

03091  
1  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS PROFESIONALES  
Y DE POSGRADO**

**INSTITUTO DE GEOLOGIA**

**ANÁLISIS DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS RECIENTES  
DE LA REGIÓN COSTERA NORCENTRAL  
DE VERACRUZ, MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE**

**DOCTOR EN CIENCIAS (GEOLOGIA)**

**P R E S E N T A**

**JUAN JOSE KASPER ZUBILLAGA**

**MEXICO, D. F.**

**1999**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

275576



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## RESUMEN

Se presenta un estudio textural, petrográfico y geoquímico de 101 muestras superficiales de playa, duna y río de la región costera norcentral de Veracruz, México, para discriminar subambientes de playa, duna y río y determinar cuales son los procesos costeros que influyen en la composición de los sedimentos y establecer la relación entre el marco tectónico y los sedimentos. Un análisis de discriminación de funciones mostró que existe una diferenciación entre los sedimentos de infraplaya y mesoplaya y entre los de infraplaya y los de supraplaya. El análisis que se presentan asume curvas log-normales truncadas, pero el modelo puede aplicarse a curvas log-normales traslapadas. La componente de grano fino (llamada C) de la curva truncada log-normal fué la dominante en la discriminación de los subambientes. Para los ríos la discriminación entre la boca y la zona distal o lejana a la boca se dió por la componente de grano medio (llamada B) de la curva truncada log-normal. Se agruparon los ambientes de acuerdo con los resultados petrográficos en ambientes del norte y sur. Los sedimentos de playa y duna del norte están más influidos composicionalmente por las corrientes litorales y por la composición de la roca fuente y en menor escala por el relieve y el aporte de arroyos. Los sedimentos de playas y dunas del sur están más influidos por el aporte de ríos y el relieve. Los sedimentos de río del norte y sur están composicionalmente influidos por la roca fuente y el relieve, respectivamente. Las playas, dunas del sur y ríos del norte y sur presentan los sedimentos más alterados por efecto del relieve. El suministro de los mismos por parte de los ríos del sur, determina que las playas de ésta zona también los presenten. En este estudio, la petrografía y la geoquímica muestran un buen respaldo. Los sedimentos de playa y duna no reflejan el marco tectónico de la zona debido a la concentración anómala de cuarzo por efecto de la dinámica litoral y acción selectiva del viento que influyen en la composición de los sedimentos para ambos ambientes. Los ríos si imprimen el marco tectónico desde el punto de vista petrográfico. La química de sedimentos aproxima mejor a la interpretación del marco tectónico, sin importar el ambiente sedimentario utilizado para tal propósito. Los análisis petrográficos son buena herramienta en estudios de procedencia-marco tectónico pero hay que tener un buen criterio de selección del tipo de sedimento que debe utilizarse para este fin.

## ABSTRACT

A textural, petrographic and geochemical study of 101 surficial sand samples is presented for the northcentral coastal region of Veracruz, México, to discriminate between beach, dune and river sediments, to determine the processes that influence the compositional modes of the sediments and to establish the relationship between tectonic setting and sediments. A discrimination analysis distinguished between the inshore and foreshore and the inshore and the backshore sediments. This method assumed truncated log-normal distributions but it is suitable for overlapping log-normal distributions. The fine grained size component of the truncated distribution (the C component) discriminated between the beach subenvironments. The medium grained fraction component of the truncated distribution (the B component) discriminated between the river mouth and the river course (upstream) sediments. The petrographic results grouped the sedimentary environments into northern and southern environments. Northern beach and dune sands are more influenced by the surface water currents and the source rock composition. Southern beach and dune sands are more influenced by the river supply and the relief. Northern and southern river sands are more influenced by the source rock composition and the relief, respectively. The most weathered sediments were observed in the southern beaches, dunes and northern and southern rivers. In this work, compatible results between the petrographical and geochemical approach were found. Beach and dune sands overprint a different tectonic setting because of the surface water currents and the wind action. River sands reflect the overall tectonic setting. The geochemical analysis of the sediments prints a more realistic tectonic setting regardless the sedimentary environments sampled within the same tectonic setting. The petrographic approach should not be discarded. However, sediment composition differences must be considered to establish the real tectonic setting.

## CONTENIDO

Resumen	ii	
Abstract	iii	
Contenido	iv	
Relación de Figuras	v	
Relación de Tablas	viii	
Agradecimientos	ix	
CAPITULO 1	INTRODUCCION	
1.1	Introducción	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Objetivo	8
1.4	Hipótesis de trabajo	8
CAPITULO 2	AREA DE ESTUDIO	10
CAPITULO 3	METODOLOGIA Y MATERIALES	14
3.1	Trabajo de campo	14
3.2	Trabajo de laboratorio y gabinete	15
CAPITULO 4	RESULTADOS	19
4.1	Análisis textural de los sedimentos de playa, duna y río	19
4.2	Análisis multivariado de discriminación de funciones para subpoblaciones log-normales truncadas A,B y C	30
4.3	Significado de las subpoblaciones log-normales truncadas A,B y C	37
4.4	Análisis petrológico de los sedimentos de playa, duna y río	39
4.5	Análisis geoquímico de los sedimentos de playa, duna y río	55
4.6	Marco tectónico y composición de sedimentos	62
CAPITULO 5	DISCUSIONES	66
CAPITULO 6	CONCLUSIONES	75
	Referencias	77
	Anexo 1. Análisis de discriminación de funciones	

<i>Relación de Figuras</i>	<i>Entre páginas</i>
Figura 1. Geología y localidades muestreadas	10-11
Figura 2. Relieve (en m), sistema de dunas y ríos del área de estudio	11-12
Figura 3. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de infraplaya	24-25
Figura 4. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de mesoplaya	24-25
Figura 5. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de supraplaya	24-25
Figura 6. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de barlovento	24-25
Figura 7. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de la cresta	24-25
Figura 8. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de sotavento	24-25
Figura 9. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de la boca del río	24-25
Figura 10. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de río distales a la boca	24-25
Figura 11. Diagramas de barra del número de muestras de playa (A,B,C), duna (E,F,G) y río (D, H) con asimetrías positivas, simetría y asimetrías negativas. Ski=asimetría	25-26
Figura 12. Diagrama tridimensional de las componentes A, B y C para ambiente de playa	33-34
Figura 13. Diagrama tridimensional de las componentes A, B y C para ambiente de duna	33-34
Figura 14. Diagrama tridimensional de las componentes A, B y C para ambiente fluvial	33-34
Figura 15. Representación de influencia de componentes A, B y C en playas (a, b, c), dunas (d, e, f) y río (g). A,B,C son las subpoblaciones de curvas log-normales truncadas. $D^2$ = distancia Mahalanobis; $D^{2*}$ = distancia Mahalanobis sin una componente	33-34
Figura 16. Diagrama ternario C-F-FR para subambientes de playa, duna y río	41-42
Figura 17. Diagramas ternarios C-F-FR a) subambientes b) ambientes	42-43
Figura 18. Diagrama ternario Cm-F-Lt para subambientes de playa, duna y río	44-45
Figura 19. Diagramas ternarios Cm-F-Lt a) subambientes b) ambientes	45-46
Figura 20. Diagrama ternario Cm-F-P para subambientes de playa, duna y río	45-46

Figura 21. Diagramas ternarios Cm-F-P a) subambientes b) ambientes	45-46
Figura 22. Diagrama binario FRV-FRS para subambientes de playa, duna y río	47-48
Figura 23. Diagramas binarios FRV-FRS a) subambientes b) ambientes	48-49
Figura 24. Diagramas ternarios a) C-F-FR b) Cm-F-Lt para playa, duna y río	48-49
Figura 25. Diagramas a) Cm-F-P b) FRV-FRS para playa, duna y río	48-49
Figura 26. Índice de procedencia (Ip) y madurez (Im) para subambientes de playa, duna y río	50-51
Figura 27. Índice de procedencia y madurez (Ip, Im) para ambientes de playa, duna y río	51-52
Figura 28. Relaciones P/F (plagioclasas/ feldspatos) y Cp/Ct (cuarzo policristalino/ cuarzo total) para subambientes de playa, duna y río	52-53
Figura 29. Relaciones P/F (plagioclasas/ feldspatos) y Lv/Lt (líticos volcánicos/ líticos totales para subambientes de playa, duna y río	53-54
Figura 30. Relación de variación de a) cuarzo (C/C+F) y feldspatos (F/C+F) y b) cuarzo (C/C+FR) y fragmentos de roca (FR/C+FR) a lo largo de playas y dunas estudiadas	53-54
Figura 31. Diagrama ternario CaO-Na <sub>2</sub> O-K <sub>2</sub> O para subambientes de playa, duna y río	55-56
Figura 32. Diagrama ternario SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ca+Na+K <sub>2</sub> O para subambientes de playa, duna y río	55-56
Figura 33. Diagramas ternarios CaO-Na <sub>2</sub> O-K <sub>2</sub> O a) subambientes b) ambientes	56-57
Figura 34. Diagramas ternarios SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ca+Na+K <sub>2</sub> O a) subambientes b) ambientes	58-59
Figura 35. Diagramas ternarios a) CaO-Na <sub>2</sub> O-K <sub>2</sub> O b) SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ca+Na+K <sub>2</sub> O para playa, duna y río	60-61
Figura 36. Variaciones en el índice de alteración química para a) subambientes de playa, duna y río y b) ambientes del norte y sur	61-62
Figura 37. Diagrama binario con las relaciones Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> y K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O+CaO para subambientes de playa, duna y río	61-62
Figura 38. Relaciones Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> y K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O+CaO para ambientes del norte (a=playa, b= duna, c= río) y ambientes del sur (d=playa, e= duna, f= río)	62-63

Figura 39. Diagramas de clasificación tectónica (Dickinson et al., 1983) para la composición de sedimentos de playa, duna y río	63-64
Figura 40. Marco tectónico, red fluvial y área de estudio	63-64
Figura 41. Diagrama binario con la relación $\text{SiO}_2$ vs. $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ para subambientes de playa, duna y río	63-64
Figura 42. Relación entre marco tectónico y composición de sedimentos propuesto por Roser y Korsch (1986) para ambientes del norte (1= playa, 2=duna, 3= río) y ambientes del sur (4=playa, 5= duna, 6= río). MAIO= margen de arco de isla oceánico. MCA= margen continental activa	63-64



**Relación de Tablas****Página**

Tabla 1. Parámetros texturales de sedimentos del área de playa Boca de Ovejas	20
Tabla 2. Parámetros texturales de sedimentos del área de playa Boca Andrea	21
Tabla 3. Parámetros texturales de sedimentos del área de playa La Mancha	21
Tabla 4. Parámetros texturales de sedimentos del área de playa Farallón	22
Tabla 5. Parámetros texturales de sedimentos del área de playa Juan Angel	23
Tabla 6. Parámetros texturales de sedimentos del área de playa Chachalacas	23
Tabla 7. Parámetros texturales de sedimentos de ríos	24
Tabla 8. Resultados del análisis de discriminación multivariado para subambientes de playa, duna y río	31
Tabla 9. Significado de las componentes A, B y C como función de la distancia Mahalanobis	34
Tabla 10. Análisis petrológico de sedimentos colectados de diferentes ambientes	40
Tabla 11. Media y desviación estándar de la composición de sedimentos de playa, duna y río	41
Tabla 12. Índices de madurez (Im) y procedencia (Ip) para los ambientes de playa duna y río	51
Tabla 13. Porcentaje de elementos mayores para muestras de playa, duna y río	55
Tabla 14. Datos químicos comparativos de las rocas ígneas y los sedimentos para el área de estudio	57
Tabla 15. Tamaño de grano, petrografía y geoquímica de los sedimentos de playa, duna y río	73

***Agradecimientos.***

*Al Dr. Arturo Carranza Edwards por haberme dirigido la tesis dentro del proyecto UNAM-CONACYT 3477T " Investigación composicional sobre arenas de playas Mexicanas" y su apoyo en todo momento. A los miembros que integraron el jurado mi agradecimiento por sus criticas y comentarios. A los Dres. A. Basu, K. Giles, P. Komar, L. Krissek, H. Roberts, R. Sutherland y F. Tauber mi agradecimiento por las observaciones, criticas e ideas que me ayudaron en mejorar la calidad del trabajo. A Eduardo Morales por su apoyo en el tamizado de muestras y preparación de algunas láminas delgadas dentro del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.*

## CAPITULO 1. INTRODUCCION.

### 1.1. INTRODUCCION.

El estudio de los ambientes sedimentarios recientes se ha convertido en una línea importante de investigación para geólogos y oceanógrafos. Mediante este tipo de estudios se pueden desarrollar aspectos relacionados con la distribución de los depósitos de placer de gran relevancia económica, con el conocimiento de medios ambientes sedimentarios recientes y antiguos y los mecanismos que propician su formación. Un ambiente sedimentario se define en términos físicos, químicos y biológicos. Así, un ambiente sedimentario se puede considerar como una área geográficamente restringida con características físicas, químicas y biológicas en el lugar en donde la depositación y/o erosión han tenido efecto (Reineck y Singh, 1980). Los geólogos están más interesados en un ambiente sedimentario depositacional reciente que erosional debido al sello que imprimen los sedimentos al depositarse para reconocer éstas características. En ese mismo sitio varios procesos tienen lugar a través del tiempo para modificar ese depósito en términos de composición y forma.

El carácter del sedimento producido, componente particular de ese medio ambiente sedimentario, está influenciado para su formación por procesos como erosión, transporte, retrabajo e intemperismo (Pettijohn, 1957). Existen también subambientes dentro del mismo ambiente sedimentario; por ejemplo, las planicies de marea pueden diferenciarse en canales de marea, barras de arena, ciénegas, etc., los cuales se forman por la morfología, cantidad de agua y corrientes que influyen a su vez en el tamaño de grano, en la procedencia y en la madurez de un sedimento. Además la actividad orgánica y condiciones químicas como intemperismo, oxidación-reducción y condiciones geológicas como distribución espacio-temporal en la cuenca de depósito (tiempo de depositación y erosión y extensión física de dicho depósito), relieve, procedencia de los sedimentos (suministro-depósito final) y tectonismo (Dickinson y Valloni, 1980; Valloni y Maynard, 1981; Dickinson et al., 1983; Marsaglia et al. 1992; Marsaglia e Ingersoll, 1992).

Las características granulométricas, petrográficas y geoquímicas de ambientes recientes identificados en el campo pueden determinarse mediante los análisis texturales clásicos (Inman, 1952; Folk y Ward, 1957;

Passega, 1957; Friedman, 1961; Folk, 1966; Folk, 1974; Bigarella et al. 1969; Visher, 1969, McClaren, 1981) Es importante determinar las características texturales, mineralógicas y químicas de arenas de playa, duna y río recientes con la finalidad de establecer un criterio de diferenciación entre los subambientes de playa, duna y río a partir de un modelo de discriminación de funciones. En la playa se diferenciaron los subambientes de infraplaya definido como la zona de la playa cubierta por el agua en condiciones normales y asociada con la zona de rompiente de la ola, de la mesoplaya definido como la zona de playa cubierta por el vaiven del oleaje y expuesta al aire y al agua de una forma rítmica y alternada y de la supraplaya definido como la zona en donde predominan los agentes eólicos sobre el efecto directo y constante del mar (Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 1994). En la duna se pueden diferenciar subambientes tales como el barlovento definido como la zona de la duna que se encuentra expuesta a la acción más directa del viento, la cresta definida como la zona más alta de la duna y el sotavento definido como la región de la duna no expuesta a la acción directa del viento. Para los ríos y arroyos se diferenciaron la boca del cauce distante a la desembocadura. Es importante el estudio de arenas de los tres ambientes sedimentarios recientes y observar si su composición mineralógica y química reflejan el mismo marco tectónico. Esto permitirá establecer los criterios de selección de sedimentos de playa, duna y río para determinar el marco tectónico en una zona.

## 1.2. ANTECEDENTES.

En el contexto clásico de los estudios sedimentológicos que se han desarrollado y que han contribuido a la diferenciación de distintos ambientes sedimentarios mediante análisis estadísticos se tienen los trabajos de Inman (1949), Folk y Ward (1957), Passega (1957), Friedman (1961), Visher (1965, 1969), Folk (1966), Bigarella et al (1969), Reed et al. (1975), Lancaster (1981), McClaren (1981) e Ibbeken y Schleyer (1991) entre otros.

Friedman (1961), por ejemplo, menciona que el tercer momento (asimetría) de la distribución granulométrica sirve como diagnóstico para diferenciar arenas de playa y de duna y la clasificación es el mejor diagnóstico para diferenciar arenas de duna y río. Duane (1964) encuentra que el tercer momento (asimetría) es muy sensible para diferenciar ambientes sedimentarios. Al analizar muestras de arena de playa,

duna y laguna obtiene asimetrías positivas para muestras de duna y laguna y asimetrías negativas para algunas muestras de playa en donde el régimen de mareas produce un sesgo en la distribución de finos al ser éstos removidos. Así, concluye que la asimetría positiva o negativa puede utilizarse en la interpretación del ambiente sedimentario para inferir e incluso los factores físicos que propician su formación. Sin embargo existen ciertas discrepancias en cuanto al uso de los parámetros texturales o mecanismos de transporte para poder diferenciar un ambiente sedimentario de otro. A pesar de muchos esfuerzos se piensa que las distribuciones poblacionales no son dependientes de los mecanismos de transporte y que los parámetros texturales no siempre contribuyen a una buena interpretación de los medios ambientes sedimentarios (McClaren, 1981).

Klovan (1966) aplica un análisis de factores a muestras recientes de sedimentos costeros para determinar la dominancia de tres factores físicos (energía por oleaje, por corrientes y energía gravitatoria) sobre las muestras colectadas. Algunas de las mismas logran diferenciarse con base en estos factores y los parámetros texturales, como es el caso de muestras con una desviación estandar baja y puntos sesgados en la distribución de la curva, lo cual representa para el autor, una predominancia del factor oleaje sobre los demás, al ser removidos los sedimentos finos.

Otros aportes para diferenciar mecanismos de transporte y tipo de sedimento depositado se basan en diagramas en donde se relacionan distintos mecanismos de transporte para las fracciones gruesas y finas de los sedimentos de forma independiente (Passega, 1957, 1964 ; Passega y Byramjee, 1969), en otros se relacionan los mecanismos de transporte con base en los porcentajes de poblaciones (Visher, 1969), se diferencian poblaciones de duna, río y playa relacionando los parámetros texturales más clásicos en la sedimentología: media, clasificación, asimetría, y curtosis (Folk y Ward, 1957, Bigarella et al., 1969), se realizan análisis sobre velocidad de asentamiento en comparación con tamizado usando también como herramienta una función de discriminación multivariable para diferenciar arenas de playa, duna y río (Reed et al., 1975).

Lancaster (1981, 1986) realizó análisis texturales de granos de arenas que forman dunas de desierto para diferenciar las poblaciones de la cresta y sotavento de las poblaciones de la base; su análisis de discriminación

lineal mostró que el único factor que influye en la diferenciación de dichas poblaciones es la clasificación; en otros estudios se han realizado análisis en la velocidad de asentamiento especialmente en arenas de playa y trabajos experimentales de laboratorio (Greeley et al., 1996; Sorensen y McEwan, 1996).

Las interpretaciones granulométricas más recientes son las desarrolladas por Ibbeken y Schleyer (1991) en donde se involucran elementos del primer, segundo y tercer orden representados por distintas fracciones de las poblaciones de grano. Para las gravas (elementos de primer orden) los autores analizan varios ambientes incluyendo la roca fuente intemperizada y también las regolitas, aluviones, ríos, bocas de río y playas. Ellos observan que con el transporte de la fuente hasta la playa pasando por los distintos ambientes, la asimetría y curtosis de la distribución granulométrica decrecen como consecuencia de la variabilidad de las muestras a lo largo del trayecto. También encuentran que una distribución para elementos de primer orden sigue una distribución Rosin, o sea una distribución asimétrica e influenciada por la cercanía de los sedimentos a la fuente y por el desgaste mecánico; en los análisis de las distribuciones log-hiperbólicas ellos encuentran que éstas tienen grandes ventajas sobre otras distribuciones ya que se pueden observar las poblaciones más "homogéneas" incluyendo los extremos. Estos elementos del primer orden presentan distribuciones modales para las gravas más cercanas a la fuente de suministro y bimodales para las más alejadas de la misma, como es de esperarse. Con respecto a las arenas (elementos de segundo orden) los autores encuentran que éstas siguen una distribución log-normal en lugar de distribución tipo Rosin, ya que las arenas analizadas son producto del desgaste mecánico incluyendo las que se localizan en los bancos de los ríos con lo cual los mismos autores no dan una respuesta contundente a la razón de la distribución tipo log-normal, concluyendo que los elementos del segundo orden tampoco pueden utilizarse como indicadores de procedencia para ambientes sedimentarios recientes. Los elementos de tercer orden resultan cuando se resta la media de las distribuciones modales de la media de las distribuciones bimodales, encontrando que la bimodalidad de los sedimentos es causada por fracciones comprendidas entre 1- 20 mm. Los estudios sobre distribuciones log-hiperbólicas han constituido nuevos acercamientos en la discriminación de ambientes sedimentarios recientes como lo han demostrado los estudios de Sutherland y Lee (1994a, 1994b) en donde aparentemente se pueden

utilizar variables derivadas de las distribuciones log-hiperbólicas análogas a los parámetros texturales típicos para discriminar entre ambientes sedimentarios.

Ibbeken y Schleyer (1991) caracterizan arenas de playa y río dividiendo el primer ambiente en varios subambientes : supraplaya, infraplaya, altamar y el segundo tomando solamente los canales como referencia hasta la desembocadura del mar. Ellos encuentran para la supraplaya una asimetría negativa y simetría de las curvas de distribución granulométrica para la parte baja de la postplaya con esfericidades bajas a los demás subambientes (incluyendo al río) que están relacionadas no con la energía de este subambiente sino con el grado de selectividad que tiene la playa para escojer fragmentos con bajas esfericidades en esta zona. Con respecto a la redondez, los índices más bajos se observan en ríos y los más altos en los demás subambientes de playa. Según los autores ambos índices (esfericidad y redondez) no pueden servir como diagnóstico de procedencias debido a que ambas propiedades están en función de la misma redistribución y retrabajo de las partículas. Para los canales fluviales encuentran bimodalidades e índices de esfericidad media entre los subambientes de playa (infraplaya y supraplaya) y redondez baja como es de esperarse en un ambiente fluvial.

Pye y Mazzullo (1994) encuentran que la relación entre el intemperismo y la forma de los granos de cuarzo únicamente para diferenciar un tipo de cuarzo en duñas estabilizadas de dunas activas, sin involucrarse en procedencia. Los autores analizan la redondez de los granos de cuarzo y encuentran la mayor redondez para granos de cuarzo de arena de dunas recientes. En los granos de cuarzo de arena de dunas mas antiguas encuentran mayor angulosidad. Ellos concluyen que la angulosidad de los cuarzoes de dunas viejas se debe principalmente a factores climáticos y químicos como alta precipitación, bajo pH en el suelo y gran concentración de ácidos orgánicos derivados de la vegetación imperante en las dunas, lo que provoca una mayor disolución del sílice y una menor reprecipitación del mismo.

Con respecto a los estudios de procedencia, madurez e índice de alteración química existen numerosos trabajos que relacionan procedencia con topografía y clima (Basu, 1976; Grantham & Velbel, 1988; Ibbeken y Schleyer, 1991; Macaire et al. 1994; Rosales-Hoz y Carranza- Edwards, 1995) y procedencia con marco tectónico ( Ingersoll, 1978; Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson y Valloni, 1980, Valloni y Maynard, 1981;

Dickinson et al. 1983; Roser y Korsch, 1986; Marsaglia et al., 1992; Marsaglia e Ingersoll, 1992; Carranza-Edwards et al. ,1994; Critelli y Le Pera, 1994; Ericksson et al., 1994; McDaniel et al. 1994).

El estudio realizado por Roser y Korsch (1986) se basa en la composición química de los sedimentos y la relación  $K_2O/Na_2O$  y  $SiO_2$  para determinar el marco tectónico de argilitas y grauvacas en Nueva Zelanda para diferentes localidades. Para las argilitas encuentran en diagramas binarios mayor concentración de la relación potasio y sodio y menor para el silice como es de esperarse ya que la composición de las argilitas está mas determinada por minerales de arcilla y para las grauvacas es mayor la cantidad de fragmentos de roca. Observan que la mayoría de las muestras caen dentro de la clasificación de margen continental activa y arco de isla.

Carranza-Edwards et al. (1994) presentan un estudio de índice de madurez, índice de procedencia e índice de alteración química para arenas de río y playa en la región del Pacífico Norte (Baja California), México. Los autores utilizan diagramas ternarios con los polos  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  y  $CaO+Na_2O + K_2O$  con los cuales no se pudo observar una buena discriminación entre las arenas de río y playa. Ellos asumen esto a que el silice está presente no solo en el cuarzo sino también en los feldespatos. Utilizan también el mismo diagrama con los polos  $CaO$ ,  $Na_2O$  y  $K_2O$  observando una mejor discriminación, con mayor dispersión de las muestras de río que las de playa por el mayor grado de intemperismo y variabilidad composicional de las primeras. Al obtener los índices de madurez ellos encuentran valores más altos en las muestras de playa. Para el índice de procedencia los valores para el río reflejan mayor concentración de fragmentos de roca y para la playa mayor concentración de feldespatos. El índice de alteración química reflejó que las muestras de río tienen más minerales susceptibles a alterarse (feldespatos menos resistentes a la alteración química) que las muestras de playa en donde feldespatos con envolturas de alteración arcillosa no pueden conservarse dada la alta energía del ambiente de playa. Dentro del marco tectónico, los autores sitúan la zona dentro de arco disectado, transicional y no disectado, reflejando que la zona pudo sufrir de procesos erosionales de la corteza superficial exponiendo también a cuerpos plutónicos a la erosión y en el otro extremo una zona en donde el vulcanismo o remanentes de cuerpos extrusivos contribuyen al incremento de líticos volcánicos principalmente.



Rosales-Hoz y Carranza-Edwards (1995) analizan dos cuencas sedimentarias del Estado de Guerrero para inferir procedencia con base en datos geoquímicos. Se obtienen índices de madurez, procedencia y alteración química llegando a observar que las dos cuencas presentaban valores similares al índice de madurez (ambas cuencas de origen fluvial, lo cual no mostraba distintivamente grandes diferencias en el ambiente). Para el índice de procedencia se encontraron valores más altos en la cuenca La Tigra que para la cuenca llamada Petatlán. Las diferencias según los autores se deben a cambios litológicos entre ambos lugares. Para el índice de alteración química encuentran diferencias entre los valores para La Tigra y Petatlán, siendo esta última la que mayor valor de índice de alteración química presentaba. Esto probablemente se debe a que en la cuenca Petatlán se encuentran más afloramientos de rocas metamórficas y la alteración de los sedimentos con minerales de este origen son más susceptibles a intemperizarse. La geoquímica les arroja altos valores de Fe, que es correlacionado con elementos como el Mn, Mg y Ti lo cual explican por la presencia de ilmenita asociadas a gabros y dioritas que afloran en la región. Encuentran también una correlación entre el Ca y el Mg que vinculan a dolomita; el Ca y P reportado se relaciona con la apatita presente en muchos tipos de roca

En los estudios de Marsaglia e Ingersoll (1992) y Marsaglia et al. (1992) encuentran que las arenas cercanas a arcos remanentes e intraoceánicos son pobres en cuarzo y ricas en líticos (tipo grauvaca); los arcos continentales presentan arenas mas cuarzofeldespáticas que en los arcos remanentes e intraoceánicos. En zonas donde hay uniones triples encuentran arenas con mayor cuarzo y feldespato (tipo arcosa) procedentes de plutones.

MaCaire et. al. (1994) analizan fragmentos de basaltos acarreados por ríos y la composición de sedimentos en dos cuencas con base en el aporte de los mismos. Los autores llegan a concluir que a mayor composición vítrea de los fragmentos de basalto hay una menor descomposición de los mismos, sucede que cuando los basaltos contienen una mayor cantidad de microcristales estos se fragmentan para dar partículas del tamaño del limo y la arcilla.

### 1.3. OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo es estudiar los ambientes sedimentarios recientes de playa, duna y río para una franja costera del Golfo de México, tomando en cuenta los aspectos texturales, petrográficos y geoquímicos de los sedimentos que los forman.

Como metas específicas se tienen las siguientes:

- 1.- Diferenciar los subambientes de playa, duna y río mediante el análisis del tamaño de las partículas de sedimento mediante un modelo de discriminación de funciones asumiendo poblaciones log-normales truncadas para establecer un criterio en cuanto a los alcances y limitaciones del modelo.
- 2.- Realizar estudios petrográficos y texturales con la finalidad de caracterizar la sedimentología propia de los ambientes. Se espera que dichos elementos permitan inferir la procedencia, la madurez mineralógica de sedimentos así como la relación entre el marco tectónico y composición de los sedimentos de la zona costera observando si su composición mineralógica y química reflejan el mismo marco tectónico.
- 3.- Determinar cuales son los procesos costeros y/o continentales que influyen en la formación de los ambientes de playa, duna y río.
- 4.- Estudiar la relación entre alteración química, composición y relieve de los ambientes sedimentarios en el área de estudio.

### 1.4 HIPOTESIS DE TRABAJO

Se desea conocer cuáles de los factores: relieve, procesos costeros, influencia continental, composición de la roca fuente, influyen más en la composición textural, mineralógica y química de los sedimentos de los tres ambientes estudiados para una misma zona con alto y bajo relieve. Se espera que mediante un modelo de discriminación de funciones o separación lineal de más de una variable entre dos poblaciones de subambientes, se pueda diferenciar los subambientes de playa (la infra, la meso y la supraplaya) además de duna (barlovento, cresta y sotavento) y la boca y río arriba, tomando en cuenta como componentes los

segmentos truncados de las distribuciones log-Normal y que éstas pueden ser importantes para dicha discriminación en los subambientes. Se desea establecer que agentes de transporte (corrientes litorales y/o ríos) modifican la composición de los sedimentos estudiados. Se desea observar si la composición petrográfica y geoquímica de los tres ambientes sedimentarios diferentes en la misma área de estudio reflejan el mismo marco tectónico según criterios sedimentológicos recientes.

## CAPÍTULO 2. AREA DE ESTUDIO.

El área de estudio comprende desde Playa Boca de Ovejas ( $19^{\circ} 48' N$ ;  $96^{\circ} 27' W$ ) hasta la desembocadura del Río Actopan en Playa Chachalacas ( $19^{\circ} 25' N$ ;  $96^{\circ} 20' W$ ), en la región costera norcentral del estado de Veracruz, México. La zona de interés se extiende unos 50 Km a lo largo de la zona costera (Fig. 1).

La región ha sido nombrada desde el punto de vista geológico (Fig. 1) como el Macizo de Palma Sola (Negendank et al., 1985). En esta área se presentan rocas de diferentes composiciones y edades, tales como basaltos alcalinos del Plioceno ( $3.1 \pm 0.1$  m. a.) al norte (Cantagrel y Robin, 1979); andesitas del Oligoceno Tardío-Mioceno, distribuidas irregularmente; conos volcánicos monogenéticos al centro y norte y brechas y tobas del Mioceno expuestas en algunas zonas cercanas a la playa como sucede en la Laguna la Mancha (Fig. 1). La distribución de los afloramientos de estas rocas es bastante irregular al igual que los conos volcánicos monogenéticos (Negendank et al., 1985). La planicie costera de la región está constituida también por un conglomerado de aluvión cuaternario con una distribución más homogénea que el resto de las rocas ígneas (INEGI, 1985). Esta planicie en su conjunto ha sido descrita como una región tectónicamente activa desde el Mioceno hasta el Holoceno (Robin, 1982; Negendank et al. 1985).

La mayoría de los rasgos estructurales en la zona del Macizo de Palma Sola están representados superficialmente por fallas de tipo normal y fracturas. En el Macizo de Palma Sola los alineamientos tienen orientaciones preferenciales  $N20^{\circ}W$  y  $N65^{\circ}E$  y de acuerdo con algunas imágenes satelitales de LANDSAT (Negendank et al., 1985) las longitudes que alcanzan estos rasgos superficiales son del orden de 5 a 10 Km.

El área de estudio pertenece a la región geográfica de México denominada Llanura Costera del Golfo de México. También se le clasifica desde el punto de vista geomorfológico como la Planicie Costera de Veracruz (Lugo-Hubp, 1991). Desde el punto de vista fisiográfico se le clasifica como Planicie Costera Nororiental (Cuanalo et al., 1980) y Vertiente de la Mesa Neovolcánica (Raisz, 1964). El relieve está constituido por montañas con elevaciones relativas menores a 600 m y lomeríos volcánicos cuaternarios en la región de los arroyos Boca de Ovejas, El Platanar, Palma Sola y El Viejón. La hipsometría muestra relieves de 200 m (Fig.

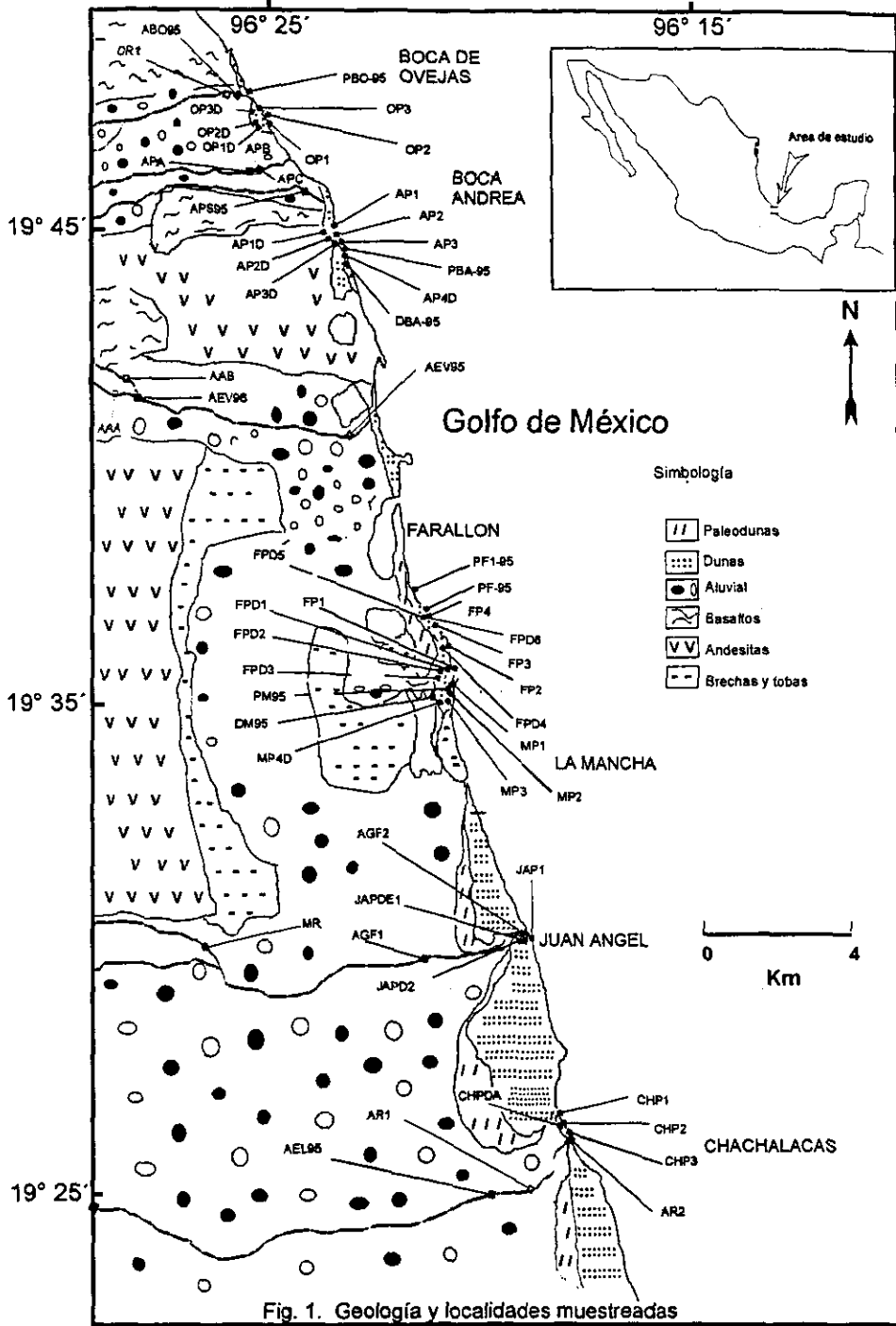


Fig. 1. Geología y localidades muestreadas

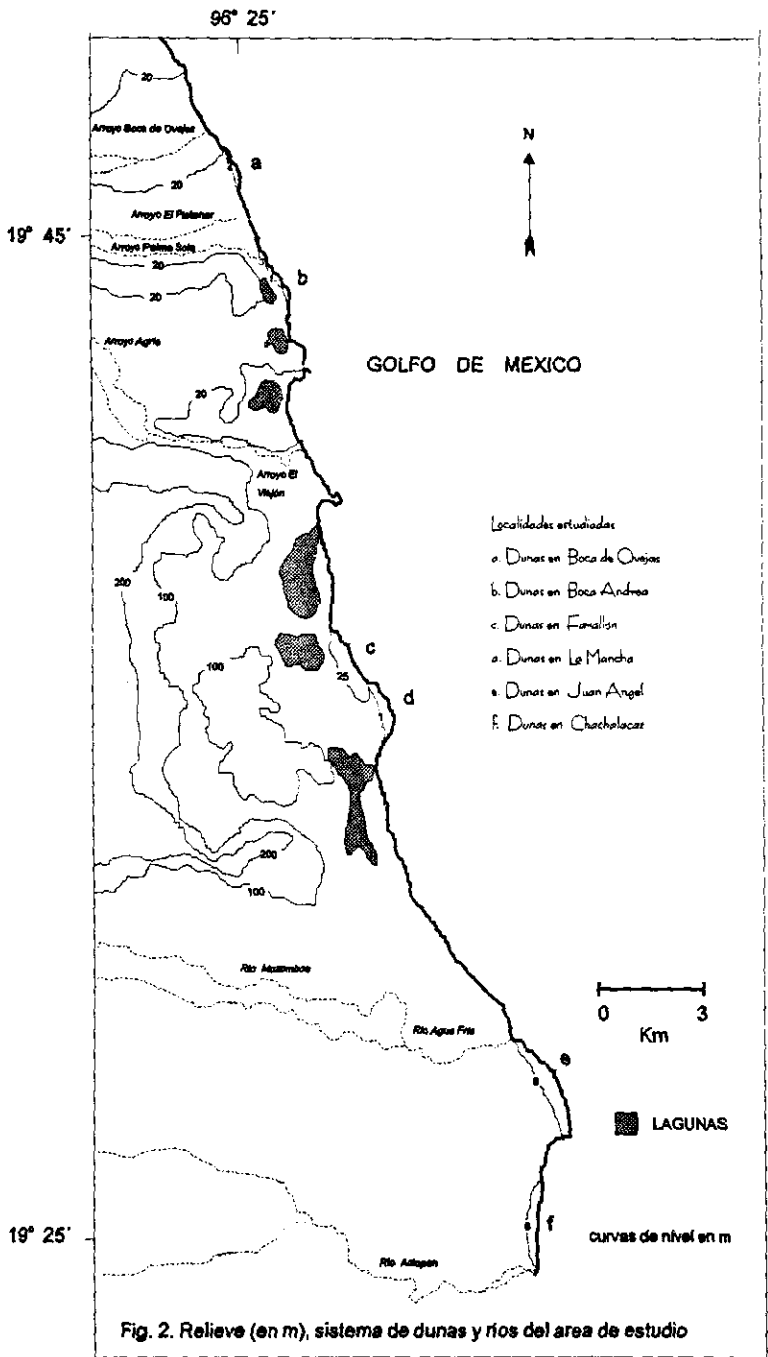
2) y por planicies bajas fluviales marginales a los sistemas montañosos en la zona de los ríos Mozombo, Agua Fria y Actopan (Fig. 2) con relieves menores a 200 m (Lugo Hubp, 1990).

