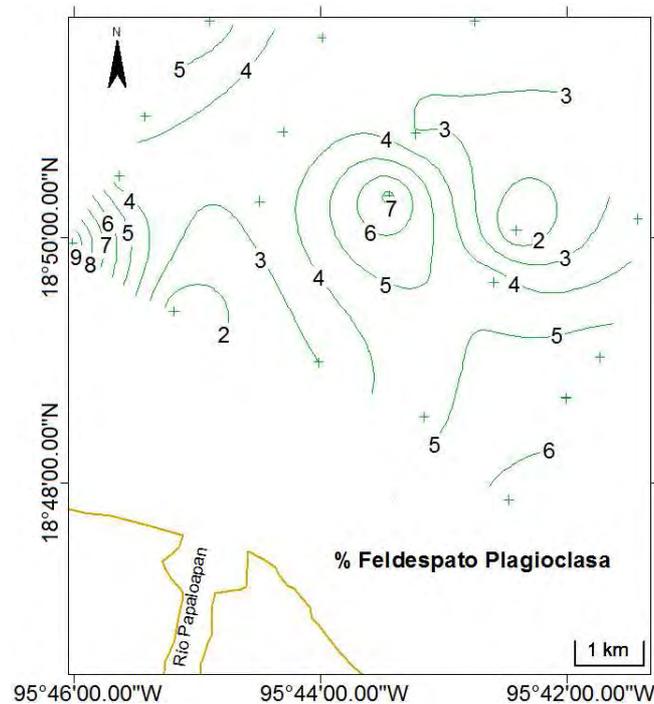


Figura 58. Distribución de feldespato plagioclasas.

Los feldespato potásicos fueron la clase petrológica menos abundante del área con solo el 0.2% de total del área de estudio, son minerales con todas las características mineralógicas de las plagioclasas, pero se diferencian por que cuentan con componentes ricos en potasio. Tienen una distribución que se concentra en las partes más cercanas a la desembocadura del río, encontrándose una nula concentración en las estaciones más alejadas de la costa, como se aprecia en el mapa de isoclasas de la figura 59. Esto tal vez se deba a que es afectado por las características del oleaje en la época de *nortes* que caracteriza a la plataforma continental en esa época. Estos sedimentos proceden (Fig. 2 del mapa litológico sintetizado), de rocas metamórficas (esquistos) ricas en feldespato. El escurrimiento de los ríos que provienen de las partes más altas de la Sierra Madre del Sur es posible que transportan este tipo de sedimentos, pero en la actualidad están represado por dos grandes sistemas de presas mencionadas anteriormente, lo que es una explicación al escaso número de granos de arena con esta

composición mineralógica, debido a que estos sedimentos quedan atrapados en las cortinas de estas presas, llegando a escapar muy pocos al curso bajo del río para llegar al océano.

Para poder elaborar el índice de madurez textural y de procedencia se hizo la suma de de feldespatos plagioclasas y potásicos, para obtener los feldespatos totales que se nota su distribución en la figura 60, donde su concentración más alta se da al occidente del área de estudio, donde las isoclinas dan valores de hasta 10%, influida su concentración tal vez por el oleaje y a las corrientes litorales provocadas por los vientos en la época de *nortes*.

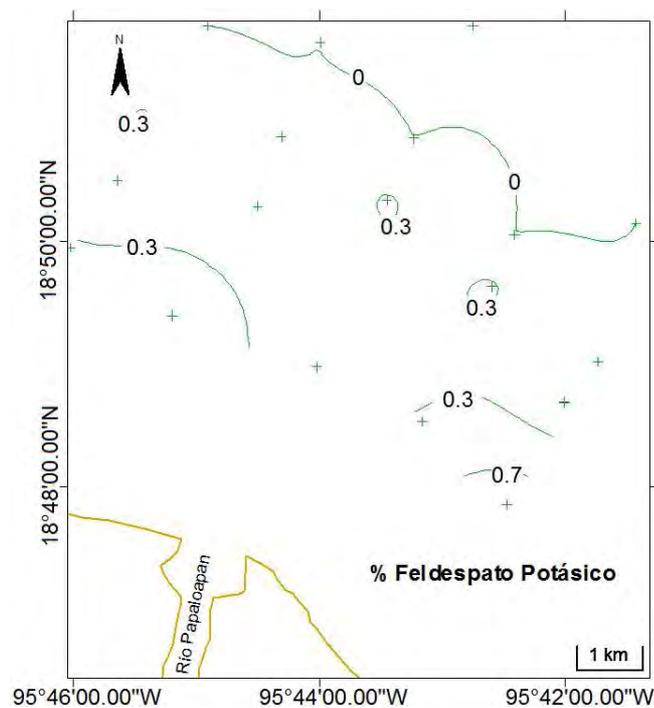


Figura 59. Distribución de feldespatos potásicos.

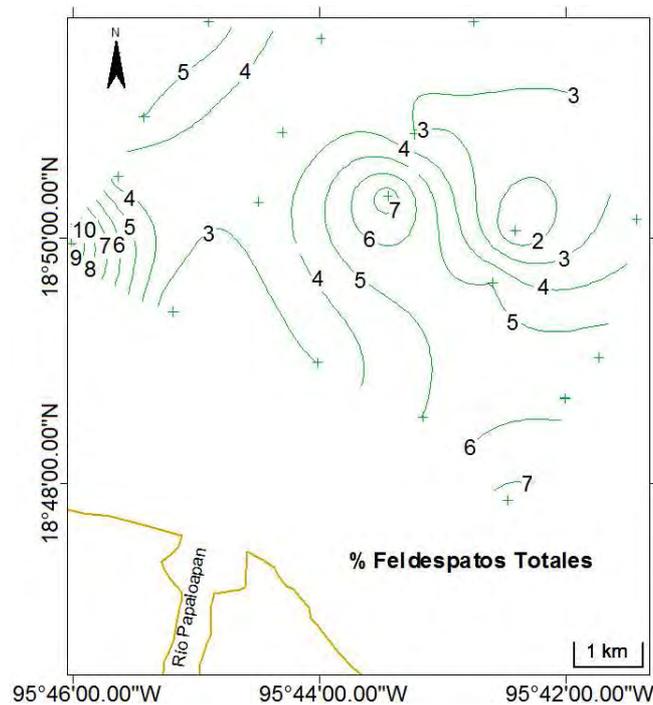


Figura 60. Distribución de feldespatos totales.

Los minerales pesados (MP) ocupan el 7% de las clases petrológicas en el área, están formados por minerales ferromagnesianos como hornblendas y magnetitas. Las hornblendas son un silicato ferromagnesiano, hidratado de calcio, aluminio y sodio, se les encuentra en muchas regiones que forman la litología en la cuenca del Papaloapan, sobre todo son componentes esenciales de minerales conocidos como anfíboles que se encuentran en rocas de dos de las unidades más representativas al sur de la cuenca, que son los esquistos y gneises encontradas en los flancos de la sierra de Juárez que forma parte de la Sierra Madre del Sur (INEGI, 1994).

También otra zona de aporte es la sierra de los Tuxtlas, donde se encuentran rocas basálticas ricas en Fe, conteniendo minerales de magnetita, pirita y zirconio, además de minerales de anfíboles, los principales componentes de hornblendas.

En el mapa de la figura 61, se nota la distribución de los MP, los cuales tienen una concentración mayor al centro del área de estudio, tal vez asociados con la concentración mayor de arcillas, con una menor concentración hacia las orillas del área, influidas poco por el oleaje en esta época del año y que al poseer un mayor peso

especifico dificultan una mayor distribución en el área en comparación a otros minerales encontrados en el área.

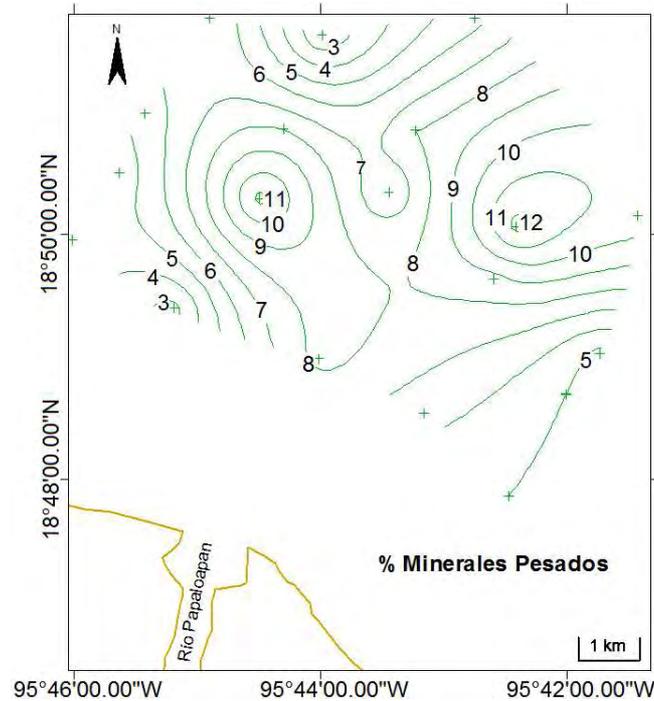


Figura 61. Distribución de minerales pesados.

Otra clase petrológica encontrada en el área de estudio fueron las micas (M), en su gran mayoría fueron del tipo de las biotitas, y en menor medida moscovitas, ocupando el 2% del área total. Están formadas por filosilicatos de aluminio con cantidades variables de potasio (moscovita), y ferromagnesianos (biotitas).

Las biotitas son componentes principales de rocas eruptivas y metamórficas, aportadas seguramente por una de las unidades más representativas al sur de la cuenca del Papaloapan, que son los esquistos micáceos cretácicos de color verde-café y generalmente constituidos por los minerales antes mencionados, además de clorita, cuarzo, hematita, magnetita y piritita, (INEGI, 1994).

La zona de aporte se localiza aflorando en el flanco oriental de la sierra de Juárez, donde los afluentes de los ríos en la partes altas drenan hacia la presa Miguel de la Madrid Hurtado, donde los sedimentos disgregados que contienen granos de micas en

forma de hojuela, en su transporte sean retenidos en la presa, pero unos pocos logran llegar a escapar al curso bajo del Papaloapan.

Se nota en el mapa de la figura 62, la distribución que tienen en el área, donde hay una concentración de menor a mayor del sureste al noroeste del área, debido seguramente a la forma de este tipo de sedimentos que provoca una mayor resistencia al hundimiento y a su consecuente depositación en el fondo, por lo que se transportan en suspensión influidos por los oleajes de los *nortes*, además de las corrientes litorales características del área.

También las corrientes litorales pueden aportar granos de micas arrojados desde el noroeste por los ríos Jamapa y la Antigua, aumentando su concentración a ocho por ciento en este punto.

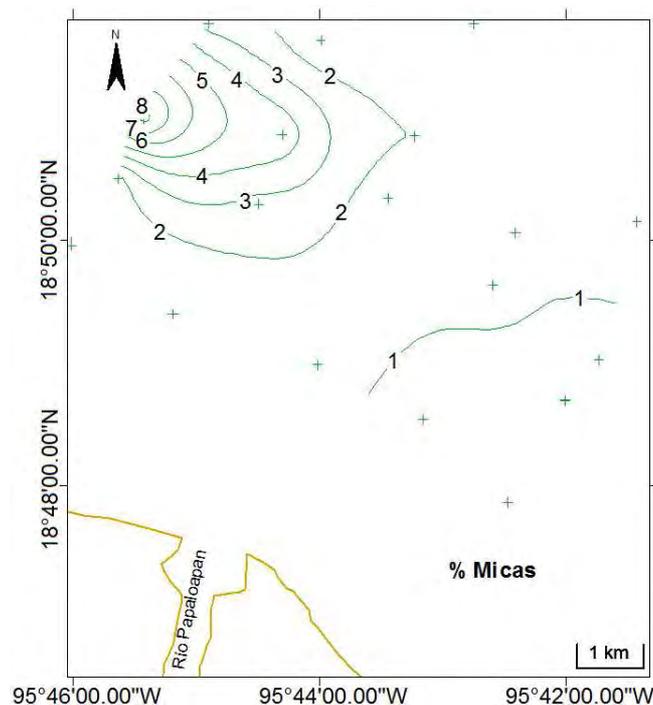


Figura 62. Distribución de micas.

La clase petrologica de pedernales (P) ocupó tambien solo el 2% del área total de estudio, es una concrecion sílicea, formada por acumulacion de organismos síliceos de diatomeas que sedimentan en ambientes marinos. En el microscopio petrográfico los

granos adquirieron una tonalidad moteada, los Pedernales forman nodulos, lentes o capas intercaladas en las calizas, al ser mas resistente afloran al erosionarse estas ultimas, su procedencia tiene lugar en las unidades litológicas que ocupan mayor superficie en el occidente de la cuenca, como las calizas del Cretácico Superior Ks (Cz), esta unidad incluye la formación Tehuacán, que es una caliza rojiza, presentando nódulos de pedernal dispuesta en capas de más de un metro de espesor, de facies pelágicas, arrecifal y de radiolarios (INEGI, 1994).

Su distribución es uniforme en el área de estudio que se observa en la figura 63, encontrandose una mayor concentracion hacia la parte mas alejada de la desembocadura y hacia las estaciones ubicadas al oeste del área de estudio, los granos de estas arenas también han sufrido un largo transporte, mostrando una fuerte denudación desde su lugar de procedencia.

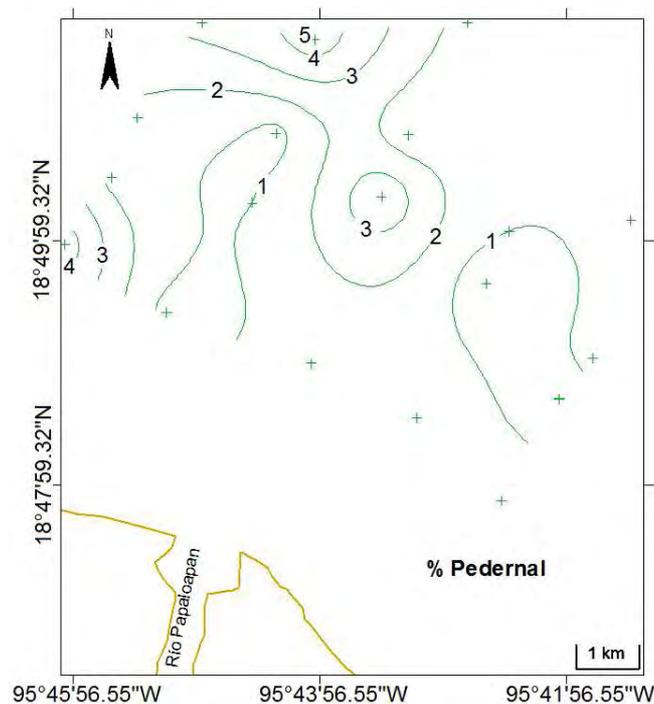


Figura 63. Distribución de pedernal.

### Procedencia

La composición mineralógica es un indicador de la madurez mineralógica y la procedencia de los sedimentos arenosos (Pettijohn, 1975.; Folk, 1974), En la tabla 8, se

puede observar la madurez mineralógica y el índice de procedencia de cada muestra y un promedio total del área.

Tabla 8. Madurez mineralógica e índice de procedencia de cada muestra y un promedio total del área. Se resaltan los valores mayores que el valor promedio del propio conjunto de datos.

Muestras	QT	Ft+FR	Im	Muestra	Ft%	%FR	Ip
P04	42.0	46.3	0.906	P04	10.3	36.0	<b>0.287</b>
P06	46.7	45.7	<b>1.022</b>	P06	3.3	42.3	0.079
P07	30.0	54.7	0.549	P07	5.0	49.7	0.101
P07B	40.0	47.0	0.851	P07B	5.7	41.3	<b>0.137</b>
P08	48.0	38.7	<b>1.241</b>	P08	3.0	35.7	0.084
P08B	32.3	60.0	0.539	P08B	3.0	57.0	0.053
P09	42.7	42.3	<b>1.008</b>	P09	3.3	39.0	0.085
P11	36.3	59.3	0.612	P11	2.0	57.3	0.035
P18	37.3	51.0	0.732	P18	3.0	48.0	0.063
P20	48.0	40.7	<b>1.180</b>	P20	7.7	33.0	0.232
P21	49.3	39.3	<b>1.254</b>	P21	3.0	36.3	0.083
P21B	29.3	62.3	0.471	P21B	4.0	58.3	0.069
P22	49.0	36.7	<b>1.336</b>	P22	1.0	35.7	0.028
P23	50.3	39.3	<b>1.280</b>	P23	5.0	34.3	<b>0.146</b>
P25	53.0	38.7	<b>1.371</b>	P25	5.0	33.7	<b>0.149</b>
P32	48.3	44.3	<b>1.090</b>	P32	7.3	37.0	<b>0.198</b>
P34	42.3	51.3	0.825	P34	5.7	45.7	<b>0.124</b>
P35	53.3	40.3	<b>1.322</b>	P35	5.7	34.7	<b>0.163</b>
P35B	44.7	41.3	<b>1.081</b>	P35B	3.7	37.7	0.097
		Prom	0.983			Prom	0.116
		D. E.	0.296			D. E.	0.068

De acuerdo con las formula del índice de madurez mineralógico  $Q/(F + FR)$  propuesto por Pettijohn (1975), si el resultado tiene valores altos se trata de sedimentos ricos en cuarzo, así estos valores indicados son esperados en áreas de márgenes continentales inactivos, donde tierras bajas y grandes distancias en el transporte son responsables de estos enriquecimientos de cuarzo.

El caso contrario ocurre donde las fuentes de aporte recorren cortas distancias, indicando un margen activo tectónico y que presentan granos en su mayoría compuestos por fragmentos de roca. Así se obtuvieron en el área valores bajos en la

madurez mineralógica que se esperan para un margen activo y altos que son esperados en costas de márgenes inactivos.

Los sedimentos de la plataforma continental en el área presentan dos diferentes ambientes en sus fuentes de aporte. Estos diferentes ambientes se notan en el índice de madurez mineralógica ( $I_m$ ) y de procedencia ( $I_p$ ), obteniéndose un promedio de  $I_m=0.983$  y un  $I_p=0.116$  (Tabla 8), las estaciones que están debajo del promedio de madurez mineralógica, indican una más baja madurez mineralógica y de procedencia, formando parte de un margen activo y que han recorrido una menor distancia, como los Fragmentos de roca provenientes de la Sierra de los Tuxtlas).

En cambio, las estaciones que se presentan en la Tabla 8, con un promedio mayor en su índice de madurez mineralógica (arriba de 0.983  $I_m$ ), provienen de un margen pasivo y que han recorrido amplias distancias (Llanura costera de Veracruz), mostrando un mayor enriquecimiento de cuarzos en su composición.

En la figura 64, se indica espacialmente la distribución de las muestras con un mayor índice en su madurez mineralógica, Se observa en las zonas sombreadas representan los sedimentos cuyo ( $I_m=C/(F+FR)$ ), es mayor que el promedio del total de muestras, indicando que estos sedimentos son más ricos en cuarzo, en comparación con las muestras que indican un índice de madurez mineralógica más bajo, y que contienen un alto contenido de fragmentos de roca.

Las flechas indican que su concentración en el centro del área de estudio es consecuencia de la energía del medio en lo que se refiere a los procesos del transporte, debido que en este ambiente sedimentario, las estaciones de muestreo en el centro del área indican una menor energía en relación a las estaciones que están influidas por el oleaje provocado por los *nortes* y aunado a la profundidad en las estaciones periféricas al norte y oeste del área.

Similar distribución se nota en las estaciones más cercanas a la desembocadura, donde la energía de las crecidas del río al desembocar remueve los granos relativamente más ligeros de cuarzos y feldespatos, manteniéndose en ese lugar una mayor cantidad de granos de fragmentos de roca volcánica basáltica con un peso específico mayor, ya que están compuestos por minerales más pesados como olivinos,

viéndose lo mismo en las estaciones más al norte, donde las olas provocadas por los *nortes* remueven los granos más ligeros de cuarzo.

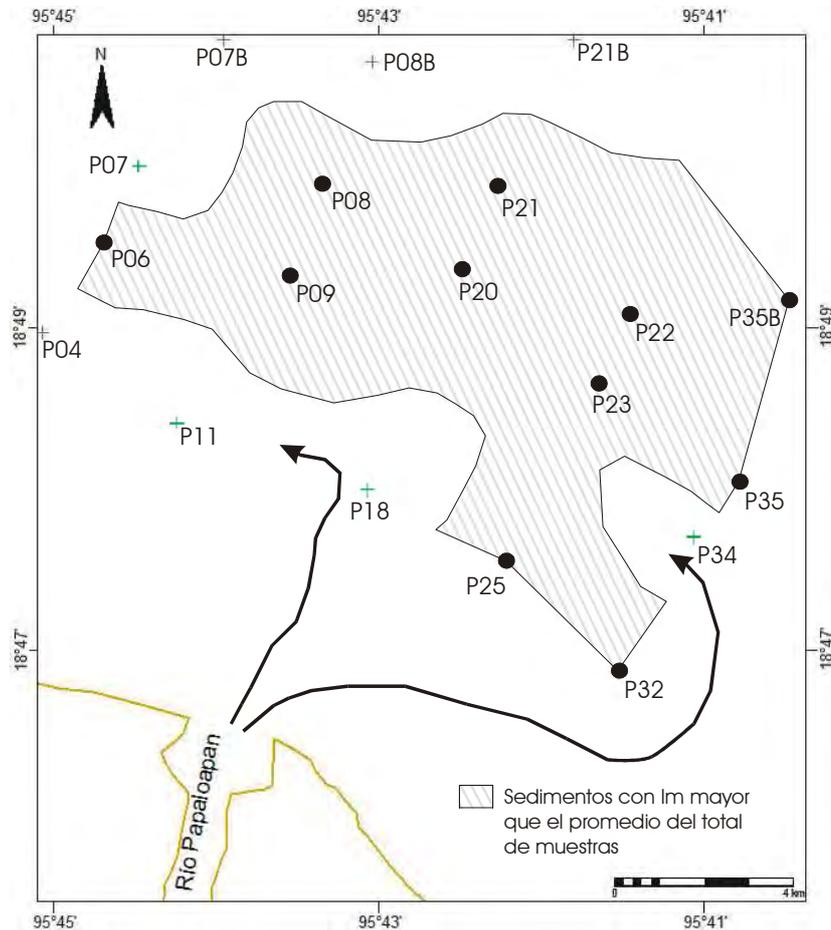


Figura 64. Los puntos en las áreas sombreadas representan sedimentos cuyos  $I_m$  ( $I_m = C/F + FR$ ) son mayores que el promedio del total de muestras.

El índice de madurez mineralógica indica también la procedencia de los dos ambientes en las arenas del área, así en la tabla 8, se notan las muestras con un valor mayor del promedio total de las muestras del índice de procedencia ( $P_i = F/FR$ ) sugerido por Pettijohn (1975), las muestras por encima de  $I_p = 0.116$  del índice de procedencia, son sedimentos de la Cuenca de Veracruz con altos valores que muestran un bajo relieve y una gran distancia en el transporte, destacándose las características de la

tectónica regional, con minerales de procedencia de emplazamiento profundo e infracortical, con características del ambiente de aporte de la cuenca del Papaloapan.

En cambio las estaciones que están por debajo de  $I_p = 0.116$  muestran una procedencia de emplazamiento supracortical que forman parte de sedimentos que provienen de un alto relieve y corta distancia en su transporte, características de un margen activo en su formación (Fig. 65).