Entre los aspectos geomorfológicos y fisiográficos más relevantes se pueden mencionar las terrazas de abrasión y aluvión (de origen ígneo y sedimentario del Plioceno y Cuaternario, respectivamente). Otros rasgos importantes son el tómbolo de Villa Rica, las barras de arena que pueden clasificarse como semiestacionarias debido a la gran influencia de las mareas y oleaje que determina su crecimiento o destrucción y en cuanto a su génesis transgresivas y los pantanos distribuidos a lo largo y ancho de las lagunas pobladas por cuatro diferentes especies de mangle (Moreno-Casasola, 1988). La región se localiza dentro del bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1991).

La costa se puede clasificar de acuerdo con la fotointerpretación y los datos oceanográficos como transgresiva (origen), con procesos de oleaje dominante, con razones de suministro de sedimentos menores que a la razón de los cambios en el nivel del mar y en algunas zonas la costa es morfológicamente semicerrada. La anterior clasificación se basa en el esquema de clasificación genética de costas (Boyd et al., 1992). La costa también se clasifica como abrasivo-acumulativa (Ortiz-Pérez, 1992), es decir, hay una alternancia de segmentos rocosos, arenosos y planicies aluviales. Se observan también la formación de dunas transversales, parabólicas y tipo estrella, móviles y semimóviles, algunas con bioturbación y con vegetación arbustiva y rastrera (Moreno-Casasola, 1988; Moreno-Casasola y Castillo, 1992).

De acuerdo con la morfometría los valores máximos de altitud para la zona de estudio oscilan entre 100 a 200 m s n m cercanos al área de la playa (Lugo-Hubp et al., 1989) (Fig. 2).

El sistema lagunar comprende seis cuerpos de agua (Fig. 2): La Mancha, el Farallón y El Llano (al sur) y Laguna Salada, Laguna Verde y Laguna Boca Andrea (al norte); la laguna El Llano es la más grande (2.5 Km de largo y 900 m de ancho en promedio). Las lagunas La Mancha y el Llano tienen contacto directo con el mar y las bocas se abren o se cierran durante el día por efecto del oleaje y las mareas. El resto son cuerpos de agua cerrados.



Los arroyos presentes en la zona, de acuerdo con la clasificación de Rust (1978) son lineales y ramificados (Ovejas, El Platanar, Palma Sola, El Viejón, Agrio) y anastomosados (Mozombo, Agua Fria y Actopan) (Fig.2).

El volumen medio anual de sedimentos en suspensión en estaciones situadas en los ríos con importante drenaje cercanos al área de estudio se han monitoreado en la Estación El Raudal en la localidad de Misantla y la Estación El Naranjillo en la localidad de Actopan. Los volúmenes reportados han sido de 569.40 tnl/km<sup>2</sup> y 88.68 tnl/km<sup>2</sup> para ambas estaciones, respectivamente (Maderey-Rascón, 1991). El proceso exógeno dominante en la región costera del presente estudio es la erosión fluvial en superficie amplia (Lugo-Hubp, 1992).

El oleaje tiene una altura promedio de 0.90 m con períodos aproximados de 3 a 8 seg. (Curry, 1961) y de acuerdo con la fotointerpretación tiene una incidencia oblicua en donde se observan también corrientes de retorno y ausencia de rasgos cuspados sobre la playa, ya que su formación es mas favorable cuando la olas arriban en dirección normal a la línea de costa (Johnson, 1910; Longuet-Higgins y Parkin, 1962). Las mareas son de tipo diurno y mixto-diurno con promedios de 0.30 m (Comisión Federal de Electricidad, 1993)

La circulación superficial del agua oceánica en invierno tiene una dirección SW y SE con velocidades promedio de 4.5 cm/seg. En verano se invierte la dirección de las corrientes superficiales (NW) aunque existe una masa de agua con dirección SW con velocidades promedio de 6 cm/seg (Fernández-Eguarte et al., 1992a, 1992b).

La temperatura superficial promedio del mar es de 25°C registrándose la máxima en los meses de Julio y agosto de 29°C (NOAA, 1985). La salinidad de acuerdo con los datos computados para el área cercana al puerto de Veracruz es de 350/00 (promedio) aunque durante los meses de julio y agosto se reduce a 320/00 (NOAA, 1985).

Los vientos tienen una dirección preferencial N-NE-E con una intensidad media mensual de 7 m/seg (marzo-abril). En enero la intensidad es de 11 m/seg, que es la mayor registrada de acuerdo con los datos obtenidos de 1940 a 1984 (Pérez-Villegas, 1991). La frecuencia de los mismos en abril registra vientos del N



(4 - 6 m/seg), NE (4 -6 m/seg) y E (2 - 4 m/seg) mientras que la dominancia de los vientos del sur es mínima (Pérez-Villegas, 1991). El área de estudio está localizada dentro de la región del la costa del Golfo de México considerada como subhúmeda y semicálida (García, 1991).

La temperatura promedio máxima anual es de 30-34° C y la promedio mínima anual de 18-22° C (García y Vidal-Zepeda, 1991). La temperatura media anual es de 22-26° C (Vidal-Zepeda, 1990). La humedad relativa anual es mayor que 75% (Vidal-Zepeda y García, 1991) de acuerdo con los datos de precipitación media anual registrados de 1921 a 1980 de 1200 a 1500 mm. Los días con precipitación mayor que 0.1 mm varían de 60 y 80 (Vidal-Zepeda, 1991). Los ciclones tropicales, que generalmente provienen del Mar Caribe, son frecuentes en verano y otoño, con la mayor incidencia en-septiembre. En invierno se presentan vientos del norte (García et al., 1991).

En el caso del presente trabajo es importante resaltar que el area de estudio escogida es un laboratorio natural para el estudio de ambientes sedimentarios recientes. La zona provee de ambientes distintos como el lagunar, el eólico, de playa y fluvial, incluyendo subambientes como el de infraplaya y supraplaya, meandros y barras de canal en sistemas fluviales anastomosados y sistemas de dunas estabilizadas y móviles.

### CAPITULO 3. METODOLOGIA Y MATERIALES.

#### 3.1. TRABAJO DE CAMPO.

Se realizaron dos muestreos en el área de estudio. El primero fue en el mes de abril de 1995 y otro en marzo de 1996, ambos en época de secas, con la finalidad de observar la influencia litoral en la composición de los sedimentos. Los arroyos Boca de Ovejas, Palma Sola y El Viejón mostraban un nivel bajo de agua en sus cauces mientras que los ríos Agua Fría y Actopan mostraban niveles muy altos. El arroyo El Platanar estaba completamente seco (Fig. 2). Se muestrearon ambientes de playa, duna y río. Las playas y dunas muestreadas fueron de norte a sur : Playa Boca de Ovejas, Boca Andrea, Farallón, La Mancha, Juan Angel y Chachalacas. Los ríos muestreados de norte a sur fueron: Arroyo Boca de Ovejas, Platanar, Palma Sola, Agrio, El Viejón, Mozomboa, Agua Fría y Actopan o Limoncito (Figs. 1 y 2). La ubicación de las localidades muestreadas se efectuó mediante un sistema de posicionamiento global (GPS) portátil. En la segunda salida se hicieron perfiles de duna para establecer la altura de las dunas (Fig. 2) tomando las muestras superficiales (1 a 3 cm de capa superficial de arena) en las zonas de infra, meso y supraplaya de la zona litoral y en el barlovento, la cresta y el sotavento de las dunas. En los ríos se muestreó en el cauce distante a la desembocadura y en la boca. En total se tomaron 16 muestras de infraplaya, 21 de mesoplaya, 17 de supraplaya, 13 de barlovento de dunas, 18 en cresta de dunas y 16 en sotavento de dunas (Fig. 1). Para los ríos en el primer muestreo se tomaron 4 muestras y para el segundo 12 muestras (lecho del canal principal, desembocadura). Los perfiles de playa se hicieron de la siguiente manera: tres perfiles en Playa Boca de Ovejas (localidades OP1-OPID, OP2-OP2D, OP3-OP3D) desde la infraplaya hasta las dunas y un perfil en Playa Boca Andrea (loc. AP2-AP2D), un perfil en Playa Farallón (loc. FP1-FPD1-FPD2-FPD3), un perfil en Playa La Mancha (MP3-MP4D), un perfil en Playa Juan Angel (JAP1-JAPDE1-JAPD2) y el ultimo en Playa Chachalacas (CHP2-CHPDA). Los perfiles se construyeron utilizando dos escalas: horizontal 1: 400 y vertical 1: 200. Utilizando los perfiles se elaboró un mapa con la distribución del sistema de dunas con las alturas respectivas y la extensión cubierta de los perfiles realizados (Fig. 2).

### 3.2 TRABAJO DE LABORATORIO Y GABINETE

#### a) GRANULOMETRIA.

Se procedió a realizar el tratamiento y análisis granulométrico de 101 muestras de playa ( $n=54$ ) y duna ( $n=47$ ) y de río ( $n=16$ ) de acuerdo con el método de análisis de Folk (1957, 1974). Las mismas fueron tamizadas en seco a intervalos de 0.25 phi por espacio de 10 a 15 minutos. El objeto de separar en intervalos de 0.25 phi es el de poder incluir el mayor número de poblaciones posibles para diferenciar también los mecanismos de transporte (tracción, saltación y suspensión). Los parámetros estadísticos se obtuvieron a partir del método gráfico en el cual se toman intervalos de clase de 0.25  $\phi$  (desde  $-4 \phi$  hasta  $4 \phi$ ). Para cada subambiente de playa, duna y río se procedió a realizar el tamizado y obtener la media, desviación, asimetría y curtosis.

Los datos se graficaron para obtener curvas con ordenada aritmética y para obtener los porcentajes de cada clase con respecto a los mecanismos de transporte (Visher 1965; 1967; 1969) los datos se graficaron en papel de probabilidad para observar los puntos truncados para las subpoblaciones.

Se computaron siete funciones de discriminación (Krumbein y Graybrill, 1965; Davis, 1973; Swan y Sandilands, 1995) con los datos de los porcentajes leídos en los segmentos truncados de las gráficas en papel de probabilidad. El análisis de discriminación funciona para distribuciones normales y no normales del juego de datos a utilizar (Lancaster, 1981; Sutherland y Lee, 1994; Swan y Sandilands, 1995). Aún así, se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov para detectar la normalidad o no normalidad de los datos (Davis, 1973). En el análisis se determinaron funciones para discriminar las poblaciones de sedimento de infraplaya y mesoplaya, de mesoplaya y supraplaya, de infraplaya y supraplaya, de barlovento de la duna y de la cresta, de la cresta y del sotavento, del sotavento y del barlovento y de los ríos para diferenciar la boca o desembocadura del cauce distal a la boca. Esto se hizo para identificar el factor dominante para poblaciones de tamaño grueso, mediano y fino (convencionalmente llamadas A, B y C) es decir, el porcentaje de cada población A, B y C fué leído a partir del inicio hasta el final de cada segmento de línea sobre el papel de probabilidad asumiendo poblaciones

normales truncadas (Viard y Breyer, 1979). Lo anterior se realizó para todos los subambientes de playa, duna y río muestreados. Las componentes anteriormente mencionadas (A, B y C) se diferencian de las variables tradicionalmente utilizadas para funciones de discriminación (Mz, s, Ski, Kg) (Reed et al. , 1975; Lancaster, 1981; Sutherland y Lee, 1994a,b) en que representan componentes de las poblaciones de grano grueso, mediano y fino y no son las medidas descriptivas del sedimento utilizadas como la media, clasificación, asimetría y curtosis. Así mismo, se construyeron diagramas binarios que mostraron gráficamente la contribución de cada componente con respecto a la distancia Mahalanobis. La distancia Mahalanobis es una medida del grado de separación entre las tres componentes o variables (A, B y C) de dos poblaciones (subambientes) incluidas en la función discriminante y mientras mayor es su valor mayor es la discriminación. En este caso la idea era omitir cada componente de la función discriminante obtenida para cada caso y observar si al omitir dicha componente la distancia Mahalanobis se reducía. En otras palabras, si se tiene una función discriminante  $D^2 = A+B+C$  en donde  $D^2$  es la distancia Mahalanobis y al omitir la componente B la distancia Mahalanobis sin la componente B llamada  $D^{*2}$  se reduce, esto indica que la componente B es la que tiene mayor influencia en la discriminación de las dos poblaciones ya que al volver a incluirla en la función, incrementaría la distancia Mahalanobis  $D^2$ . De acuerdo con el objetivo del trabajo las componentes incluidas se llamaron A, B y C, cuyos valores en % se derivaron de la lectura de los segmentos de grano grueso, mediano y fino de las distribuciones normales en papel probabilidad. Los cálculos se realizaron en MathCad y en una hoja de Excel. Se utilizaron límites de confianza del 5 % ( $p = 0.05$ ).

#### b) PETROGRAFIA.

Se elaboraron 33 láminas delgadas de muestra total de sedimento de playa y duna. El montaje se realizó con muestras de sedimento seco, sin tamizar, fijados sobre portaobjetos en termoplástico. El criterio de reducir el número de muestras de ambos ambientes se basó en la obtención del promedio de la media (Mz) correspondiente cuyo valor se aproximara a la propia media (Mz) obtenida de la muestra a seleccionar (ejemplo, si la Mz promedio de cuatro muestras de infraplaya es de 2.66 entonces la muestra a seleccionar es la muestra de infraplaya, de las cuatro, que más se acerque a ese valor). En el caso de las muestras de río, se

elaboraron 9 láminas delgadas para la desembocadura del río y el cauce distante a la desembocadura. Para el análisis petrográfico se consideró la muestra total original, para evitar el efecto que en el análisis pueden arrojar las diferencias petrológicas en lo que se refiere a tamaños de grano.

Se contaron 250 granos por lámina que incluyeron: cuarzo (C) (tanto cuarzo monocristalino (Cm) como cuarzo policristalino (Cp)), feldespatos de potasio (F) y plagioclasas (P), fragmentos de roca volcánicos (FRV), plutónicos (FRP), sedimentarios (FRS) y metamórficos (FRM), pedernal, mica y minerales pesados.

Se elaboraron diagramas ternarios con los siguientes polos: cuarzo-feldespatos (incluyendo plagioclasas)-fragmentos de roca (Folk, 1974; Dickinson, 1980, 1983) (C-F-FR), cuarzo monocristalino- feldespatos-líticos totales (Dickinson, 1983)(C-F-Lt), fragmentos de roca sedimentaria-volcánica-metamórfica (Folk, 1974), cuarzo monocristalino-feldespatos-plagioclasas (Hyndman, 1972). El pedernal fue considerado como litico sedimentario ( Dickinson y Valloni, 1980 ; Ingersoll et al., 1984). Los fragmentos plutónicos se consideraron como líticos y no como minerales componentes de ese fragmento a diferencia del método propuesto por Gazzzi-Dickinson que considera componentes para líticos (Ingersoll et al., 1984). Se obtuvieron los índices de madurez e índice de procedencia (Pettijohn, 1975) para cada subambiente estudiado. Se estableció una relación entre coeficiente de cuarzo policristalino/cuarzo monocristalino (Cp/Cm) y plagioclasas/feldespatos (P/F) para cada subambiente. Se estableció una relación entre coeficiente de cuarzo policristalino/cuarzo monocristalino y fragmentos de roca volcánica/fragmentos de roca total. Se obtuvieron la media y la desviación estándar para cada subambiente (infra, meso, supraplaya, barlovento, cresta , sotavento, boca del río y zona distal a la boca) para los polos C-F-FR, Cm-F-Lt, Cm-F-P y FRV-FRS-FRM construyendo los polígonos con la media y desviación estándar y se construyeron también polígonos para los diversos ambientes en general (playa, duna y río).

### c) GEOQUIMICA

Se seleccionaron 16 muestras de roca total para la determinación de elementos mayores por fluorescencia de rayos X en un espectrómetro secuencial Siemens SRS 3000 automatizado (tubo de Rh y ventana de Be 125µm). La calibración previa del aparato y la preparación de las muestras esta descrita con detalle por Lozano-Santa Cruz, et al. (1995), cuya precisión para detectar elementos como el Si, Ti, Al, Fe total, Ca y Mg es muy buena (% de la desviación estándar relativa menor a 1%), para Mn y P es aceptable (menor al 4%) y para el Na y K no muy buena (menor al 12 %). El criterio de selección de 16 muestras (6 de playa, 6 de duna y 4 de río) se basó en el alto grado de alteración de feldespatos, plagioclasas y fragmentos de roca vistos al microscopio polarizante y en el grado de diferenciación composicional (petrografía) procurando incluir muestras que abarcaran toda la zona de estudio. Se construyeron diagramas ternarios con los polos  $\text{CaO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$  y  $\text{Si}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Ca+Na+K}_2\text{O}$  para las muestras individuales, para los subambientes de playa, duna y río (con la media y desviación estándar), para los ambientes de playa, duna y río en general y para los ambientes de playa del norte y sur. El índice de alteración química (Ibbeken y Schleyer, 1991) se obtuvo para los subambientes y ambientes de playa, duna y río. Se construyeron diagramas binarios con las relaciones  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$  para observar posibles grados de alteración de los sedimentos y el rango de contribución de los feldespatos en la composición de los subambientes y ambientes. También se construyeron los diagramas binarios en relación al marco tectónico predominante en el área con las componentes  $\text{SiO}_2$  y la razón  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  (Roser y Korsch, 1986).

## CAPITULO 4. RESULTADOS.

### 4.1 ANALISIS TEXTURAL DE SEDIMENTOS DE PLAYA, DUNA Y RIO.

En las Tablas 1 a la 7 se presentan los parámetros texturales obtenidos por el método gráfico (Folk, 1957). Los criterios de definición de los parámetros texturales se basan en Folk (1957). Los límites para definir los parámetros son los siguientes : clasificación < 0.35 muy bien clasificada; 0.35 a 0.5 bien; 0.5 a 1.0 moderada; 1.0 a 2.0 pobre; 2.0 a 4.0 muy pobre; 4.00 extremadamente pobre. La asimetría -1.0 a -0.30 fuerte asimetría negativa; -0.30 a -0.10 asimetría negativa; -0.10 a 0.10 simétrica; 0.10 a 0.30 asimetría positiva; 0.30 a 1.0 fuerte asimetría positiva. La curtosis < 0.67 muy platicúrtica; 0.67 a 0.90 platicúrtica; 0.90 a 1.11 mesocúrtica; 1.11 a 1.50 leptocúrtica; 1.50 a 3.00 muy leptocúrtica; > 3.00 extremadamente leptocúrtica. Las claves de muestras de la Figura 1 indican que son de playa, por ejemplo OP1. Las letras i, m y s en las Tablas indican infraplaya, mesoplaya y supraplaya, respectivamente. La letra D indica que son de duna en donde b, c y s indican barlovento, cresta y sotavento, respectivamente. Las curvas de frecuencia acumulativa se agruparon por subambientes incluyendo infraplaya (Fig. 3 ), mesoplaya (Fig. 4 ), supraplaya (Fig. 5), barlovento (Fig. 6 ), cresta (Fig. 7 ), sotavento (Fig. 8), zona distal a la boca del río y la boca del río (Figs. 9 y 10).

TABLA 1.-PARAMETROS TEXTURALES DE SEDIMENTOS DEL AREA  
DE PLAYA BOCA DE OVEJAS

Muestra	Mz	$\sigma$	Ski	Kg	Ambiente
PBO-9S*	2.280	0.445	0.120	1.033	Playa(mesoplaya)
OP1i	2.014	0.372	0.011	1.081	Playa (infraplaya)
OP1m	2.168	0.355	0.074	1.062	Playa (mesoplaya)
OP1s	2.192	0.444	0.160	1.058	Playa (supraplaya)
OP1Db	2.353	0.358	0.097	0.928	Duna (barlovento)
OP1Dc	2.517	0.343	-0.018	0.940	Duna (cresta)
OP1Ds	2.421	0.348	-0.083	0.959	Duna (sotavento)
OP2i	2.036	0.392	-0.038	1.092	Playa (infraplaya)
OP2m	2.386	0.257	0.081	1.220	Playa (mesoplaya)
OP2s	2.199	0.369	0.113	1.084	Playa (supraplaya)
OP2Db	2.390	0.377	-0.070	0.939	Duna (barlovento)
OP2Dc	2.541	0.331	-0.091	0.947	Duna (cresta)
OP2Ds	2.454	0.377	-0.031	0.972	Duna (sotavento)
OP3i	1.745	0.418	-0.048	1.140	Playa (infraplaya)
OP3m	2.057	0.449	0.055	1.053	Playa (mesoplaya)
OP3s	2.014	0.432	0.017	1.068	Playa (supraplaya)
OP3Db	2.273	0.388	0.141	0.988	Duna (barlovento)
OP3Dc	2.100	0.460	0.028	0.967	Duna (cresta)
OP3Ds	2.166	0.380	-0.021	0.89	Duna (sotavento)



TABLA 2.- PARAMETROS TEXTURALES DE SEDIMENTOS DEL AREA  
DE PLAYA BOCA ANDREA

Muestra	Mz	$\sigma$	Ski	Kg	Ambiente
PBA 95 *	1.876	0.370	0.005	0.982	Playa (mesoplaya)
AP1i	0.712	0.935	-0.142	1.632	Playa (infraplaya)
AP1m	2.049	0.411	-0.063	1.095	Playa (mesoplaya)
AP1s	1.803	0.396	0.058	0.964	Playa (supraplaya)
DBA 95 *	2.089	0.337	0.118	1.120	Duna (cresta)
AP1D c	2.591	0.386	-0.040	1.091	Duna (cresta)
AP1D s	2.363	0.385	0.013	0.930	Duna (sotavento)
AP2i	1.727	0.393	0.141	1.076	Playa (infraplaya)
AP2m	1.979	0.438	0.182	0.904	Playa (mesoplaya)
AP2s	2.096	0.400	0.135	1.129	Playa (supraplaya)
AP2D c	2.340	0.352	0.201	0.962	Duna (cresta)
AP3i	1.800	0.342	0.198	0.981	Playa (infraplaya)
AP3s	2.113	0.379	0.025	1.026	Playa (supraplaya)
AP3Db	2.290	0.377	0.175	1.013	Duna (barlovento)
AP3Dc	2.308	0.333	0.233	0.942	Duna (cresta)
AP3Ds	2.266	0.372	0.173	1.017	Duna (sotavento)
AP4Db	1.977	0.386	-0.001	1.040	Duna (barlovento)
AP4Dc	1.843	0.394	0.032	1.023	Duna (cresta)
AP4Ds	1.711	0.628	-0.139	0.989	Duna (sotavento)

TABLA 3.- PARAMETROS TEXTURALES DE SEDIMENTOS  
DEL AREA DE PLAYA LA MANCHA

Muestra	Mz	$\sigma$	Ski	Kg	Ambiente
PM 95 *	2.289	0.383	0.078	0.925	Playa (mesoplaya)
MP1i	1.984	0.334	-0.058	1.019	Playa (infraplaya)
MP1m	2.408	0.433	0.087	1.029	Playa (mesoplaya)
MP1s	2.478	0.414	-0.092	1.031	Playa (supraplaya)
MP2i	2.254	0.371	0.102	0.996	Playa (infraplaya)
MP2m	2.256	0.413	0.031	0.972	Playa (mesoplaya)
MP2s	2.439	0.435	0.119	1.042	Playa (supraplaya)
MP3i	2.049	0.395	-0.018	1.063	Playa (infraplaya)
MP3m	2.579	0.482	0.059	0.958	Playa (mesoplaya)
MP3s	2.409	0.342	-0.154	0.961	Playa (supraplaya)
DM 95 *	2.244	0.250	0.385	1.149	Duna (barlovento)
MP4D c	2.701	0.300	0.134	1.279	Duna (cresta)
MP4D s	2.904	0.266	0.066	1.333	Duna (sotavento)

TABLA 4.- PARAMETROS TEXTURALES DE SEDIMENTOS  
DEL AREA DE PLAYA FARALLON

Muestra	Mz	$\alpha$	Ski	Kg	Ambiente
PF1-95 *	1.766	0.401	0.067	1.131	Playa (mesoplaya)
PF-95 *	1.789	0.543	0.005	0.975	Playa (mesoplaya)
FP1i	1.889	0.421	0.178	0.989	Playa (infraplaya)
FP1m	2.065	0.455	-0.029	0.943	Playa (mesoplaya)
FP1s	2.171	0.427	0.065	1.043	Playa (supraplaya)
DF 95 *	2.386	0.378	-0.042	0.916	Duna (barlovento)
FPD1b	1.817	0.414	0.253	1.029	Duna (barlovento)
FPD1c	1.997	0.397	0.085	1.083	Duna (cresta)
FPD1s	2.186	0.404	0.088	0.977	Duna (sotavento)
FPD2c	2.282	0.290	0.235	0.911	Duna (cresta)
FPD2s	2.260	0.344	0.198	0.903	Duna (sotavento)
FPD3b	2.457	0.290	0.089	0.868	Duna (barlovento)
FPD3c	2.287	0.274	0.220	0.914	Duna (cresta)
FPD3s	2.354	0.300	0.105	0.852	Duna (sotavento)
FP2i	2.093	0.429	0.021	0.909	Playa (infraplaya)
FP2m	2.474	0.318	0.102	0.840	Playa (mesoplaya)
FP2s	2.073	0.435	0.050	1.014	Playa (supraplaya)
FPD4b	1.960	0.385	0.103	1.015	Duna (barlovento)
FPD4c	2.005	0.396	0.033	1.065	Duna (cresta)
FPD4s	2.254	0.299	0.158	1.007	Duna (sotavento)
FP3i	1.840	0.476	-0.010	1.042	Playa (infraplaya)
FP3m	2.125	0.411	0.007	0.959	Playa (mesoplaya)
FP3s	2.035	0.506	0.055	1.046	Playa (supraplaya)
FPD5b	2.044	0.377	0.012	1.140	Duna (barlovento)
FPD5c	1.885	0.332	0.030	0.971	Duna (cresta)
FPD5s	2.231	0.372	0.095	1.031	Duna (sotavento)
FP4i	1.619	0.479	0.162	1.025	Playa (infraplaya)
FP4m	2.471	0.314	0.142	0.864	Playa (mesoplaya)
FP4s	2.168	0.450	0.018	0.987	Playa (supraplaya)
FPD6b	2.244	0.416	0.059	0.989	Duna (barlovento)
FPD6c	2.442	0.396	0.081	0.988	Duna (cresta)
FPD6s	2.684	0.307	0.016	1.289	Duna (sotavento)

TABLA 5.- PARAMETROS TEXTURALES DE SEDIMENTOS DEL AREA DE  
PLAYA JUAN ANGEL

Muestra	Mz	$\sigma$	Ski	Kg	Ambiente
JAP1i	0.504	1.201	0.523	1.185	Playa (infraplaya)
JAP1m	1.996	0.599	-0.146	0.916	Playa (mesoplaya)
JAPDE1b	2.500	0.333	-0.231	0.943	Duna (barlovento)
JAPDE1c	2.452	0.386	-0.254	1.017	Duna (cresta)
JAPDE1s	1.994	0.724	-0.197	0.842	Duna (sotavento)
JAPD2b	1.578	0.704	0.301	1.039	Duna (barlovento)
JAPD2c	1.806	0.721	0.262	0.892	Duna (cresta)
JAPD2s	1.630	0.580	0.169	1.050	Duna (sotavento)

TABLA 6.- PARAMETROS TEXTURALES DE SEDIMENTOS DEL AREA  
DE PLAYA CHACHALACAS

Muestra	Mz	$\sigma$	Ski	Kg	Ambiente
CHP1i	2.013	0.688	0.047	1.138	Playa (infraplaya)
CHP1m	2.510	0.362	-0.224	0.954	Playa (mesoplaya)
CHP1s	2.270	0.469	0.062	0.954	Playa (supraplaya)
CHP2i	2.269	0.526	-0.203	0.873	Playa (infraplaya)
CHP2m	2.514	0.313	-0.155	0.891	Playa (mesoplaya)
CHP2s	2.444	0.431	-0.072	1.040	Playa (supraplaya)
CHPDAc	2.561	0.728	0.205	0.986	Duna (cresta)
CHPDAs	2.573	0.418	0.111	1.063	Duna (sotavento)
CHP3m	2.547	0.327	-0.123	0.962	Playa (mesoplaya)
CHP3s	2.498	0.356	-0.201	0.907	Playa (supraplaya)

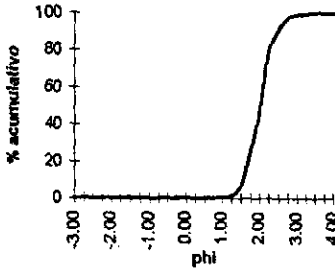
TABLA 7.- PARAMETROS TEXTURALES DE SEDIMENTOS  
DE RIOS

Muestra	Mz	$\sigma$	Ski	Kg	Subambiente.
Boca de Ovejas (OR1)	2.179	0.506	0.129	0.987	Boca del río
Boca de Ovejas (ABO 95)*	2.109	0.397	0.061	0.902	Boca del río
El Platanar (APA)	-1.063	0.882	-0.239	1.473	Lecho del río (distal a la boca)
Arroyo El Platanar (APB)	-1.452	0.710	-0.010	0.843	Lecho del río (distal a la boca)
El Platanar (APC)	-1.542	0.746	-0.063	0.822	Lecho del río (distal a la boca)
Palma Sola (APS 95)*	-0.757	2.445	0.181	0.773	Boca del río
El Agrio (AAA)	2.619	0.821	-0.121	0.937	Lecho del río (distal a la boca)
El Agrio (AAB)	-1.050	0.878	-0.229	1.477	Lecho del río (distal a la boca)
El Viejón (AEV 95)*	-0.777	1.656	-0.309	1.151	Lecho del río (distal a la boca)
El Viejón (AEV 96)	0.751	1.729	0.045	0.825	Lecho del río (distal a la boca)
Mozomboá (MR)	-1.578	0.843	-0.142	0.931	Lecho del río (distal a la boca)
Agua Fria (AGF1)	0.295	1.347	0.085	0.899	Lecho del río (distal a la boca)
Agua Fria (AGF2)	1.385	1.031	0.215	0.957	Boca del río
El Limoncito AEL 95*	-1.614	2.140	0.305	0.773	Lecho del río (distal a la boca)
Actopan (AR1)	-0.928	1.873	0.396	0.918	Lecho del río (distal a la boca)
Actopan (AR2)	2.499	0.386	-0.180	1.046	Boca del río

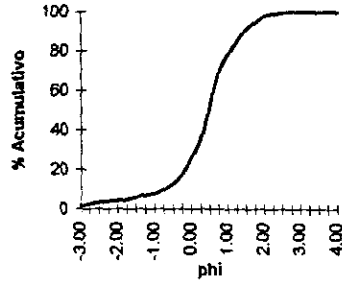
\* muestras de la primer salida durante el mes de abril de 1995; Mz= media;  $\sigma$ = clasificación;

Ski= asimetría; Kg= curtosis; valores en  $\phi$

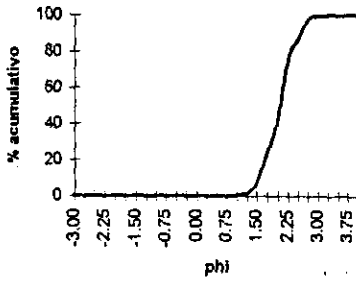
Muestra OP1i (infraplaya)



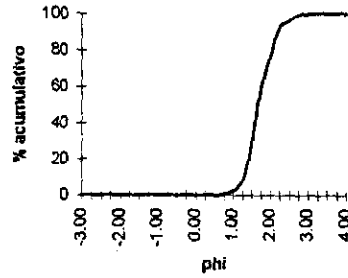
Muestra AP1i (infraplaya)



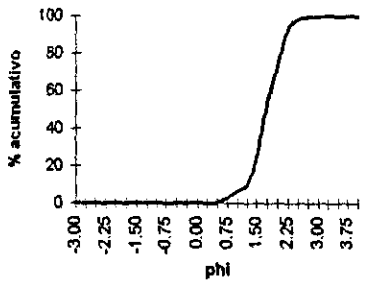
Muestra OP2i (infraplaya)



Muestra AP2i (infraplaya)



Muestra OP3i (infraplaya)



Muestra AP3i (infraplaya)

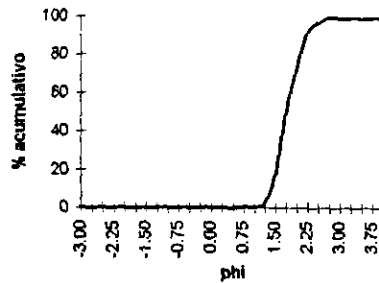
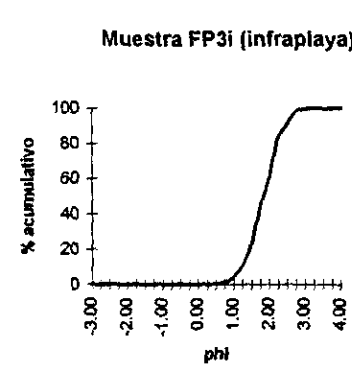
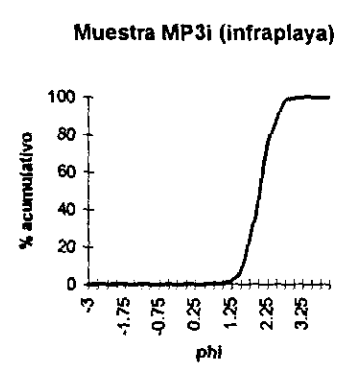
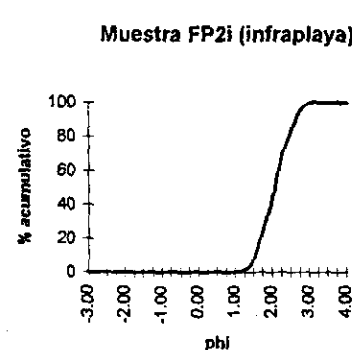
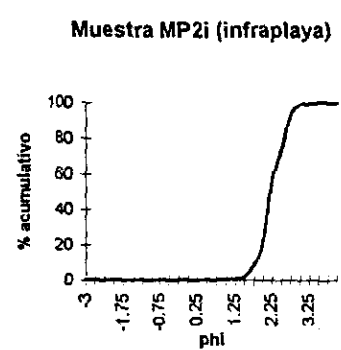
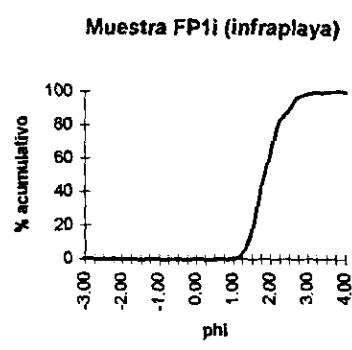
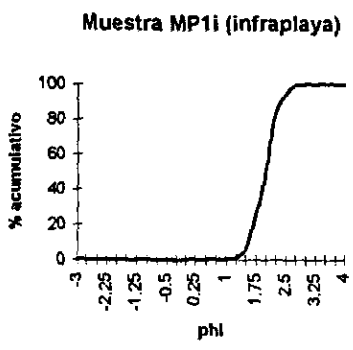
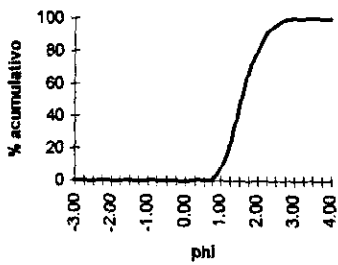


Fig. 3. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de infraplaya

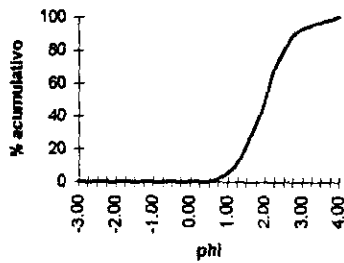


**Fig. 3.... continuación**

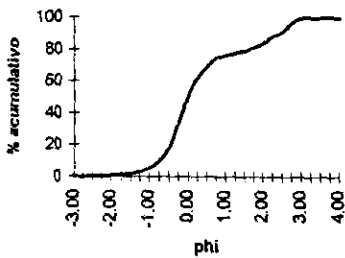
**Porcentaje Acumulativo Muestra FP4i (infraplaya)**



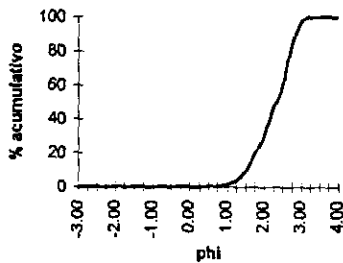
**Porcentaje Acumulativo Muestra CHP1i (infraplaya)**