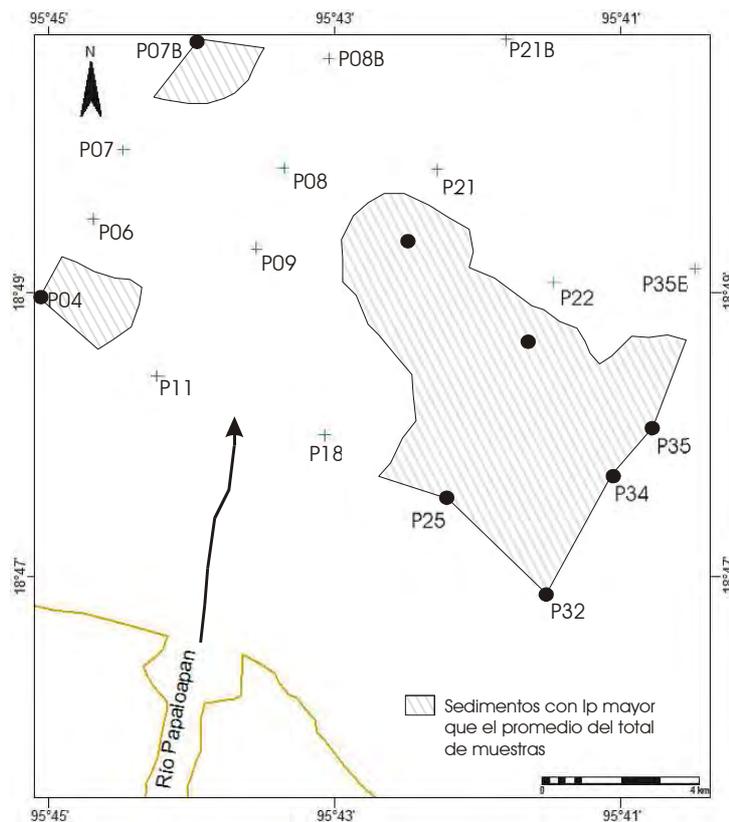


Figura 65. Los puntos en las áreas sombreadas representan sedimentos cuyos  $I_p$  ( $P_i = F/FR$ ) es mayor que el promedio del total de muestras.

### Color de los sedimentos

El sistema Munsell es el que se utilizó para comparar las 19 muestras en época de *nortes* y 24 en la época de lluvias en el área de estudio. La medición del color se

realizó bajo dos condiciones fluctuantes dependiendo del contenido de humedad y suelo seco.

En el área de estudio el color del sedimento húmedo en *nortes* solo mostro dos tipos, el gris olivo y gris olivo oscuro (Fig. 66). En estas condiciones el sedimento puede contener glauconita, además este color también indica presencia de minerales de anfibolitas, cloritas y minerales arcillosos que provienen de rocas volcánicas basálticas. También la presencia de materia orgánica en el sedimento puede incidir en esta coloración. El color gris es indicativo de un ambiente anaeróbico, que al llegar el sedimento a la plataforma continental se satura de agua y se desplaza el oxígeno del espacio poroso del sedimento. En las condiciones antes mencionadas las bacterias anaeróbicas aprovechan el Fe férrico ( $Fe^{3+}$ ), presente en los minerales de la goetita, como un aceptor de electrones para su metabolismo. Por este proceso se genera la forma reducida del ion Fe ferroso ( $Fe^{+2}$ ), que es soluble en agua e incoloro. La pérdida de pigmentos deja un color gris en la superficie del mineral en los sedimentos del área (Ovalles, 2003).

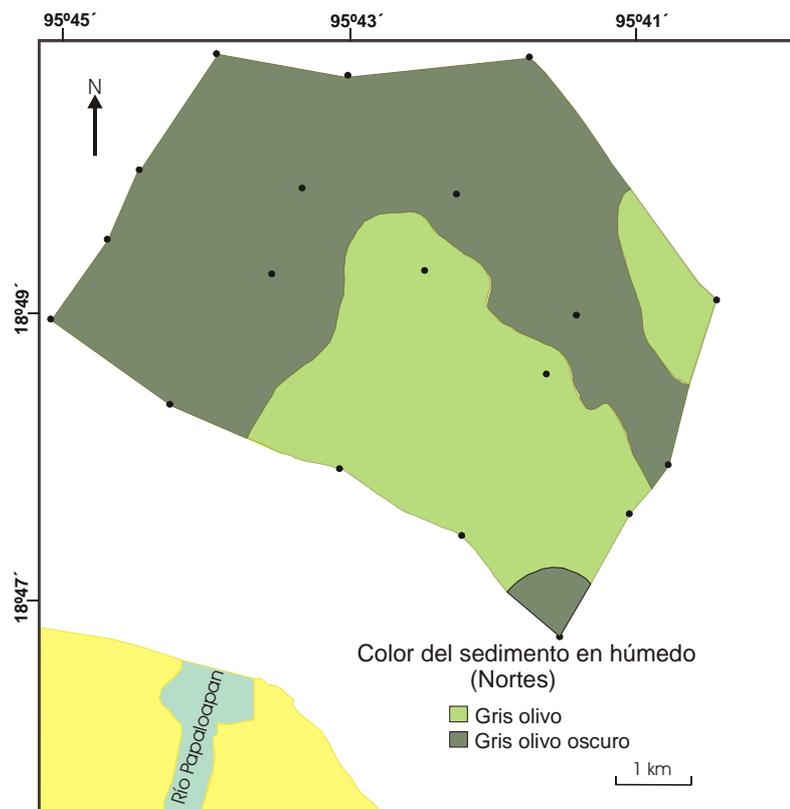


Figura 66. Color de los sedimentos en húmedo en época de *nortes*.

La distribución de los sedimentos según su color, indica que el color gris olivo se encuentra en estrecha relación con la desembocadura del río, desplazándose hacia el sureste por la acción de las corrientes litorales, también este color se localiza en la parte más profunda del área de estudio. En lo que respecta al gris olivo oscuro, se localiza en la parte más alejada de la desembocadura y también hay una pequeña parte de este hacia el sureste, también influenciada su distribución por las características de las corrientes litorales.

Los sedimentos en seco en la época de *nortes*, presentaron los colores que se indican en el mapa (Fig. 67), en donde aparte de los colores grises claros encontrados en los sedimentos en húmedo, se encontraron grises pardos, amarillentos claros y pálidos.

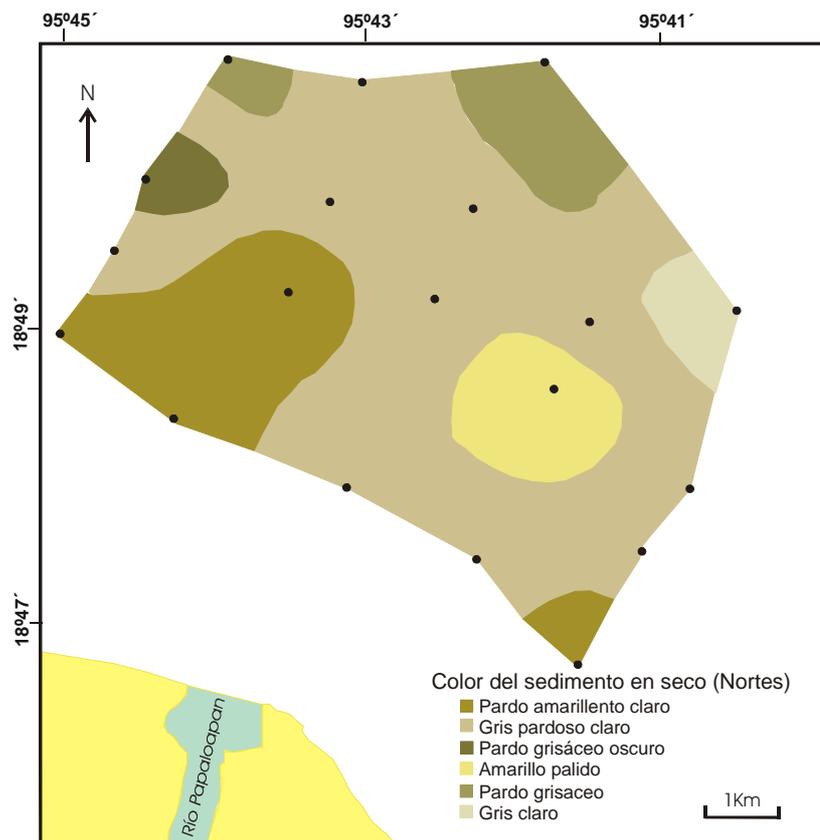


Figura 67. Color de los sedimentos en seco en época de *nortes*.

Además de las características de los compuestos minerales de los colores ya vistos en húmedo, en seco los colores amarillos indican una composición de minerales

de goethita y jarosita, indicativo de ambientes aeróbicos (oxidación), donde grandes cristales de estos materiales le dan este color al sedimento, mientras que los cristales pequeños le dan una tonalidad parda. El color amarillento se asocia con presencia de óxidos hidratados de  $Fe^{3+}$ . Los colores pardos se asocian a condiciones de niveles medio a bajos de materia orgánica parcialmente descompuesta combinada con óxidos de Fe (Ovalles, 2003).

El color gris pardo claro es el predominante en toda el área y también en estrecha relación con la desembocadura del río Papaloapan. El gris claro se localiza en la parte más profunda de la plataforma continental en el área muestreada y los pardos amarillentos en las partes menos profundas al igual que ciertas áreas donde se encuentran sedimentos pardos amarillentos claros.

El color de los sedimentos en la época de lluvias mostró una diferencia sustancial, encontrándose una mucha menor variabilidad en la cantidad de colores a comparación del color del sedimento en la época *nortes*, debido tal vez a que la energía del oleaje en la época de lluvias es mucho menor que durante los *nortes*, provocando una menor resuspensión en los sedimentos. Sin embargo, hay una influencia provocada por el mayor aporte de sedimentos finos durante la crecida del río Papaloapan en la época de Lluvias, provocando una mayor uniformidad en el área de muestreo, ya que los sedimentos finos ocupan una mayor área en su depositación.

Así se tiene que los sedimentos en húmedo (Fig. 68), durante la época de lluvias presentaron una homogeneidad en casi toda el área, presentando un color gris olivo, a excepción de las partes más alejadas de la desembocadura y al oriente de las estaciones, sobre todo en la estación P37, donde se encontró el color gris oscuro, indicando un ambiente anaeróbico, como se menciona anteriormente en las características físicas y químicas de los sedimentos en la época de *nortes*.

En el área de estudio el color del sedimento húmedo en la época de lluvias solo mostró dos tipos, el olivo y olivo pálido (Fig. 69). En estas condiciones el sedimento contiene los mismos minerales que se indicaron durante los *nortes*. También el color verde olivo es influenciado por la presencia de compuestos ferrosos, proveniente de rocas con compuestos de carbonatos de calcio que le dan una coloración más clara a los sedimentos. Así se nota que este color en los sedimentos en seco, predominó en

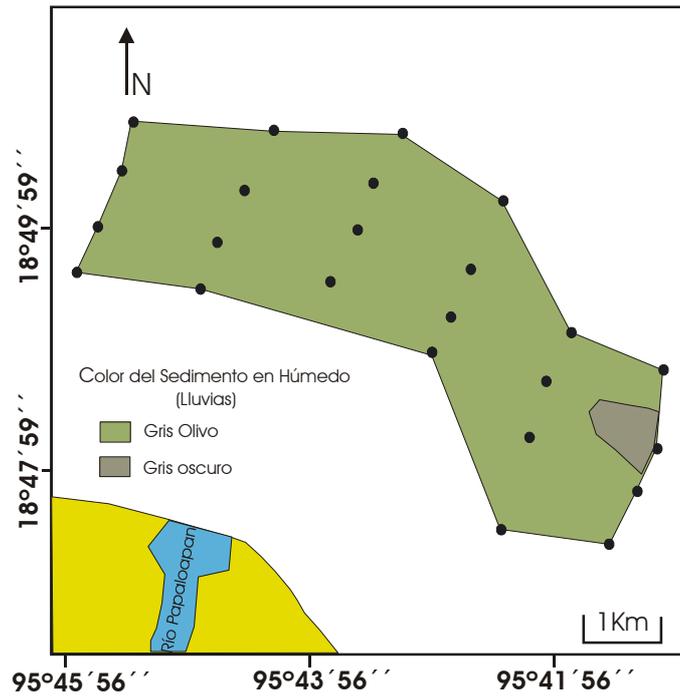


Figura 68. Color de los sedimentos en húmedo en época de lluvias.