**Porcentaje Acumulativo Muestra JAP1i (infraplaya)**

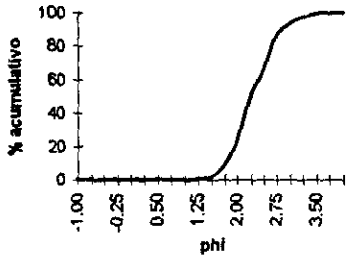


**Porcentaje Acumulativo Muestra CHP2i (infraplaya)**

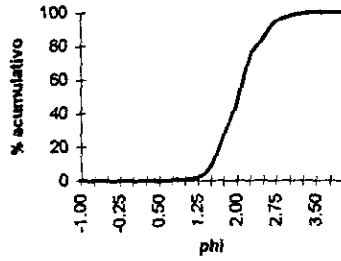


**Fig. 3...continuación**

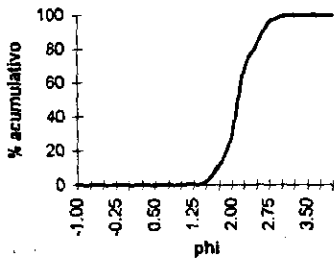
**Muestra PBO-95m (mesoplaya)**



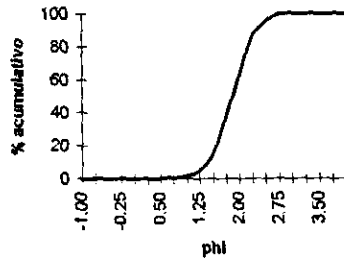
**Muestra OP3m (mesoplaya)**



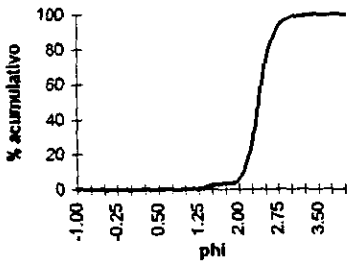
**Muestra OP1m (mesoplaya)**



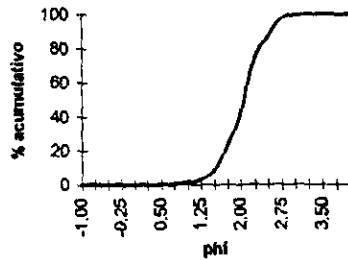
**Muestra PBA-95m (mesoplaya)**



**Muestra OP2m (mesoplaya)**



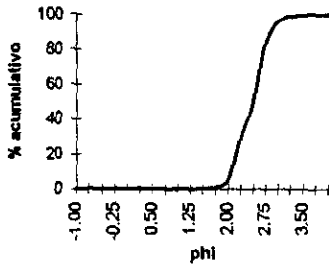
**Muestra AP1m (mesoplaya)**



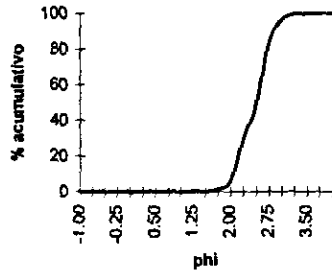
**Fig. 4. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de mesoplaya**



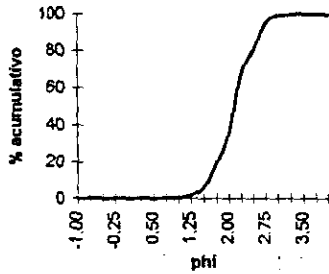
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
FP2m (mesoplaya)**



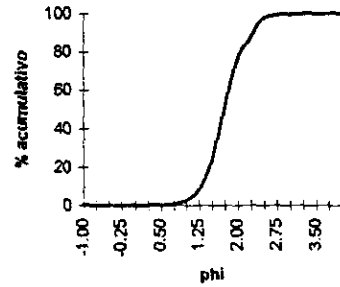
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
FP4m (mesoplaya)**



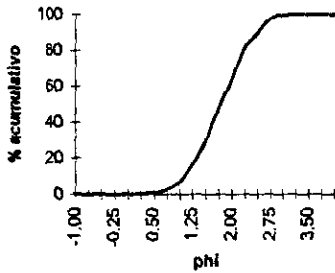
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
FP3m (mesoplaya)**



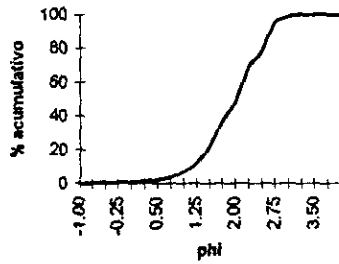
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
PF1-95m (mesoplaya)**



**Porcentaje Acumulativo Muestra  
PF-95m (mesoplaya)**

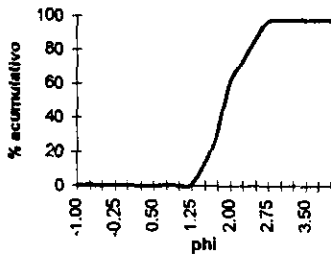


**Porcentaje Acumulativo Muestra  
JAP1m (mesoplaya)**

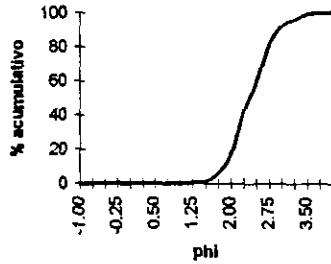


**Fig. 4... continuación**

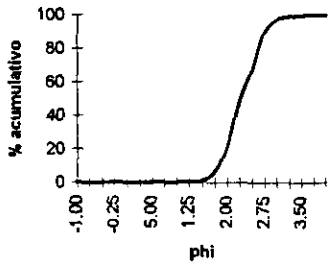
**Muestra AP2m (mesoplaya)**



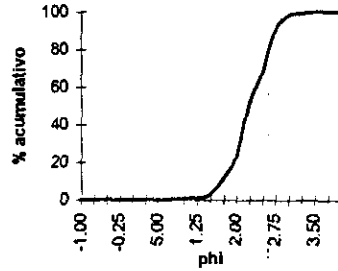
**Muestra MP1m (mesoplaya)**



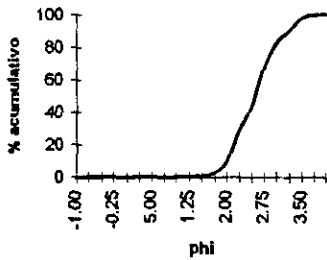
**Muestra PM-95m (mesoplaya)**



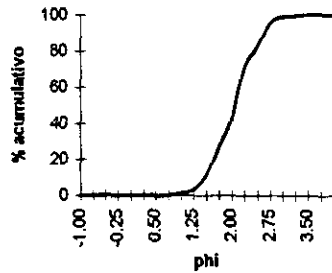
**Muestra MP2m (mesoplaya)**



**Muestra MP3m (mesoplaya)**

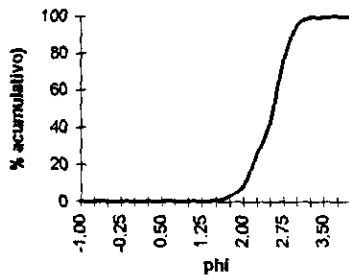


**Muestra FP1m (mesoplaya)**

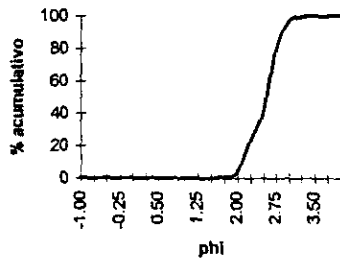


**Fig. 4... continuación**

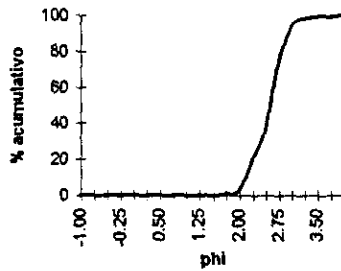
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
CHP1m (mesoplaya)**



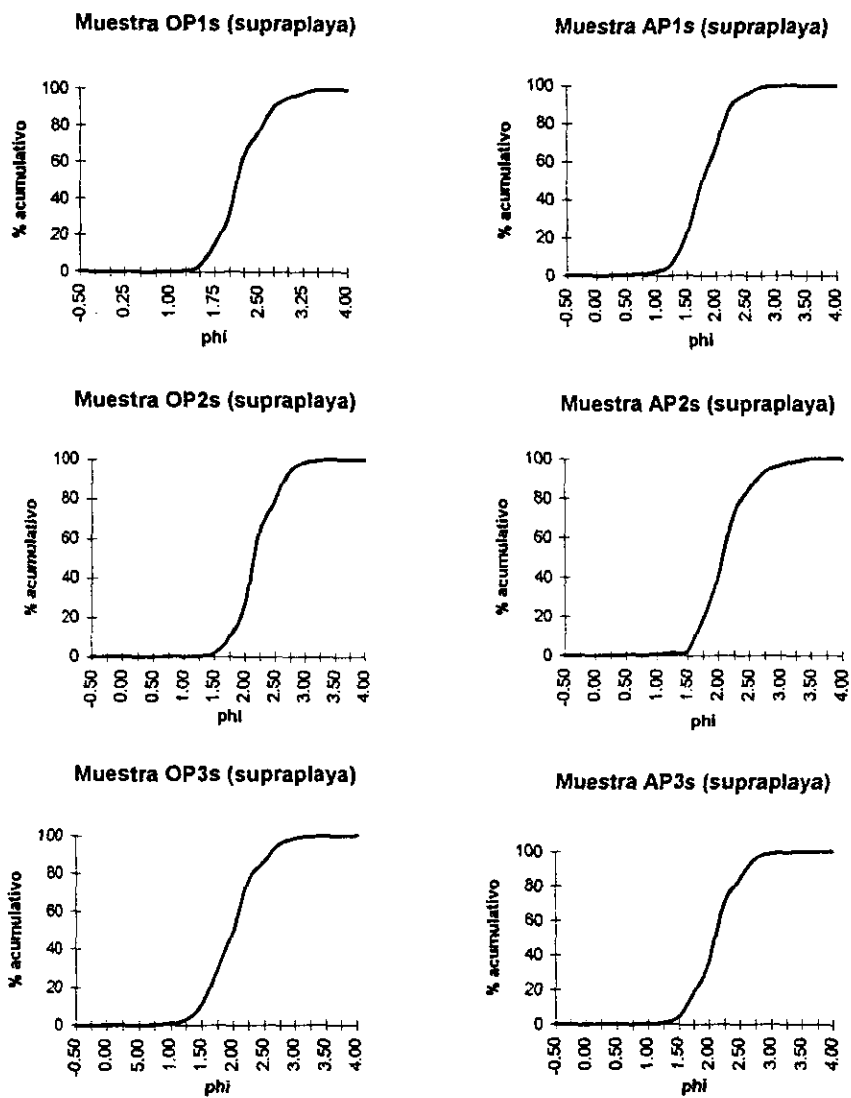
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
CHP2m (mesoplaya)**



**Porcentaje Acumulativo Muestra  
CHP3m (mesoplaya)**

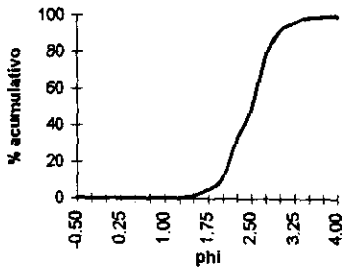


**Fig. 4... continuación**

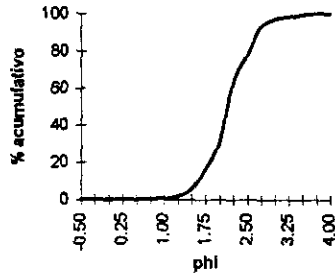


**Fig. 5. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de supraplaya**

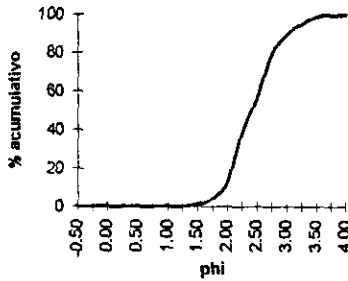
**Muestra MP1s (supraplaya)**



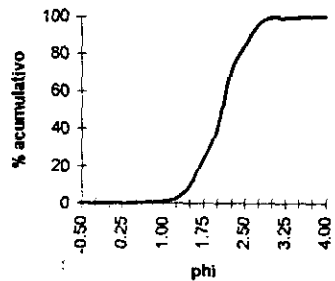
**Muestra FP1s (supraplaya)**



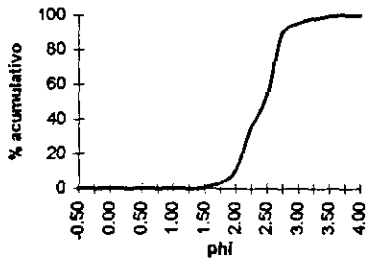
**Muestra MP2s (supraplaya)**



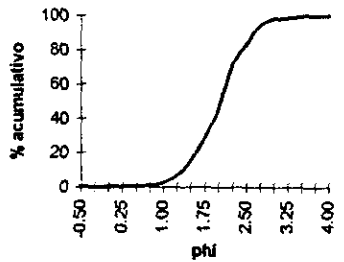
**Muestra FP2s (supraplaya)**



**Muestra MP3s (supraplaya)**

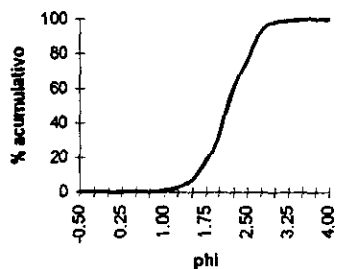


**Muestra FP3s (supraplaya)**

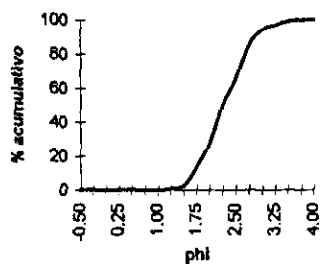


**Fig. 5... continuación**

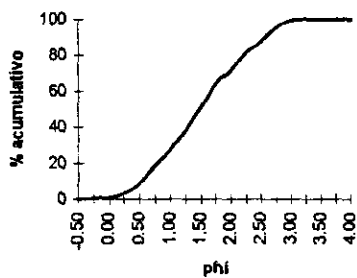
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
FP4s (supraplaya)**



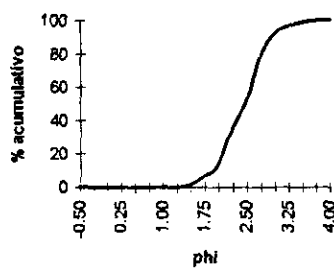
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
CHP1s (supraplaya)**



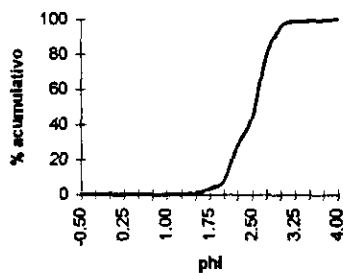
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
JAP1s (supraplaya)**



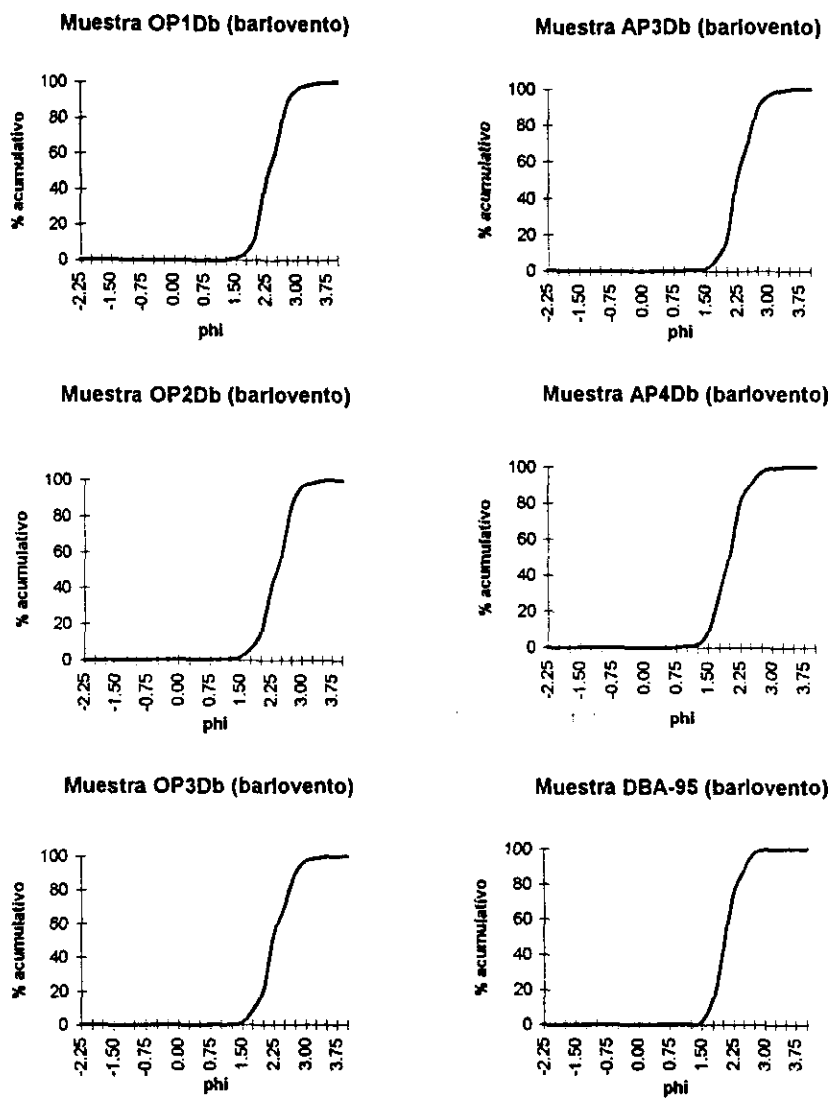
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
CHP2s (supraplaya)**



**Porcentaje Acumulativo Muestra  
CHP3s (supraplaya)**

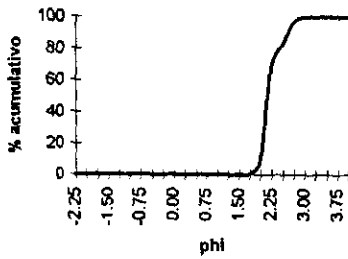


**Fig. 5... continuación**

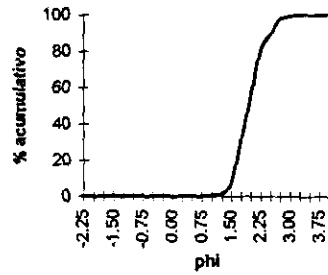


**Fig. 6. Curvas de porcentaje acumulado para muestras de barlovento**

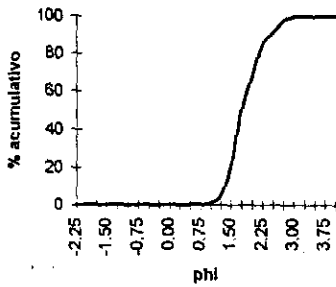
**Muestra DM-95 (barlovento)**



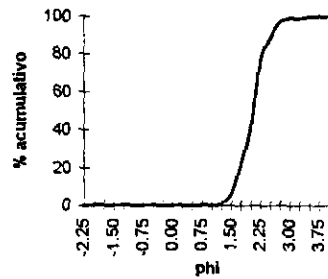
**Muestra FPD4b (barlovento)**



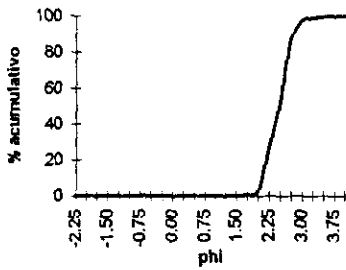
**Muestra FPD1b (barlovento)**



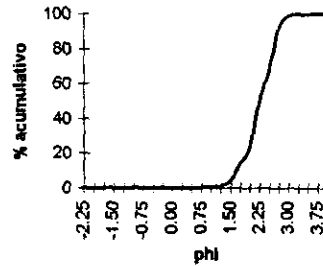
**Muestra FPD5b (barlovento)**



**Muestra FPD3b (barlovento)**



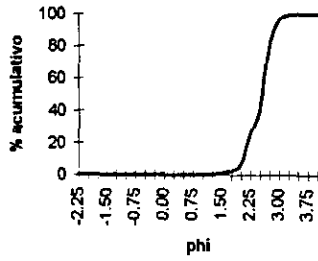
**Muestra FPD6b (barlovento)**



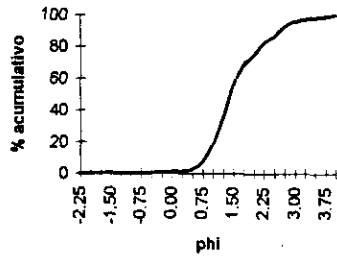
**Fig. 6... continuación**



**Porcentaje Acumulativo Muestra  
JAPDE1b (barlovento)**

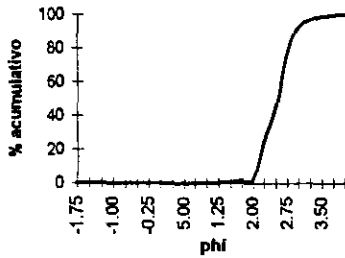


**Porcentaje Acumulativo Muestra  
JAPD2b (barlovento)**

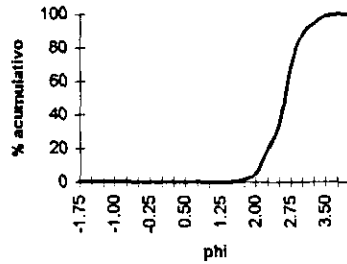


**Fig. 6... continuación**

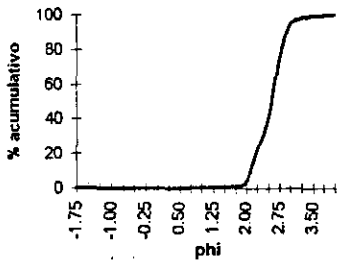
**Muestra OP1Dc (cresta)**



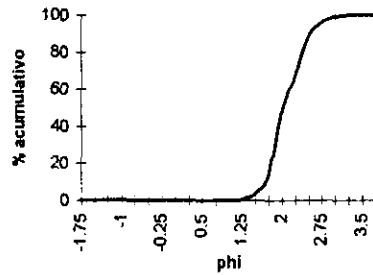
**Muestra AP1Dc (cresta)**



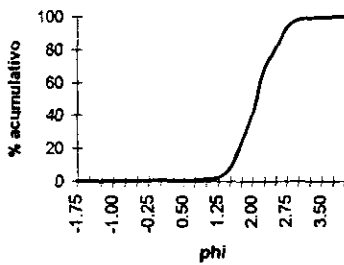
**Muestra OP2Dc (cresta)**



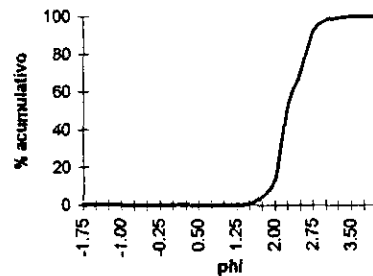
**Muestra AP2Dc (cresta)**



**Muestra OP3Dc (cresta)**

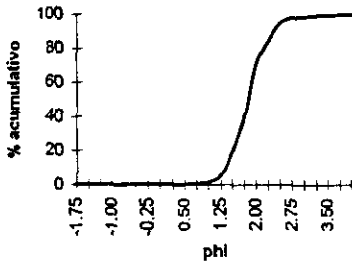


**Muestra AP3Dc (cresta)**

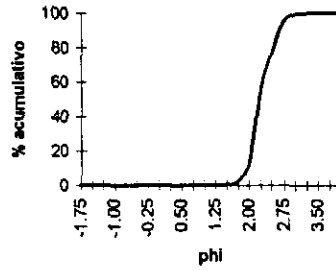


**Fig. 7. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de la cresta**

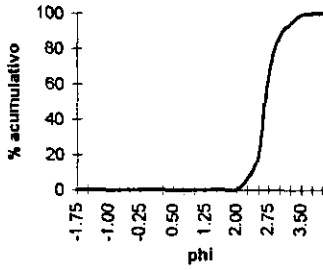
Muestra APD4c (cresta)



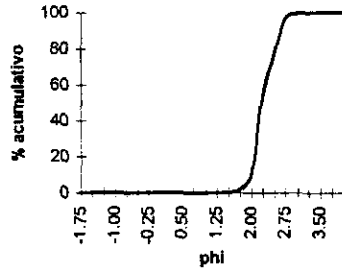
Muestra FPD2c (cresta)



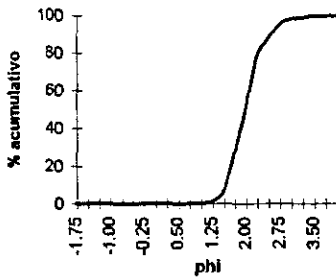
Muestra MP4Dc (cresta)



Muestra FPD3c (cresta)



Muestra FPD1c (cresta)



Muestra FPD4c (cresta)

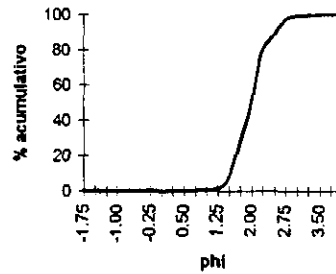
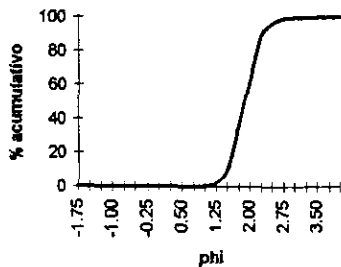
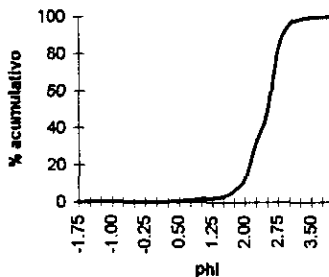


Fig. 7... continuación

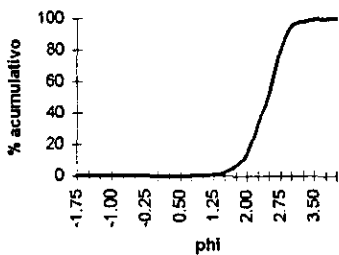
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
FPD5c (cresta)**



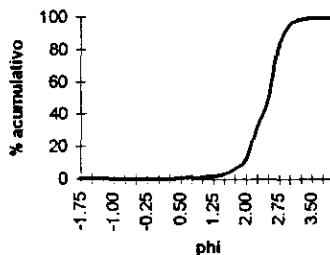
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
JAPDE1c (cresta)**



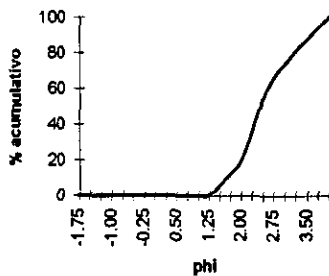
**Porcentaje Acumulativo Muestra  
FPD6c (cresta)**



**Porcentaje Acumulativo Muestra  
JAPD2c (cresta)**

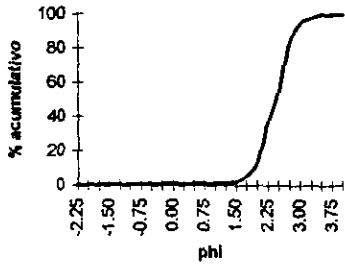


**Porcentaje Acumulativo Muestra  
CHPDAc (cresta)**

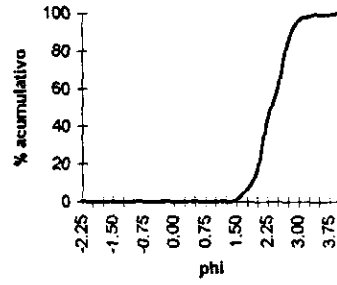


**Fig. 7... continuación**

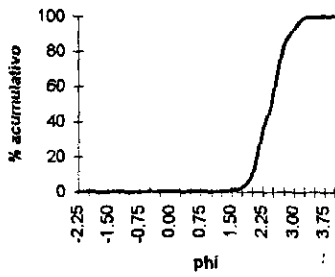
Muestra OP1Ds (sotavento)



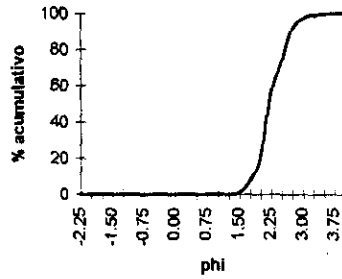
Muestra AP1Ds (sotavento)



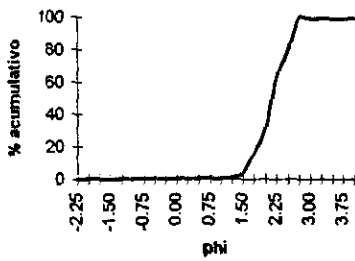
Muestra OP2Ds (sotavento)



Muestra AP3Ds (sotavento)



Muestra OP3Ds (sotavento)



Muestra AP4Ds (sotavento)

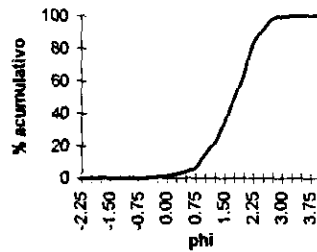
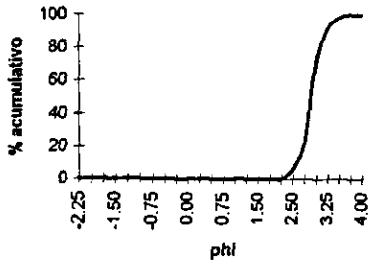
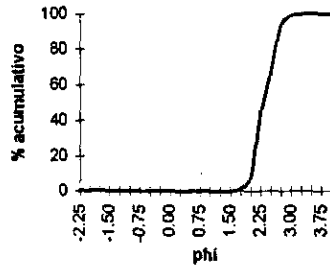


Fig. 8. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de sotavento

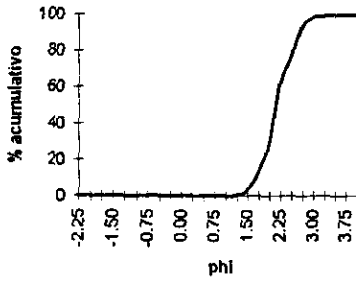
**Muestra MP4Ds (sotavento)**



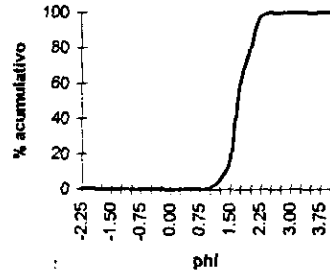
**Muestra FPD3s (sotavento)**



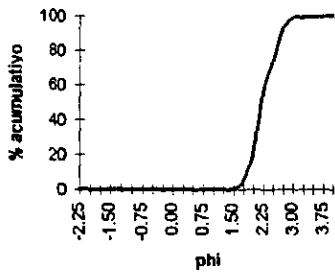
**Muestra FPD1s (sotavento)**



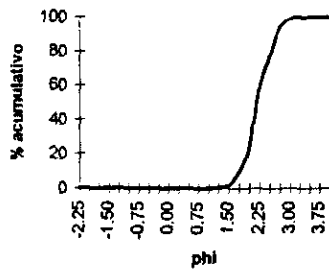
**Muestra FPD4s (sotavento)**



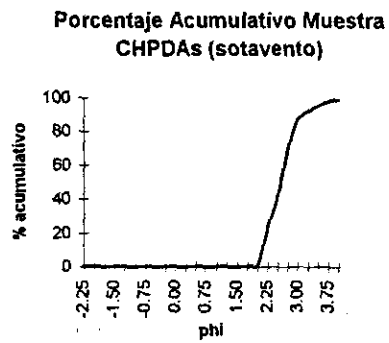
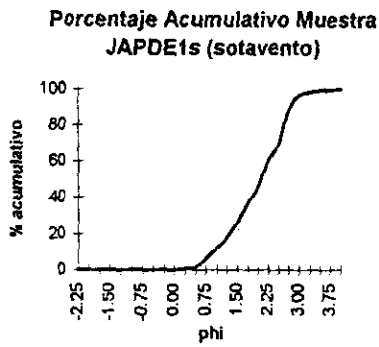
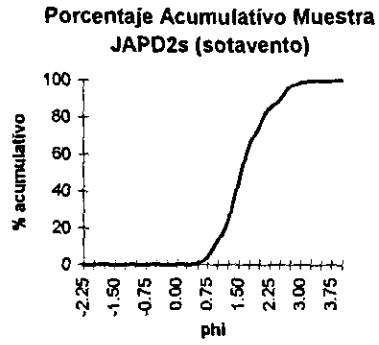
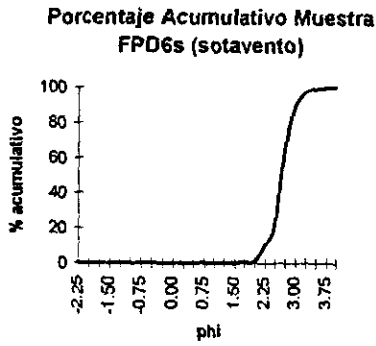
**Muestra FPD2s (sotavento)**



**Muestra FPD5s (sotavento)**

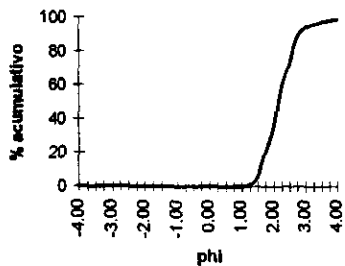


**Fig. 8... continuación**

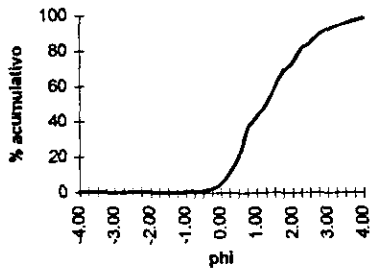


**Fig. 8... continuación**

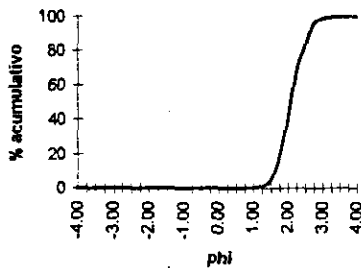
Muestra OR1 (boca del río)



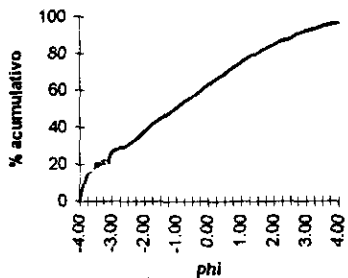
Muestra AGF2 (boca del río)



Muestra PBO-95 (boca del río)



Muestra APS-95 (boca del río)



Muestra AR2 (boca del río)

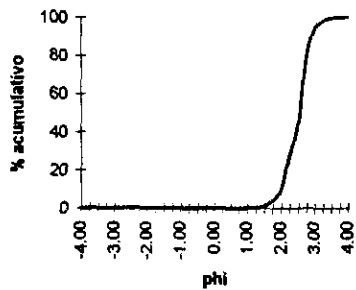
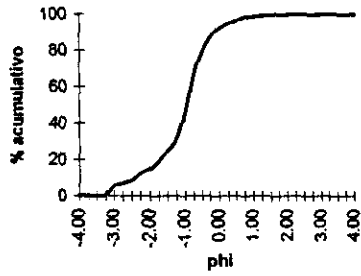


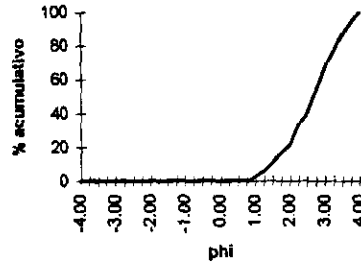
Fig. 9. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de la boca del río



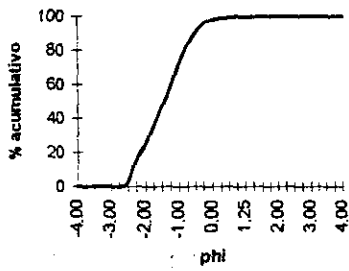
**Muestra APA (distal a la boca del río)**



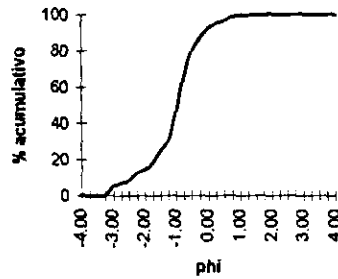
**Muestra AAA (distal a la boca del río)**



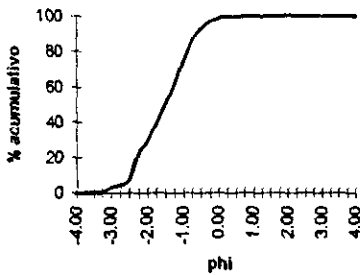
**Muestra APB (distal a la boca del río)**



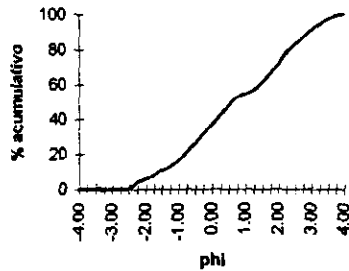
**Muestra AAB (distal a la boca del río)**



**Muestra APC (distal a la boca del río)**

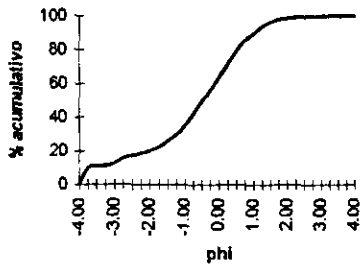


**Muestra AEV-96 (distal a la boca del río)**

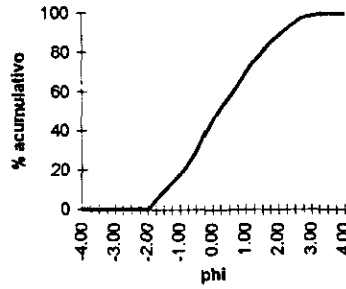


**Fig. 10. Curvas de porcentaje acumulativo para muestras de río distales a la boca**

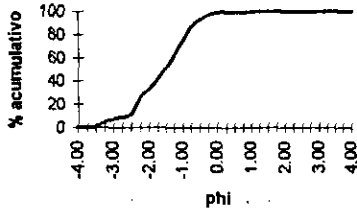
**Muestra AEV-95 (distal a la boca del río)**



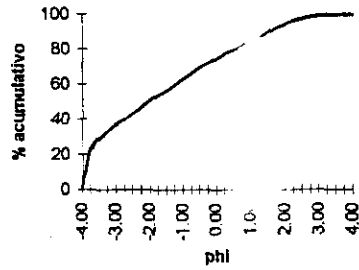
**Muestra AGF1 (distal a la boca del río)**



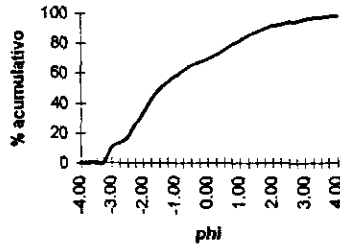
**Muestra MR (distal a la boca del río)**



**Muestra AEL-95 (distal a la boca del río)**



**Muestra AR1 (distal a la boca del río)**



**Fig. 10... continuación**

#### A) Infraplaya.

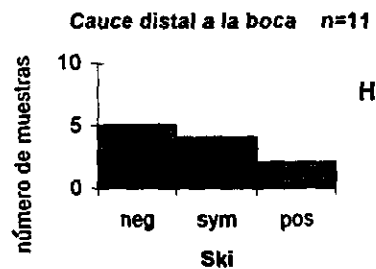
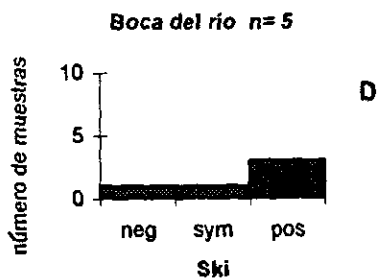
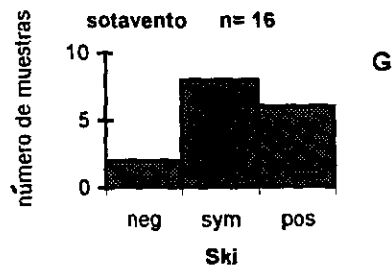
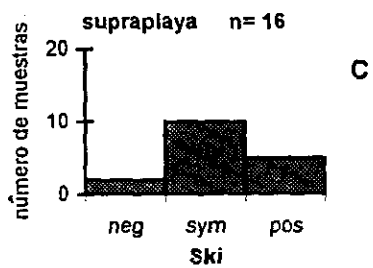
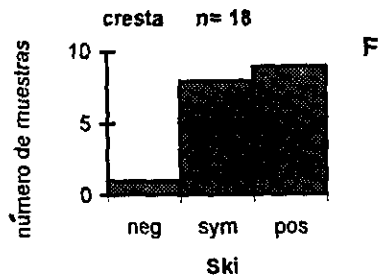
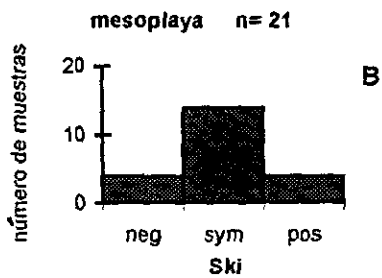
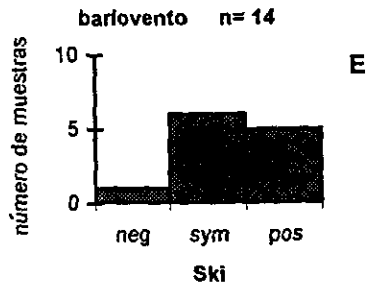
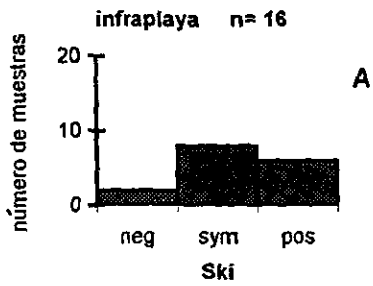
En esta zona del perfil de playa es común observar curvas mesocúrticas. Algunas muestras presentan curvas leptocúrticas (OP3i, AP1i, JAP1i y CHP1i) (Fig. 3) y también hay una tendencia a la unimodalidad, con excepción de la muestra JAP1i en donde el aporte del arroyo Agua Fria suministra sedimentos gruesos que causan la bimodalidad de la misma (Fig. 3). Los sedimentos en general están bien clasificados con excepción de las muestras AP1i, CHP1i y CHP2i que presentan *moderada clasificación*. Los diagramas de barras (Fig. 11) muestran que la infraplaya presenta tendencias a las curvas simétricas con algunas tendencia a la asimetría positiva debido posiblemente al "entrampamiento" de arena de tamaño fino entre los intersticios de arena de tamaño grueso (Komar, 1976; McClaren 1981).

#### B) Mesoplaya

Las curvas son mesocúrticas con algunas excepciones para las muestras de las localidades FP2m, FP4m y CHP2m (Fig. 4) que tienden a ser platicúrticas. La clasificación del sedimento es buena y los sedimentos tienden a la unimodalidad. Con respecto a la asimetría se puede ver que la tendencia de las curvas es a ser simétricas aunque hay una tendencia a la asimetría positiva y negativa de igual proporción (Fig. 11). Las asimetrías negativas se presentan especialmente en los sedimentos que componen las playas del sur (JAP1m, CHP1m, CHP2m y CHP3m) debido al suministro de fracciones más gruesas por parte de los ríos Agua Fría y Actopan (Fig. 2). Es esta zona la que para muchos autores define la negatividad en la asimetría de los sedimentos de playa (Friedman, 1961; Duane 1964). La remoción de partículas finas hacia regiones de la infraplaya también explica la negatividad de los sedimentos de mesoplaya.

#### C) Supraplaya

De acuerdo con las curvas obtenidas (Fig. 5) se observa una tendencia a ser mesocúrticas con la excepción de la muestra AP2s que tiende a ser leptocúrtica. La clasificación es buena y los sedimentos son unimodales. Las curvas tienden a ser simétricas aunque hay también asimetrías positivas (Fig. 11) que reflejan la



**Fig. 11. Diagramas de barra del número de muestras de playa (A,B,C), duna (E,F,G) y río (D,H) con asimetrías positivas, simetría y asimetrías negativas.  
Ski= asimetría**

efectividad del viento de transportar partículas mas finas, para depositarlas en la zona mas distal del perfil de playa con respecto al límite de influencia del mar.

#### D) Barlovento.

Las curvas son mesocúrticas y algunas muestras tienden a ser leptocúrticas (DM95 y FPD5b) y platicúrticas (FPD4b). La clasificación es buena y se reportan curvas unimodales. La tendencia en este subambiente es el de tener simetría en la curva y también tendencias a la asimetría positiva (Fig. 11 ). El patrón es similar al de la supraplaya en cuanto a la simetría por efectos del viento.

#### E) Cresta.

En la Fig. 7 se muestran los resultados de las curvas para este subambiente. Las curvas son mesocúrticas con una ligera tendencia a ser leptocúrticas (muestras DBA95 y MP4Dc), cuya clasificación es buena y tendencia a la unimodalidad con excepción de la muestra CHPDAc cuya curva parece mostrar bimodalidad. Las curvas tienden a la asimetría positiva (Fig. 11) posiblemente por mantener granos finos en la cima de la duna. La poca competitividad del viento con respecto al agua como agentes para transportar partículas es una de las causas de la tendencia positiva de la asimetría de la duna en general (Friedman, 1961).

#### F) Sotavento.

Las curvas (Fig. 8) son mesocúrticas, aunque las muestras MP4Ds y FPD6 s tienden a ser leptocúrticas y las muestras de las localidades OP3Ds, FPD3s y JAPDE1s son platicúrticas. La clasificación es buena. La unimodalidad de la curva está presente y la existe simetría en las distribuciones (Fig. 11 ).

## INTERPRETACION.

Se infiere de acuerdo con los resultados obtenidos de los diagramas de barra (Fig. 11) para los sedimentos de playa que en relación a la dominancia de factores físicos en las playas (básicamente una costa dominada por corrientes, oleaje y viento) (Curry, 1961; Boyd, 1992) existe una tendencia en función de la asimetría a que las curvas sean simétricas aunque la influencia de los ríos Agua Fria y Actopan influyen en la asimetría negativa de algunas localidades, especialmente de las playas del sur (Fig. 2).

Las playas presentan distribuciones Gauss o normales dominantes (Jbbeken y Schleyer, 1991) sugiriendo que la procedencia de los sedimentos que constituyen los ambientes no están únicamente en función del suministro por ríos o erosión de acantilados sino que otro factor importante en su caracterización textural es la redistribución de sedimentos por corrientes a lo largo de la costa (más adelante, la petrografía respalda esta afirmación). La bimodalidad presente en algunas muestras cercanas a la desembocadura de ríos como el Agua Fria y Actopan (Figs. 1 y 2) posiblemente esté relacionado con ciclos, en los que la competencia de los arroyos es mayor y cuya influencia se refleja en las fracciones más gruesas. En contraste, al bajar la competencia de los arroyos, las corrientes litorales influyen sobre las distribuciones granulométricas.

De acuerdo con McClaren (1981) un depósito con tendencias en los valores distintos en asimetría positiva, simetría o asimetría negativa y valores distintos en la media y clasificación con respecto a la fuente de suministro infieren posibles mecanismos de depositación selectiva y depositación total. En el caso de los ambientes de playa se observa una tendencia a la simetría en las curvas, la cual puede deberse a que los ambientes estudiados siguen episodios de poca remoción de las fracciones finas o a un mayor aporte de las fracciones gruesas que inclinaran la simetría hacia los finos o gruesos. En general, los valores de asimetría para las localidades estudiadas no difieren mucho entre sí, con excepción de algunas muestras en playas del sur en donde la tendencia es a la asimetría negativa por efecto de los ríos Agua Fria y Actopan. En el barlovento y sotavento se presentan valores de simetría en las distribuciones (Fig. 11) y la tendencia para la cresta se inclina para la asimetría positiva por mantener en esta zona fracciones de grano más fino.

G) Cauce distante a la desembocadura del río.

Se analizaron las regiones distantes de la boca o desembocadura del río tomando muestras del lecho del propio cauce en arroyos secos y con corriente. Los resultados de las curvas (Fig 10 ) muestran que hay una variación importante en la forma de las mismas incluyendo platicúrticas (muestras APB, APC, AAB, AEV96), mesocúrticas (AGFI, MR, AAA, AR1) y leptocúrticas (AEV95). Es notorio observar que la mayor parte de las muestras están mal clasificadas y el rango de variación del tamaño de partículas es grande. La moda de las muestras también varía y se pueden observar curvas unimodales (APB, APC, AAA, AGFI ) y bimodales (muestras AEV-95, AAB, AEV-96, APA,AR1, AEL95, MR). Las curvas tienden a la asimetría negativa (Fig. 11). Es evidente que el signo negativo en este caso está relacionado con la alta competencia de los arroyos a la depositación en estas regiones del río de material más grueso durante la época de lluvia, aunque se presentan arenas medias a finas durante una baja en la competencia del río que no transporta el material hasta la desembocadura. Estos efectos de cambios en el grado de competencia del río, son elementos que conforman el primer y segundo orden el desarrollo de una distribución del tamaño de grano desde el cauce distal a la boca del río hasta la propia desembocadura (Ibbeken y Schleyer, 1991).

La asimetría negativa sugiere que la fuente de suministro está cerca del área muestreada del río por la tendencia a una menor abrasión y reducción en el tamaño de grano. En este caso el diagnóstico de procedencia suele ser más efectivo que en el caso de una fuerte variabilidad en las distribuciones Rosin y Gauss de los sedimentos, principalmente en ambientes de playa. La dominancia de la distribución asimétrica sobre la Gauss (Ibbeken y Schleyer, 1991) en los ríos estudiados indican episodios de baja y alta competencia fluvial que deposita sedimentos gruesos en periodos de baja competencia y los acarrea durante periodos de alta competencia.

#### H) Bocas de ríos.

Los procesos marinos y fluviales interactúan en esta región. De acuerdo con los resultados de las curvas (Fig. 10), se observan curvas mesocúrticas con excepción de la curva para la muestra APS95 (Fig. 9). Esta y la muestra AGF2 presentan mala clasificación a diferencia del resto de las muestras que tienen buena clasificación. Hay bimodalidad en las muestras APS-95 y AGF2 como consecuencia de los cambios en la competencia del río que mezclan poblaciones granulométricas de diferente tamaño. La dominancia de la unimodalidad en las muestras de la boca refleja el predominio de los procesos marinos sobre los fluviales en la desembocadura, por efectos del oleaje y mareas. La simetría tiende a ser positiva (Fig.11) para ambas muestras; es decir, existe una ligera dominancia de la distribución Rosin sobre la Gauss. Como diagnóstico junto con la bimodalidad de las muestras anteriormente mencionadas se tiene que en las desembocaduras de los arroyos Palma Sola y Agua Fria, existen dos estilos de depositación : 1) dominancia de los procesos marinos sobre los fluviales y 2) mayor competencia de estos arroyos para suministrar sedimentos más gruesos a la costa, implicando una ligera dominancia de los procesos fluviales sobre los marinos. La menor competencia de los arroyos influyen en la unimodalidad de los sedimentos de la boca por efecto de las corrientes litorales que influyen en la redistribución de los sedimentos en esta parte del río.



## 4.2. ANALISIS MULTIVARIADO DE DISCRIMINACION DE FUNCIONES PARA SUBPOBLACIONES LOG-NORMALES TRUNCADAS A, B Y C.

El análisis de discriminación de funciones es una herramienta útil en la discriminación de dos o más poblaciones de diferentes características. El análisis en su detalle está descrito por Davis (1973) y Swan y Sandilands (1995). El análisis funciona para distribuciones normales y no normales (Swan y Sandilands, 1995) y aún con la combinación lineal de variables (Reed et al., 1975; Lancaster, 1981) aunque la discriminación con este último aspecto no es tan fuerte. La Tabla 8 muestra las funciones obtenidas a partir del análisis multivariado de discriminación de funciones a partir de la disección visual de curvas de frecuencia acumulativa (log-normal) para subpoblaciones truncadas (Metodología y Materiales). Los cálculos en MathCad se presentan en el anexo I.

La premisa de Visher (1969) en el sentido de que las distribuciones log-probabilidad representan subpoblaciones truncadas que reflejan mecanismos de transporte ha sido debatida, de la misma forma el hecho de que dichas subpoblaciones truncadas desaparecen al utilizar metodologías distintas en el análisis textural (Reed et al., 1975; Grace et al., 1978; Kennedy et al., 1981; Komar, comun. escrita; Leroy, 1981; Sedimentation Seminar, 1981; Full et al., 1984; Schleyer, 1986; Sutherland y Lee, 1994a, 1994b). Esta premisa fué tomada con reserva.

Estas consideraciones se basan en la inspección de las curvas de frecuencia acumulativa en papel de probabilidad y en los puntos truncados por inspección visual, sin realizar el procedimiento de disección de curvas (Hald, 1952). Las componentes incluidas en el análisis para las 101 muestras agrupadas por subambientes (infra, meso, supraplaya, barlovento, cresta, sotavento, boca del río y zona distal a la boca) se definieron como A, B y C que representan el porcentaje acumulativo de la fracción gruesa, media y fina, respectivamente, en papel probabilidad asumiendo poblaciones normales truncadas (distribuciones normales) y no traslapadas (distribuciones normales sobrepuestas). Si se hubiesen considerado las poblaciones como traslapadas se hubiera tenido que hacer una comparación entre los puntos de quiebre de ambas distribuciones, pero de acuerdo con el objetivo del trabajo únicamente se consideró el primer tipo de distribución. El método

de discriminación de funciones no varía, aún tomándose distribuciones traslapadas y funciona para datos que siguen distribuciones normales y no normales (Lancaster, 1981; Swan y Sandilands, 1995). Los rangos para la fracción gruesa se establecieron entre -3.75 y 1.75 phi, para la fracción media entre 1.75 y 3.25 phi

TABLA 8.- RESULTADOS DEL ANALISIS DE DISCRIMINACION  
MULTIVARIADO PARA SUBAMBIENTES DE PLAYA  
DUNA Y RIO.

Infraplaya-	D= 18.057 A - 18.02 B + 17.291 C
Mesoplaya	Do= 1.804 x 10 <sup>3</sup> Da=1.805 x 10 <sup>3</sup> Db= 1.803 X 10 <sup>3</sup> D <sup>2</sup> =1.88 F= 5.36; valor critico F=2.87 (p= 0.05; 5 %)
Mesoplaya-	D= 5.202 A + 5.192 B + 5.253 C
Supraplaya	Do= 519.58 Db= 519.53 Dc= 519.62 D <sup>2</sup> = 0.07 F= 0.20 ; valor critico F= 2.88 (p= 0.05; 5 %)
Infraplaya-	D= - 7.044 A - 7.051 B - 6.82 C
Supraplaya	Do= -705.13 ; Da= -705.77; Dc=-704.49; D <sup>2</sup> = 2.56 F= 6.57; valor critico F=2.93 (p= 0.05; 5 %)
Barlovento-	D= - 1.59 A - 1.57 B - 1.54 C
Cresta	Do= -156.98 Da= -156.57 Db= - 157.29 D <sup>2</sup> = 0.207 F=0.48 ; valor critico F=2.96 (p= 0.05; 5 %)
Cresta-	D= 0.421 A + 0.424 B + 0.469 C
Sotavento	Do= 42.42 Db= 42.18 Dc= 42.67 D <sup>2</sup> = 0.09 F= 0.23 ; valor critico F = 2.92 (p= 0.05; 5 %)
Sotavento-	D= - 0.004 A - 0.004 B + 0.001 C
Barlovento	Do= - 0.34 Da= -0.347 Dc= -0.34 D <sup>2</sup> = 0.007 F= 0.1 ; valor critico F= 2.99 (p= 0.05; 5 %)
Boca y zona distal a la boca del río	D= -166.27 A -161.37 B - 183.64 C Do= -1.63X10 <sup>4</sup> ; Da= -1.62X10 <sup>4</sup> ; Db= -1.63X10 <sup>4</sup> D <sup>2</sup> = 164.37 ; F= 130.45; valor critico F= 3.71 (p= 0.05; 5%)

D= función discriminante ; Do =índice de discriminación; Da= media multivariada de la población A (infraplaya y barlovento); Db= media multivariada de la población B (mesoplaya y cresta); Dc= media multivariada de la población C (supraplaya y sotavento); D<sup>2</sup> = distancia Mahalanobis; F= prueba de eficacia de la función discriminante; A, B, C= componentes para subpoblaciones normales truncadas de grano grueso, medio y fino respectivamente.

y para la fracción fina entre 3.75 y 4.00  $\phi$ . Ante esto, se observa que la mayor parte de los subambientes tienen el punto de quiebre de los segmentos para los componentes A, B y C entre -0.30 y 2.05  $\phi$  (valor mínimo y máximo). La prueba Kolmogorov-Smirnov (Davis, 1973) muestra que los datos utilizados para el análisis no siguen una distribución normal (valor crítico al 5% = 0.12, prueba Kolmogorov-Smirnov  $KS=10.50$  y la hipótesis nula es rechazada). La misma prueba se realizó para las variables A, B y C por separado y por ambiente (playa, duna y río). La prueba arrojó lo siguiente: para la playa, A ( $KS = 6.88, 6.88$ ), B ( $KS=7.21, 95.32$ ) y C ( $KS= 7.2, 7.2$ ) (valor crítico 5% = 0.18, la hipótesis nula es rechazada), para la duna A ( $KS = 6.53, 6.53$ ), B (6.70, 123.25) y C (5.34, 5.34) (valor crítico 5% = 0.19, la hipótesis nula es rechazada) y para el río A ( $KS = 3.46, 3.46$ ), B ( $KS = 3.47, 3.85$ ) y C ( $KS = 3.26, 3.26$ ) (valor crítico 5% = 0.36, la hipótesis nula es rechazada). Aún así, el análisis de discriminación lineal puede ser utilizado con datos que sigan una distribución alejada de la normalidad (Swan y Sandilands, 1995). Incluso hay autores (Reed et al., 1975; Lancaster, 1981) que han utilizado el análisis con variables que son una combinación lineal entre sí. Por ejemplo, la media ( $Mz$ ) y la clasificación ( $\sigma$ ) son una combinación lineal entre sí (Moiola et al., 1974) y aún así se han incluido en el análisis de discriminación (Lancaster, 1981). En el caso de los datos obtenidos, existe la combinación lineal de las variables A, B y C al ser segmentos de curvas log-normales que suman 100%. Es conveniente resaltar que el estudio es a nivel local y fue realizado en una región con relieve moderado. De acuerdo con Reed et al. (1975), las curvas log-probabilidad no pueden utilizarse universalmente para interpretar ambientes sedimentarios similares en playas de dos regiones del mundo distintas (por ejemplo, costa del Atlántico y del Pacífico) ya que las mismas solo reflejan la procedencia o madurez textural del sedimento que a su vez está en función del clima y del relieve. Bajo las premisas de asumir distribuciones log-normales truncadas y partiendo que las limitantes de análisis están en función de la metodología (tamizado en seco) y del tipo de distribución asumida (normales) se establecieron las relaciones para los subambientes estudiados.

Las relaciones incluidas fueron los subambientes de playa (infraplaya-mesoplaya, mesoplaya-supraplaya y supraplaya-infraplaya), duna (barlovento-cresta, cresta-sotavento y sotavento-barlovento) y río (desembocadura-cauce distal a la desembocadura). El análisis de discriminación se realizó tomando en cuenta

la distancia Mahalanobis ( $D^2$ ) entre dos poblaciones (en este caso los diferentes subambientes de playa, duna y río) para observar el grado de separación de las medias de las poblaciones (Krumbein y Graybrill, 1965; Swan y Sandilands, 1994a, 1994b). En la Tabla 9 se muestra el significado de las tres componentes incluidas en el análisis de discriminación en la propia distancia Mahalanobis omitiendo una de estas componentes (eliminando A, B y C) ( $D^{2*}$ ) para observar su influencia en la discriminación.

Las Figs. 12, 13 y 14 muestran gráficamente los puntos representados en tres planos (3D) con las componentes A, B y C para todas las muestras (marzo y abril) y la contribución de las componentes a la reducción de la distancia Mahalanobis, respectivamente para arenas de playa, duna y río (Fig. 15).

Otros autores han realizado análisis de discriminación multivariado para sedimentos de duna, playa y río tomando como variables los parámetros texturales ( $Mz$ ,  $\sigma$ ,  $Ski$  y  $Kg$ ) tradicionales para diferenciar ambientes sedimentarios en general (Sahu, 1964; Reed et al., 1975; Lancaster, 1981). En el caso del presente trabajo el aporte consiste en utilizar componentes distintas (A, B y C) para observar las posibilidades de incluirlas como determinantes en diferenciar subambientes de playa, duna y río.

A= componente de grano grueso de la curva log-normal truncada  
 B= componente de grano medio de la curva log-normal truncada  
 C= componente de grano fino de la curva log-normal truncada

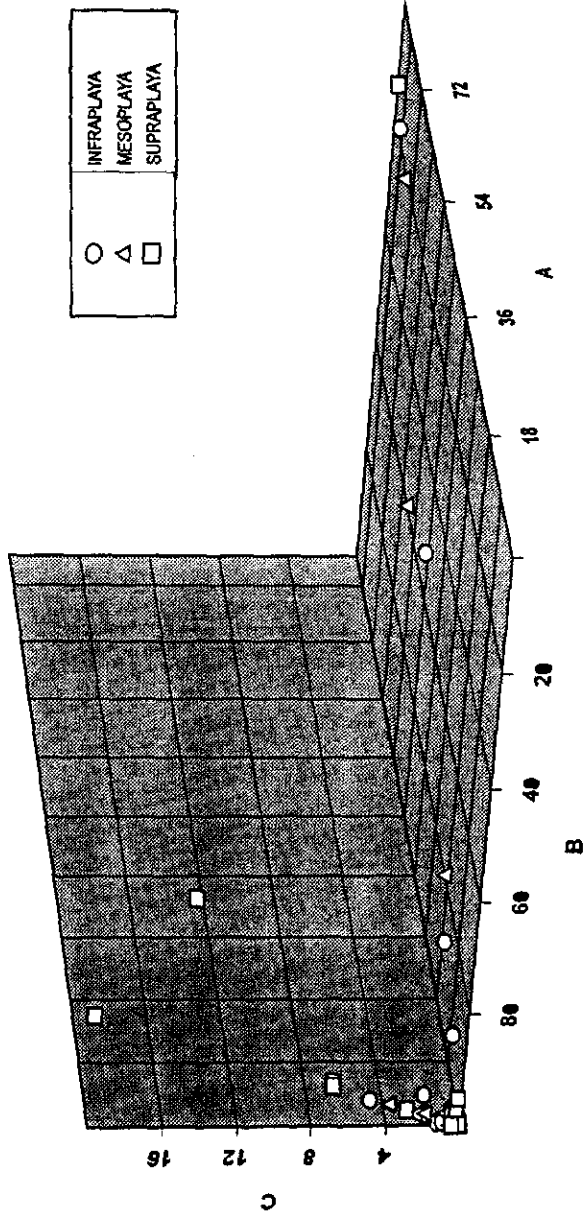


Fig. 12 . Diagrama tridimensional de las componentes A, B y C para ambiente de playa

A= componente de grano grueso de la curva log-normal truncada  
 B= componente de grano medio de la curva log-normal truncada  
 C= componente de grano fino de la curva log-normal truncada

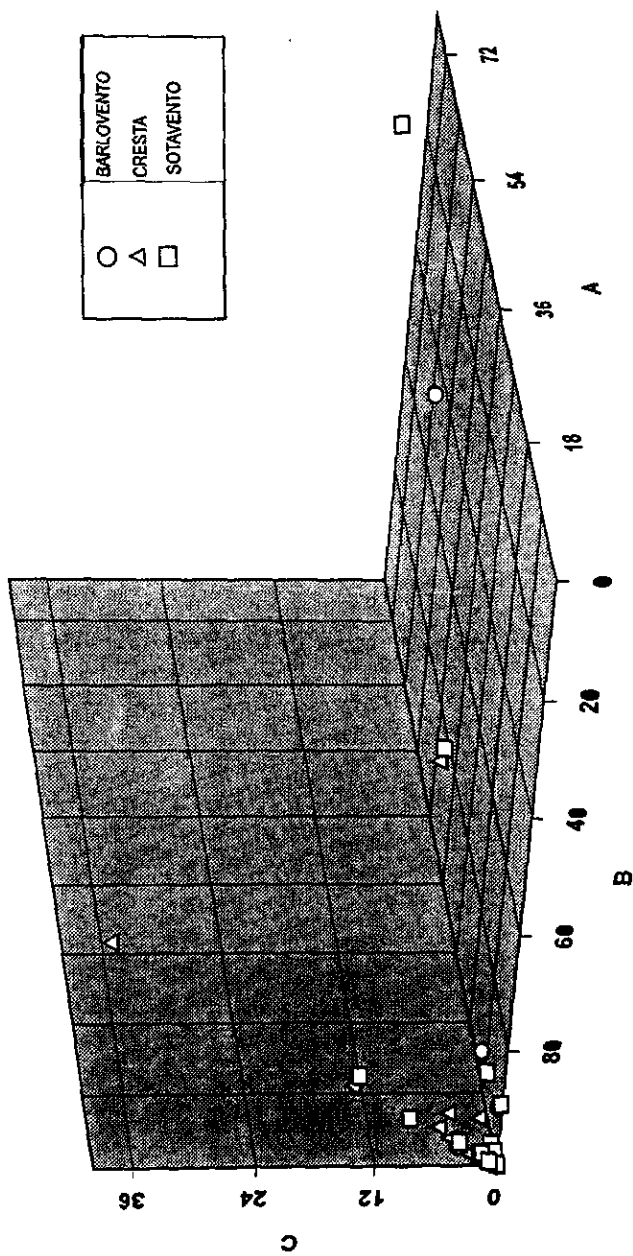


Fig. 13. Diagrama tridimensional de las componentes A,B y C para ambiente de duna

A= componente de grano grueso de la curva log-normal truncada  
 B= componente de grano medio de la curva log-normal truncada  
 C= componente de grano fino de la curva log-normal truncada

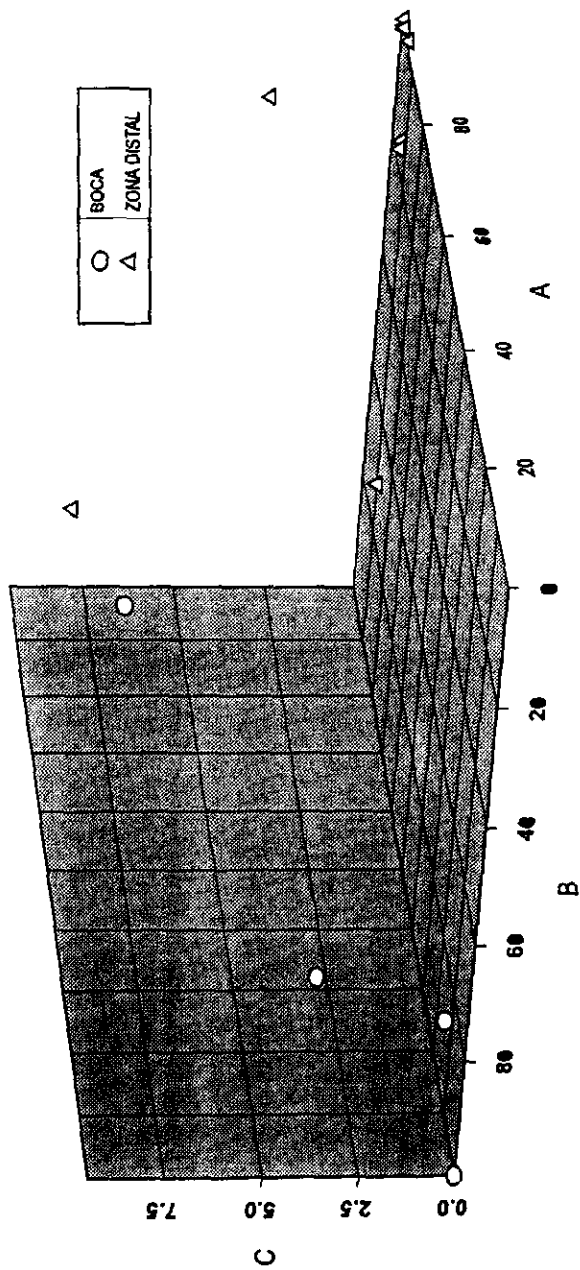


Fig. 14. Diagrama tridimensional de las componentes A, B y C para ambiente fluvial

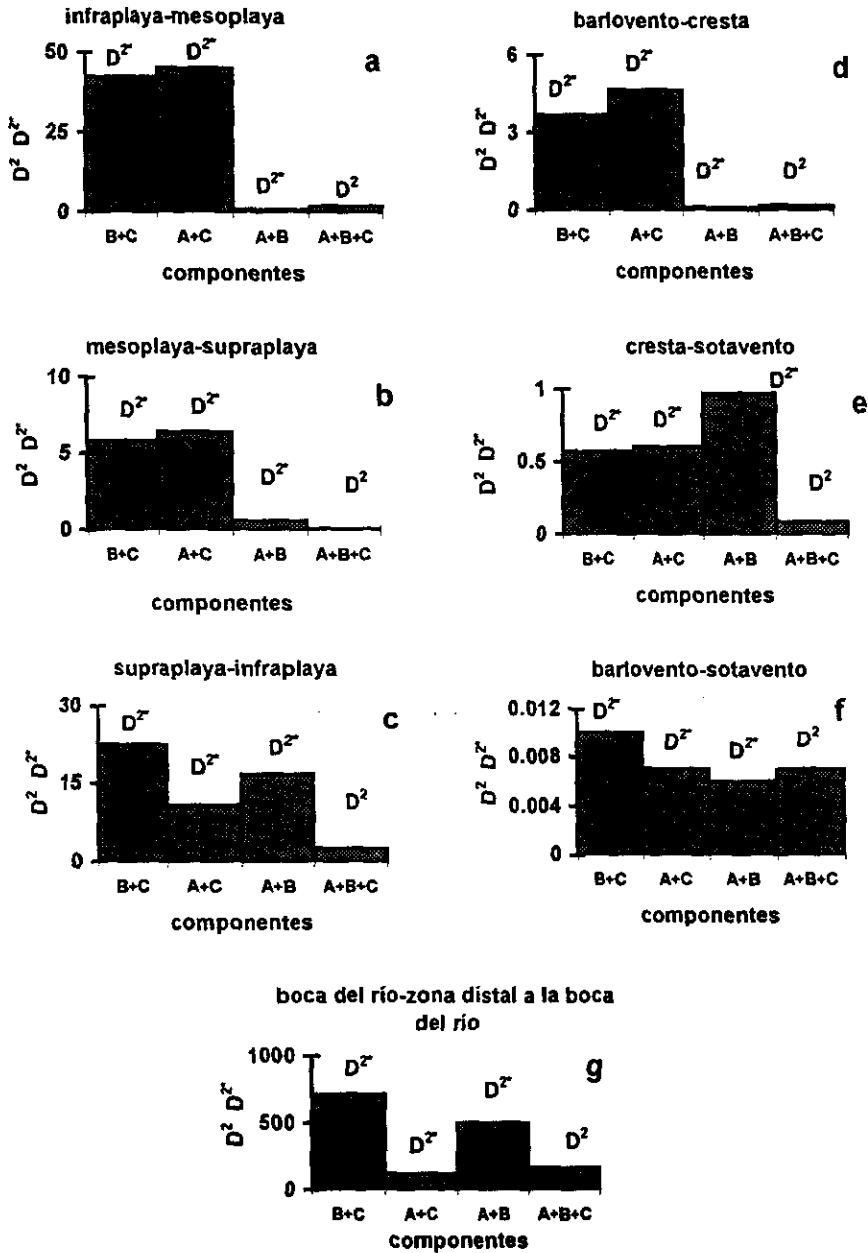


Fig. 15. Representación de influencia de componentes A,B y C en playas (a,b,c), dunas (d,e,f) y río (g). A,B y C son las subpoblaciones de curvas log-normal truncadas.  $D^2$ = distancia Mahalanobis;  $D^2 D^2$ =distancia Mahalanobis sin una componente



TABLA 9 - SIGNIFICADO DE LAS COMPONENTES A,B Y C  
 COMO FUNCION DE LA DISTANCIA MAHALANOBIS

Subambientes	B+C	A+C	A+B
Infraplaya- Mesoplaya	D <sup>2*</sup> = 42.35 F= 29.78 F= 3.27 (5%)	D <sup>2*</sup> = 45.12 F=30.02 F= 3.27 (5%)	D <sup>2*</sup> = 0.99 F= 6.25 F= 3.27 (5%)
Mesoplaya- Supraplaya	D <sup>2*</sup> = 5.79 F=20.72 F=3.28 (5%)	D <sup>2*</sup> = 6.4 F= 21.65 F=3.28 (5%)	D <sup>2*</sup> = 0.61 F= 4.25 F=3.28 (5%)
Supraplaya- Infraplaya	D <sup>2*</sup> = 22.43 F=31.94 F= 3.32 (5%)	D <sup>2*</sup> = 10.80 F=16.97 F=3.32 (5%)	D <sup>2*</sup> = 16.75 F=20.75 F= 3.32 (5%)
Barlovento- Cresta	D <sup>2*</sup> = 3.69 F=12.95 F= 3.34 (5%)	D <sup>2*</sup> = 4.66 F= 14.65 F= 3.34 (5%)	D <sup>2*</sup> = 0.13 F= 0.49 F= 3.34 (5%)
Cresta- Sotavento	D <sup>2*</sup> = 0.57 F= 3.42 F= 3.24 (5%)	D <sup>2*</sup> = 0.6 F= 3.54 F= 3.24 (5%)	D <sup>2*</sup> = 0.97 F= 5.75 F= 3.24 (5%)
Sotavento- Barlovento	D <sup>2*</sup> = 0.015 F= 0.05 F= 3.37 (5%)	D <sup>2*</sup> = 0.007 F= 0 F= 3.37 (5%)	D <sup>2*</sup> = 0.006 F= 2.6 F= 3.37 (5%)
Boca y zona distal a la boca del rio	D <sup>2*</sup> = 709.73 F= 8.40 F= 3.98 (5%)	D <sup>2*</sup> = 117.58 F= 4.22 F= 3.98 (5%)	D <sup>2*</sup> = 498.5 F= 7.31 F= 3.98 (5%)

A, B, C = componentes de subpoblaciones normales truncadas de grano grueso, medio y fino

D<sup>2\*</sup> = Distancia Mahalanobis sin una variable ; F = Prueba del significado de la ausencia de cada variable

#### A) Infraplaya y mesoplaya.

De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 8) existe una ligera discriminación entre las dos poblaciones. La distancia Mahalanobis excede valores arriba de 1.0, lo cual implica que existe la separación entre la infraplaya y la mesoplaya. Ello quiere decir que  $D_a$  y  $D_b \neq 0$ , o las medias multivariadas de ambas poblaciones se separan del índice de discriminación o  $D_0$ . La prueba de efectividad de la discriminación o igualdad de las medias de las dos poblaciones (la prueba F) da un valor que rebasa los valores críticos de

$F_{critico}=2.87$  y  $F=5.36$  respectivamente (Tabla 8). En la Fig. 12, se muestran los diagramas en 3 planos (3D) que representan las componentes A, B y C escogidas para los subambientes. Se puede observar en los tres planos una tendencia de muestras de infraplaya a separarse y de acuerdo con el análisis de discriminación es el plano con la componente C la que determina dicha separación. La distancia Mahalanobis omitiendo una componente ( $D^{2*}$ ) muestra que C reduce ligeramente la propia distancia Mahalanobis de  $D^2 = 1.88$  a  $D^{2*}= 0.99$  (Fig. 15).

#### B) Mesoplaya y supraplaya.

El método de discriminación aplicado no distingue entre estos subambientes (Tablas 8 y 9; Fig. 15). De acuerdo con el análisis, ninguna componente tiene peso sobre las dos regiones de la playa. Es muy posible que el grado de traslape de muestras individuales marque esta condición ya que aunque en la fig. 12 se observan muestras de la supraplaya en el plano C, el análisis de discriminación no refleja separación.

#### C) Supraplaya e infraplaya.

El análisis de discriminación muestra que los dos subambientes se separan (Tabla 8). Aparentemente la contribución de la separación está dada por C (Tabla 9). Sin embargo, aquí la distancia Mahalanobis no se reduce al remover C (Fig. 15). Esto significa que hay una contribución negativa de C en la propia función discriminante ( $D = -7.04 A - 7.05 B - 6.82 C$ ). Si se relaciona la función obtenida con el diagrama de tres planos (Fig. 12) es posible que la componente C sea la más importante. Sin embargo, existe una discriminación entre ambas poblaciones que es difícil asociar entre el subambiente de infra con el de supraplaya.

#### D) Barlovento y cresta.

De acuerdo con el análisis, no existe discriminación entre los dos subambientes a pesar de que el valor de la distancia Mahalanobis reduce la propia distancia de  $D^2 = 0.20$  a  $D^{2*} = 0.13$ , siendo este último valor el obtenido dentro de la función al remover C (Fig. 15). No hay una contribución real de C ya que también la misma prueba de equivalencia de las dos medias de las dos poblaciones da un valor muy por debajo del valor crítico (Tabla 9). Existen también mayor número de muestras individuales traslapadas (Fig. 13).

#### E) Cresta y sotavento.

Para estos dos subambientes de la duna tampoco se observa una discriminación. Existen pocas muestras que caigan sobre los planos A y B que pudieran diferenciarse de muestras sobre el plano C (Fig. 13). La distancia Mahalanobis sin una componente no se reduce por abajo de la propia distancia Mahalanobis (Fig. 15).

#### F) Sotavento y barlovento.

Nuevamente los resultados sugieren que ambos subambientes se comportan de manera similar en cuanto a subpoblaciones de sedimento (A, B, C). La mayor parte de las muestras del barlovento presentan un fuerte traslape (Fig. 13) lo cual se corrobora con el análisis de discriminación, en donde ninguna componente reduce la distancia Mahalanobis al ser removida de la función (Fig. 15).