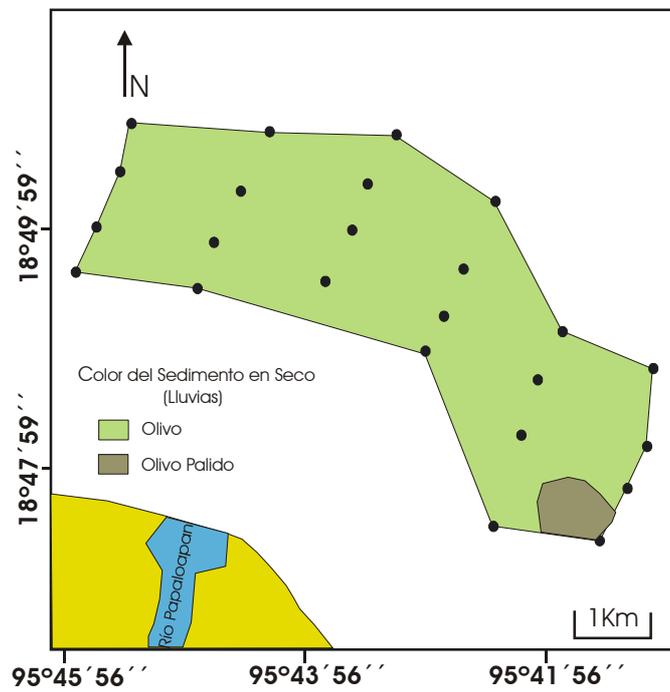


Figura 69. Color de los sedimentos en seco en época de lluvias.

toda el área de muestreo, a excepción de la estación P39 que indico una coloración olivo pálido que no se obtuvo en los sedimentos en la época de *nortes*, notándose una influencia en las corrientes y el oleaje que provocaron su acumulación en esta estación.

### Elementos Mayores y Traza

Para obtener los elementos mayores y traza de los sedimentos, se escogieron solo cinco muestras (Tabla 9), que fueran representativas del área de estudio, se trató que cubrieran homogéneamente el área de estudio.

Los resultados de los elementos mayores de los sedimentos superficiales son mostrados en la tabla 9 y figura 76, donde se muestra que el elemento mayor predominante es el sílice ( $\text{SiO}_2$ ), con un 70.4% del total del área, este proviene de la clase petrológica predominante en el área de estudio que es el cuarzo. Otras importantes fuentes de aporte son los feldespatos y las arcillas con altas concentraciones de sílice. También la concentración de la sílice se propicia por la persistencia del cuarzo, ya que al ser un material más resistente se va acumulando en los sedimentos a través del tiempo.

Su distribución tiene una concentración mayor en las estaciones P4 y P20, mostrando una distribución hacia el centro y norponiente del área, sobre todo tiene una correspondencia con estas estaciones, ya que en estos puntos se encuentra una de las concentraciones mayores de arenas, con una composición silíceas.

Tabla 9. Elementos mayores en muestras selectas del área de estudio.

%	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MnO	MgO	CaO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	PXC	Suma
P4	73.733	0.420	10.826	3.498	0.043	1.769	3.243	2.743	1.762	0.098	1.58	99.715
P7B	70.187	0.627	10.819	4.512	0.063	2.976	4.567	2.741	1.619	0.111	1.79	100.012
P20	73.534	0.595	9.682	3.522	0.054	2.019	4.277	2.563	1.379	0.085	2.31	100.02
P32	71.144	1.006	10.549	4.756	0.069	1.750	3.445	2.553	1.745	0.117	2.95	100.084
P35B	63.543	0.680	11.911	4.192	0.073	1.907	5.614	2.599	1.820	0.122	7.47	99.931

El aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) también está presente en un porcentaje importante, formando parte de los elementos mayores del sedimento, este proviene de la lixiviación de

feldespatos plagioclasas y potásicos que forman las arcillas en los sedimentos, aunque también se encuentran presentes en los fragmentos de roca basáltica que forma parte de la litología del área, Su distribución tiene una concentración mayor en las estaciones P4, P7B y P35B, mostrando una mayor abundancia hacia el centro y oriente del área, sobre todo tiene una correspondencia con la estación P35B, ya que en este punto se encuentra una de las concentración mayores de arcillas en la parte más profunda de la plataforma continental en el área de estudio. También los elementos mayores como MgO y el CaO, además del K<sub>2</sub>O, se encuentran representados en los sedimentos por ser parte importante de las plagioclasas, que al ser intemperizadas aportan granos de sedimento con estos materiales.

Los minerales ferromagnesianos de olivinos y magnetitas representan también una importante fuente, ya que forman parte de rocas máficas, que al sufrir intemperización, aportan una importante contribución de sedimentos ricos en óxidos de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). También las magnetitas titaníferas aportan TiO<sub>2</sub>, en mayor proporción que el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pero como se puede ver en la figura 70, no hay una gran abundancia en la zona, la ilmenita es otro mineral que si tiene como elemento mayor al TiO<sub>2</sub>. Por lo general estos compuestos se encontraron en forma homogénea distribuidos en toda el área de estudio. Estos materiales proceden de rocas basálticas que son aportados en la zona por lo general por la Sierra de Los Tuxtlas.

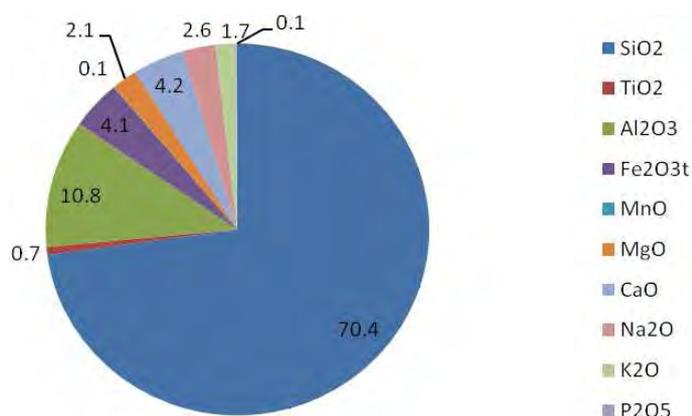


Figura 70. Porcentaje de elementos mayores en el area de estudio

Los elementos traza (Tabla 10), encontrados mas abundantemente fueron Sr y Ba, que estan asociados a la presencia de rocas volcánicas máficas con contenidos de minerales de piroxenos y olivinos, también se encuentran asociados a plagioclasas.

Tabla 10. Elementos traza en el área de estudio.

	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
	ppm													
P4	65	385	560	28	142	13	70	73	53	30	15	51	4	9
P7B	52	397	520	23	145	12	77	119	41	33	12	56	4	8
P20	53	367	442	25	186	13	70	132	58	33	15	49	4	9
P32	64	315	511	28	392	16	88	102	40	30	15	68	5	11
P35B	72	335	428	25	206	11	89	101	30	29	20	81	5	13

## GEOMORFOLOGÍA

### Batimetría

La batimetría tiene una profundidad máxima de 31 m al noreste de la plataforma continental en el área de estudio, con una pendiente suave a partir de la desembocadura del río Papaloapan (Fig. 71).

Se encuentran pequeños montículos formados tal vez por relictos de antiguas dunas costeras que podían haber estado sobre el nivel del mar y que rompen con la uniformidad del fondo, pero al subir este, quedaron cubiertas por el océano después de la última glaciación, sus alturas varían de uno a dos metros en general.

Un desnivel pronunciado se localiza en la parte más profunda, este tal vez se formó durante las crecidas del río Papaloapan, ya que al estudiar el color del sedimento, se percibieron ciertas características que indican una dispersión de material hacia ese sitio (Fig. 72).

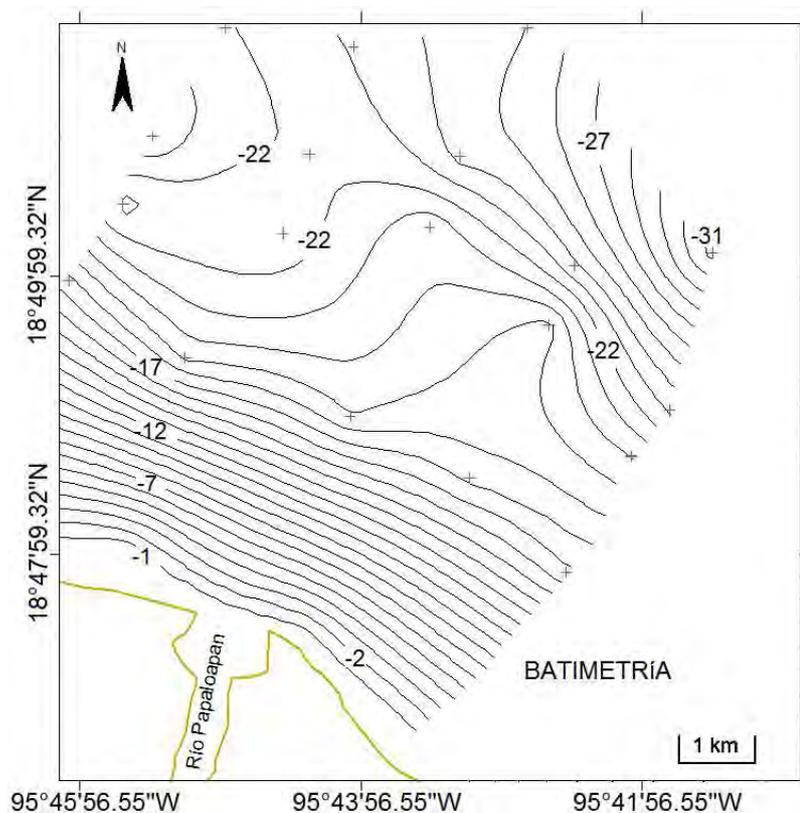


Figura 71. Batimetría del área de estudio.

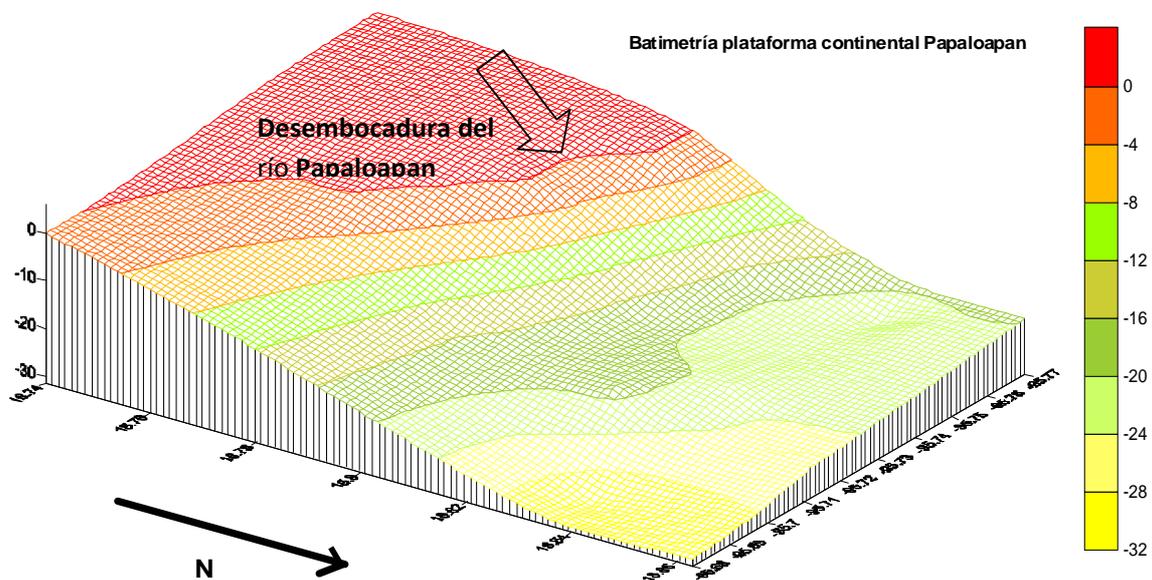


Figura 72. Desniveles topográficos de la plataforma continental en sección transversal. Profundidad en m.

En la figura 72, se observa con mayor detalle las diferencias entre los niveles topográficos de la plataforma continental. Existe una uniformidad en la pendiente hasta los -16 m de profundidad, entre los -16 y -20 m se observa un alargamiento en esta sección, debido al depósito de material sedimentario frente de la desembocadura del río Papaloapan durante las crecidas en la época de lluvias, esto se comprueba con la toma de muestras de las dos estaciones que se realizaron en este lugar que indicaron una textura lodosa (arcilla+limos), a diferencia de las restantes muestras que resultaron tener una textura arenosa en la época de *nortes*. Entre los -20 y -24 m de profundidad se percibe una elevación al noroeste de la plataforma como se menciona en la figura anterior. En la misma dirección se localizó la máxima profundidad del área de estudio con -32 m de profundidad.

### **Cartografía Morfométrica de la Cuenca del río Papaloapan**

La cuenca del río Papaloapan muestra importantes desniveles topográficos en su mapeo hipsográfico y de relieve sombreado (Figs. 73 y 74), cuya elevación mayor se encuentra a 5,605 m en el volcán Pico de Orizaba, descendiendo hasta llegar a los 0

msnm, en las costas de la llanura veracruzana. Las alturas predominantes están entre 0 y 50 msnm y de 1000 a 2000 msnm con un 43% y 38% respectivamente del total de la cuenca. Las alturas que limitan en su mayoría a la cuenca se encuentran aproximadamente a los 3000 msnm al sur, en las laderas de la Sierra Madre del Sur

Al oriente de la cuenca, se observaron alturas similares al occidente, en el límite de la cuenca en la región denominada sierra de los Tuxtlas.

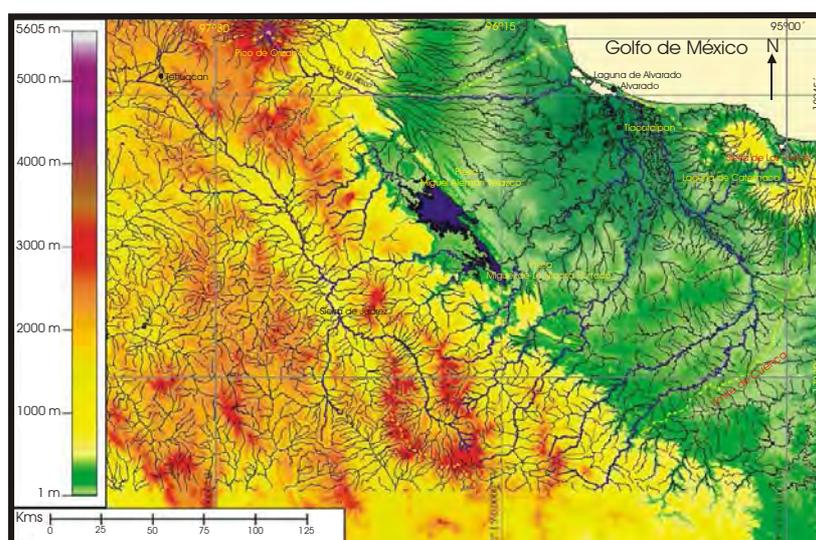


Figura 73. Mapa hipsométrico de la cuenca del Papaloapan.

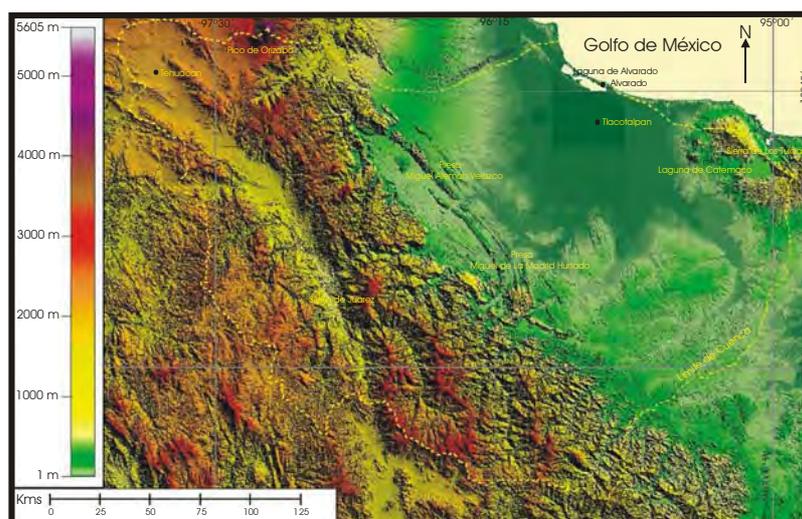


Figura 74. Mapa de relieve sombreado de la cuenca del Papaloapan.

En lo que respecta al gradiente de sus laderas, mostraron valores principales de 0 a 1° y de 16 a 24° en el 57% del total de la cuenca (Fig.75).

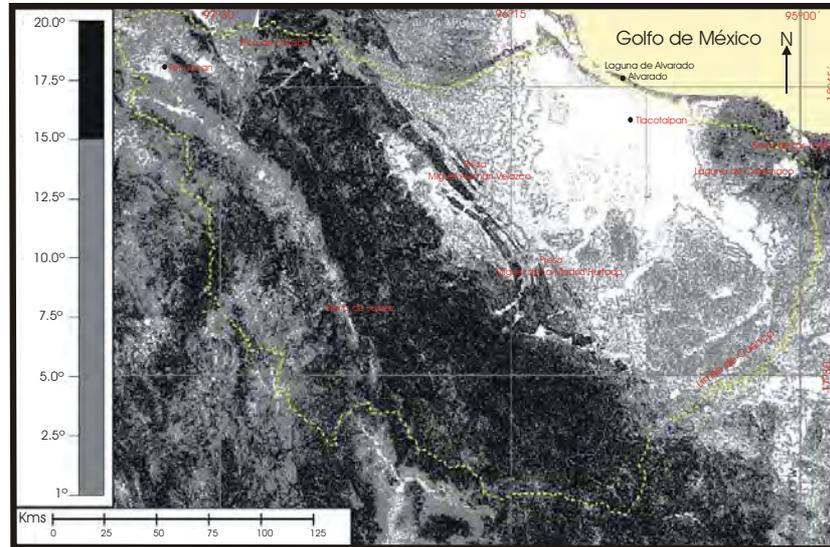


Figura 75. Mapa de pendientes de laderas de la cuenca del Papaloapan.

### Perfiles topograficos de los rios de la cuenca del Papaloapan

Es importante mencionar la geomorfología presente en los distintos ríos que drenan la Cuenca del Papaloapan, como se menciona anteriormente esta formada por varios arroyos que muestran diferentes características en la litología que cruzan, como los diversos gradientes que tienen que ver con la disgregación de los granos que se depositan en la facies sedimentarias en la plataforma continental en la desembocadura del río Papaloapan.

El río Papaloapan toma su nombre realmente a partir de las presas Miguel Aleman Velasco y Miguel de la Madrid Hurtado, donde también se le conoce como curso bajo del Papaloapan y que propiamente discurre hasta llegar a la laguna de Alvarado, pero los ríos que drenan de las partes altas de las Sierra Madre del Sur y que se le conoce como curso alto del Papaloapan, esta formado por innumerables ríos de curso joven, que presentan una fuerte pendiente que afecta las características de los granos



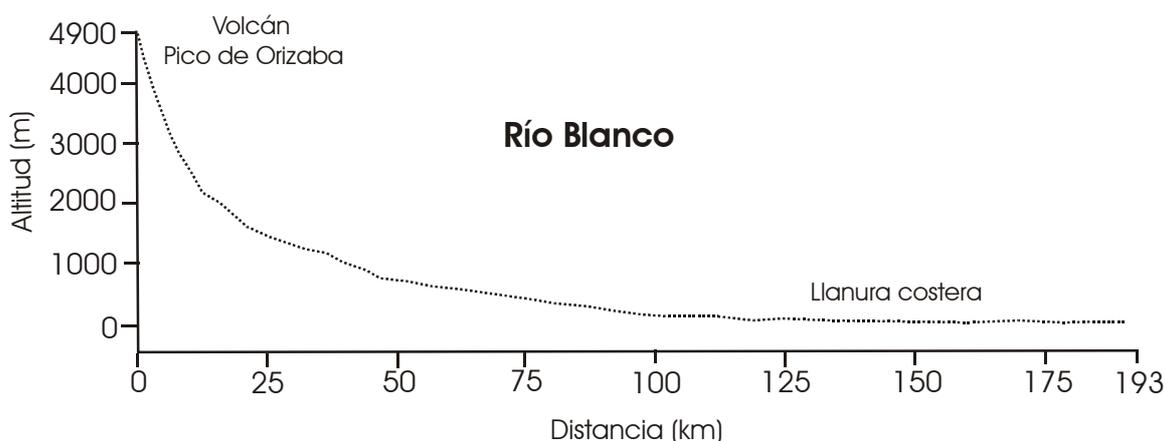


Figura 77. Perfil topográfico del río Blanco.

El sistema del río Hueyapan-San Juan (Fig. 78), es de suma importancia, ya que es uno de los pocos ríos no represados en la cuenca y que por las características litológicas donde escurre, aporta grandes cantidades de fragmentos de rocas volcánicas que provienen de la sierra de los Tuxtlas.

El río Hueyapan-San Juan aporta una gran cantidad de fragmentos de roca volcánica, ya que tiene un recorrido relativamente corto con característica de un margen activo, pero además tiene aportes directos al área de estudio, ya que las pequeñas microcuencas que tiene en sus flancos aportan directamente sus sedimentos al océano, sin tener estos granos una gran disgregación, además aporta minerales pesados característicos de las rocas maficas por donde escurre. El río muestra grandes pendientes de 24 a 32° en las estribaciones del volcán de San Martín Tuxtla, en un recorrido de 10 kms, hasta llegar a la laguna de Catemaco, donde puede estar aportando una gran cantidad de sedimento por las características de gran humedad por consecuencia de un gran intemperismo químico en las rocas del área y que provoca este tipo de ambiente. Es de resaltar en la figura 78, unos miniescalones formados por plegamientos tectónicos que cortan transversalmente el río y que forman valles colgados como en el que se encuentra en la cascada de Eyipantla. Luego el río discurre con una baja pendiente por más de 120 kms en la llanura costera, hasta unirse al río Papaloapan en las proximidades de la laguna de Alvarado.

Los materiales gruesos característicos de este río son depositados *in situ* por la roca madre que constituye el perímetro o bien proceden de partes más altas de la

cuenca, desde donde son arrastrados por los flujos turbulentos que se presentan durante la época de lluvias torrenciales. Se observa una mezcla de sedimentos gruesos y finos, como en las inmediaciones de la ciudad de Catemaco, en donde gravas típicamente alóctonas aparecen depositadas junto con limos y arcillas (Vazquez, 1994).

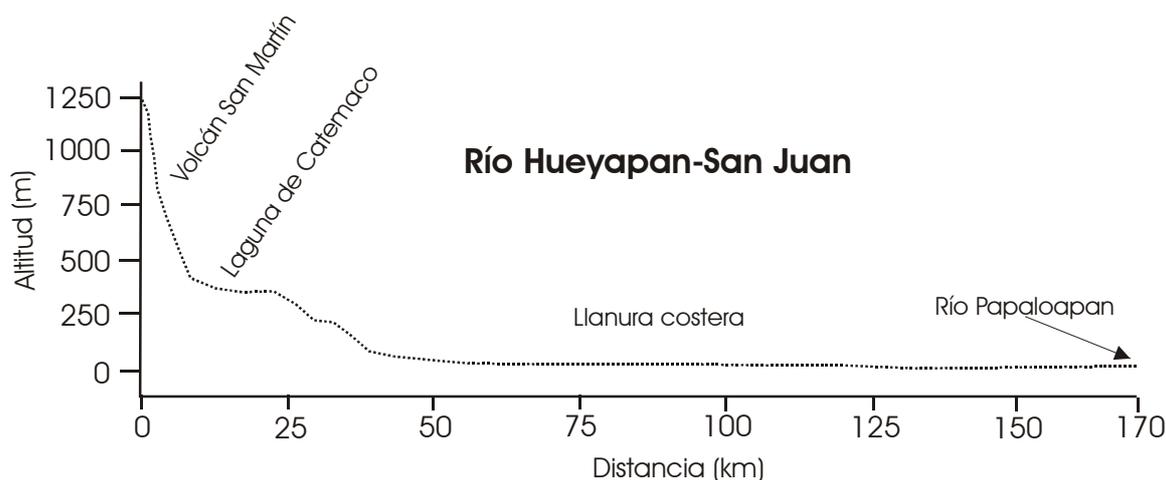


Figura 78. Perfil topográfico del río Hueyapan-San Juan.

El curso bajo del río Papaloapan, conocido como el principal afluente de la cuenca, discurre propiamente como se mencionó anteriormente a partir de las presas Miguel Alemán Velasco y Miguel de la Madrid Hurtado, aproximadamente por 160 Kms, antes de verter sus aguas en la laguna de Alvarado, presentando una dirección de flujo que va del suroeste al noroeste, teniendo solamente un desnivel topográfico de 20 m hasta desembocar en dicha laguna, mostrando una característica de río maduro con meandros sobre una llanura fluvial erosiva, debido a su configuración sobre la planicie aluvial, también se encuentran varias lagunas (Fig. 79).