#### G) Boca y cauce distal a la desembocadura del río

El análisis de discriminación para la zona de la desembocadura del río y el cauce lejano a la misma mostró que existe una fuerte discriminación en función de la distancia Mahalanobis (Tablas 8 y 9) para los arroyos. Los valores obtenidos muestran una reducción de la propia distancia Mahalanobis con respecto a la distancia Mahalanobis sin la componente B de  $D^2 = 164.37$  a  $D^{2*} = 117.58$  (Fig. 15). Los valores para la prueba de

equivalencia de las medias de las dos poblaciones mostró un valor por arriba del valor crítico observado ( $F=130.45$ ;  $F_{critico}= 3.71$ ). La componente que contribuye a dicha discriminación es la componente B o componente que representa la fracción de grano medio en la boca. El diagrama de tres planos muestra la tendencia de la muestras a situarse en determinados planos de acuerdo a las tres componentes seleccionadas (Fig 14).

#### 4.3. SIGNIFICADO DE LAS SUBPOBLACIONES LOG- NORMALES TRUNCADAS A, B Y C.

Si se considera que las subpoblaciones log-normales truncadas A, B y C representan mecanismos de transporte, es decir tracción, suspensión intermitente y suspensión, respectivamente, de acuerdo a los modelos de Viard y Breyer (1979) y Eschner y Kircher (1984) entonces la componente C (suspensión) tendría mayor influencia en diferenciar la infraplaya de la mesoplaya y la infraplaya de la supraplaya. Esto debido a que C es la componente de grano fino que se transporta por suspensión en la curva log-normal truncada cuyo peso en el análisis de dicriminación es mayor que el resto de las demás componentes. Es posible que la discriminación existente y la dominancia de C como variable discriminante se asocie con la turbulencia que existe en la zona de infraplaya cercana a la zona de rompiente de la ola y al lecho del sedimento que está constantemente agitado (Komar, 1969); lo cual sería una forma de suspensión. De igual forma, en el segundo caso, entre la supraplaya e infraplaya, los mecanismos de transporte para ambas zonas de la playa son análogos, por un lado la turbulencia del lecho por oleaje en la infraplaya y por otro lado el viento en la supraplaya. La discriminación cuyo peso reside en C o la componente de grano fino de la curva, posiblemente esté dada por la infraplaya. Así, la infraplaya es el subambiente que se separa de la meso y supraplaya.

Con respecto a los arroyos, la interpretación que puede darse es que la componente B separa la boca de la zona distal del río. Si la componente B representa suspensión intermitente (Viard y Breyer, 1979) es posible que en la boca del río, las corrientes fluviales y el oleaje influyan sobre la fracción de grano medio o componente B, que mantienen saltando a las partículas de tamaño medio.

Es importante mencionar que en el caso de que las distribuciones log-probabilidad no se asumieran como poblaciones truncadas normales sino como poblaciones traslapadas normales, los puntos de quiebre estarían muy por debajo (Viard y Breyer, 1979) de los puntos inspeccionados gráficamente en este trabajo, pero la metodología analítica sigue siendo la misma. Sutherland y Lee (1994a, 1994b) encontraron una relación entre asimetría y desviación estándar utilizando variables canónicas por medio de distribuciones log-hiperbólicas, en donde la zona baja de la mesoplaya (análoga a la infraplaya superior para este trabajo) se discrimina de los ambientes de mesoplaya media, superior y de supraplaya.

Sutherland y Lee (1994a), tienen que unir la zona de mesoplaya superior y supraplaya como una sola región al no existir separación entre estas dos regiones. En la zona de infraplaya o mesoplaya inferior (para el estudio de Sutherland y Lee) la carga por suspensión aumenta durante el efecto de la rompiente: la zona de mesoplaya y supraplaya quedan expuestas a la remoción eólica de los finos. De manera análoga, en este estudio se encuentra una tendencia a la asimetría negativa en la zona de mesoplaya. En resumen, se puede decir de que la región de infraplaya tiene un comportamiento distinto al de las otras dos regiones del perfil de playa (meso y supraplaya). Esto puede ser indicativo de lo obtenido en el análisis de discriminación, en donde la población en suspensión diferencia la infraplaya de la mesoplaya y la infraplaya de la supraplaya. El debate está abierto en el sentido de la universalidad de los modelos, pues el estudio de Sutherland y Lee (1994a, 1994b) parte de distribuciones log-hiperbólicas y está centrado en playas carbonatadas de Hawaii.

En el contexto de que las componentes A,B y C pudieran representar mecanismos de transporte, la discriminación estaría dada por suspensión y suspensión intermitente para los ambientes de playa y río respectivamente. Sin embargo, la interpretación en estos términos no afecta la función discriminante obtenida y si provee información sobre las posibilidades de otro tipo de interpretaciones desde el punto de vista de la dinámica de los ambientes estudiados. El modelo puede utilizarse en curvas disectadas por otras metodologías (Hald, 1952) asumiendo subpoblaciones normales traslapadas.

#### 4.4 ANÁLISIS PETROLOGICO DE LOS SEDIMENTOS DE PLAYA, DUNA Y RIO

Los estudios de procedencia y madurez de los sedimentos han tenido gran importancia en la caracterización de ambientes sedimentarios antiguos y recientes (Basu, 1976; Ingersoll, 1978; Dickinson and Valloni, 1980; Valloni and Maynard, 1981; Dickinson, et al. 1983; Ingersoll et al., 1984; Potter, 1986; Dickinson, 1988; Grantham y Velbel, 1988; Johnsson, 1990; Marsaglia and Ingersoll, 1992; Carranza-Edwards et al. 1994; Critelli and Le Pera 1994; Erickson et al., 1994; Potter, 1994; Carranza-Edwards and Rosales-Hoz, 1995). De acuerdo con los objetivos del trabajo se presentan los resultados de los análisis petrográficos sistemáticos para los subambientes de playa, duna y río. En las Tablas 10 y 11 se muestran los resultados de la composición porcentual de las muestras de arena de playa, duna y río.

TABLA 10.- ANALISIS PETROLOGICO DE SEDIMENTOS COLECTADOS DE DIFERENTES AMBIENTES

Diagrama C-F-FR

Diagrama Cm-F-P

Diagrama FRV-FRS

Muestra	C	F	FR	Cm	F	P	FRV	FRS	Ambiente
OP2i	34.86	17.88	47.24	33.48	10.81	24.32	82.53	17.46	Playa (infraplaya)
MP3i	45.45	11.57	42.97	43.40	3.07	18.46	83.50	16.49	Playa (infraplaya)
CHP2i	31.66	22.50	45.83	30.21	3.20	40.00	55.00	45.00	Playa (infraplaya)
AP2i	13.89	18.46	67.64	11.81	1.28	60.25	96.00	9.00	Playa (infraplaya)
OP2m	56.70	19.58	23.71	53.72	5.75	21.58	73.77	26.22	Playa (mesoplaya)
FP3m	48.70	14.22	37.06	43.19	8.80	17.60	72.22	27.77	Playa (mesoplaya)
CHP3m	18.21	22.26	59.51	16.52	1.05	56.84	75.00	25.00	Playa (mesoplaya)
JAP1m	19.27	24.09	56.62	16.59	4.00	56.00	70.00	30.00	Playa (mesoplaya)
AP2s	34.66	36.00	29.33	27.94	19.56	39.13	78.26	21.73	Playa (supraplaya)
FP3s	50.71	20.00	29.28	45.86	4.49	26.96	69.49	30.50	Playa (supraplaya)
JAP1s	2.67	17.17	80.15	2.29	4.23	60.16	69.00	31.00	Playa (supraplaya)
CHP2s	22.58	35.02	42.39	11.76	3.92	84.31	50.00	50.00	Playa (supraplaya)
DBA95b	43.22	23.95	32.81	40.83	1.61	35.48	65.30	34.69	Duna (bariovento)
DM95	53.15	14.73	32.10	51.85	2.38	19.84	77.27	22.72	Duna (bariovento)
JAPD2b	25.60	26.82	47.56	23.10	3.30	51.23	75.00	25.00	Duna (bariovento)
FPD6b	23.96	35.12	40.90	21.36	0.74	62.22	90.00	10.00	Duna (bariovento)
APD3c	40.70	29.20	30.08	35.51	7.04	39.43	70.96	29.03	Duna (cresta)
FPD3c	61.11	20.13	18.75	57.44	5.45	20.90	71.79	28.20	Duna (cresta)
CHPD1c	28.93	50.31	20.75	27.56	0.81	64.22	75.00	25.00	Duna (cresta)
JAPD1c	40.52	52.10	7.36	40.52	9.65	46.59	70.30	30.00	Duna (cresta)
OPD2s	61.57	20.68	17.71	58.89	5.00	21.25	67.34	32.65	Duna (sotavento)
FPD3s	65.58	16.27	18.13	62.80	9.09	12.12	76.62	23.37	Duna (sotavento)
CHPD1s	41.48	26.20	32.31	39.09	3.42	37.67	75.00	25.00	Duna (sotavento)
JAPD1s	42.40	19.60	38.00	40.24	0.68	32.87	75.00	25.00	Duna (sotavento)
APA	2.67	22.99	74.33	2.67	6.25	83.33	97.00	3.00	Río (cauce distal)
AEV96	4.81	44.38	50.80	2.73	9.09	85.22	89.00	9.00	Río (cauce distal)
MR	5.50	36.86	57.62	5.10	---	87.87	92.00	8.00	Río (cauce distal)
AR1	1.33	9.88	88.93	1.19	7.14	82.14	90.00	10.00	Río (cauce distal)
AR2	26.33	22.77	50.88	23.61	3.12	46.87	90.00	10.00	Río (boca)
OR1	24.47	18.56	56.96	23.82	3.00	41.00	70.00	30.00	Río (boca)
AGF2	7.86	15.28	76.85	7.68	---	66.03	97.00	3.00	Río (boca)
AEV95	8.80	8.80	82.40	7.31	---	55.00	90.00	10.00	Río (boca)
APS95	8.26	18.26	73.47	7.04	3.44	68.96	94.00	6.00	Río (boca)

C= cuarzo total (mono y policristalino); F= feldspatos; FR= fragmentos de roca (ígneos y sedimentarios); Cm= cuarzo monocristalino; P=plagioclasas; FRV= fragmentos de roca volcánicos; FRS= fragmentos de roca sedimentarios (incluye pedernal) . Valores en %.

TABLA 11. - MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR DE LA COMPOSICION DE SEDIMENTOS DE PLAYA, DUNA Y RIO.

Subamb.	Diagrama C-F-FR			Diagrama Cm-F-P			Diagrama FRV-FRS	
	C	F	FR	Cm	F	P	FRV	FRS
Infraplaya	x= 31.46 SD= 13.11	x= 17.60 SD= 4.51	x= 50.92 SD= 11.28	x= 29.72 SD= 13.19	x= 4.59 SD= 4.23	x= 35.75 SD= 18.68	x= 79.25 SD=17.29	x=21.98 SD=15.80
Mesoplaya	x= 35.72 SD= 5.65	x= 20.03 SD= 4.29	x= 44.22 SD= 16.92	x= 32.50 SD= 18.91	x= 4.90 SD= 3.24	x= 38.00 SD=21.32	x= 72.74 SD=2.15	x=27.24 SD=2.15
Supraplaya	x= 27.65 SD=20.25	x= 27.04 SD=9.48	x= 45.28 SD= 24.04	x= 24.02 SD= 18.08	x=8.05 SD=7.67	x= 52.64 SD= 25.17	x=66.68 SD=11.91	x=33.30 SD=11.91
Barlovento	x= 36.48 SD=14.12	x= 25.15 SD= 8.41	x= 38.34 SD= 7.32	x= 34.28 SD= 14.64	x= 2.00 SD= 1.09	x= 42.19 SD=18.50	x=76.89 SD=10.16	x=20.11 SD=6.82
Cresta	x= 42.81 SD= 13.38	x= 37.93 SD=15.78	x= 19.23 SD= 9.33	x= 40.25 SD=12.63	x= 5.73 SD= 3.71	x=42.78 SD=17.92	x=71.93 SD=2.16	x=28.05 SD=2.16
Sotavento	x= 52.75 SD= 12.60	x= 20.68 SD= 4.12	x= 26.54 SD= 10.21	x= 50.50 SD= 12.58	x= 4.54 SD= 3.51	x= 25.97 SD= 11.52	x=73.49 SD=4.17	x=26.50 SD=4.16
Distal de la boca (río)	x= 3.57 SD= 1.92	x= 28.52 SD= 15.26	x= 67.92 SD= 17.14	x= 2.92 SD= 1.61	x= 5.62 SD= 3.92	x= 84.64 SD= 2.49	x= 92.00 SD= 3.55	x= 7.5 SD= 3.10
Boca del río	x= 15.14 SD= 9.39	x= 16.73 SD= 5.17	x= 68.11 SD= 13.51	x= 13.89 SD= 8.97	x= 1.91 SD= 1.75	x= 55.57 SD= 12.01	x= 88.20 SD=10.59	x= 11.80 SD=10.59

x= media; SD= desviación estándar ; valores en %

A) Análisis composicional a partir de los polos C-F-FR

En la Fig. 16 se presenta el diagrama ternario composicional con los polos C-F-FR con los grupos que representan las composiciones para las playas, dunas y ríos. F representa plagioclasa + feldespato. En la Fig. 17 se presenta el mismo diagrama con la media y desviación estándar (representada por polígonos) para las muestras analizadas. Las muestras de infraplaya se clasifican como litarenita y litarenita feldespática, las de mesoplaya se clasifican como litarenita feldespática, las de supraplaya como litarenita feldespática, feldsarenita lítica y litarenita; las muestras del barlovento se clasifican como litarenita feldespática, de la cresta como litarenita feldespática, feldsarenita lítica y arcosa en donde ambas muestras caen en los límites de clasificación para diagramas composicionales y del sotavento como litarenita feldespática (Folk, 1974) (Figs. 16 y 17a).



## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- ⊗ SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ⊕ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

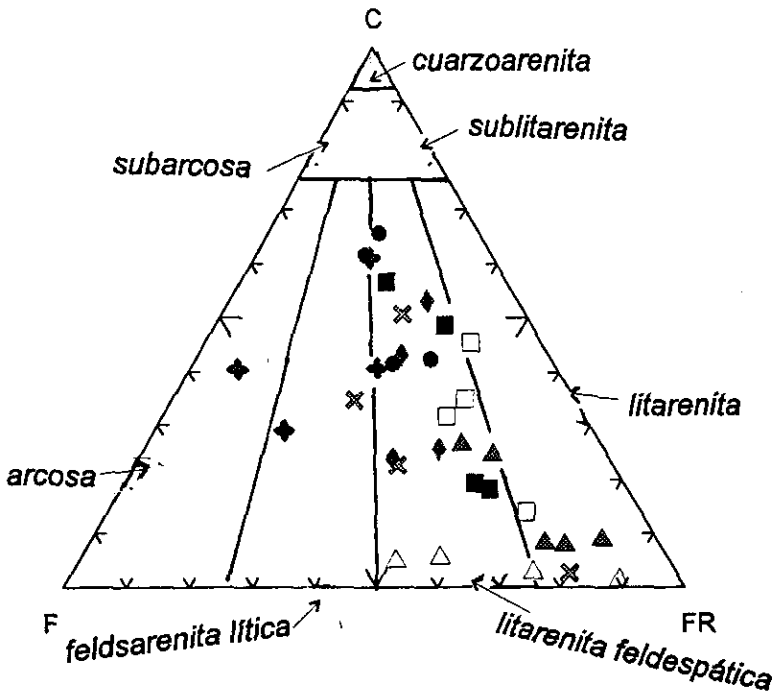


Fig. 16. Clasificación (Folk, 1974) y diagrama ternario para subambientes de playa, duna y río

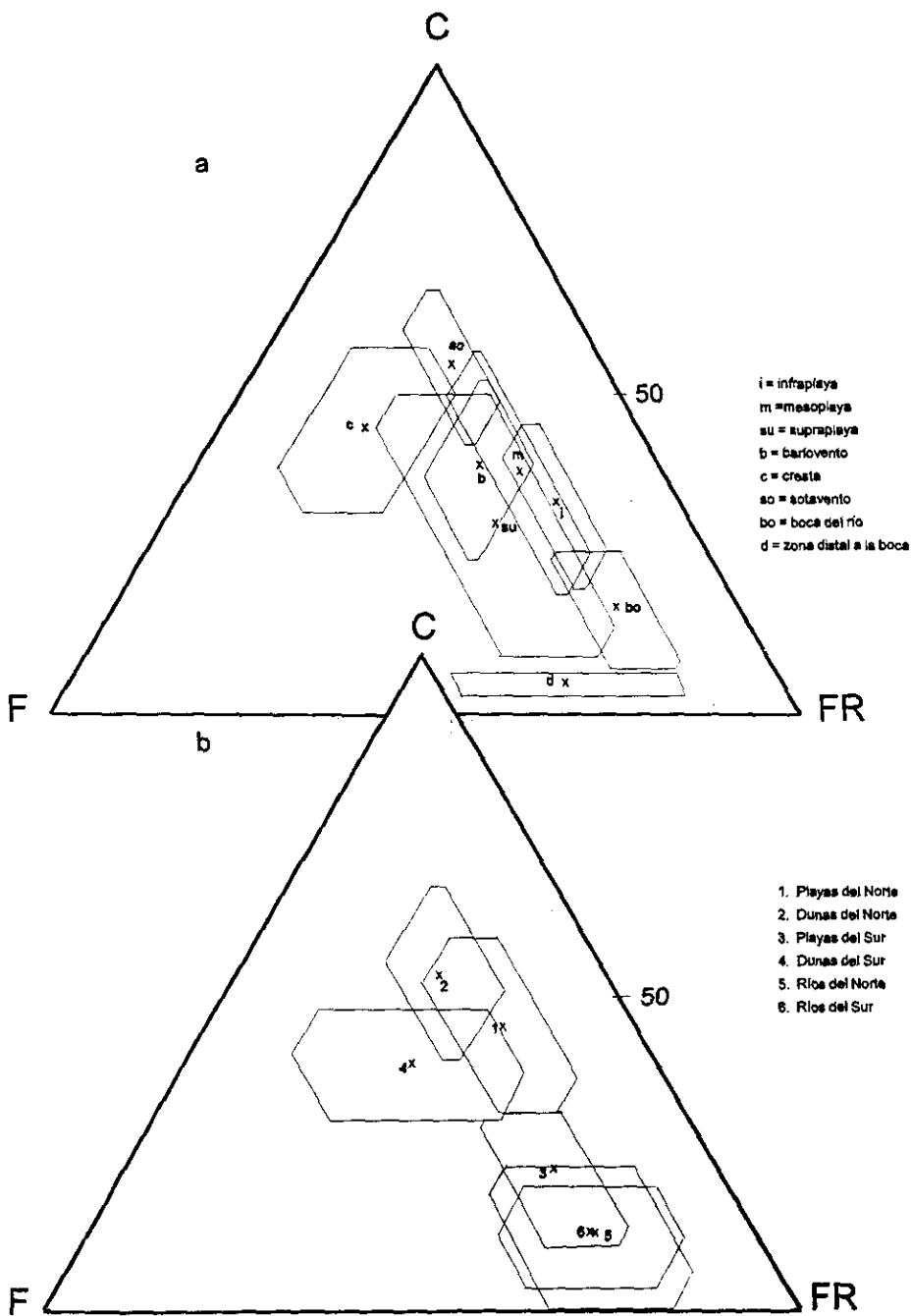


Fig. 17. Diagramas ternarios C-F-FR a) subambientes b) ambientes

Los ríos presentan una mayor tendencia hacia los fragmentos de roca dentro del campo de las litarenitas feldespáticas y litarenitas debido a la cercanía de la roca fuente, al poco tiempo de las partículas a disgregarse en sus componentes (feldespatos) y a la baja competencia, principalmente de los arroyos a transportar las partículas hasta la desembocadura. Esto concuerda con la discusión de Ibbeken y Schleyer (1991) que explican la abundancia de los fragmentos de roca en arroyos por el aporte principal y más cercano del cauce a la fuente que los origina.

Existe una tendencia de las muestras de infraplaya a situarse cerca del polo de los fragmentos de roca (FR) y el polígono a situarse en el campo de la litarenita feldespática (Fig. 17a). Siendo la infraplaya una zona de menor abrasión, ocasiona una mayor proporción de fragmentos de roca. La mesoplaya se aleja notoriamente del polo de los fragmentos de roca y su polígono tiende al campo de las litarenitas feldespáticas.

Para la supraplaya se observa que hay una tendencia hacia los feldespatos, en donde la menor abrasión y menor competencia del viento para transportar fragmentos de roca de esta zona de la playa incrementa concentración de feldespatos a diferencia de la zona de rompiente en donde la abrasión por oleaje y corrientes contribuye a mayor concentración de líticos y la descomposición de los feldespatos. El polígono cubre tres campos del diagrama que corresponden con los sectores del triángulo de Folk (1974)(Fig. 16) son el de las feldsarenitas líticas, litarenitas feldespáticas y litarenitas.

En el caso del subambiente de barlovento el polígono tiende al campo de la litarenita feldespática. En la cresta se observa que el polígono se extiende a los campos de la arcosa. La disminución en la concentración de fragmentos de roca para la cresta de la duna puede indicar la inestabilidad de la región para mantener concentraciones de partículas más pesadas y al deslizamiento por gravedad de las mismas a ambos flancos de la duna (barlovento y sotavento), lo cual, es consistente con la tendencia de estas regiones a acercarse más al polo de los fragmentos de roca. Para el sotavento, hay una mayor diferenciación del campo del subambiente de barlovento anteriormente mencionado. El polígono se extiende al campo de la litarenita. Se observa que el traslape ocurre entre las regiones de infra y mesoplaya. La supraplaya y el barlovento tienden a los fragmentos de roca debido a la incompetencia de los agentes a ser removidos por ser zonas con

cierta pendiente. El sotavento mantiene mayor estabilidad al tender hacia el polo del cuarzo mientras que la zona mas inestable se localiza en la cresta de la duna con mayor concentración de feldspatos. Los ríos muestran en la boca y en la zona alejada de la desembocadura una menor madurez que los otros ambientes debido a la gran concentración de fragmentos de roca por la alta energía.

En la Fig. 17b se observan los grupos composicionales para las muestras de las playas del norte y sur . La mayor concentración de líticos y feldspatos se reporta para las playas del sur cuya influencia de los arroyos Mozomboa, Agua Fría y Actopan es considerablemente mayor que para las playas del norte por parte del resto de los arroyos estudiados. Los sedimentos para la región sur son composicionalmente más inmaduros e inestables que los del norte, aún cuando hay un menor relieve en comparación con la zona norte (Fig. 2). El aporte de líticos por parte de los arroyos Mozomboa, Agua Fría y Actopan varía la composición de playas y dunas con respecto a la zona norte. Con un mayor relieve en la región norte se esperaría tener sedimentos composicionalmente más inmaduros; sin embargo, es posible que la composición de los sedimentos de ambas regiones (norte y sur) sufra una mayor influencia de la litología del área fuente más que por el relieve mismo.

En la Fig. 17b se muestra la composición de los sedimentos de playa, duna y río en general para la zona Norte y Sur, incluyendo los arroyos de la zona norte ( Boca de Ovejas, El Platanar, Palma Sola, El Viejón) y ríos de la zona sur (Mozomboa , Agua Fría y Actopan) (Fig. 2). Hay una tendencia de los polígonos para los sedimentos de playa y duna del sur a situarse hacia el polo de los fragmentos de roca y feldspatos (FR y F). Los sedimentos de río tienden hacia el polo de los fragmentos de roca. Los polígonos correspondientes a sedimentos de playa y duna de la zona norte se sitúan hacia el polo del cuarzo, sugiriendo que los procesos costeros afectan más la composición de los sedimentos de la zona norte que por el aporte de los arroyos. Esto debido a que los arroyos no influyen composicionalmente en los sedimentos de las playas y dunas del norte por su baja competencia para transportar sedimentos a la boca, cuya composición está asociada a la roca fuente. Lo inverso sucede en la composición de los sedimentos de la zona sur, en donde los sedimentos están siendo transportados constantemente por los ríos. De acuerdo con Fernández-Eguiarte, et al. (1992a; 1992b) y Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995) la componente del transporte de masas de agua

superficiales en el Golfo durante el invierno-primavera es hacia el SW. Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995) reportan que los sedimentos de playa del Golfo de México desde Tamaulipas hasta el sur de Veracruz, contienen más de 50% de cuarzo. Por otro lado, los granos de cuarzo reciclado observados van de subangulosos a subredondeados y presentan sobrecrecimiento. Esto podría explicar la dominancia del cuarzo en los sedimentos de playa y duna de la zona norte transportado por corrientes superficiales y estableciendo las posibles fuentes de origen en la geología del área norte y sur es decir, en la cuenca de Tampico y la planicie del sureste compuesta básicamente por depósitos aluviales del Cuaternario y areniscas (Padilla-Sánchez y Aceves-Quezada, 1992).

#### B) Análisis composicional polos Cm-F-Lt

En este diagrama se observa un comportamiento similar de las muestras al diagrama anterior representado por C-F-FR. La Fig. 18 presenta las muestras de subambiente de playa, duna y río. La figura 19a muestra la media y desviación estándar para los mismos subambientes. Si se toma en cuenta la Fig. 19a para el análisis se observa que también la mayor parte de las muestras no difieren en su composición y posición del diagrama ternario de la Fig. 17a. El polígono de la muestra de la zona de infraplaya se extiende en la región del diagrama cercano al polo de los fragmentos de roca sobre la región de las litarenitas y litarenitas feldespáticas. En la mesoplaya, el polígono se extiende de una manera similar al polígono de la Fig. 17a. Tiende ligeramente al campo de las litarenitas feldespáticas. Ambas regiones se traslapan, aunque la infraplaya se sitúa más hacia los líticos. La muestra de la zona de supraplaya se extiende similarmente como en la Fig. 17a hacia el campo de las litarenitas feldespáticas debido a la baja capacidad del viento en la supraplaya para concentrar mayor cantidad de fragmentos de roca. Es notable que la mayor semejanza en composición de subambientes está dada por la infraplaya y la mesoplaya, posiblemente porque ambas regiones tienen dinámicas similares para mover el sedimento.

Con respecto a los ambientes eólicos, el caso de los sedimentos del barlovento, una tendencia a los feldespatos al igual que la supraplaya similar al diagrama de la Fig. 17a. se puede interpretar como la baja capacidad del viento para mover partículas más densas. El polígono se extiende sobre el campo de las

## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- × SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ✦ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

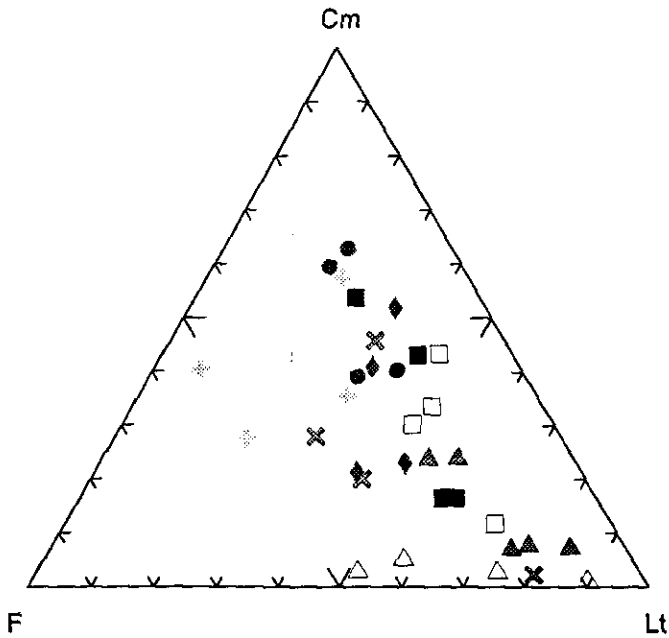


Fig. 18. Diagrama ternario Cm-F-Lt para subambientes de playa, duna y río

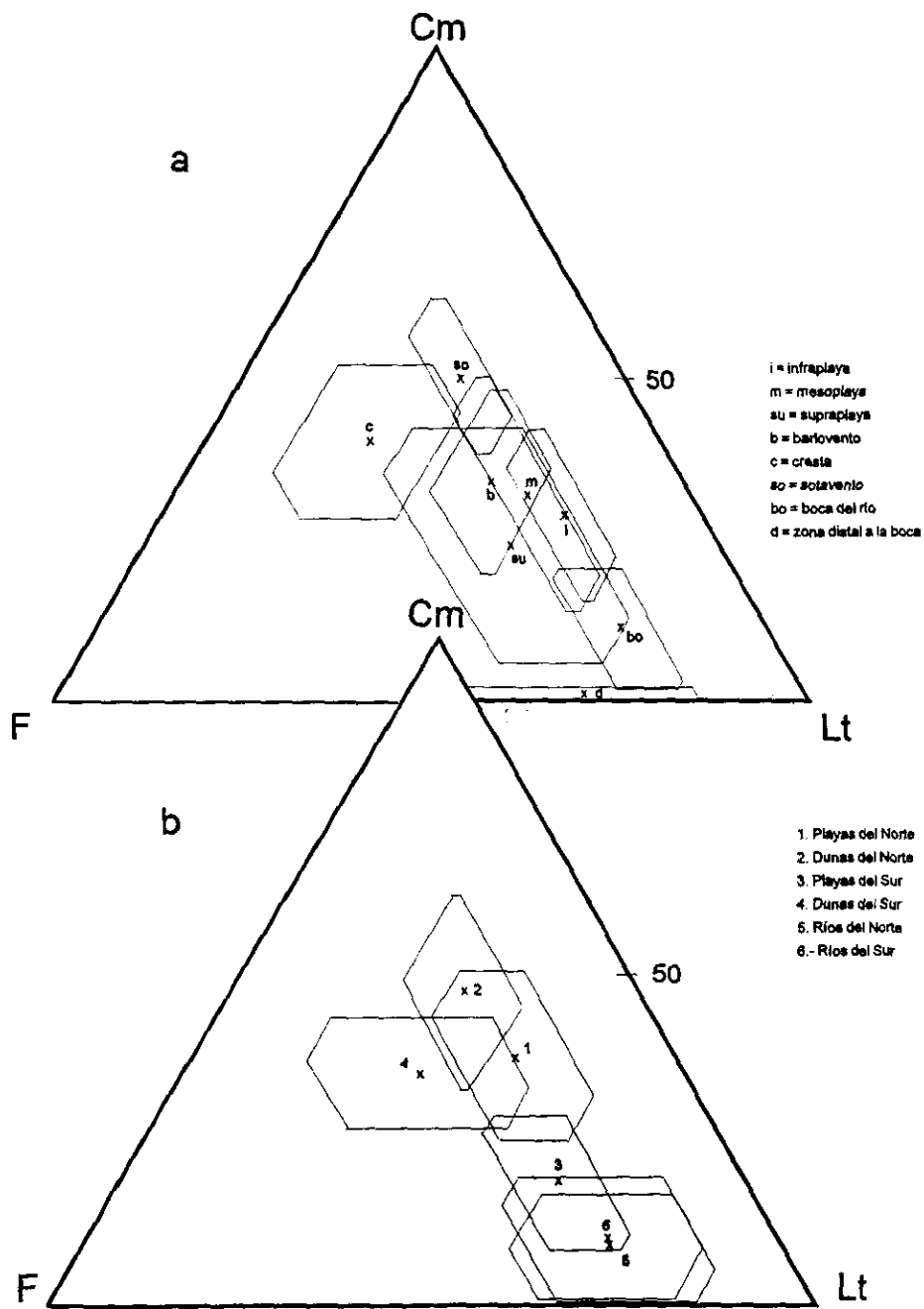


Fig. 19. Diagramas ternarios Cm-F-Lt a) subambientes b) ambientes

*litarenitas feldespáticas y arenitas líticas. Para el caso de la cresta se presenta un polígono que cae en el campo de las arenitas líticas, es decir existen una mayor concentración de feldespatos. Para el sotavento se observa un polígono restringido al campo de las litarenitas feldespáticas con ligera tendencia a las arenitas líticas, cercano al polo del cuarzo. Así nuevamente el mayor traslape de muestras se concentra para arenas de la infraplaya y mesoplaya. Se diferencian ligeramente mejor las muestras de supraplaya y barlovento. De manera mayor se diferencian la cresta y el sotavento.*

Para los ríos, se observa una tendencia de los sedimentos, similar al presentado en la Fig 17a. La desembocadura de los ríos presenta mayor cantidad de fragmentos de roca y menor cuarzo, lo cual implica que su composición está controlada por la dinámica del transporte fluvial al tener mayor contenido de fragmentos de roca volcánica. Para las zonas distantes a la desembocadura se detecta la mayor concentración de líticos y también poca cantidad de feldespatos debido a la cercanía de la roca fuente.

En este caso también se agruparon las muestras de los subambientes de playa y duna del norte, del sur y muestras de la boca del río y la zona distantes a la boca. Los patrones son similares a los presentados en la Fig. 17b. La zona norte está más influenciada por el transporte litoral en la composición de los sedimentos y el sur más influenciado por los aportes de los ríos Mozomboa, Agua Fria y Actopan (Fig. 2). El diagrama de la Fig. 19b no difiere del presentado en la Fig. 17b en cuanto al desplazamiento para cada polo, en este caso Cm-F-Li. La similitud entre los dos diagramas refleja que el cuarzo policristalino no influye composicionalmente en los sedimentos.

### C) Análisis composicional polos Cm-F-P

En este caso F es el feldespato y P la plagioclasa por separado. De acuerdo con los resultados obtenidos (Figs. 20 y 21) para el diagrama ternario con los polos Cm-F-P (Hyndman, 1972), las muestras (con excepción de las muestras FP3s y FPD3c) tienden al polo del cuarzo monocristalino. Existe un gran traslape para las demás regiones de la playa y duna e incluso para la boca del río. El triángulo de Hyndman (1972) fue empleado por Marsaglia e Ingersoll (1992) para determinar junto con otros diagramas (Dickinson et al. 1983),



## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- ✕ SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ✦ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

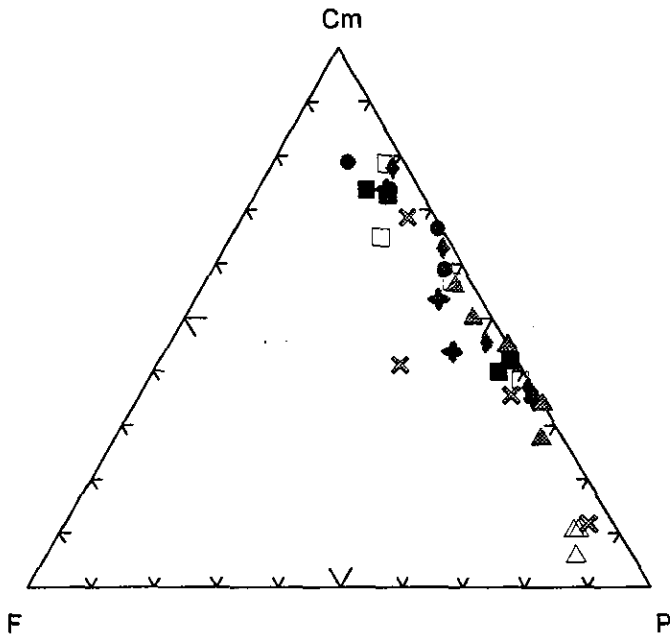


Fig. 20. Diagrama ternario Cm-F-P para subambientes de playa, duna y río

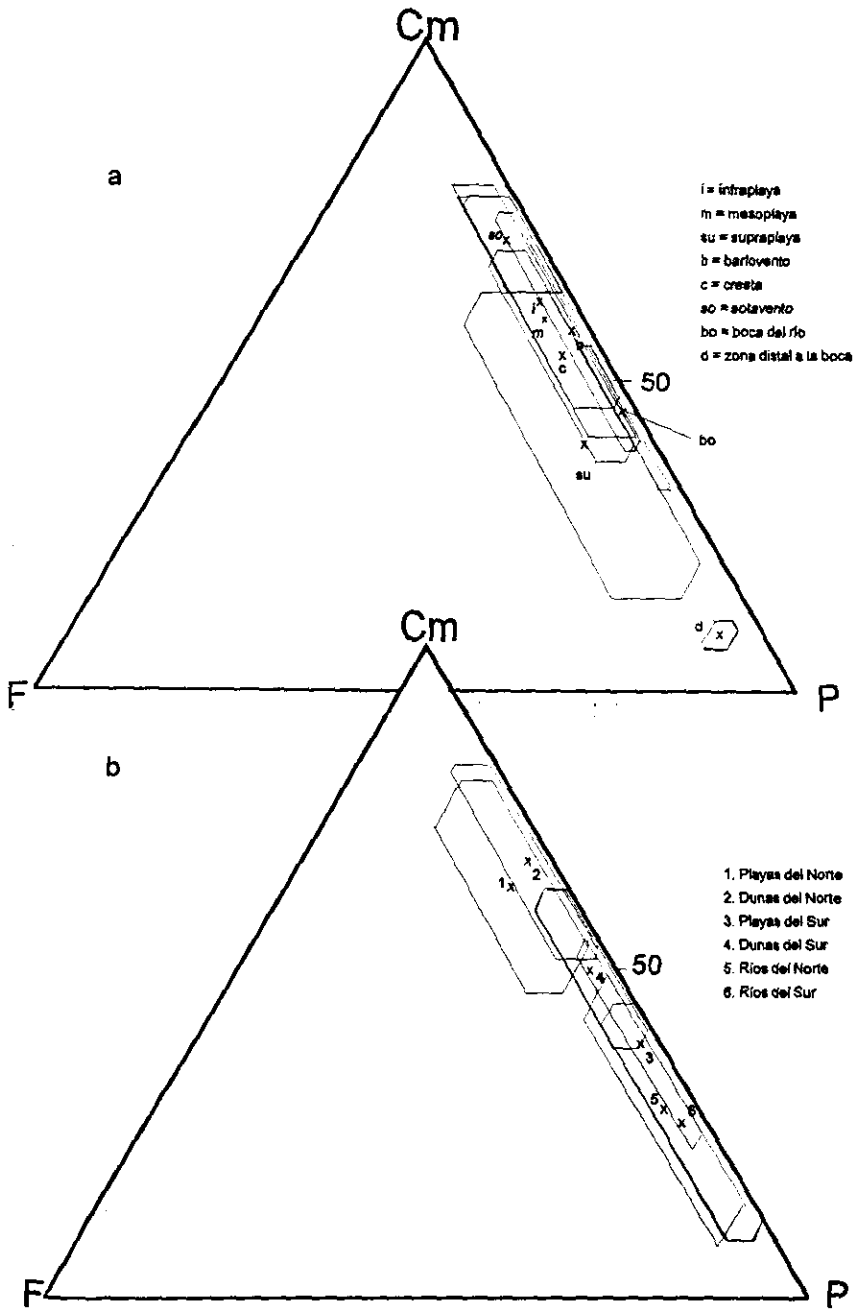


Fig. 21. Diagramas ternarios Cm-F-P a) subambientes b) ambientes

la evolución tectónica de un arco insular (Japón) desde el Oligoceno hasta el Cuaternario, reportando una tendencia de las muestras al polo de las plagioclasas. En este caso, el triángulo se empleó para observar la relación entre las características petrográficas de los sedimentos de cada ambiente estudiado y su relación con la geología local y regional más que relacionarlos con la evolución tectónica del área.