El río Salado nace en las estribaciones de la Sierra Madre del Sur (Fig. 80), donde discurre de los 2500 msnm a los 500 msnm aproximadamente antes de unirse al río Santo Domingo, cuenta con una pendiente moderada, que va de los 2500 a los 1800 msnm, por sus características climáticas su curso alto es altamente erosivo y tiende a atenuarse su pendiente por más de 100 kms antes de unirse al río Santo Domingo.

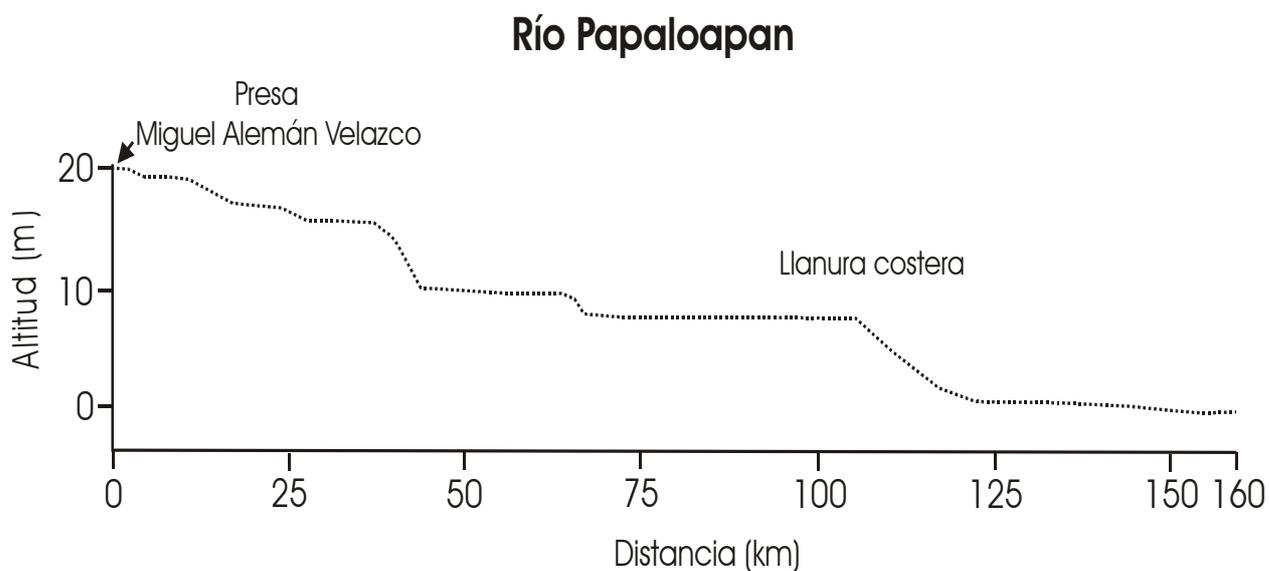


Figura 79. Perfil topografico del río Papaloapan.

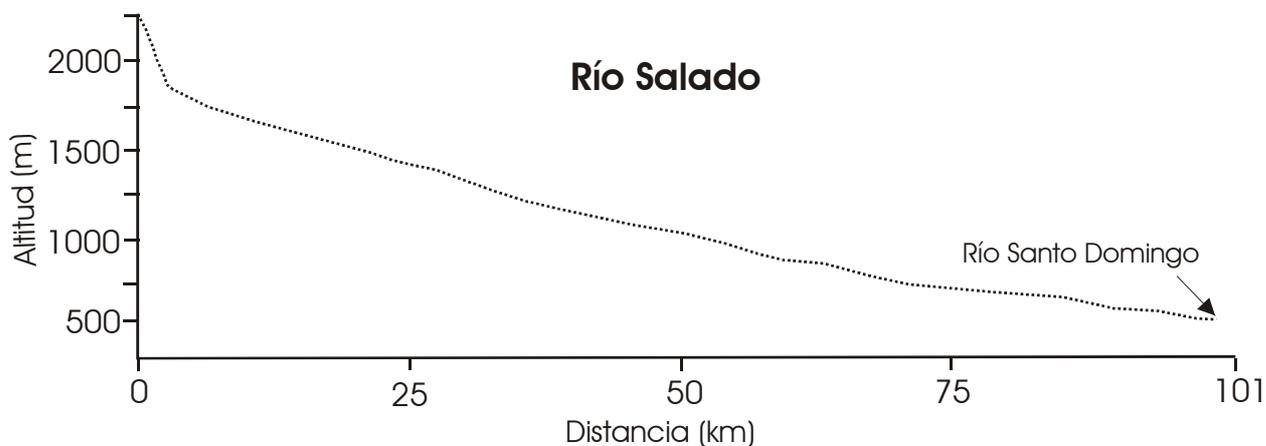


Figura 80. Perfil topografico del río Salado.

El río San Juan baja de las estribaciones del Nudo de Zempoaltepetl (Fig.81), tiene un curso aproximado de 251 km, es una corriente meandrica y se une al río Papaloapan frente a la localidad de Tlacotalpan, localizada en la margen izquierda del río Papaloapan (CENAPRED, 1994).

Presenta una fuerte pendiente de los 2300 msnm, hasta llegar a la llanura costera de Veracruz, donde toma una pendiente moderada por debajo de los 200 msnm antes de juntarse con el río Hueyapan.

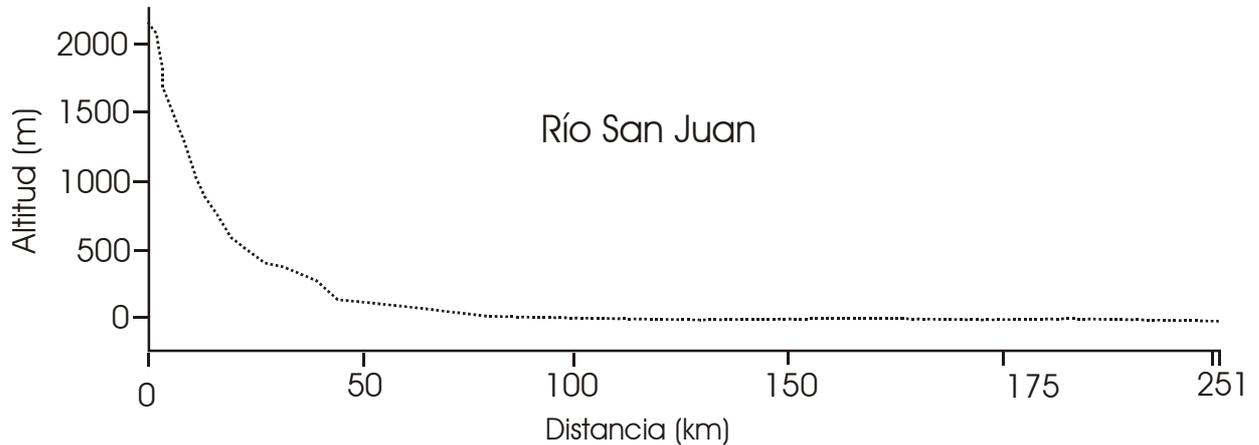


Figura 81. Perfil topográfico del río San Juan.

El río Santo Domingo es uno de los afluentes más importantes (Fig. 82), ya que es la unión de varios ríos que descienden de las partes más altas de la Sierra Madre del Sur, está situado al sureste de Tehuacán, Puebla y al oeste de Tuxtepec, Oaxaca. Recorre un estrecho cañón de aproximadamente 40 Km de largo.

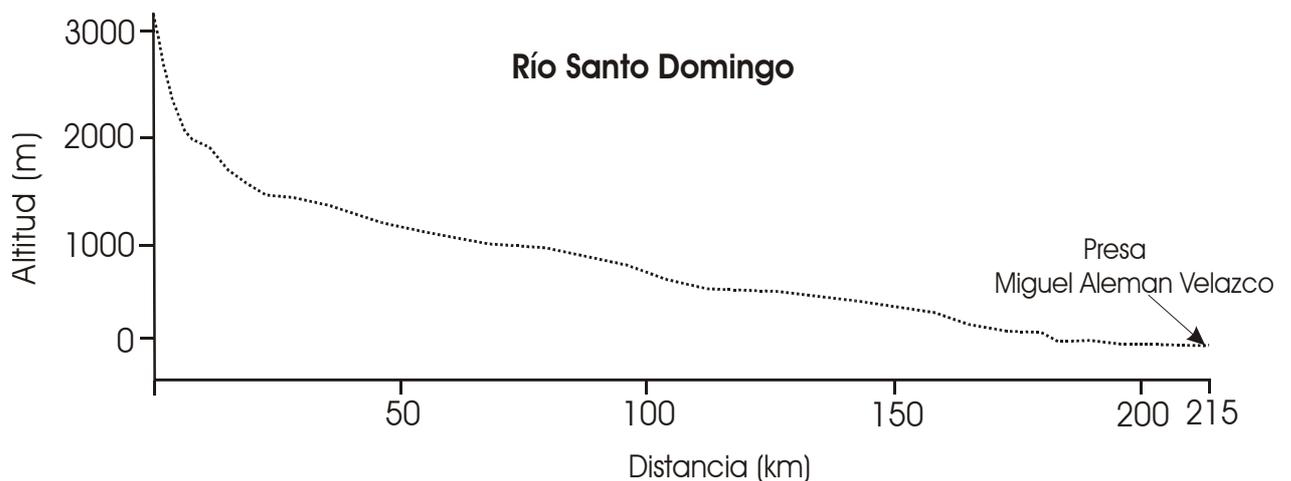


Figura 82. Perfil topográfico del río Santo Domingo.

En algunos lugares las paredes del cañón son muy altas y verticales y se acercan a los 400 m de altura, y las mayores pendientes se tienen de los 3000 a los 1500 msnm

aproximadamente, para hacerse más suaves en los últimos 10 Km antes de desembocar en la presa Miguel de la Madrid Hurtado donde se va atenuando la pendiente a casi plana. El río Santo Domingo es de los ríos más jóvenes de la cuenca, y siempre ha aportado una gran cantidad de sedimentos que han azolvado al bajo Papaloapan, actualmente el material sedimentario es retenido provocando la colmatación de la presa (SRH, 1973).

El río Tonto (Fig. 83), nace en la sierra Mazateca, se une por la margen izquierda al río Papaloapan, su cuenca queda situada en una zona de alta precipitación, produce aproximadamente el 20% del volumen de lluvias. Lleva muy pocos sedimentos por que la subcuenca está cubierta por mucha vegetación (SRH,1973).

Su cauce recorre 86 km aproximadamente, antes de depositar sus aguas en la presa Miguel Alemán Velazco, donde quedan atrapados la mayoría de sus sedimentos, también se notan escalones topográficos producto de fallas que cortan transversalmente el río. Destaca un fuerte gradiente de los 2400 msnm hasta los 70 msnm, al llegar a la llanura costera de Veracruz, donde adquiere una suave pendiente por cerca de 50 km.

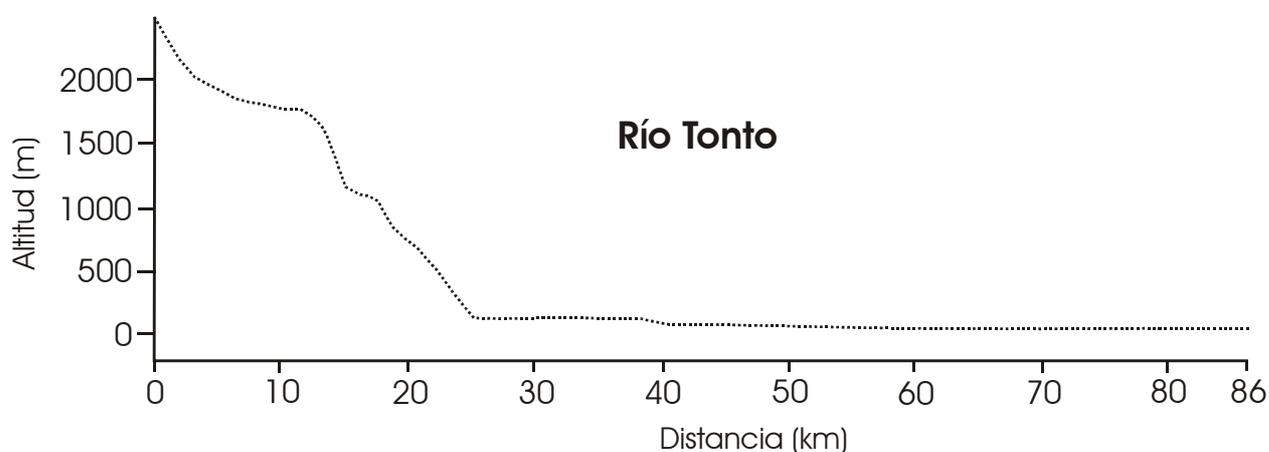


Figura 83. Perfil topográfico del río Tonto.