El diagrama de la Fig. 21a indica que las muestras de infraplaya, mesoplaya, barlovento y sotavento se traslapan y tienden a situarse cerca del polo del cuarzo monocristalino. Las muestras de supraplaya y cresta tienden ligeramente a separarse hacia el polo de las plagioclasas. Las muestras para la zona distal a la desembocadura de río se sitúan cerca del polo de las plagioclasas lo cual es reflejo de la cercanía de la roca fuente. La boca de los ríos tiende a traslaparse con subambientes de playa y duna pero la ligera tendencia es a indicar una concentración mayor de plagioclasas y a no tener mayor influencia composicional por la dinámica oceánica. Así, es posible que las corrientes superficiales dominantes sur-norte en verano y el viento predominante del norte y noreste son los principales factores en la presencia de cuarzo monocristalino que predomina sobre plagioclasas y feldespatos para un 50% de las muestras aproximadamente y el aporte por ríos en donde predominan los fragmentos de roca y feldespatos para el otro 50% (Fig. 20). Se debe tomar en cuenta que el muestreo se realizó en época de secas y los arroyos contribuyen poco a la composición de los sedimentos a pesar de estar situados en la zona de mayor relieve y fuentes de origen ígneo (Figs. 1 y 2) lo cual explicaría ese 50% de las muestras con dominancia hacia el polo del cuarzo.

Se separaron los grupos para los polos Cm-F-P (Fig. 21b). Los subambientes de playa y duna (mayoritariamente de la zona norte) se ubican cerca del polo Cm. Las excepciones se encuentran en muestras de sotavento de dunas de la zona sur (Juan Angel y Chachalacas) que se sitúan dentro de este grupo. El resto de los subambientes incluyendo los ríos tanto en la boca como en la zona distal tienden a ubicarse hacia el polo de las plagioclasas (P). Esto respalda la diferencia establecida en los anteriores diagramas (Figs. 17b y 19b) en el sentido de que la dinámica litoral influye mayormente en la composición de los ambientes y subambientes sedimentarios del norte, ya que se observa poca influencia de los arroyos intermitentes del norte en la composición de los sedimentos de playa y duna del norte. Los polígonos en este caso (Fig. 21b) para los ambientes de playa y duna de la zona norte tienden al polo Cm mientras que los polígonos para los

ambientes de la zona sur al igual que los ríos se desplazan hacia el polo de las plagioclasas debido a la influencia del aporte de ríos del sur en la composición de los propios ambientes sedimentarios que proveen de mayor cantidad de fragmentos de roca con plagioclasas (Fig.1)

#### D) Análisis composicional polos FRS-FRV

Se elaboró un diagrama binario de FRV-FRS con los resultados de los fragmentos de roca volcánicos (FRV) y fragmentos de roca sedimentarios (FRS) (Fig. 22) debido a la ausencia de fragmentos de rocas metamórficas. En este caso se observa un traslape de las muestras de playa y duna, a excepción de las zonas de infraplaya que tienden a situarse hacia los fragmentos de roca volcánicos y una muestra que se sitúa hacia los fragmentos de roca sedimentaria. Una muestra de supraplaya tiende a una concentración proporcional de FRV y FRS. Las muestras de río tanto de la desembocadura como de la zona distal a la boca se traslapan ligeramente concentrándose hacia los fragmentos de roca volcánico. En el diagrama de la Fig. 23 se presentan la media y desviación estándar (como rectángulos y cuadrados) para cada subambiente y ambiente. La tendencia muestra que la infraplaya tiene mayor concentración de fragmentos de roca volcánicos, la mesoplaya tiende a desplazarse ligeramente hacia los fragmentos de roca sedimentarios y la supraplaya se separa del resto de los subambientes hacia los líticos sedimentarios (Fig. 23a). Esta tendencia de la supraplaya de separarse hacia los líticos sedimentarios quizá se deba a que en esta región la energía prevaleciente no es tan alta como en la infraplaya e incluso en la mesoplaya en donde los líticos sedimentarios tienden a romperse más fácilmente. Los subambientes de duna muestran un traslape fuerte para la cresta y el sotavento con tendencia hacia los líticos sedimentarios. El barlovento muestra una tendencia hacia los fragmentos de roca volcánicos que quizá se concentran en esta zona de la duna por su mayor densidad con respecto al cuarzo y los feldespatos ( $2.95 \text{ gr/cm}^3$ ,  $2.65 \text{ gr/cm}^3$  y  $2.61 \text{ gr/cm}^3$  respectivamente) (Pye, 1994). Los fragmentos de roca sedimentarios tienden a transportarse más allá del barlovento por tener un peso más ligero que los fragmentos de roca volcánicos. Aunque la geología del norte y sur del área de estudio difiere (Fig. 1), los subambientes no tienden a separarse fuertemente. Por otro lado, la zona distal a la boca del río presenta mayor concentración de fragmentos de roca volcánicos. La boca del río muestra una mayor concentración de líticos

## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- × SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ◆ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

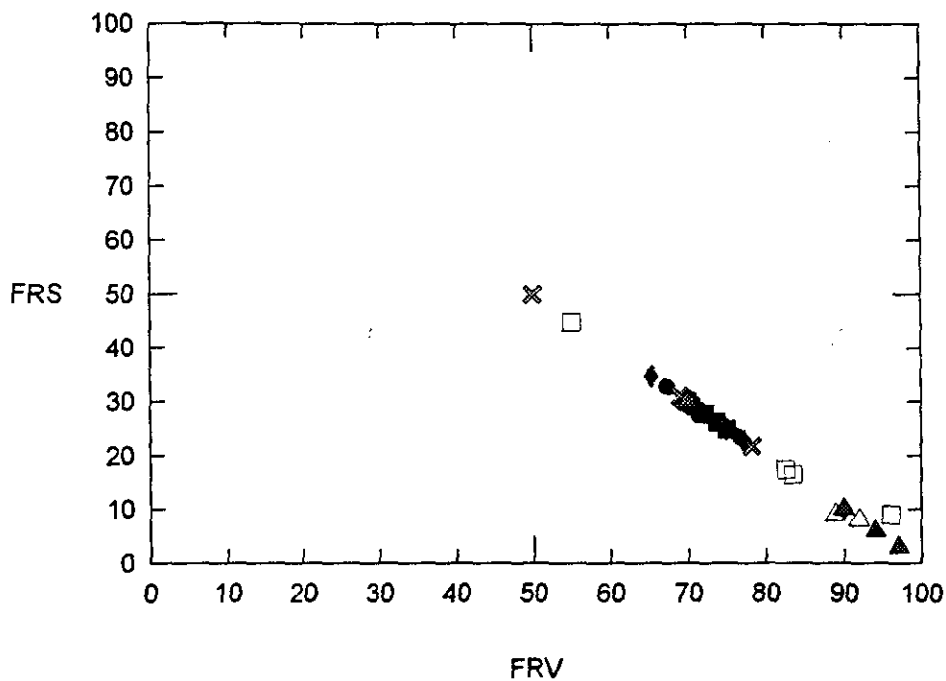


Fig. 22. Diagrama binario FRV-FRS para subambientes de playa, duna y río

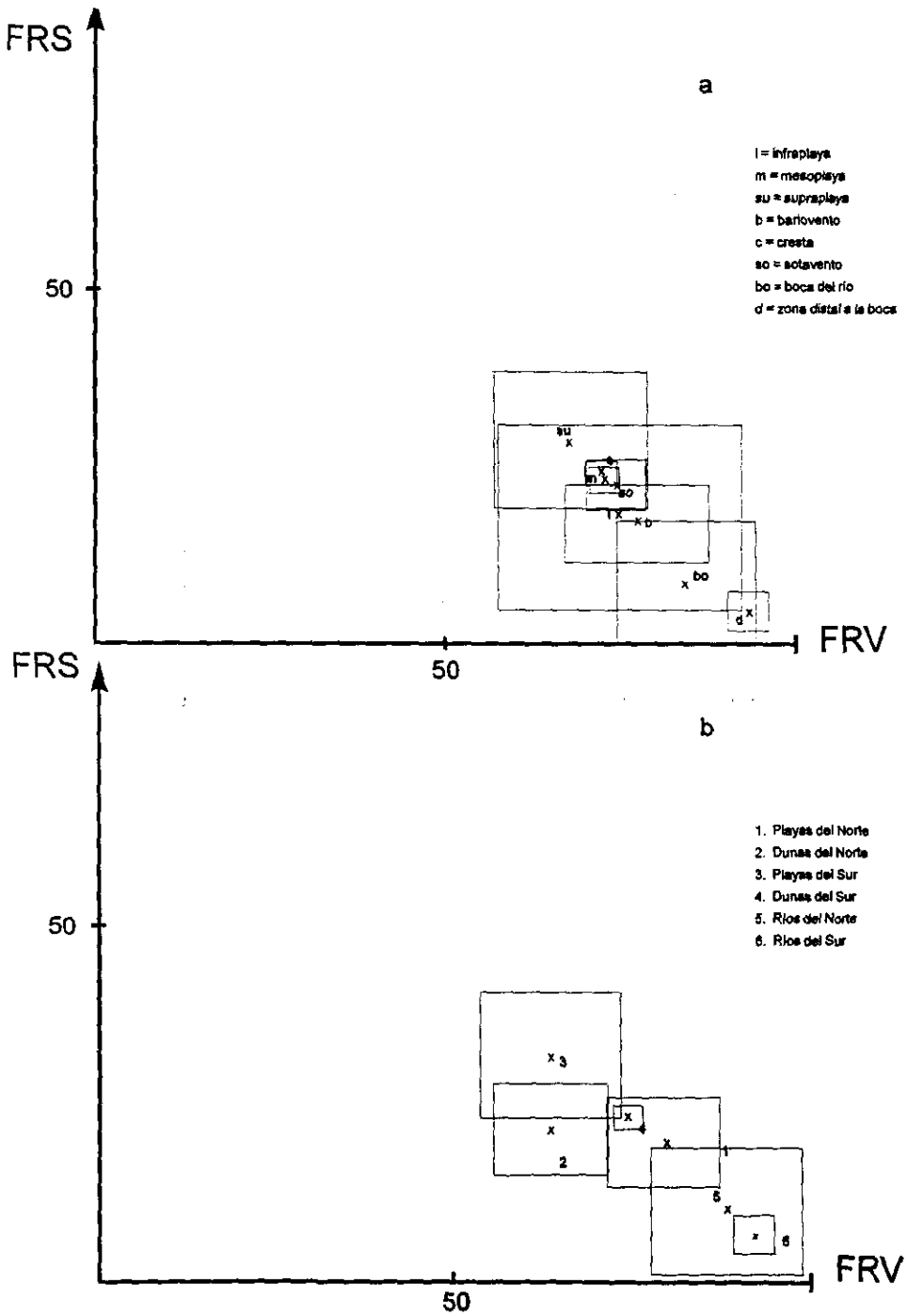


Fig. 23. Diagramas binarios FRV-FRS a) subambientes b) ambientes

sedimentarios. Sin embargo, el traslape para ambas zonas del río es importante tomando en cuenta la desviación estándar (Fig. 23a).

Las playas y dunas del norte tienden a mostrar mayor concentración de fragmentos de roca volcánica (Fig. 23b) ya que la región norte está constituida por rocas basálticas y andesíticas con mayor relieve (Figs. 1, 2). Las playas y dunas del sur tienden ligeramente a mayor concentración de fragmentos de roca sedimentarios (Fig. 23b), sin embargo, hay traslape de las dunas del sur con las playas del norte en términos de su desviación estándar. La composición de los ambientes sedimentarios del norte y sur está determinada por el transporte litoral y el aporte por ríos respectivamente. Esto se observa en la Fig. 23b en donde la tendencia de los ambientes del sur tienden a una mayor concentración de fragmentos de roca sedimentarios provenientes de los ríos. En el caso de los ríos del norte y sur, existe un traslape con lo cual no hay una diferenciación clara de la tendencia que siguen.

#### E) Análisis composicional para ambientes de playa, duna y río en general.

Se presenta el análisis composicional de los ambientes en general. En las Figs. 24 y 25 se presentan los diagramas para muestras de playa, duna y río con los polos C-F-FR, Cm-F-Lt, Cm-F-P y FRV-FRS. Se observa una buena discriminación de los tres ambientes con los polos C-F-FR y Cm-F-Lt. Los sedimentos fluviales en general, tienden al polo de los fragmentos de roca y liticos totales (Fig. 24a, b) por la baja competencia e influencia mayor de la roca fuente en la composición de los sedimentos. En el caso de los sedimentos de playa en general, se observa una mayor influencia de los ríos en la composición debido a que el polígono tiende a situarse cerca del polo de los liticos (predominantemente volcánicos). La dispersión del polígono refleja que los sedimentos de playa varían composicionalmente entre el cuarzo (subanguloso a subredondeado con extinción ondulante) y los fragmentos de roca. Esto es congruente con el análisis composicional realizado para playas del norte y sur por separado (Figs. 17b y 19b). La composición de los sedimentos de playa está en relación a una mayor competencia en relación a los arroyos y a la selección de partículas por efecto del oleaje y corrientes litorales. Los sedimentos de duna muestran una mayor madurez composicional. Estos tienden a situarse hacia el polo del cuarzo (Fig. 24a, b). También existe una tendencia a

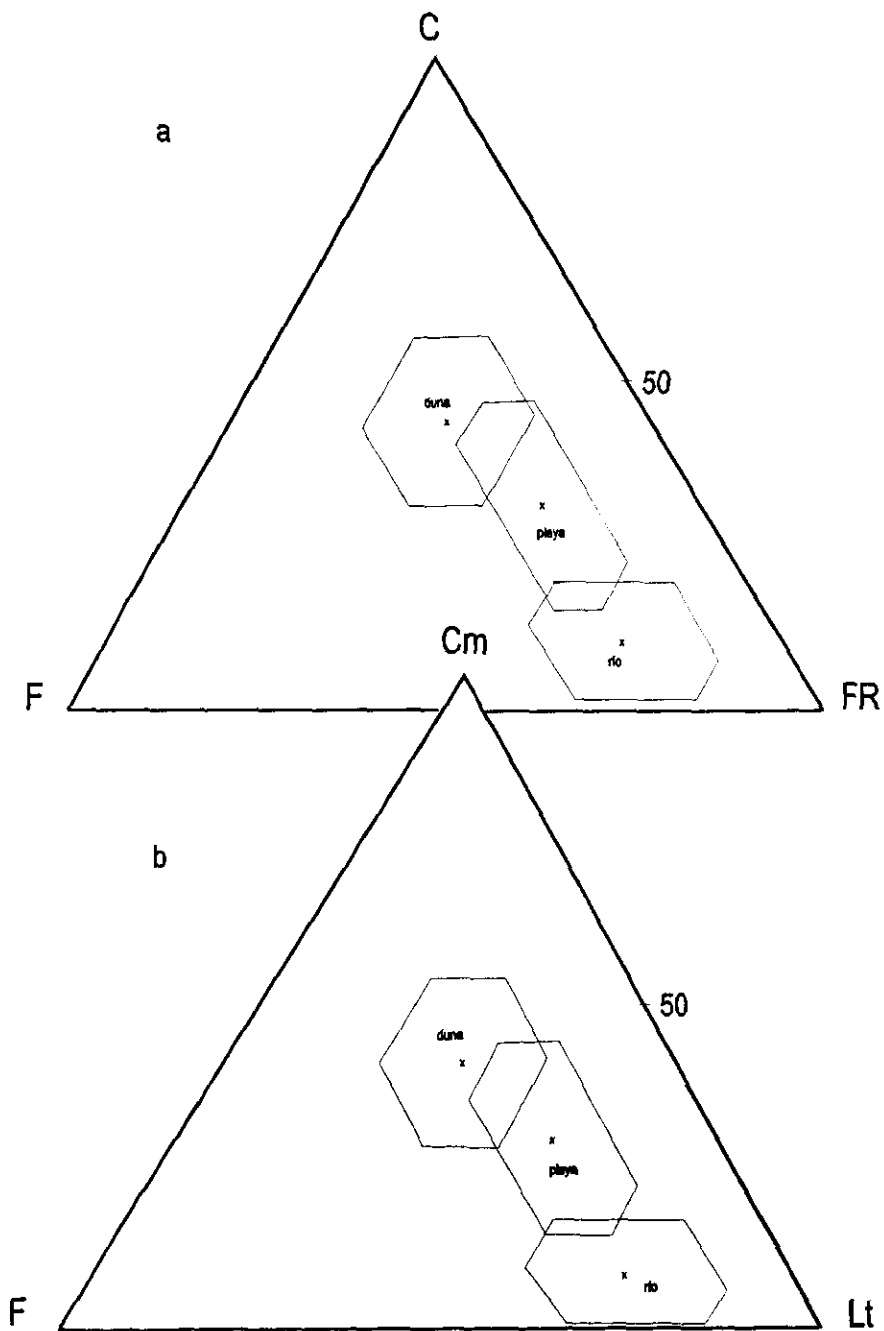


Fig. 24 . Diagramas ternarios a) C-F-FR b) Cm-F-Lt para playa, duna y río



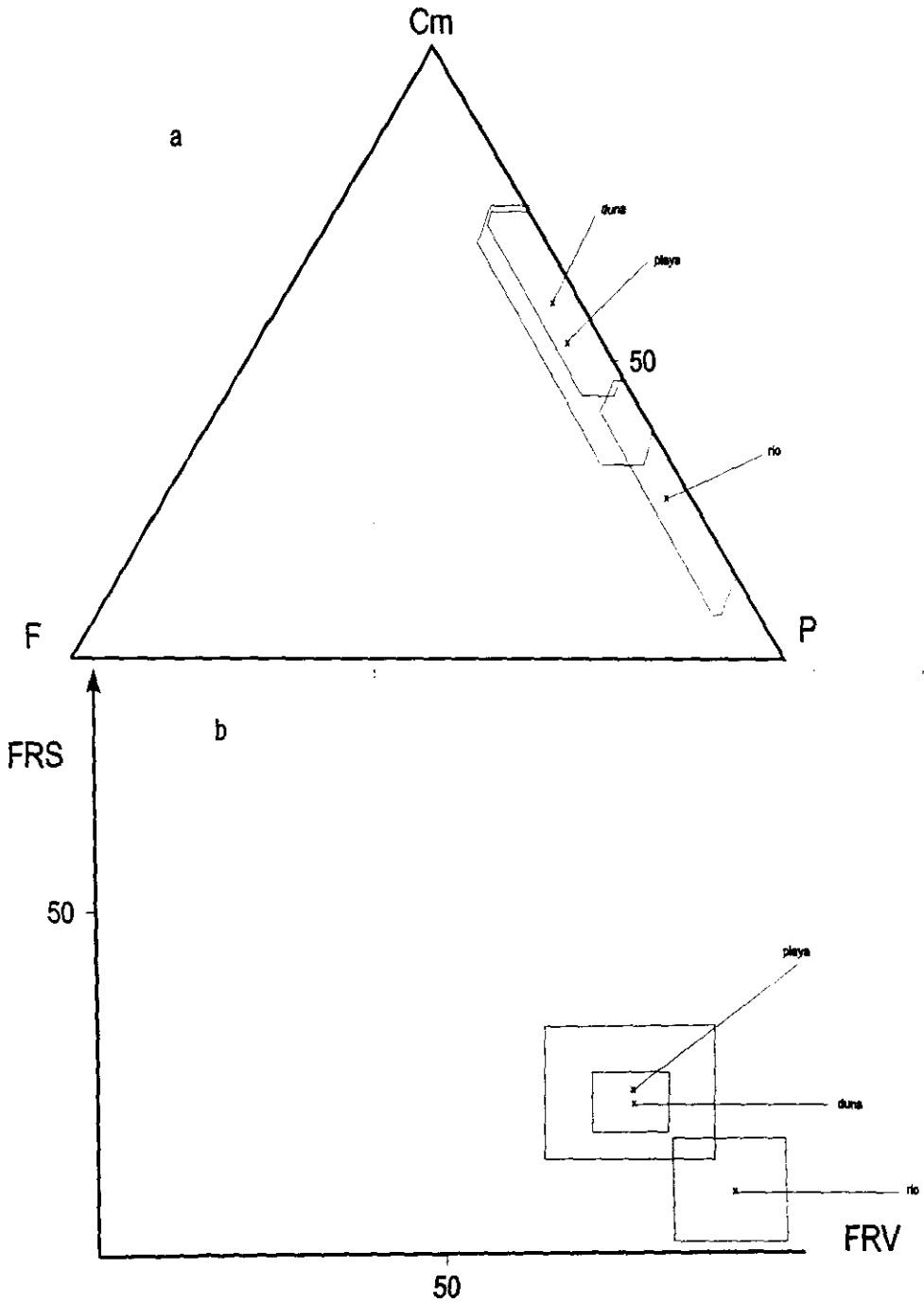


Fig. 25. Diagramas a) Cm-F-P b) FRV-FRS para playa, duna y río

situarse hacia el polo de los feldespatos . En contraste, la alta energía de la playa destruye más rápidamente los feldespatos y por eso su concentración es menor que en los sedimentos de duna.

La Fig. 25a muestra que los sedimentos fluviales son un reflejo composicional de la fuente de suministro particular en este caso y para el área de estudio constituida por andesitas y basaltos por situarse cerca del polo de las plagioclasas (Ernst, 1969). Los polígonos para sedimentos de playa y duna se traslapan en el mismo diagrama, pero tienden al polo del cuarzo. Esto refleja la dominancia de los procesos de transporte litoral y vientos en la composición de los sedimentos de playa y duna sobre el aporte por parte de los ríos en dicha composición. También la alta energía en la playa destruye con más facilidad a los feldespatos, incrementando la concentración de cuarzo. En la duna hay una ligera contribución de los feldespatos más que en la playa en su composición debido a la baja energía. La Fig. 25b muestra la mayor concentración de fragmentos de roca volcánicos para sedimentos fluviales. Esto es un reflejo únicamente de la fuente de suministro constituida por andesitas y basaltos (Fig. 1) Para los sedimentos de playa y duna hay abundancia también de fragmentos de roca volcánicos que son transportados por los ríos y son más resistentes que los fragmentos de roca sedimentarios (fragmentos de beach rock y calizas, principalmente) a ser destruidos. Sin embargo, no se observa una buena discriminación para separar los ambientes de los fragmentos de roca sedimentarios.

F) Índice de madurez y procedencia para los subambientes y ambientes de playa, duna y río.

El índice de madurez  $I_m$  (relación entre el cuarzo y los feldespatos + fragmentos de roca) y procedencia  $I_p$  (relación entre los feldespatos y los fragmentos de roca) propuestos por Pettijohn (1975) se graficaron (Fig. 26) en un diagrama binario (Carranza- Edwards y Rosales-Hoz , 1995). Se observa que el subambiente que tiene el menor índice de madurez y procedencia es de infraplaya, debido quizás a la abundancia de fragmentos de roca reflejo también de la alta energía de la zona y por el suministro de los ríos del sur de mayor cantidad de líticos (Figs 1 y 2). La mesoplaya, supraplaya y el barlovento tienen valores similares en sus índices. Los índices de madurez y procedencia están en relación de la concentración de líticos. También es un diagnóstico de zonas de mayor energía con mayor contenido de fragmentos de roca. (Carranza- Edwards et al., 1994). Los subambientes de sotavento y cresta poseen índices de procedencia mayores a los de la infra, mesoplaya, supraplaya y barlovento por la mayor concentración de feldespatos y menor concentración de líticos volcánicos.

El subambiente con el mayor índice de madurez es el sotavento (Fig. 26) debido a su disminución en fragmentos de roca y a una mayor concentración de cuarzo. En el caso de la cresta el índice de madurez es ligeramente mayor a las zonas de infra, meso, supraplaya y barlovento. Este ligero aumento está en función del decremento de líticos para la cresta. Esta mayor madurez está en función del transporte selectivo del viento en transportar y depositar mayor cantidad de cuarzo en zonas de menor energía produciendo una depositación anómala del cuarzo (Mack, 1983).

Se procedió a obtener un promedio de los índices de madurez y procedencia (Pettijohn, 1975) para la playa, duna y río tomando en cuenta el promedio de cada subambiente (por ejemplo,  $n= 4$  para la infraplaya,  $n= 4$  para la mesoplaya, etc.) y finalmente obteniendo el promedio para el ambiente en general. Así, los índices de madurez y procedencia para los ambientes de playa, de duna y río se presentan en la Tabla 12

TABLA 12.- INDICES DE MADUREZ  $I_m$  Y PROCEDENCIA  $I_p$   
PARA LOS AMBIENTES DE PLAYA, DUNA Y RIO

Ambiente	$I_m$	$I_p$
Playa	0.46	0.46
Duna	0.81	1.13
Río	0.06	0.81

Se observa que el ambiente de duna posee la mayor madurez y mayor índice de procedencia reflejo de los procesos sedimentarios del ambiente eólico. Con relación a los ríos, es notorio observar los índices menores de madurez tanto para la boca como para la región distal a la boca. El índice de procedencia para las bocas de río es mayor incluso que el resto de los subambientes del perfil de playa-duna. La contribución significativa de los feldespatos con respecto a los líticos influye en este valor aunque la contribución de estos últimos es significativa en el  $I_p$  aún cuando los arroyos del norte tienen poca competencia y el transporte se da de manera estacional. Así, hay poco transporte de líticos hasta la desembocadura. El índice de procedencia para la región del río alejada de la boca tiene valores similares a los de la mesoplaya. La mayor concentración de fragmentos de roca tiene relación con el índice de procedencia bajo para esta región del río

En la Fig. 27 se presentan los índices de procedencia  $I_p$  y madurez  $I_m$  para los ambientes de playa, duna y río. El menor índice de madurez se presenta para el ambiente fluvial por la mayor concentración de feldespatos y fragmentos de roca para este ambiente. El mayor índice lo presenta la duna a diferencia de la playa posiblemente porque en la playa se tiene mayor concentración de líticos por la alta energía. En la duna es menor la capacidad del viento para concentrar fragmentos de roca. En relación al índice de procedencia es notable observar que la duna posee los valores más altos por la falta de competencia del viento como agente para transportar partículas de mayor densidad como los fragmentos de roca. Por tener menor concentración de feldespatos, a diferencia de los arroyos (intermitentes) las playas poseen menor índice de procedencia. Es importante observar que el índice de procedencia para ríos se acerca a la unidad sugiriendo que hay una proporción más o menos constante entre los feldespatos y los fragmentos de roca.

El diagnóstico para determinar el tipo de provincia geológica en función de la composición de los ambientes sedimentarios estudiados (Pettijohn, 1975) tendría que agrupar los valores promedio de índices de

## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- ⊗ SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ◆ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

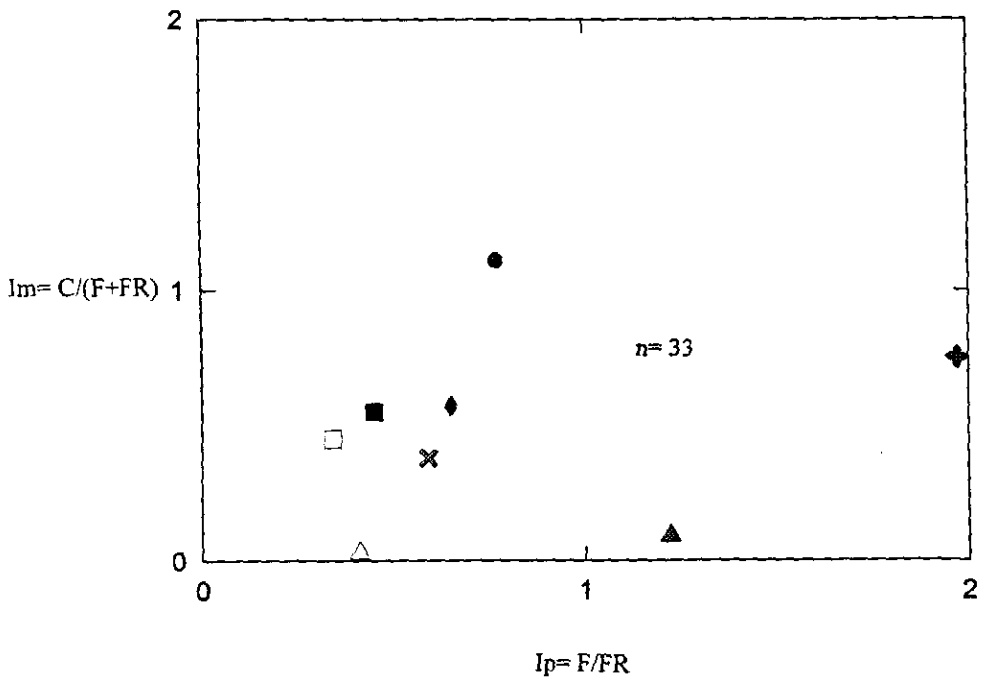


Fig. 26. Índice de procedencia ( $I_p$ ) y madurez ( $I_m$ ) para subambientes de playa, duna y río

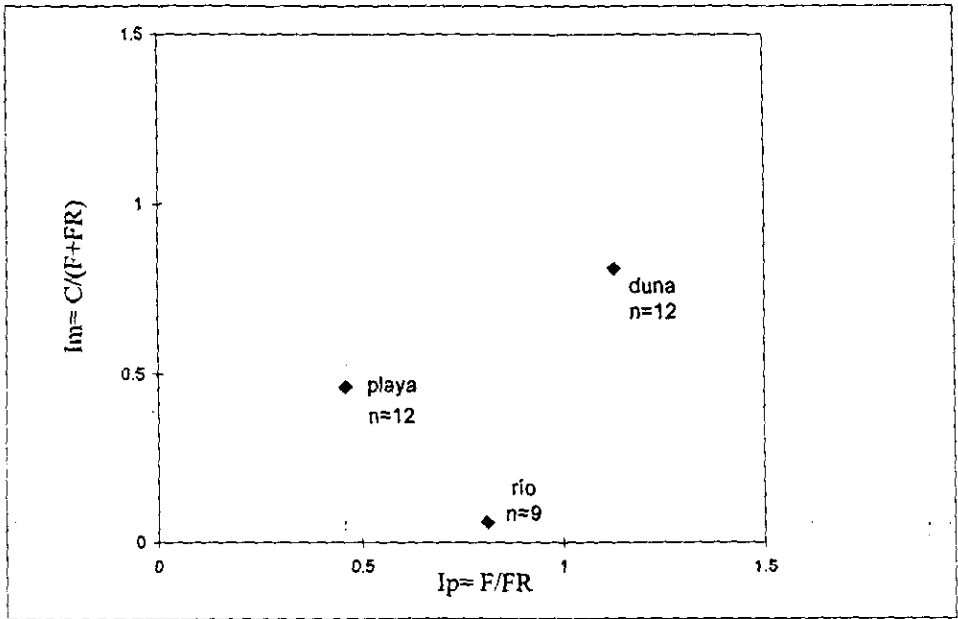


Fig. 27. Índice de procedencia y madurez ( $I_p, I_m$ ) promedio para ambientes de playa, duna y río

playa y duna por tratarse de un estudio muy local. Comparativamente con el estudio de Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995) el área estudiada está influenciada por una provincia volcánica como lo corrobora también la composición mineralógica de las arenas debido a la mayor concentración de fragmentos de roca que componen los sedimentos de playa, duna y río.

#### F) Relación plagioclasas/feldespatos (P/F) y cuarzo policristalino/cuarzo total (Cp/Ct)

Las relaciones entre P/F y Cp/Ct se presentan en la Fig. 28. Se tomó el promedio de cuatro muestras por subambiente de playa, duna y zona distal a la boca del río y cinco para la boca. El diagrama muestra la tendencia de las muestras de los subambientes a situarse cerca de la unidad para la relación P/F, lo cual indica que la concentración de feldespatos de potasio es muy baja debido a las fuentes volcánicas de la región (Robin, 1982; Negendank et al., 1985)(Fig.1).

El barlovento de la duna, la boca de los ríos y zona distal a la boca se acercan más a la unidad por el mayor suministro de plagioclasas por parte de las propias fuentes volcánicas y menor concentración de feldespatos potásicos.

Esto diagnostica que la relación P/F está en función de la geología del área (Figs. 1, 2) que suministra una gran cantidad de plagioclasas. La alta concentración de plagioclasas incrementa la relación P/F por la poca presencia de feldespatos de potasio por parte de la fuente volcánica. Esta baja concentración de feldespatos de potasio (sanidina y posiblemente anortoclasa) tiene como fuente las andesitas expuestas en el área. Así, la razón P/F alta está en función de la composición de la roca fuente. Con respecto a la razón Cp/Ct los valores bajos indican una mayor contribución de cuarzo monocristalino retrabajado en la composición de los subambientes. Las corrientes litorales influyen notablemente en la redistribución de los minerales más estables que componen los subambientes estudiados, incluyendo la boca o desembocadura de los ríos.

## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- × SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ◆ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

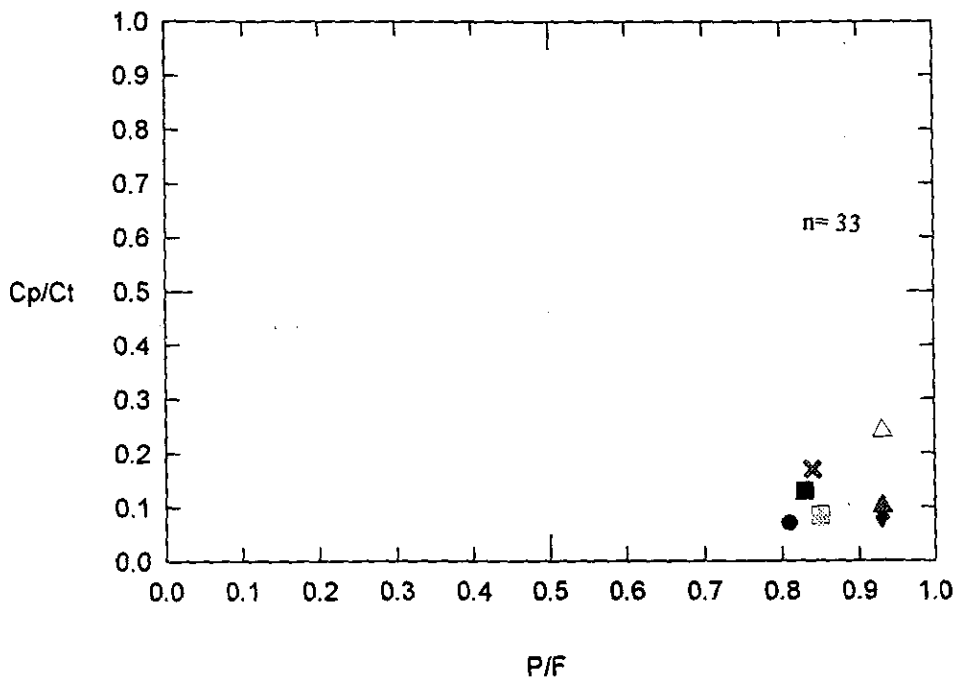


Fig. 28. Relaciones P/F (plagioclasas / feldspatos) y Cp/Ct (cuarzo policris talino/ cuarzo total) para subambientes de playa, duna y río



G) Relación plagioclasas/feldespatos (P/F) y fragmentos de roca volcánicos/ líticos totales (Lv/Lt).

Se elaboró un diagrama binario (Fig. 29) que muestra la relación P/F y Lv/Lt para las muestras de playa, duna y río. Los subambientes se desplazan hacia la unidad con la razón Lv/Lt y mas aún los subambientes de río. Esto permite diagnosticar una predominancia composicional por parte de las fuentes de origen volcánico locales y menos influencia por parte de otra fuente alejada. Así, en los sedimentos fluviales se observa una mayor dominancia de las fuentes volcánicas y los sedimentos de los otros subambientes presentan una ligera tendencia a una mayor heterogeneidad en la composición de líticos debido a la influencia de otras fuentes distintas a las volcánicas (indicado por la presencia de fragmentos de calizas y beach rock) en la composición de los sedimentos por efecto del transporte litoral.

H) Relación de variación del cuarzo-feldespatos y fragmentos de roca (C-F-FR) en la caracterización de las playas del norte y del sur.

En la Fig. 30a se presentan las variaciones de las relaciones  $C/(C+F)$  y  $F/(C+F)$  para las localidades del norte (playas Boca de Ovejas, Boca Andrea, Farallón, La Mancha) y sur (playas Juan Angel y Chachalacas). Las playas del norte presentan valores mayores en la relación  $C/(C+F)$  que las playas del sur. Estas diferencias se deben a la menor influencia de los arroyos del norte en la composición mineralógica de las playas cuya composición está influenciada por las corrientes litorales superficiales. Para las playas del sur, la razón  $C/(C+F)$  es menor por el suministro de sedimentos por los ríos de esta zona. La disminución de feldespatos para la región norte puede estar influenciada por efectos del oleaje cuando el sedimento llega a la costa por el transporte fluvial (McBride et al., 1996).

La relación  $F/(C+F)$  decrece para las playas del norte por la disminución de feldespatos y aumenta para las playas del sur (Fig. 30a) por el aporte de sedimentos de los ríos de la región (Fig. 2). La separación entre ambas relaciones  $C/(C+F)$  y  $F/(C+F)$  (Fig. 30a) es grande y esto es un reflejo de las marcadas diferencias composicionales entre abundancia de cuarzo y feldespatos para todas las localidades.

## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- ⊗ SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ⬤ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

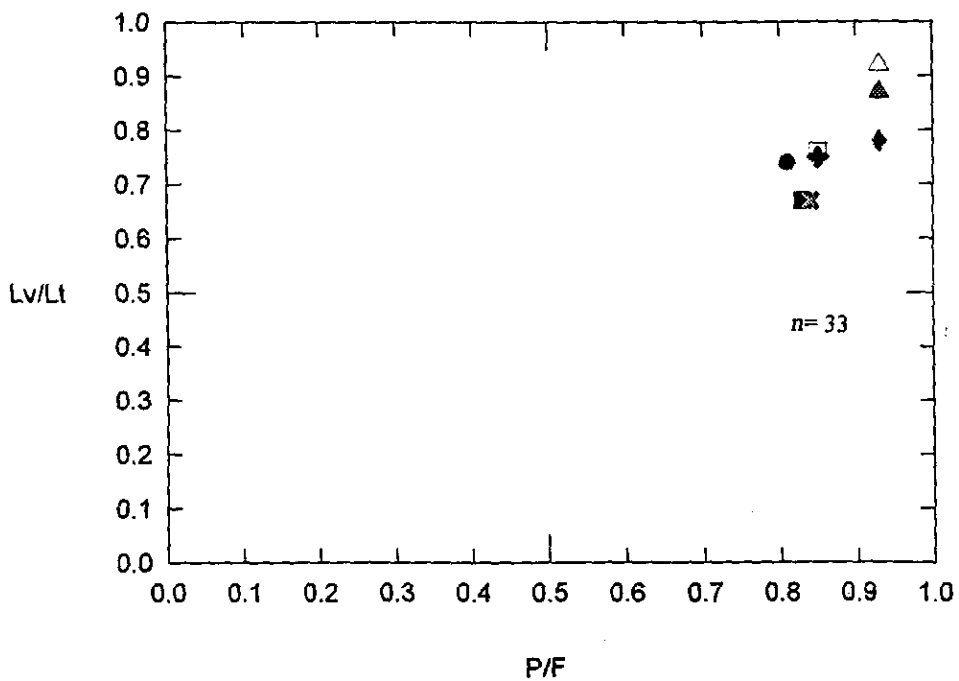


Fig. 29. Relaciones P/F (plagioclasas/ feldspatos) y Lv/Lt (líticos volcánicos/ líticos totales) para subambientes de playa, duna y río

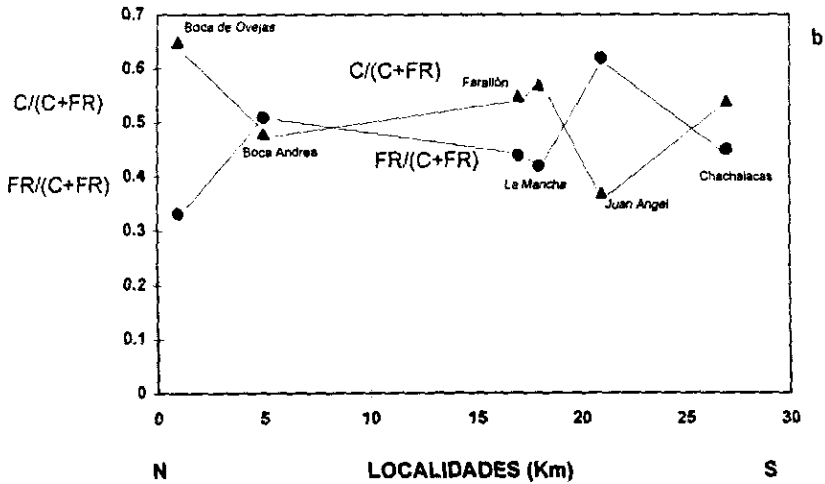
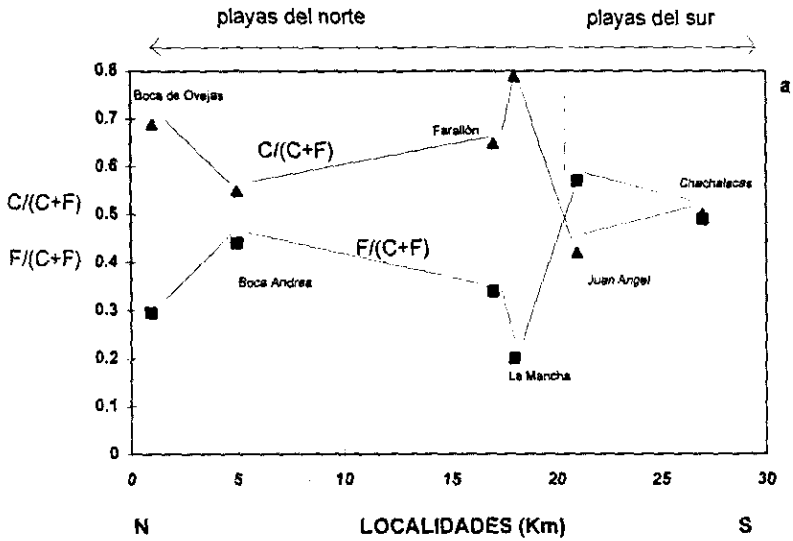


Fig 30. Relación de a) cuarzo y feldspato ( $C/(C+F)$  y  $F/(C+F)$ ) y b) cuarzo y fragmentos de roca ( $C/(C+FR)$  y  $FR/(C+FR)$ ) a lo largo de playas y dunas estudiadas

La Fig. 30b muestra la variación composicional entre las playas del norte y sur con respecto a las relaciones  $C/(C+FR)$  y  $FR/(C+FR)$ . Pocos estudios se han realizado en relación a la pérdida o incremento de fragmentos de roca en la composición de los sedimentos durante el transporte y la depositación (Webb y Potter, 1969; McAire et al., 1994; McBride et al., 1996). La relación  $C/(C+FR)$  aumenta para playas del norte y disminuye para las playas del sur. Esto se debe al mayor suministro de líticos en la región sur, lo que hace que disminuya la relación  $C/(C+FR)$ . Por otro lado, la relación  $FR/(C+FR)$  es mayor para las playas del sur y menor para las playas del norte. Es importante destacar que a diferencia de la distancia entre la relación  $C/(C+F)$  y  $F/(C+F)$  (Fig. 30a) que es grande, la distancia entre la relación  $C/(C+FR)$  y  $FR/(C+FR)$  es menor debido a que los sedimentos de las playas estudiadas no varían tanto en la relación cuarzo-fragmentos de roca. Por otro lado, la mayor parte de los líticos son de origen volcánico los cuales son resistentes a la abrasión e intemperismo (Webb y Potter, 1969; McBride et al., 1996).

#### 4.5 . ANALISIS GEOQUIMICO DE LOS SEDIMENTOS DE PLAYA, DUNA Y RIO

Se realizó el análisis geoquímico de elementos mayores de los sedimentos con el fin de observar la relación entre composición petrográfica, relieve y grado de intemperismo para los sedimentos de playa, duna y río. Los criterios de selección de las muestras se presentan en el capítulo 3 sección geoquímica. En la Tabla 13 se presenta el resultado del análisis por elementos mayores

TABLA 13.- PORCENTAJE DE ELEMENTOS MAYORES PARA MUESTRAS DE PLAYA, DUNA Y RIO

Muestra	Ambiente	SiO <sub>2</sub>	Ti <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	e <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PxNC	suma
MP3i	Playa (infraplaya)	53.11	0.40	7.46	2.99	0.07	1.88	2.48	1.46	1.10	0.11	12.95	100.54
CHP2i	Playa (infraplaya)	63.84	0.41	9.22	2.98	0.05	1.56	1.00	2.06	1.70	0.11	8.26	100.73
OP2m	Playa (mesoplaya)	43.91	0.79	5.64	5.48	0.12	3.72	6.72	0.83	0.63	0.14	14.1	100.07
CHP3m	Playa (mesoplaya)	58.56	0.41	6.97	2.88	0.06	1.99	1.50	1.20	1.09	0.10	11.5	100.95
FP3s	Playa (supraplaya)	44.09	0.77	6.53	5.65	0.12	4.26	7.22	0.99	0.76	0.14	13.05	100.24
JAP1s	Playa (supraplaya)	61.65	0.67	11.16	4.31	0.07	2.29	1.62	2.23	1.84	0.19	6.33	100.46
JAPD2b	Duna (barlovento)	69.49	0.36	7.76	2.26	0.04	1.05	1.00	1.55	1.63	0.07	6.99	99.96
DM-95	Duna (barlovento)	57.10	0.57	7.01	4.42	0.09	3.40	4.81	1.14	0.99	0.10	9.16	100.51
CHPD1c	Duna (cresta)	38.57	2.31	5.46	13.37	0.19	6.29	8.69	0.69	0.53	0.15	10.43	100.01
APD3c	Duna (cresta)	40.82	1.62	5.36	11.37	0.18	6.61	10.00	0.69	0.46	0.14	10.01	100.05
FPD3s	Duna (sotavento)	51.71	0.5	6.68	3.79	0.09	2.95	3.90	1.10	0.89	0.11	12.81	100.87
JAPDE1s	Duna (sotavento)	58.13	0.62	9.10	4.26	0.08	2.46	3.25	1.65	1.45	0.15	8.32	100.10
APA	Río (cauce distal)	49.74	2.36	16.50	11.62	0.14	5.11	5.15	2.87	1.54	0.58	2.2	100.65
MR	Río (cauce distal)	50.49	1.24	13.61	9.74	0.14	4.96	4.71	2.08	1.11	0.28	5.26	100.35
AGF2	Río (boca)	60.73	0.77	11.36	4.72	0.08	2.47	2.15	2.23	1.79	0.21	6.16	100.56
ORI	Río (boca)	58.41	1.14	8.41	7.07	0.10	4.16	1.00	1.35	0.97	0.16	8.8	100.50

Promedio de error de

calibración\* (%)      0.72   0.59   0.82   0.34   1.48   0.50   0.31   4.3   7.3   2.7

Límite de detección del

aparato \* \*(%)      0.05   0.004   0.01   0.00   0.004   0.01   0.04   0.03   0.05   0.00

\* datos analíticos por Lozano-Santa Cruz et al. (1995)

\*\* datos analíticos por Lozano-Santa Cruz et al. (en preparación)

#### A) Relaciones CaO:Na<sub>2</sub>O:K<sub>2</sub>O y SiO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> :CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O

En las Figs. 31 y 32 se presentan las relaciones de los diagramas ternarios con los polos CaO:Na<sub>2</sub>O:K<sub>2</sub>O y SiO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> :CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O para muestras individuales de cada subambiente de playa, duna y río. La

## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- ✕ SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ✚ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

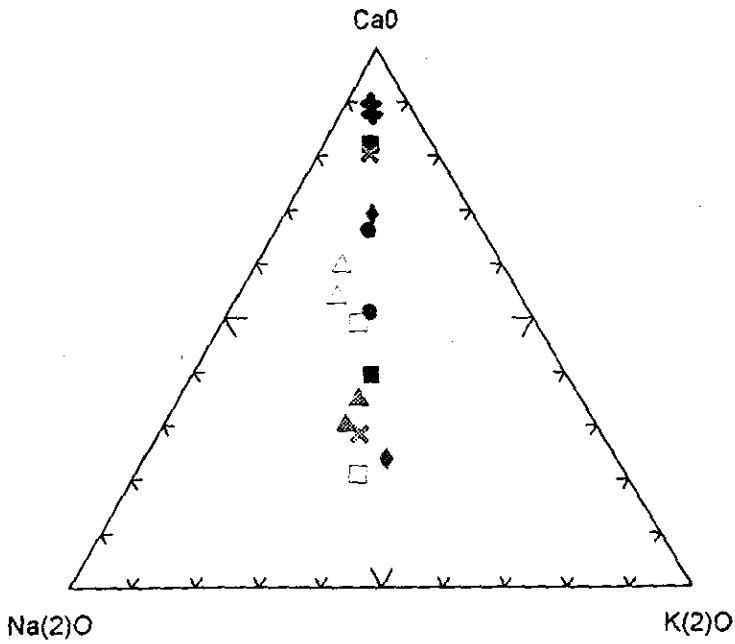


Fig. 31. Diagrama ternario CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O para subambientes de playa, duna y río

## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- ✕ SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ◆ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

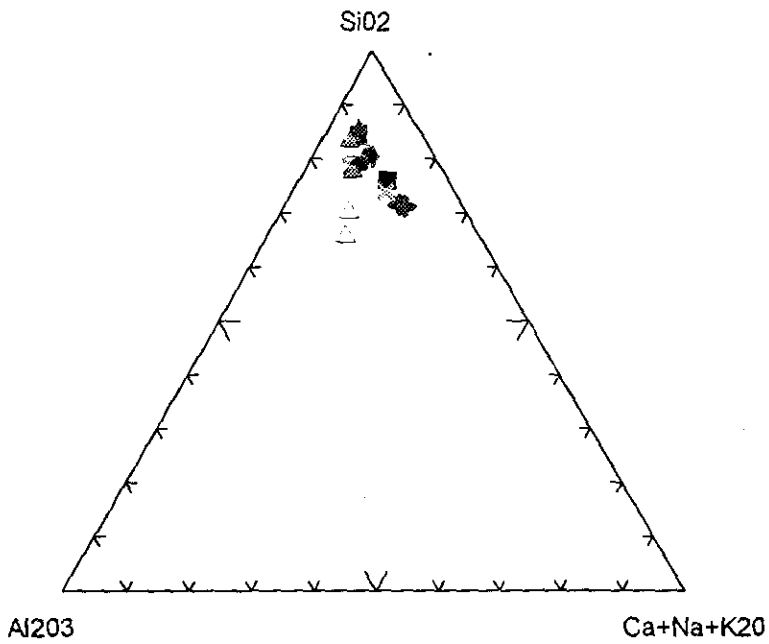


Fig. 32. Diagrama ternario  $SiO_2-Al_2O_3-Ca+Na+K_2O$  para subambientes de playa, duna y río

primer relación se escoje para diferenciar plagioclasas cálcicas, sódicas y feldespatos de potasio. La segunda relación se usa para observar el grado de alteración de los sedimentos. La contribución del CaO se asocia unicamente a silicatos, básicamente plagioclasas (McDaniel et al., 1994) en rocas y sedimentos y a carbonatos en rocas sedimentarias y sedimentos. Se observa una dispersión en el diagrama ternario de la Fig. 31. La Fig. 33a tampoco define una tendencia que permita discriminar subambientes. La mayor variación entre subambientes se observa para la infra y mesoplaya probablemente como reflejo de la variación composicional total de los fragmentos de roca basálticos y andesíticos. Esta variación puede indicar la diferencia en el contenido de plagioclasas cálcicas y sódicas, por ejemplo bitownita, labradorita y andesina (Ernst, 1969) respectivamente, en la composición de los propios basaltos y andesitas. Los subambientes se alejan del polo  $K_2O$  lo cual implica que los subambientes estudiados están químicamente en función de la procedencia más que del clima o el intemperismo. Es decir, la dominancia composicional del CaO implica que aunque el  $K_2O$  es más estable que el CaO, la fuente de origen volcánico provee de sedimentos más ricos en CaO en comparación al Na y K. Esto también puede asociarse con el relieve accidentado sobre todo de la zona norte y los datos geoquímicos de basaltos y andesitas reportados por Negendank et al. (1985)(Tabla 14) para el área costera de Palma Sola. La interpretación sugerida implica un transporte del sedimento más rápido y menor tiempo para que el intemperismo actúe; es decir la solubilidad del CaO es mínima (Ibbeken y Schleyer, 1991) en una zona en donde el relieve está constituido por elevaciones volcánicas costeras (Lugo-Hubp,1990). Desde el punto de vista químico, la madurez de estos sedimentos es baja (Ibbeken y Schleyer,1991).

Con el fin de respaldar las ideas anteriormente mencionadas, se realizó una comparación entre el promedio de concentración de Na, K y Ca para las rocas ígneas emplazadas en la zona costera del área de estudio con respecto a los sedimentos en su totalidad sin considerar el  $CaCO_3$  (Tabla 14) para tener un mejor control de las pérdidas y/o ganancias para el Ca, Na y K. Así se observa que tanto el Ca como el Na reducen su concentración en los sedimentos, mientras que el K tiene un relativo enriquecimiento lo que sugiere que el K es más estable que el Ca y Na en condiciones superficiales de intemperismo. Esta interpretación concuerda con los experimentos de Goldich (1938) en donde se muestra la mayor solubilidad del Ca y Na de las



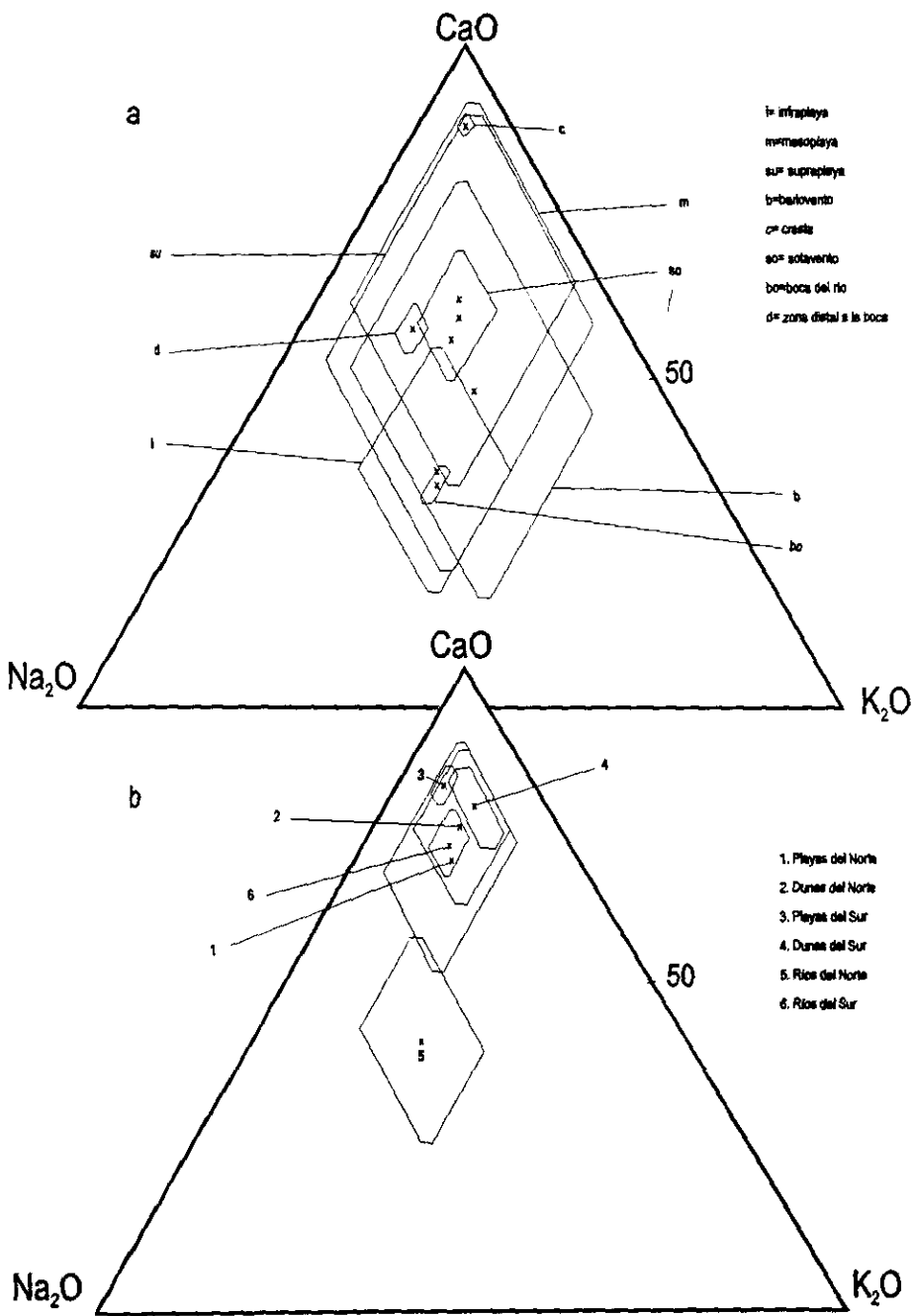


Fig. 33. Diagramas ternarios CaO:Na<sub>2</sub>O:K<sub>2</sub>O a) subambientes b) ambientes

plagioclasas con respecto al K del feldespato. Lo anterior podría respaldar la idea de que la pérdida de calcio en los sedimentos estudiados en relación a la roca fuente se debe a un mayor tiempo de intemperismo y mayor solubilidad del Ca.

TABLA 14. DATOS QUIMICOS COMPARATIVOS DE LAS ROCAS IGNEAS Y LOS SEDIMENTOS PARA EL AREA DE ESTUDIO

Muestra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaCO <sub>3</sub>
Basaltos-alcalinos * n= 5	46.3	2.42	15.7	6.3	0.17	7.85	9.69	3.31	1.28	0.58	-----
Sedimentos ** n= 16	53.73	0.93	8.63	6.03	0.10	3.44	4.07	1.53	1.15	0.17	20.77
Sedimentos*** n= 16	79.05	1.18	10.92	7.62	0.12	4.35	5.18	1.94	1.45	0.21	-----

\* datos promedio a partir de Negendank et al. (1985) para la región costera dentro del área de estudio

\*\* datos promedio de los sedimentos de este estudio con CaCO<sub>3</sub>

\*\*\* datos promedio de los sedimentos de este estudio eliminando el CaCO<sub>3</sub>

Existe un traslape para los ambientes del norte y sur (Fig. 33b) los cuales tienden al polo CaO con excepción del polígono que representa los sedimentos para los ríos del norte que tiende hacia el polo Na<sub>2</sub>O. En el caso de los ríos del norte (Fig. 31b) el polígono muestra una gran variación en cuanto a las plagioclasas y una menor variación en cuanto a los feldespatos potásicos, que con un respaldo de acuerdo a la petrografía (Figs. 19b, 21b) se infiere que su composición está en función de la roca fuente. Esto se debe posiblemente a la geología de esta zona que varía de andesitas a basaltos (Fig. 1) lo cual se refleja en la dispersión del polígono en el sentido de los polos Ca-Na. Siendo los arroyos del norte intermitentes e inmaduros composicionalmente los ambientes fluviales de ésta zona están influenciados drásticamente por la roca fuente de origen volcánico que provee de gran cantidad de líticos volcánicos (Figs. 17b, 19b) y por el mayor relieve.

Los ríos del sur muestran también porcentajes similares de fragmentos de roca volcánica (Figs. 17b, 19b) a los del norte, sin embargo la química muestra una composición similar a las playas y dunas estudiadas. Esta aparente incoherencia de petrografía-química puede estar en función del menor relieve en donde se sitúan los ríos del sur que influye en la pérdida de Ca-Na por efecto del intemperismo a través del transporte fluvial (Ibbeken y Schleyer, 1991). Así, es probable que la dispersión observada puede estar asociada a los modos composicionales roca fuente-sedimentos; es decir durante el transporte los sedimentos han sufrido en mayor o menor grado alteración. En el caso particular de los sedimentos estudiados, se produce una variación en la relación CaO-Na<sub>2</sub>O y una menor variación en la concentración de K<sub>2</sub>O. Los sedimentos son inmaduros desde el punto de vista químico ya que de acuerdo a otros estudios (Carranza-Edwards et al. 1994) la variación entre la relación CaO-K<sub>2</sub>O si refleja el grado de intemperismo para un ambiente por la asociación que se presenta del CaO a las plagioclasas y el K<sub>2</sub>O a los feldespatos de potasio. En el caso del estudio de Carranza-Edwards et al. (1994) se presenta un diagrama con muestras de río con una variación importante en el sentido de los polos CaO-K<sub>2</sub>O contrario a la variación observada en este trabajo cuyo sentido es para los polos CaO-Na<sub>2</sub>O. Esto implica que la variación CaO-Na<sub>2</sub>O en los ambientes en general, es un reflejo de la litología presente más que del grado de intemperismo aunque en el caso de los ríos del sur es posible que existan pérdidas en cuanto al Ca-Na presentes en los sedimentos debido al menor relieve. Para los ríos del norte y sur, los fragmentos de roca basálticos vítreo componen la fracción gruesa de los sedimentos fluviales que no se han descompuesto en fracciones mas finas (MaCaire et al., 1994).

En la Fig. 32 se presenta el diagrama ternario con las muestras individuales para los polos SiO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Ca+Na+K<sub>2</sub>O. Las muestras que no se traslapan son las de la zona distal a la desembocadura del río. En la Fig. 34a se presentan los polígonos correspondientes a los sedimentos de los subambientes de playa, duna y río estudiados. La zona distal a la boca del río muestra mayor cercanía al polo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> por concentrar sedimentos en sus ultimas etapas de intemperismo (Brownlow, 1979; McDaniel et al. 1994). La mayor dispersión composicional de los polos SiO<sub>2</sub> y CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O se observa para todos los subambientes con excepción de la cresta de la duna la cual también se separa del resto de los subambientes hacia el polo del CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O por contener la mayor concentración de feldespato (Figs. 16 y 17a). Esta dispersión puede

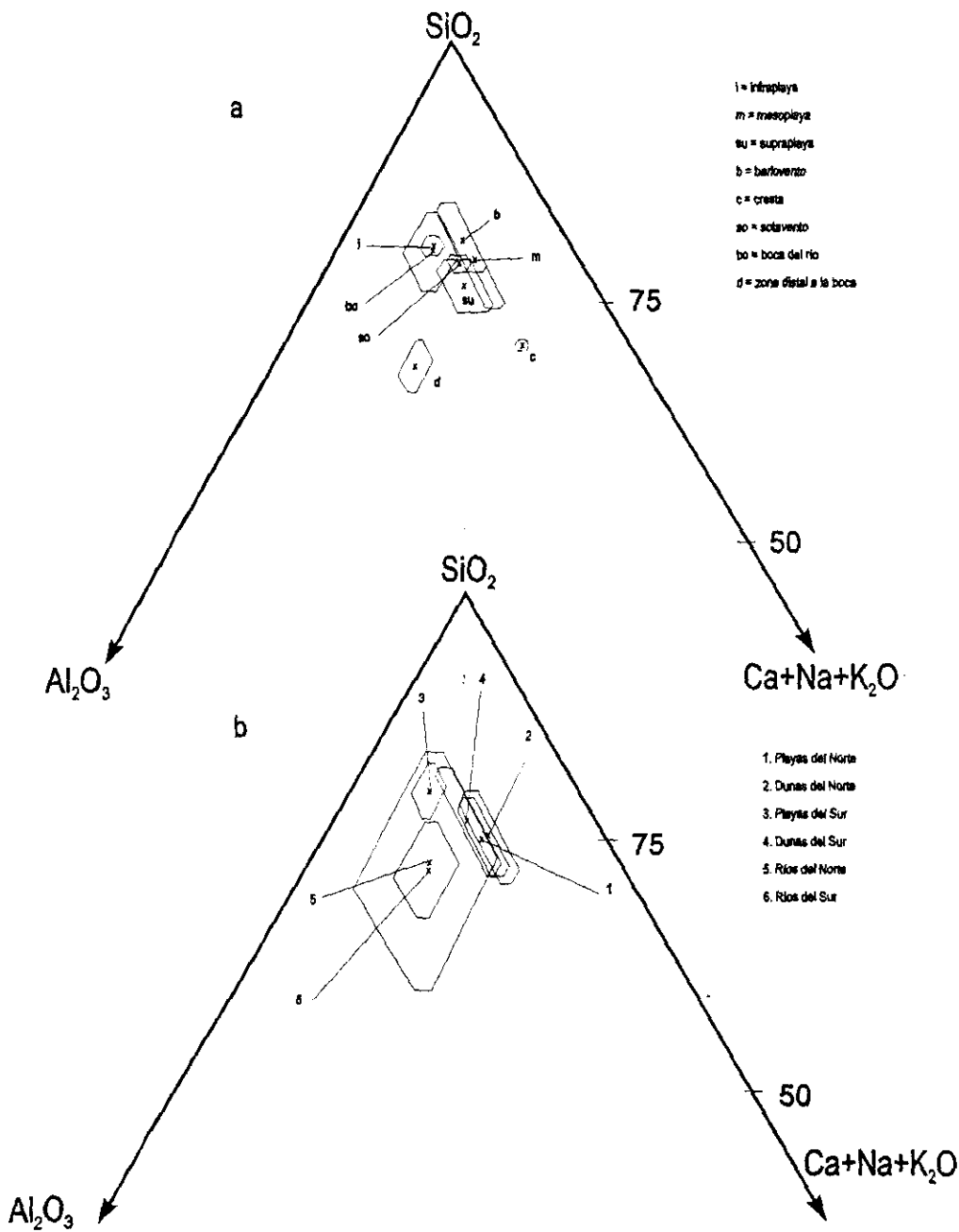


Fig. 34. Diagramas ternarios SiO<sub>2</sub>: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Ca+Na+K<sub>2</sub>O a) subambientes b) ambientes

interpretarse en términos de composición petrográfica relacionada al  $Al_2O_3$  y  $CaO+Na_2O+K_2O$  pero no al Si ya que este está contenido en cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca (Carranza-Edwards et al., 1994). Se observa la menor dispersión de los subambientes especialmente de playa y duna para los polos  $SiO_2$  y  $Al_2O_3$  ya que es en estos subambientes en donde los sedimentos tienden a ser más "frescos" por el desgaste y retrabajo de las partículas en relación a los ríos (Carranza-Edwards et al., 1994; Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1995). La petrografía corrobora estos resultados al presentar la menor dispersión de los polígonos para sedimentos de playa y duna para los polos C-F-FR (Fig. 17a). Esto también puede ser un indicador desde el punto de vista tectónico de una margen "activa" para el área de estudio por contener sedimentos químicamente inmaduros, poco intemperizados y que en general son los mejores indicadores en estudios de procedencia (Ibbeken y Schleyer, 1991). Los sedimentos estudiados en el presente trabajo están en función de la duración de intemperismo sobre ellos y relieve, más que del clima (Grantham y Velbel, 1988). Por otro lado, en la Fig. 21a se muestra un traslape con los polos Cm-F-P que pudiera ser análogo al traslape para los subambientes dentro de los polos  $SiO_2 : Al_2O_3 : CaO+Na_2O+K_2O$  (Fig. 34a) con lo cual no hay una diferenciación real de los propios subambientes.

Los polígonos para las playas y las dunas del norte se traslapan (Fig. 34b) observándose la menor dispersión en los ambientes para los polos  $SiO_2:Al_2O_3:Ca+Na+K_2O$ . Las playas del sur muestran la dispersión hacia los polos  $SiO_2:Al_2O_3$  que está asociado quizá al aporte de fragmentos de roca y feldespatos más intemperizados por los ríos en una zona con un menor relieve. Las dunas del sur muestran la mayor dispersión en los polígonos presentados por el análisis geoquímico (Fig. 34b) y petrográfico (Fig. 17b) por la mayor cantidad de feldespatos. Para los ríos del norte y sur se observa la mayor dispersión para los polos  $SiO_2 - Al_2O_3$  que obviamente sí refleja el grado mayor de intemperismo para los ríos. Existe una relación directa entre la geoquímica y la petrografía para diferenciar los ambientes de playa y duna del norte ya que la dispersión en este caso sigue un patrón similar a la dispersión del polígono presentado en las Figs. 17b y 19b si se considera que en ambos ambientes domina el cuarzo y los fragmentos de roca asociados al  $SiO_2 : Ca+Na+K_2O$ . Lo mismo se puede decir de las playas y dunas del sur y los respectivos ríos. Los polos  $SiO_2 : Al_2O_3 : CaO+Na_2O+K_2O$  nuevamente reflejan la relación directa entre petrografía-geoquímica.

## B) Relación $\text{CaO}:\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$ y $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}_2\text{O}$ para playa, duna y río en general

La relación  $\text{CaO}:\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$  para playa, duna y río se presenta en la Fig. 35a. La mayor dispersión entre los polígonos para los polos Ca-Na de los sedimentos de playa y duna posiblemente sea un reflejo de la mayor concentración de feldespatos para ambos ambientes con respecto a los sedimentos fluviales que tienden hacia los fragmentos de roca (Fig. 24). La variación Ca-Na es un reflejo únicamente del aporte por parte de la roca fuente en la composición de los sedimentos. En el caso de los polos  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}_2\text{O}$  (Fig. 35b) para playa, duna y río, la mayor dispersión de los polos Si-Al del polígono se observa en sedimentos fluviales por encontrarse en las últimas etapas del intemperismo y aumentar la concentración de aluminio (Brownlow, 1979). Para los sedimentos de playa y duna la dispersión del polígono se orienta en dirección Si:Ca+Na+K pero se observa un traslape entre ambos ambientes. La dispersión y traslape indican que el Si está contenido en el cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca. Sin embargo se puede hacer una asociación entre la composición petrológica y la geoquímica en base a los polos  $\text{CaO}:\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$ . Para los polos  $\text{CaO}:\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$  se observa que para playás hay mayor concentración de fragmentos de roca ígneos que en la duna (Fig.24) asociado posiblemente con la variación composicional entre el Ca-Na (Fig. 35a). Los sedimentos de duna también presentan una dispersión del polígono en este sentido asociada con la mayor concentración de feldespatos (Fig. 24). Los sedimentos de río poseen menor dispersión que posiblemente implique la mayor concentración de fragmentos de roca asociados a la composición química (Figs. 24 y 35a). Para los polos  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}_2\text{O}$  la dispersión de los polígonos de los sedimentos de playa y duna se asocian posiblemente a la mayor concentración de sedimentos poco intemperizados. Los sedimentos de río muestran la dispersión en el sentido Al-Si que pudiera interpretarse como las últimas etapas del intemperismo al concentrar más aluminio.

## C) Índice de Alteración Química.

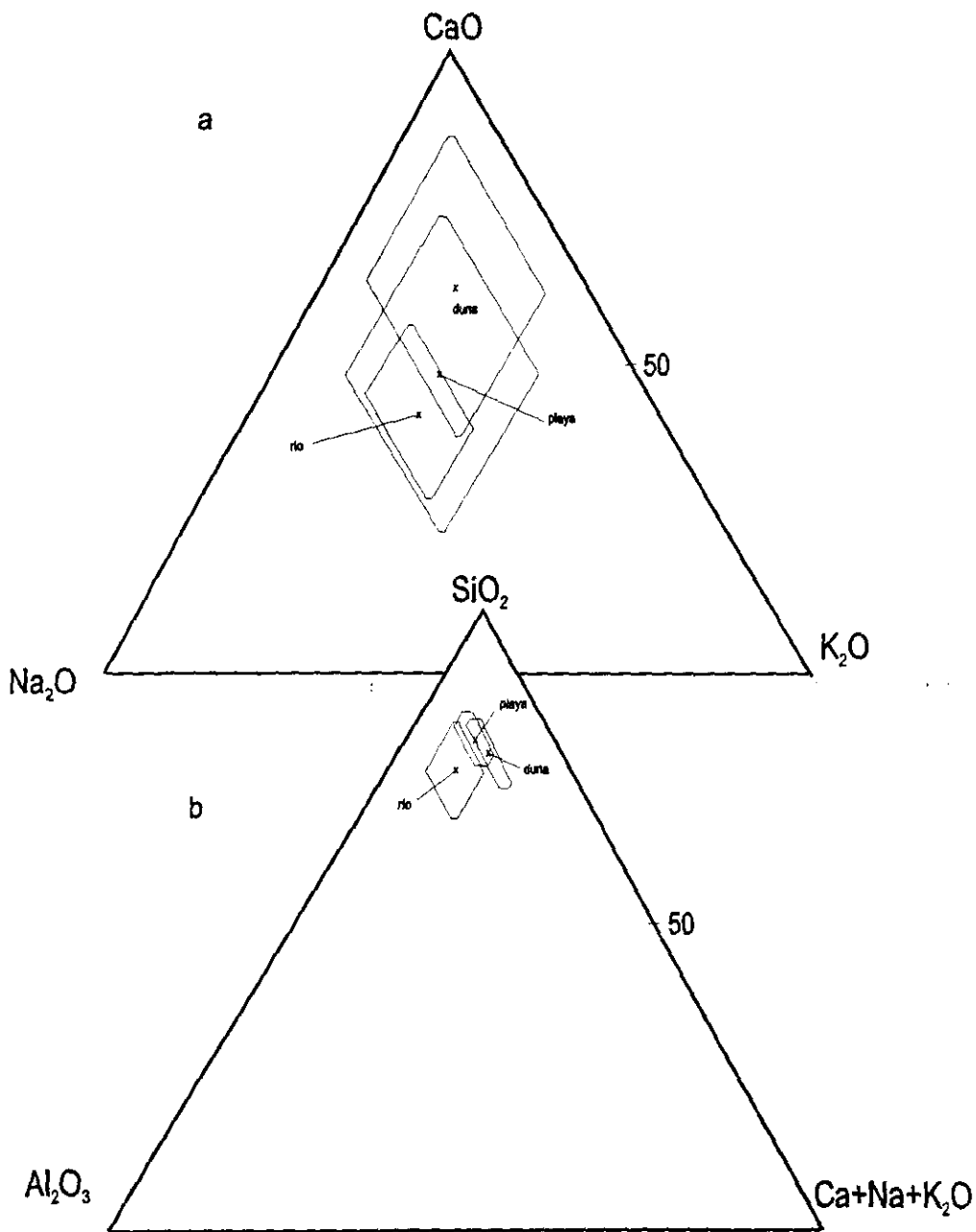


Fig. 35. Diagramas ternarios a)  $\text{CaO}:\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$  b)  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ca+Na+K}_2\text{O}$  para playa, duna y rio

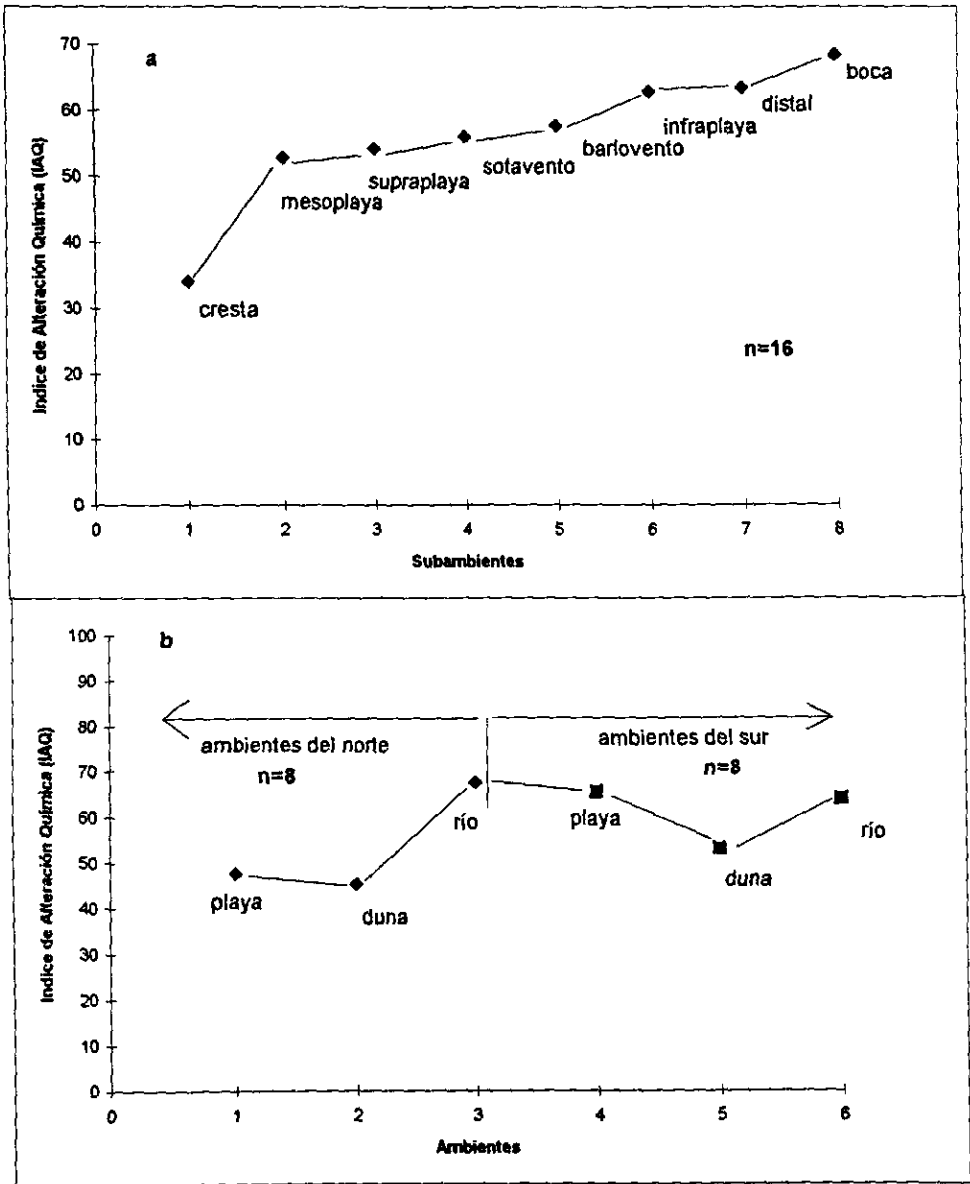
En la Fig. 36a se presentan las variaciones del índice de alteración química ( $IAQ = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$ ), agrupándose los subambientes de playa, duna y río. Esta variación es independiente de la razón de variación presentada en la Fig. 30.