El río Tehuacán, nace en las estribaciones de la Sierra Madre del Sur, su cauce mide 138 km, a diferencia de de los ríos anteriores no tiene una pendiente tan pronunciada, este río desciende de los 2800 msnm a los 1000 msnm, en donde confluye

con el río Salado, por sus características climáticas en su curso alto es altamente erosivo (Fig. 84).

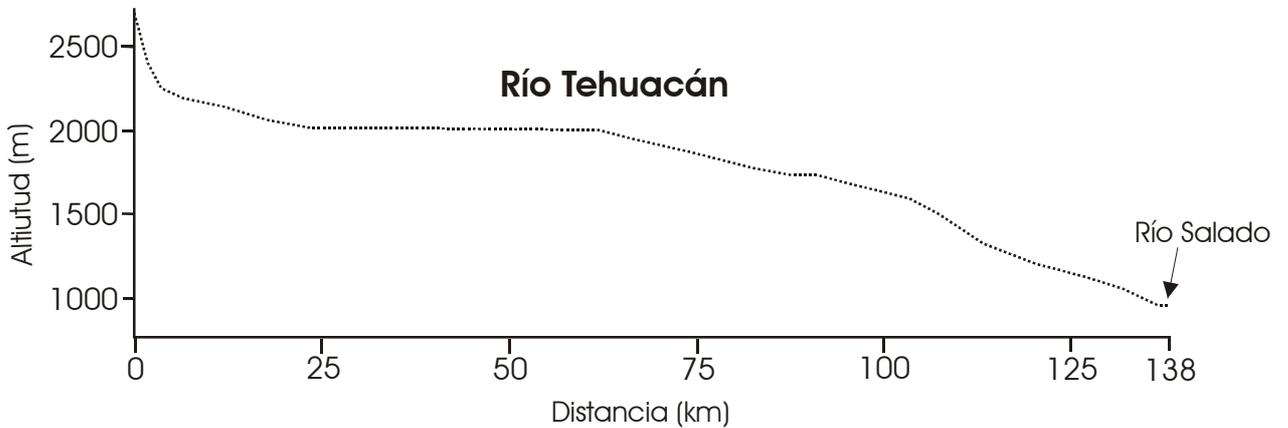


Figura 84. Perfil topográfico del río Tehuacán.

En la cuenca del río Papaloapan se encuentran otros tres afluentes que surten de sedimentos. Estos son los ríos Tesechoacan, Trinidad y Valle Nacional (Figs. 85, 86 y 87). El primero se localiza en el bajo Papaloapan y drena un área de 1,799 km<sup>2</sup>, y tiene una longitud su cauce de 238 km, para por fin llegar a las llanuras de Papaloapan, el río Trinidad nace en el estado de Oaxaca y baja de las estribaciones del nudo del Zempoaltépetl, siendo afluente del río San Juan, El río Valle Nacional nace en el mismo estado y es afluente del río Santo Domingo por su margen derecho. Los tres ríos muestran cierta semejanza en su gradiente a excepción del río Valle Nacional que muestra ciertos escalonamientos por fallas tectónicas y un gradiente más suave en su curso alto (Fig.87). El río Tesechoacan tiene una fuerte pendiente de los 2500 a los 500 msnm, adquiriendo una pendiente suave al llegar a la llanura costera, hasta unirse al río Papaloapan. El río Trinidad presenta casi el mismo gradiente como se observa en la figura 86. Pero a diferencia del río Tesechoacan presenta una distancia mucho más corta en su recorrido antes de desembocar en la laguna de Alvarado. El río Valle Nacional desciende de la Sierra de Juárez a una altitud de 2300 msnm y recorre una distancia su cauce de 79 km, desembocando en el río Papaloapan, a la altura del poblado de Tuxtepec, Oax.

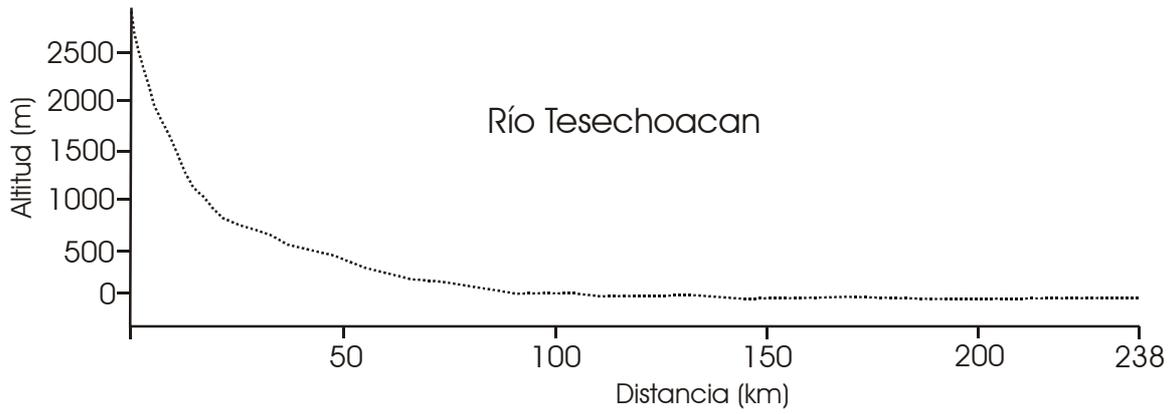


Figura 85. Perfil topografico del río Tesechoacan.

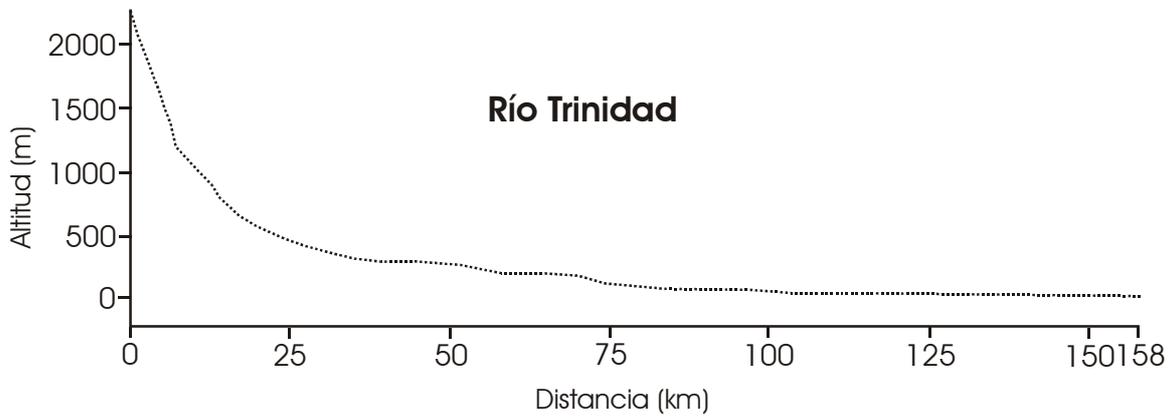


Figura 86. Perfil topografico del río Trinidad.

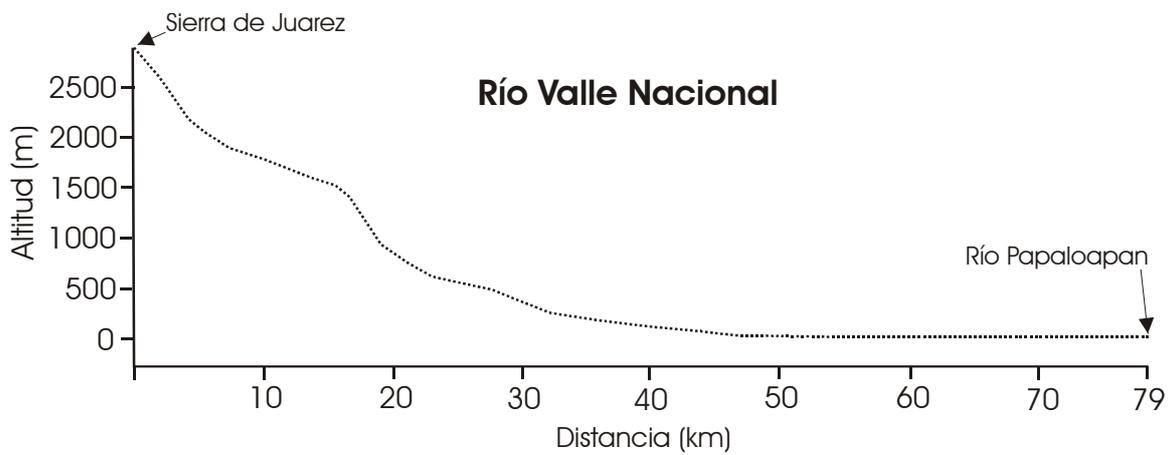


Figura 87. Perfil topografico del río Valle Nacional.

Los perfiles de los ríos reflejan características relacionadas con procesos de acumulación y erosión, de cambios abruptos en el relieve en las cabeceras de los ríos en las partes altas de las sierras, donde en los perfiles es posible observar un fuerte gradiente en su pendiente. Contrastando fuertemente los ríos al llegar a la llanura costera, donde a partir de este lugar, el descenso de los ríos tienen un suave declive de los 20 msnm hasta su desembocadura en el océano.

Destacan varios escalones tectónicos formados por plegamientos, el sistema de plegamientos que se encuentra en la llanura costera tienen una dirección nw 45°, mostrando los perfiles de los ríos un control tectónico en las características de los sedimentos en la plataforma continental en el área de estudio, en donde las características granulométricas de los sedimentos en su mayoría se relacionan con un amplio recorrido que han sufrido desde las partes altas de la Sierra Madre del Sur. Las características sedimentarias del área de estudio también son influidas particularmente por el río Hueyapan-San Juan que aporta una gran cantidad de arenas de fragmentos de roca volcánica, que tienen un recorrido relativamente corto con característica de un margen activo, procedentes de las Sierra de los Tuxtlas.

## CONCLUSIONES

### Análisis textural y distribución de los sedimentos

La textura de los sedimentos de la plataforma continental adyacente a la desembocadura del río Papaloapan es predominantemente arenosa durante la época de *nortes*, con excepción de las estaciones de muestreo más cercanas a la propia desembocadura en donde son lodosas. En contraste, en la época de lluvias predominan sedimentos lodosos en toda el área de estudio.

La distribución espacial de las arenas en sus porcentajes más altos se encuentran en las muestras más alejadas de la desembocadura del río Papaloapan, donde se tienen valores de 100 y 90%, en contraste con las muestras que se encuentran directamente en la desembocadura del río Papaloapan, que solo alcanzan menos del 10% durante los *nortes*.

La fuerza del oleaje del océano provocados por los fuertes vientos de los *nortes* en combinación con la profundidad de -32 m, provocan que los materiales finos sean removidos en dirección hacia la desembocadura y la costa en el área de estudio.

En el área de estudio se obtuvo un promedio en todas sus muestras de los granos de 2.60 ( $Mz\Phi$ ), que están en el rango de arenas finas en la época de *nortes*, mostrando las características de su cuenca de procedencia.

Los sedimentos durante los *nortes* van en su mayoría de moderadamente bien clasificados a bien clasificados, se nota una muy mala clasificación en la zona directa en la desembocadura del río con valores de 2.00  $\Phi$ , y en cuanto los sedimentos se alejan de la costa y desembocadura tienden a tener una mejor clasificación durante los *nortes*.

En época de lluvias, en donde debido a una mayor turbulencia y mayor carga de sedimentos en el río, influyen en una peor clasificación en toda el área de muestreo durante esta época. Se nota una disminución en los valores de la desviación estándar, indicando una peor clasificación hacia el norte, donde se mezclan procesos fluviales y marinos en el ambiente de depósito.

La curtosis grafica ( $K_G$ ), indica que los sedimentos en el área se presentan de mesocurticas a leptocurticas durante las dos épocas de muestreo. En la desembocadura del río se nota que en las estaciones más cercanas, se tienen valores similares de  $K_G$

0.94 y 0.86, indicando sedimentos platicurticos y mesocurticos, reflejando la influencia de los ambientes marino y fluvial.

La correlación  $Mz\Phi$  vs.  $\sigma_1\Phi$ , indica que entre más fino está el sedimento se encuentra más mal clasificado por diferencias en el tamaño de los granos del sedimento debido a la influencia de distintos ambientes fluviales, lagunares y del oleaje del océano provocado por los vientos de los *nortes* y en la época de lluvias.

La correlación  $SK_1-K_G$ , indica que durante los *nortes*, los sedimentos entre mas asimétricos hacia los finos estén, tienden a ser mas leptocurticos, indicando una sola fuente de aporte, que en este caso es la influencia del río.

El tipo de transporte del sedimento en los *nortes*, se encuentran los tres tipos de transporte (suspensión, saltación y tracción). En contraste durante la época de Lluvias el sedimento se encontró en suspensión y saltación solamente, esto causado por las características hidrológicas del río durante esta época.

Las muestras obtenidas en época de lluvias indican una fuerte influencia de las poblaciones en suspensión por acción de una mayor turbulencia en la descarga del río en todas las estaciones y que no está restringida en un área más pequeña por la acción de la energía del oleaje.

### **Estudio mineralógico y de procedencia de los sedimentos**

Se obtuvieron de la fracción arenosa ocho clases petrológicas que correspondieron a las características geológicas del área, exclusivamente en la época de *nortes*, pues durante las lluvias no se encontraron sedimentos arenosos.

En orden de abundancia los minerales observados fueron: cuarzo monocristalino> cuarzo policristalino> fragmentos de roca> feldespatos totales > micas> pedernales> minerales pesados.

Se presentó una correlación inversa significativa entre cuarzos y fragmentos de roca, indicando que entre más cuarzo hay, se encuentra menor cantidad en la concentración de fragmentos de roca.

En general los sedimentos del área están en estrecha relación con los materiales litológicos de los que está formada la cuenca del río Papaloapan.

La dispersión de las arenas en el triangulo basado en Folk (1974), indican una dirección C-FR, indicando una relación de diferencia petrográfica de dos ambientes tectónicos en su procedencia.

En lo que respecta a la madurez mineralógica e índice de procedencia, se encontraron valores altos y bajos en distintas estaciones de muestreo. Los valores bajos indicaron sedimentos con características de márgenes activos, indicando una corta distancia en el transporte desde su fuente de origen, mostrando gran cantidad de granos de fragmentos de roca que no han sufrido una gran disgregación.

También se observaron granos de sedimento con valores altos indicando una gran madures mineralógica por resultados característicos de márgenes pasivos, ya que estos sedimentos han recorrido grandes distancias en el transporte, quedando los sedimentos con materiales más resistentes como el cuarzo.

Se encontró la influencia de dos ambientes de aporte, por un lado los granos que proceden de fuentes cercanas y que cuentan con índices de procedencia bajos y de procedencia supracortical como los procedentes de la Sierra de los Tuxtlas y los que proceden de partes más lejanas con índices de procedencia altos, como los cuarzos que han recorrido una gran distancia con características de margen pasivo desde las serranías de la Sierra Madre del Sur, contando con una procedencia infracortical.

### **Geomorfología de la cuenca**

El sistema hidrológico del río Papaloapan se caracteriza por tener ríos con una fuerte pendiente en su nacimiento, pero que sufre una atenuación al llegar a la llanura costera que influye en una menor disgregación de los granos.

El curso bajo del río Papaloapan, es el principal afluente de la cuenca, discurre a partir de las Presas Miguel Alemán Velasco y Miguel de la Madrid Hurtado, presentando una dirección de flujo que va del suroeste al noroeste, mostrando características de río maduro con meandros, sobre una llanura fluvial erosiva, debido a su configuración sobre la planicie aluvial, también se encuentran varias lagunas costeras.

Destacan en el curso bajo varios escalones tectónicos formados por plegamientos, el sistema de plegamientos que se encuentra en la llanura costera tienen una dirección N45°W.

La cuenca presenta en casi el 40% del área altitudes que no superan los 50 m de altitud, proveyéndole una característica de río maduro de margen pasiva.

El río Hueyapan-San Juan aporta una gran cantidad de fragmentos de roca volcánica, ya que tiene un recorrido relativamente corto con característica de un margen activo, pero además tiene aportes directos al área de estudio, ya que las pequeñas microcuencas que tiene en sus flancos aportan directamente sus sedimentos al océano.

## Bibliografía

- Acevedo, F., Luna, L. (2005). Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al Estado de Veracruz en el año 2005. Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. Centro de Previsión del Golfo de México, Comisión Nacional del Agua, Veracruz, Ver., pp. 53-66.
- Aguayo-Camargo J. E. (2004). Neotectónica y facies sedimentarias cuaternarias en el Suroeste del Golfo de México, dentro del marco tectono-estratigráfico regional evolutivo del sur de México. Ingeniería, Investigación y Tecnología VI. 1
- Benavides V. (1956). *Cretaceous System in Northern Peru. American Museum of Natural History Bulletin*, Vol. 108, p: 352-494.
- Bergantino, R. N. (1971). "Submarine regional geomorphology of the Gulf of Mexico", *Geological Society of America Bulletin*, 82:741-752 pp.
- Burrough, P. A. (1989). *Principles of Geographic Information Systems*. Clarendon Press. Oxford. 194 p.
- Cabrera-Ramírez, M. A. y Carranza-Edwards, A. (2002). *The beach environment in México as a potential source of placer minerals. Marine Georesources and Geotechnology*, 20:187-198.
- Carranza E. A., M. Gutiérrez, y R. Rodríguez. (1975). Unidades Morfo-tectónicas Continentales de las Costas Mexicanas .An. Centro Cien. del Mar y Limnol. Univ Nal. Auton. México. 81-88.(1): 2
- Carranza, E.A. (1997). La granulometría y su uso en estudios geoquímicos y ambientales. Actas INAGEQ. 3, Instituto Nacional de Geoquímica A.C., México, 235-243 pp.
- Carranza, E.A. (2001). *Grain Size and Sorting in Modern Beach Sands. Journal of Coastal Research. West palm Beach*, (Florida). 17(1), 38-52 p.
- CENAPRED (1994). Riesgos hidrometeorológicos. Secretaria de Gobernación, México.
- CONAGUA (2006). Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua" Demandas del Sector. Convocatoria CNA–CONACYT 2006/01, México.
- Cruz-Ábrego, F. M. y Flores-Andolais, F. (1992). Distribución de moluscos y caracterización ambiental en zonas de descargas de aguas continentales del Golfo de México. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.

- Díaz-Leal, C. (1975). Orígenes, Historia y perspectivas de la comisión del Papaloapan "", Estado como empresario, *Revista de Política y administración*, 2 (4).
- Folk, R.L. (1974) *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill. Pub. Co. Austin, Texas. 182 p.
- Franzinelli, E., Potter, P.E. (1983). *Petrology, Chemistry and texture of modern river sand, Amazon River System: Journal of Geology*, v.91, pp. 23-29.
- Gallegos A., Czitrom, S., Zavala, J., Fernandez, A. (1993). *Scenari modeling of climate change on the ocean circulation of the intra-America sea*. *Phys. Oceanographic*. 12 p.
- García, E., (1989). Mapa de Clima, escala 1:4,000,000, Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM).
- Gómez-Rocha, G. (2006). Mapeo Geomorfológico y Cambios en el Uso del Suelo para la Evaluación Ambiental en la Cuenca de la Laguna Lagartero, Oaxaca. (Tesis de Licenciatura en Geografía), Colegio de Geografía, Fac. de Filosofía y Letras, UNAM, México DF.146 p.
- Guevara, S. S., Laborde, D., J., Sánchez, R, G. (2000). La Reserva de la Biosfera de los Tuxtlas, México. Programa de cooperación sur-sur sobre desarrollo socioeconómico ambientalmente adecuado en los trópicos húmedos. Documentos de Trabajo No. 29, UNESCO, Paris, Francia. 50 pp.
- INEGI (1994). Cartas geológicas, hojas: F14-3-6.Poza Rica F14-12, Veracruz, E14-3, Orizaba E14-6, Coatzacoalcos E15-1-4, Minatitlán E15-7, esc.1:250 000 INEGI, México.
- INGEVIN S.A. de C.V. (2006). Elaboracion del programa Hidraulico Preliminar, Anexo 1, Fisiografía, 9 pp.
- Inman, D.L. (1952). *Measures of describing the size distribution of sediments*. *Jour. Sedim. Petrol.* 125 -145. 22(3).
- Inman, D. L. y Nordstrom, C.E. (1971). *On the tectonic and morphologic classification of coasts*. *Journal Geology*.1 1-2 79 (1)
- Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards-Arturo y Rosales- Hoz, L. (1999). *Petrography and Geochemistry of Holocene Sands in the Western Gulf of Mexico: Implications for Provenance and Tectonic Setting*. *Journal of Sedimentary Research, (SEPM) Society of Sedimentary Geology*, Vol.69, No. 5, p. 1003-1010
- Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards-Arturo (2003). Arenas actuales del Golfo de México: Discriminación entre la composición de arenas fluviales y costeras. Instituto

- de Ciencias del Mar y Limnología, Ciencias Marinas 29(4b), UNAM, México., 621-630 pp.
- Lugo H. J. (1988). Elementos de geomorfología aplicada (Métodos cartográficos), Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Méndez Ubach, M. N., Sous-Weiss, V. y Carranza-Edwards, A. (1985). La Importancia de la Granulometría en la Distribución de Organismos Bentónicos. Estudio de Playas del Estado de Veracruz, México. Anales Del Centro De Ciencias Del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.45-56
- Ortiz M. A., Méndez, A. P. (1999). "Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa del Golfo de México y mar Caribe". Investigaciones Geográficas N. 39. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM: México. pp 68- 81.
- Ovalles-Viani, F.A. (2003). El color del suelo: definiciones e interpretación. CENIAP HOY No. 3, septiembre-diciembre 2003, Revista digital del centro nacional de investigaciones agropecuarias de Venezuela, INIA-CENIAP. p. 1-9.
- Pérez, R. S. G. (1988). Estudio de sedimentos de la plataforma continental del Golfo de México desde Tuxpan, Veracruz, hasta Ciudad del Carmen, Campeche, Fac. Ingeniería Univ. Nal. Autón. México. (Tesis Ing. Geólogo). 49 p.
- Pettijohn, F. J. (1949). *Sedimentary Rocks. Harper and Brothers New York* 1949 526 p.
- Pettijohn, F.J. (1975). *Sedimentary rocks. Harper and Row, 3a edición* New York. 628 p.
- Rosales - Hoz, L., Carranza – Edwards, A., Alvarez – Rivera, U (1985). *Sedimentological And Chemical Studies In Sediments From Alvarado Lagoon System, Veracruz, Mexico*. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Contribución 455 del Instituto de Ciencias de Mar y Limnología, UNAM.
- Rosales, H. L., Carranza, E.A., Arias, R. S. y Pérez, S. S. (1992). Estudios de sedimentos recientes en el sureste del Golfo de México. An. Ins. Cienc. Mar y Limn. UNAM. México. 19(2): 1-7.
- Salvador, A. (1991). *The Geology of North America, in: Salvador A. ed., The Gulf of Mexico Basin. Geological Society of America, V. J, 568 p.*
- Shepard, F. P., (1954). *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios*. J. Sedim. Petrol., 151-158.24(3):

Sheppard, F. P., (1973). *Submarine Geology*, Harper and Row. Nueva York,. 517 pp.

Skidmore, A. K. (1989). *A Comparison of Techniques for Calculations Gradient and aspects forms a Gridded Digital Elevation Model. Int Journal of Geographic Information System*. Vol. 3, Num. 4, pp. 323-334.

SMN (Servicio Meteorológico Nacional), (2000). "Datos Climáticos".

S.R.H. (Secretaria de Recursos Hidráulicos), (1973). Estudio Ecológico de la Laguna de Alvarado. Primera Etapa, (S.R.H.).

Tamayo, L.J., (1970). *Geografía Moderna de México I*. Trillas S.A. (6a. Ed.). 390 p.

Verstappen, Th. H., van Zuidam, R. (1991). *El Sistema ITC Para el Levantamiento Geomorfológico*. ITC Publication. Enschede. The Netherlands.

Visher, G.S. (1969). *Grain size distributions and depositional processes*. J. Sedim. Petrol., 39(3): 1074-1106.