La mayor variación del IAQ se observa entre los sedimentos del ambiente fluvial (zona distal a la boca y boca de los ríos) con respecto a los subambientes de playa y duna. La boca y zona distal a la boca del río presentan el mayor IAQ por la mayor concentración de sedimentos intemperizados. En la playa el mayor IAQ se observa para la infraplaya por ser la zona primaria de recepción de sedimentos provenientes de los ríos y por la mayor concentración de fragmentos de roca volcánicos y feldespatos para la infraplaya (Fig 17a) pudiera explicar este aumento en el IAQ. En las dunas, la cresta contiene menor concentración de fragmentos de roca (Fig. 17a) que pudiera reflejar un IAQ bajo. Aún así, el IAQ, es bajo para playas y dunas comparado con otros estudios realizados en ambientes costeros (Carranza-Edwards et al., 1994). Esto nuevamente indica la inmadurez química de los sedimentos estudiados ya que la relación  $Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$  decrece; es decir la concentración de  $Al_2O_3$  es baja. Este decremento se manifiesta en procesos en donde la roca fuente está altamente intemperizada y por la dinámica del oleaje y la abrasión de las partículas, los sedimentos tienden ser más "frescos" (Ibbeken y Schleyer, 1991). Los sedimentos menos "frescos" se localizan en los ríos por la menor energía y por la cobertura arcillosa de plagioclasas como lo reportan Rosales-Hoz y Carranza Edwards (1995) en dos cuencas del Estado de Guerrero.

En la Fig. 36b se agrupan las variaciones del IAQ para los ambientes del norte y sur. La tendencia para los sedimentos de playas y dunas del norte es mostrar un menor IAQ dado el bajo % de sedimentos intemperizados por parte de los arroyos, lo cual se corrobora con las tendencias petrográficas (Fig. 28). Las playas y dunas del sur tienen un mayor IAQ con respecto a los ambientes del norte. Posiblemente esto tenga que ver con el mayor aporte de fragmentos de roca intemperizados y al poco tiempo que ha tenido el mismo en iniciar una nueva etapa "fresca" en la playa. Los ríos para el norte y sur tienen los IAQ más altos por contener los sedimentos más intemperizados. Esto concuerda con la petrografía (Fig. 21b).

D) Relaciones  $Al_2O_3 / SiO_2$  vs.  $K_2O / (Na_2O + CaO)$  para subambientes y ambientes de playa, duna y río.





**Fig. 36.** Variaciones en el índice de alteración química para a) subambientes de playa duna y río y b) ambientes del norte y sur

Se proponen diagramas binarios con las relaciones  $Al_2O_3 / SiO_2$  vs.  $K_2O / Na_2O + CaO$  para infra, meso, supraplaya, barlovento, cresta y sotavento y zona distal a la boca del río y desembocadura (Fig. 37) y para playas, dunas y ríos del norte y sur (Fig. 38). Para el primer caso (Fig. 37) no se observa un patrón definido en cuanto a los subambientes. Quizá los dos subambientes de río son los que muestran valores ligeramente mayores tanto para la relación  $Al_2O_3 / SiO_2$  como para la relación  $K_2O / Na_2O + CaO$ . La diferenciación, para el caso de los ríos refleja que en estos se presentan los sedimentos más intemperizados y menos frescos sobre todo para la zona alejada a la desembocadura así como mayor variación composicional en los feldespatos producto de la mayor variedad en liticos y feldespatos para este subambiente. Ibbeken y Schleyer (1991) han determinado que los sedimentos fluviales generalmente poseen las características composicionales de la roca fuente a las que les dan origen más que otro tipo de fuente (suelo, sedimento).

En la Fig. 38 se presenta el mismo diagrama pero con los ambientes considerados. Aquí la diferenciación se hace más notoria sobre todo para el caso de los ríos y las playas y dunas del sur. Para sedimentos de playa y duna del sur la relación  $K_2O / Na_2O + CaO$  se incrementa ligeramente con respecto a las playas y dunas del norte. Esto puede ser por la pérdida de plagioclasas más inestables que los feldespatos potásicos (Ibbeken y Schleyer, 1991) durante el transporte de los sedimentos por parte de los ríos Mozomboá, Agua Fria y Actopan, en la zona sur con menor relieve (Fig. 2) y en donde el intemperismo químico actúa por más tiempo. Es posible que el intemperismo para los sedimentos de los ambientes del norte y sur no sufran variaciones en comparación con los ríos ya que la relación  $Al_2O_3 / SiO_2$  es menor para playas y dunas que para ríos.

#### 4.6. MARCO TECTÓNICO Y COMPOSICIÓN DE SEDIMENTOS

Los estudios de procedencia y marco tectónico en sedimentos recientes y antiguos han sido reportados por numerosos autores (Ingersoll, 1978; Dickinson and Valloni, 1980; Dickinson, et al. 1983; Valloni and Maynard, 1981; Bhatia, 1983; Potter, 1986; Dickinson, 1988; Roser and Korsch, 1986; Johnsson, 1990; Marsaglia and Ingersoll, 1992; Carranza-Edwards et al. 1994; Critelli and Le Pera 1994; Erickson et al., 1994; Potter, 1994; Carranza-Edwards and Rosales-Hoz, 1995). De acuerdo con Dickinson et al. (1983)

## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- ⊗ SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ✦ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

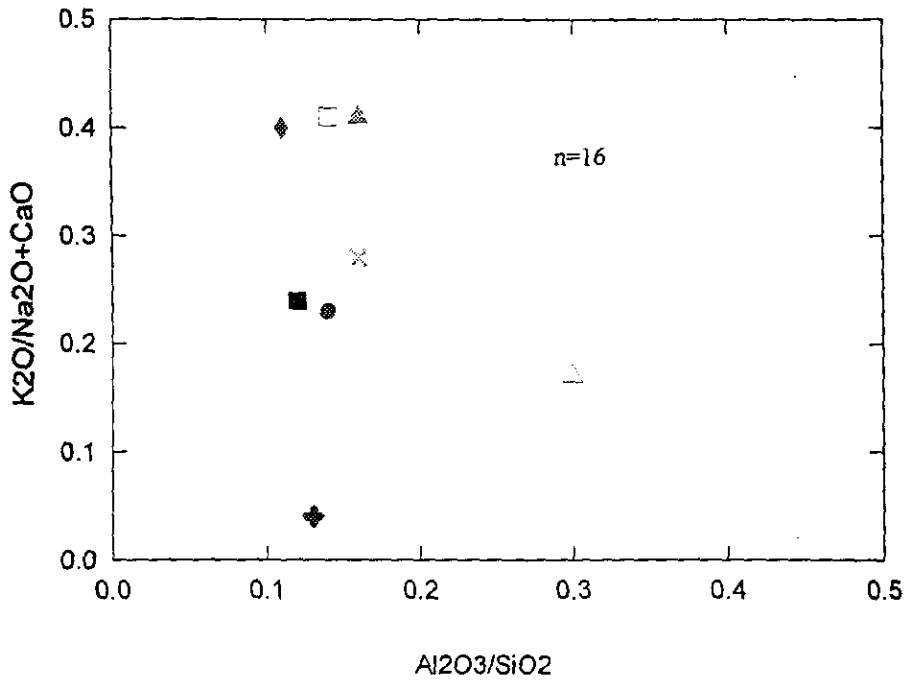
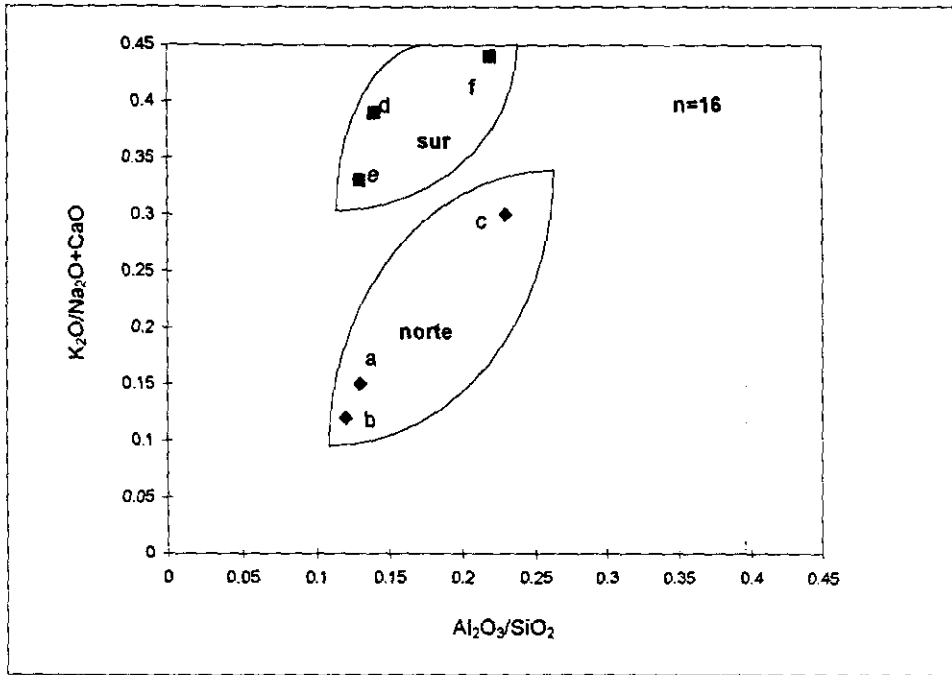


Fig. 37. Diagrama binario con las relaciones  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$  para subambientes de playa, duna y río



**Fig. 38. Relaciones  $Al_2O_3/SiO_2$  y  $K_2O/(Na_2O+CaO)$  para ambientes del norte (a= playa, b= duna, c= río) y ambientes del sur (d= playa, e= duna, f= río)**

los campos del diagrama ternario con polos C-F-L reflejan el marco tectónico-depositacional de los sedimentos. En el caso de los resultados obtenidos, los sedimentos de playa y duna se sitúan en los campos de arco transicional y disectado y arco disectado y orógeno reciclado, respectivamente. Estos sedimentos no imprimen el verdadero marco tectónico de la zona (arco no disectado) si se considera que el área de estudio es la extensión del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano hacia la costa del Golfo de México (Negendank et al., 1985). Esta interpretación errónea se debe a que los sedimentos de playa y duna están influidos composicionalmente por la acción selectiva del viento que actúa en la supraplaya y en las dunas y que provee de minerales más estables como el cuarzo (Figs. 24 y 39). También el transporte litoral suministra cuarzo a las playas de acuerdo con la interpretación hecha para las playas y dunas del norte y playas y dunas del sur. En las dunas la ligera tendencia también hacia los feldespatos se debe posiblemente al menor grado de alteración de los minerales en un ambiente generalmente seco (Potter, 1986). Las arenas más cuarzosas son difíciles para ser utilizadas como marcadoras del marco tectónico sobre todo si composicionalmente están influenciadas por el intemperismo químico o los procesos depositacionales (Mack, 1983). En contraste, los ríos reflejan el marco tectónico de la zona situando a los sedimentos dentro del campo de arco no disectado (Fig. 39) en donde las rocas basálticas y andesíticas del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano emplazadas contribuyen a la composición de los sedimentos fluviales (Fig. 40).

En la Fig. 41 se muestra la relación  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$  para los ambientes de playa, duna y río. Las muestras se sitúan dentro del campo de margen de arco continental para los tres ambientes (Roser y Korsch, 1986). Se situaron las muestras también dentro del mismo diagrama (Fig. 42) en donde se observa un mejor agrupamiento dentro del mismo campo de margen continental de arco de isla sin tomar en cuenta el tipo de ambiente. La Tabla 14 muestra la asociación de los datos geoquímicos de sedimento de este estudio con los datos reportados para las rocas ígneas emplazadas en la región costera del área (Negendank, et al. 1985), los cuales si reflejan composicionalmente un arco de isla continental (Bathia, 1983). Sin embargo cuando se comparan el promedio de concentración de Na, K y Ca para la roca ígnea con respecto a los sedimentos sin considerar el  $\text{CaCO}_3$ , (Tabla 14) se observa que tanto el Ca como el Na reducen su concentración en los sedimentos, mientras que el K tiene un relativo enriquecimiento lo que sugiere que el K es más estable que el

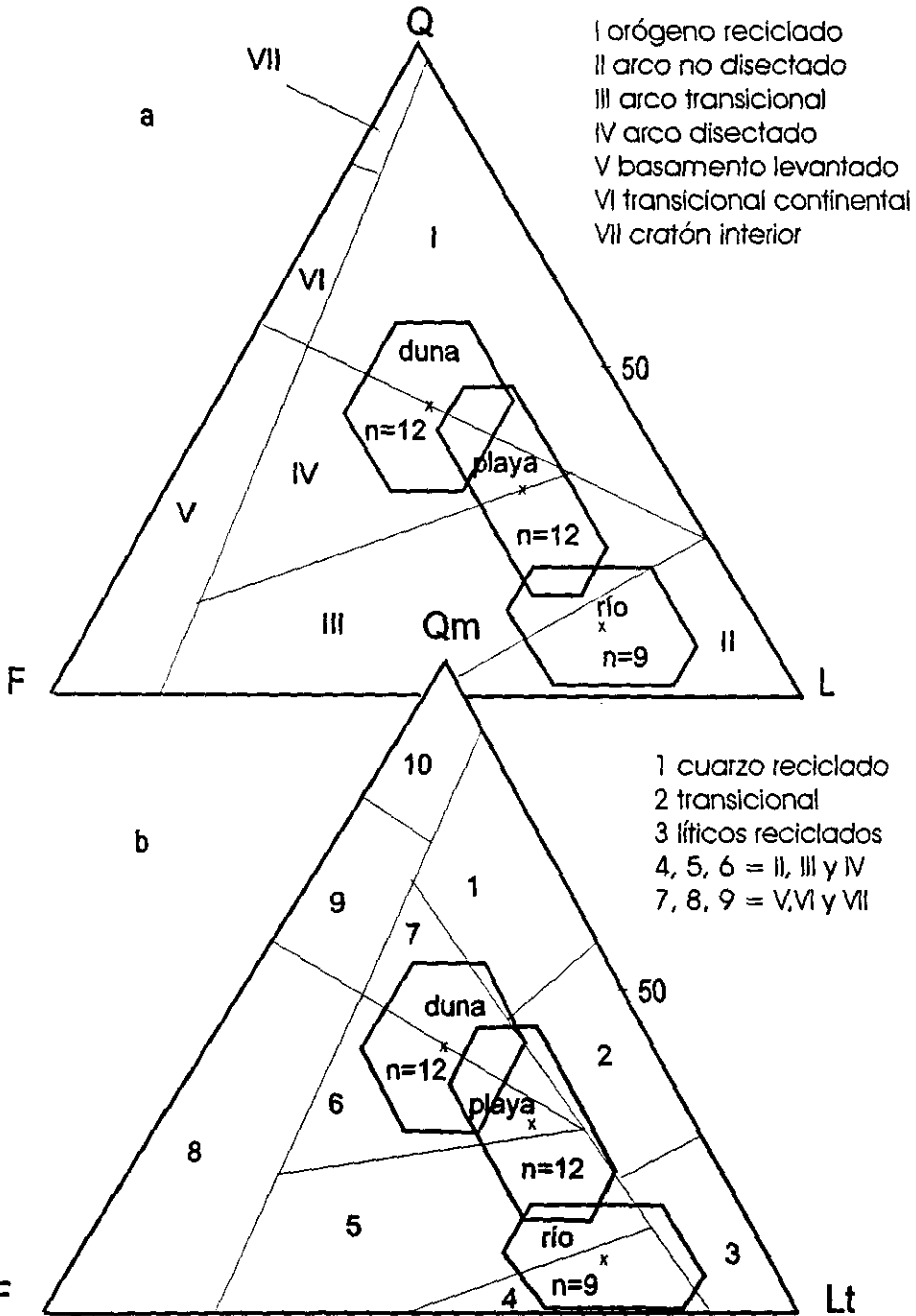


Fig. 39. Diagramas de clasificación tectónica (Dickinson et al., 1983) para la composición de sedimentos de playa, duna y río

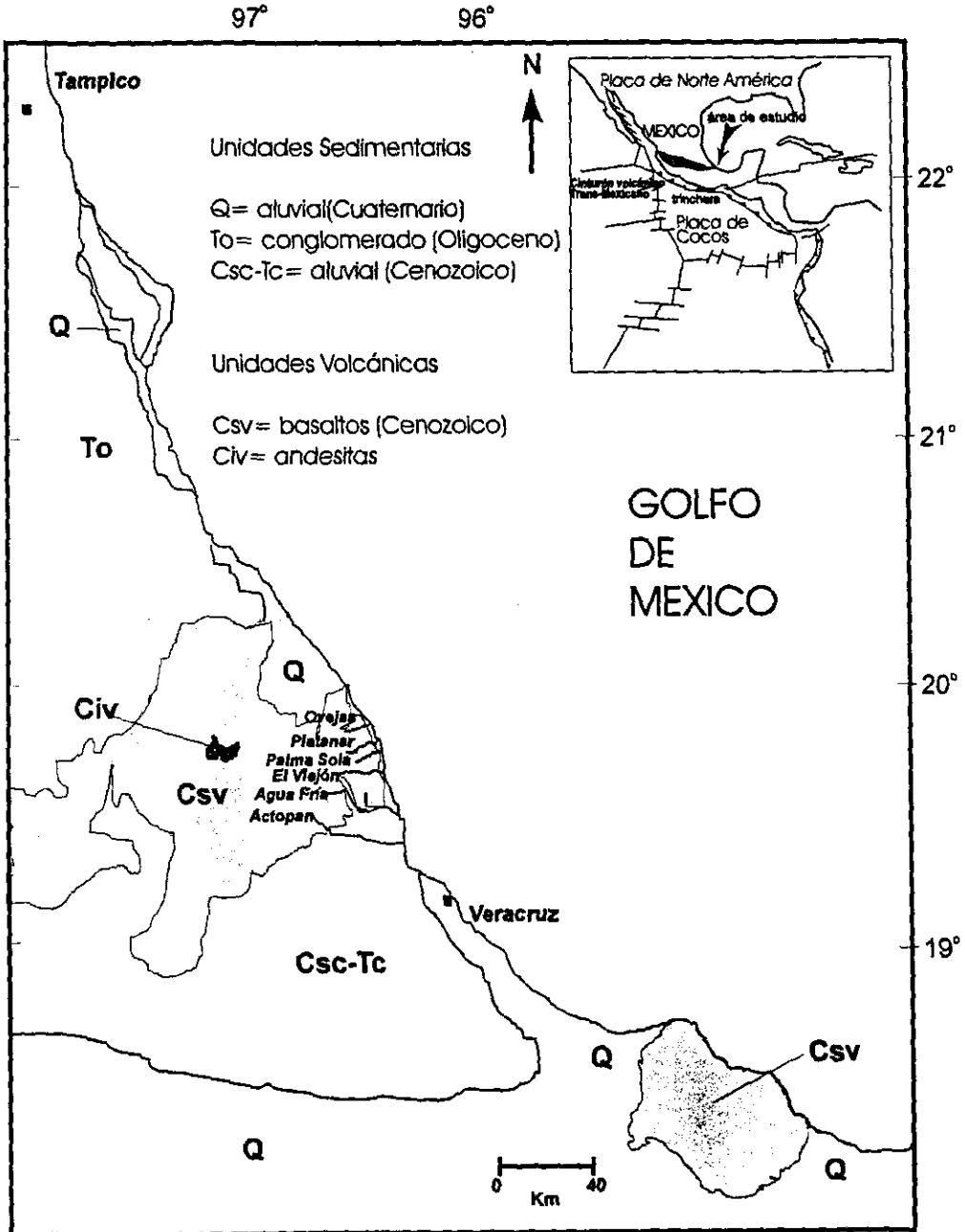


Fig. 40. Marco tectónico, red fluvial y área de estudio

## SIMBOLOGIA

- INFRAPLAYA
- MESOPLAYA
- ⊗ SUPRAPLAYA
- ◆ BARLOVENTO
- ✦ CRESTA
- SOTAVENTO
- ▲ BOCA DEL RIO
- △ ZONA DISTAL A LA BOCA

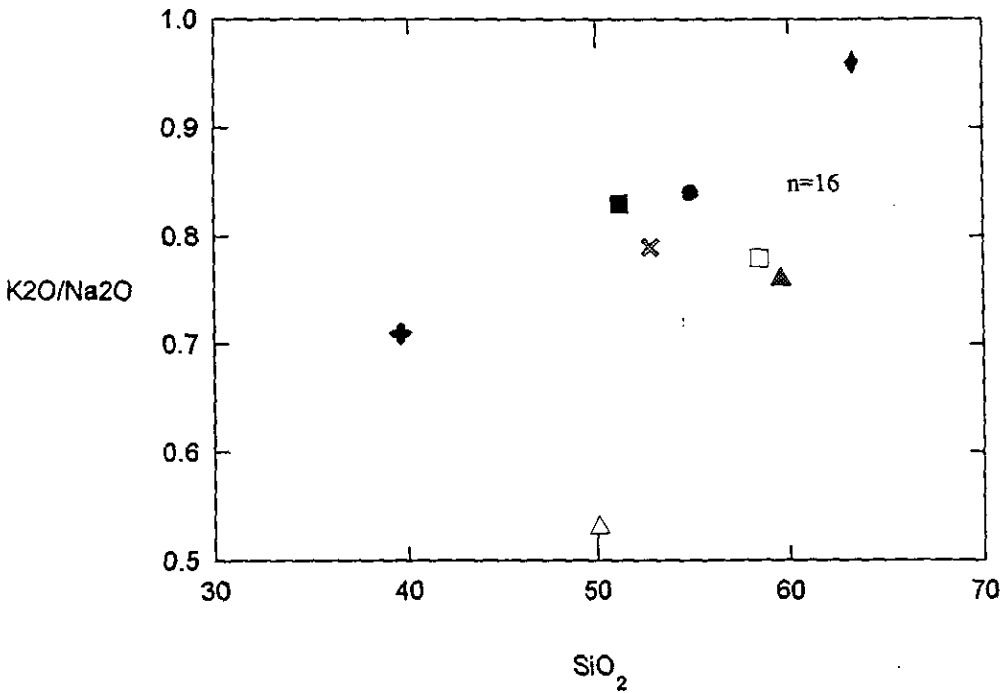


Fig. 41. Diagrama binario con la relación  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  para subambientes de playa, duna y río



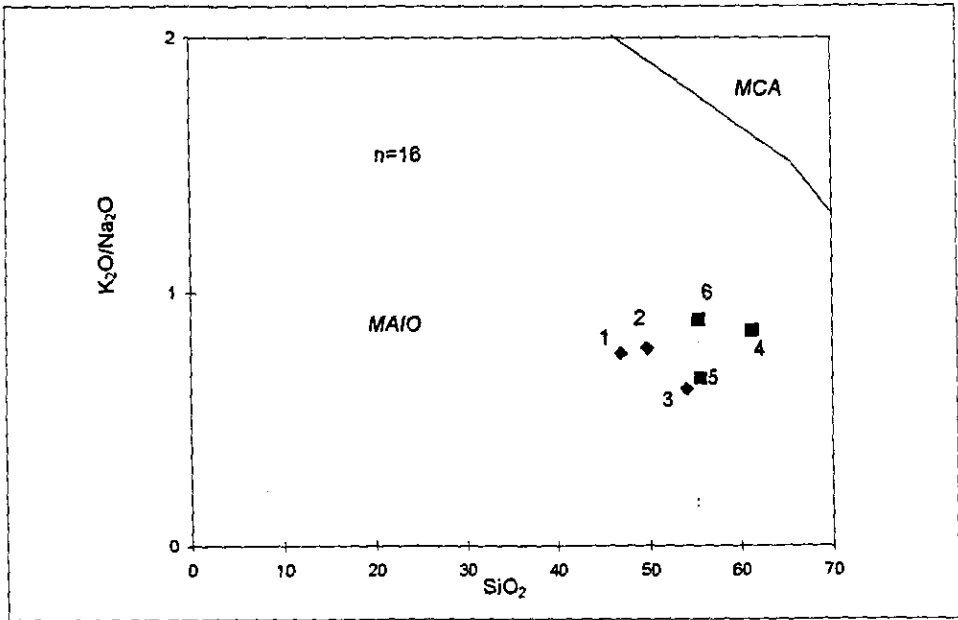


Fig. 42. Relación entre marco tectónico y composición para sedimentos propuesto por Roser y Korsch (1986) para ambientes del norte (1=playa, 2=duna, 3=rio) y ambientes del sur (4=playa, 5=duna, 6= río). MAIO= margen de arco de isla oceánico. MCA= márgen continental activa

Ca y Na en condiciones superficiales de intemperismo. Esto se puede relacionar con los experimentos de Goldich (1938) en donde se muestra la mayor solubilidad del Ca y Na de las plagioclasas con respecto al K del feldespato. De acuerdo con Roser y Korsch, (1986) este campo tiene la fuente de suministro en la composición de sedimentos en rocas basáltico-andesíticas de composición cálcico-alcalina expuestas y en muchas ocasiones disectadas, con lo cual se generan una gran cantidad de sedimentos moderados en sílice y en donde la relación  $K_2O / Na_2O$  es menor a uno. Roser y Korsch (1986) observan que la composición de los sedimentos para areniscas de Nueva Zelanda que caen dentro de este campo contienen 58% de  $SiO_2$  y la relación  $K_2O / Na_2O$  es menor a uno. Carranza-Edwards et al. (1994) reportan para sedimentos fluviales en Baja California, un margen similar al observado en esta región de Veracruz. Los extrusivos presentes en ambas regiones influyen en la composición de los sedimentos. Los levantamientos en la zona (Cantagrel y Robin, 1979; Mooser y Soto, 1980) han propiciado la erosión de andesitas y basaltos que han influido en dicha composición.

La zona ha sido estudiada desde el punto de vista tectónico (Cantagrel y Robin, 1979; Nixon, 1982; Negendank et al., 1985) llegándose a determinar que la actividad tectónica se inició desde el Mioceno hasta el Holoceno, y que la presencia de conos volcánicos distribuidos por la zona costera del golfo posiblemente representen la dirección preferencial de la placa subducida de Cocos (Nixon, 1982).

Hay que tener reservas en cuanto a la relación marco tectónico establecido por Dickinson et al. (1983) y los diagramas propuestos por Roser y Korsch (1986), ya que el  $SiO_2$  presente en la composición de sedimentos para los dos últimos autores pueden tener fuente distinta. Es decir, el sílice puede estar presente en el cuarzo, pero también en los feldespatos y fragmentos de roca. Para Roser y Korsch (1986) el respaldo petrográfico al geoquímico es importante para tener una mejor aproximación al marco tectónico a tratar. En el caso del presente estudio la química de los sedimentos de los tres ambientes estudiados si reflejan el marco tectónico sin importar si el sedimento utilizado es de playa, duna o río estableciéndose una margen tipo arco continental de isla en una margen que es aparentemente "pasiva".

Se puede decir que el análisis petrográfico de las arenas de playa y duna no reflejan el mismo marco tectónico debido al enriquecimiento anómalo de cuarzo en una zona de margen activo por efecto de los

mecanismos de transporte. Esto también concuerda con Mack (1983), quién menciona que una excepción a definir el marco tectónico a partir de la composición de las areniscas, es cuando estas se enriquecen en cuarzo por efecto del intemperismo o las condiciones de transporte de las partículas. En contraste, la geoquímica da una mejor aproximación al definir el marco tectónico.

## CAPITULO 5. DISCUSIONES.

### Granulometría.

Los sedimentos de playas y dunas presentan una distribución Gaussiana dominante sobre una distribución Rossin (Ibbeken y Schleyer, 1991) en las poblaciones de sedimento; es decir domina la simetría en las curvas más que la asimetría positiva o negativa (Fig. 11). Esto indica que los ambientes estudiados tienden a episodios en donde los procesos costeros no dispersan ciertas fracciones de las poblaciones granulométricas. Sin embargo, esto debe tomarse con reserva porque las distribuciones de porcentaje acumulativo en muchas ocasiones solo están determinando la tendencia central de la propia distribución y no es un reflejo de lo que ocurre en las colas (Reed et al., 1975; Kennedy et al., 1981; McClaren, 1981; Sutherland y Lee, 1994a; 1994b)

En los sedimentos de playa y duna se observó la presencia de curvas unimodales sobre bimodales, con excepción de muestras de las localidades de playa Juan Angel y Chachalacas, en donde se presentan curvas bimodales por el aporte del arroyo Agua Fría (Figs 1, 2). Las características texturales de estos ambientes están posiblemente influidas por el transporte litoral y la acción selectiva del viento que determinan un tipo de distribución normal (Friedman, 1961; 1967). Por otro lado, en la boca de los ríos estudiados se observaron curvas unimodales (Fig. 9). La tendencia a la asimetría positiva de los sedimentos fluviales refleja que existe la posibilidad de que los granos gruesos no lleguen hasta la boca por la falta de competencia de las corrientes fluviales y por consiguiente la dominancia de los procesos marinos sobre los fluviales sea mayor en cuanto a la caracterización del depósito. Esto se respalda también con la dominancia en la unimodalidad de las curvas. En contraste, los arroyos muestran para el cauce distal a la desembocadura que las curvas son predominantemente bimodales con tendencia a la asimetría negativa (Fig.10). Esto debido a la alta y baja competencia de los arroyos. Por un lado, un episodio en donde hay suministro de fragmentos gruesos, que por la baja competencia de los arroyos no llegan hasta la desembocadura. Otro episodio confinado a partículas arena o de segundo orden por el desquebrajamiento de partículas de mayor tamaño debido a la mayor competencia en el cauce que permiten a su vez que éstas lleguen a la boca. Ambos episodios están en función de la variación estacional en la competencia de los arroyos.

### **Análisis multivariado.**

El análisis multivariado de discriminación de funciones mostró que los subambientes de infraplaya y mesoplaya e infraplaya y supraplaya se diferenciaron, utilizando la componente C del peso en porcentaje de las curvas log-normales truncadas, graficadas en papel probabilidad. Las componentes incluidas en el análisis se definieron como A, B y C que representan el porcentaje acumulativo de la fracción gruesa, media y fina respectivamente en papel probabilidad asumiendo poblaciones normales truncadas (distribuciones normales unidas en el punto de quiebre) y no traslapadas (distribuciones normales sobrepuestas). Si la componente C se interpreta en términos de mecanismos de transporte (Viard y Breyer, 1979; Eschner y Kircher, 1984) la suspensión sería la componente que diferencia los subambientes de infraplaya de la mesoplaya y supraplaya. En este caso, una analogía en cuanto a los resultados puede hacerse con el modelo presentado por Sutherland y Lee (1994a, 1994b) en donde los autores discriminan infraplaya de la mesoplaya y supraplaya asumiendo distribuciones log-hiperbólicas. El modelo presentado puede utilizarse también para subpoblaciones log-normales traslapadas efectuando un análisis disectado de curvas diferente al visual (Hald, 1952).

Las características de los sedimentos, de acuerdo con el análisis de discriminación para los sedimentos de la zona del cauce distal a la boca y la desembocadura de los ríos reflejaron una fuerte discriminación en función de la distancia Mahalanobis y la distancia Mahalanobis omitiendo una variable (Tabla 8; Fig. 15) al remover la componente B. Es posible que el subambiente que contribuye a dicha separación esté localizado en la zona de la desembocadura. También es posible que la unidireccionalidad de la corriente fluvial de alta energía, el oleaje y las mareas mantengan las partículas más gruesas en suspensión intermitente.

### **Petrografía.**

Las playas y dunas del norte están más influidas composicionalmente por las corrientes marinas superficiales con componentes N-S (invierno) y S-N (verano), respectivamente, que dan una madurez composicional mayor que las playas del sur, aún cuando se tenga un mayor relieve con relación al sur (Fig. 2). Esto debido a la poca competencia de los arroyos del norte (Figs. 1 y 2) para transportar fragmentos de

roca derivados de la fuente que pudieran influir composicionalmente en las arenas de playa y duna. Los ambientes costeros del norte están influidos por corrientes litorales que están aportando en mayor abundancia cuarzo monocristalino (Fig. 19b), reciclado, subanguloso a subredondeado, algunos con sobrecrecimiento, cuya fuente de suministro está posiblemente en áreas costeras de Tamaulipas y Veracruz, si se considera que las corrientes de masa oceánica superficial tienen una dirección SW prevaeciente en los meses de marzo y abril y también apoyados en el estudio de Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995) en donde se reporta que los sedimentos de playa del Golfo de México desde Tamaulipas hasta el sur de Veracruz, tienen mayor del 50% de cuarzo. Los vientos también suministran cuarzo a las zonas secas del perfil de playa (Potter, 1986), debido a su acción selectiva. Los sedimentos que componen playas y dunas del sur están influidos por el drenaje de ríos y en menor grado por el relieve, el clima y las corrientes litorales. Estos sedimentos poseen la menor madurez composicional por el aporte de fragmentos de roca a través de los ríos con mayor competencia. (Figs. 1 y 2).

Grantham y Velbel (1988) sugieren que el clima y relieve son dos variables que determinan la concentración de fragmentos de roca y cuarzo que caracterizan un ambiente sedimentario. Para el presente trabajo es posible que el suministro de líticos que definen al sedimento con respecto al cuarzo no solo esté dado por la acción erosiva de los arroyos sino también por el mayor relieve (Lugo-Hubp et al. 1989) del área norte (Fig. 2) que no permite que el intemperismo actúe por mucho tiempo sobre las partículas, haciendo que estas lleguen a la cuenca sedimentaria de una manera rápida aún cuando el clima en el área sea altamente húmedo (Young et al. 1975; Basu, 1985). Esto es especialmente cierto para los arroyos. Los fragmentos de roca de basaltos del tamaño arena que componen los sedimentos estudiados, indican que el tamaño está en función de la matriz vítrea presente en los basaltos y que ocasiona su resquebrajamiento desde la roca fuente hasta el depósito (MaCaire, et al. 1994) en este caso en localidades como playa Boca de Ovejas y Boca Andrea, en donde se encuentran los basaltos expuestos, en forma de terrazas de abrasión (Figs. 1 y 2).

En general, los sedimentos de playa están influidos composicionalmente por el aporte de ríos y en segundo grado por las corrientes litorales tomando en cuenta los polos C-F-FR (Fig. 17b). Los sedimentos de duna presentan mayor selectividad composicional debido al viento que transporta y concentra partículas

menos densas que los fragmentos de roca ( $2.95 \text{ gr/cm}^3$ ) como el cuarzo y feldespatos ( $2.65 \text{ gr/cm}^3$  y  $2.61 \text{ gr/cm}^3$  respectivamente) (Pye, 1994). Los sedimentos fluviales son un reflejo composicional de la fuente de suministro. Esto se observa en los diagramas C-F-FR, Cm-F-Lt y Cm-F-P (Figs. 17, 19 y 21).

Los índices de madurez y procedencia promedio para los sedimentos de playa y duna reflejan que la zona está afectada por una provincia volcánica. La madurez indica que los sedimentos están más influidos por los arroyos que suministran liticos y feldespatos a los ambientes sedimentarios. El mayor relieve determina la mayor concentración de fragmentos de roca volcánicos y feldespatos aun cuando el clima sea húmedo. Los sedimentos en la desembocadura de los ríos tienen índices de madurez más bajos que los sedimentos de playa y duna; esto por la mayor concentración de fragmentos de roca y feldespatos. El índice de procedencia muestra que en la boca de los ríos este valor es mayor (Fig. 26) que en la zona distal a la boca, debido a la poca competencia de los ríos para llevar hasta la desembocadura fragmentos de roca. Para la zona distal a la boca de los ríos hay mayor concentración de fragmentos de roca y por lo tanto el índice de procedencia es menor.

Las arenas de las playas del norte son diferentes a las de las playas del sur desde el punto de vista petrográfico. Las del norte son más maduras y estables mineralógicamente. Las del sur son más inestables e inmaduras. Esta diferencia está en función de los arroyos del norte (intermitentes) y sur (constantemente drenando) más que por el mayor y menor relieve de las zonas norte y sur, respectivamente. Los fragmentos de roca de las playas del norte son predominantemente volcánicos. Los del sur son más sedimentarios. La variación en la razón  $\text{cuarzo}/(\text{cuarzo} + \text{feldespatos})$  y  $\text{feldespatos}/(\text{cuarzo} + \text{feldespatos})$  en los sedimentos a lo largo de la zona de estudio (Fig. 30b) reflejan mayor influencia de las corrientes litorales sobre la composición de las playas del norte por el incremento en la concentración de cuarzo y la mayor influencia del aporte de los arroyos en la composición de las del sur, por la disminución en la concentración de cuarzo. Las variaciones en las razones  $\text{fragmentos de roca}/(\text{cuarzo} + \text{fragmentos de roca})$  y  $\text{cuarzo}/(\text{cuarzo} + \text{fragmentos de roca})$  muestran mayor influencia de los arroyos del sur sobre la composición de los sedimentos en esta zona. Las playas del norte presentan mayor influencia marina y aún cuando hay un mayor relieve y la fuente volcánica está más cerca hay menor concentración de fragmentos de roca en los sedimentos. La

concentración de fragmentos de roca indican que la fuente de suministro son rocas máficas con matriz vítrea que aportan mas cantidad de fragmentos de roca del tamaño de la arena. También es posible que el relieve relativamente accidentado permita una rápida erosión y no exista tiempo a que los fragmentos de roca se intempericen más rápidamente, aún cuando el clima en la zona sea húmedo.

#### **Geoquímica.**

Existe un traslape de los conjuntos de sedimentos para los ambientes del norte y del sur (Fig. 33b) los cuales tienden al polo CaO. Por un lado, las playas y dunas del norte muestran mayor variación composicional para el calcio y sodio por tener posiblemente una relación directa con la fuente de suministro de feldspatos y fragmentos de roca originados en rocas como andesitas y basaltos, aún cuando la concentración de feldspatos y fragmentos de roca sea menor para los ambientes del norte. En el caso de los ríos del norte (Fig. 33b) el polígono muestra una gran variación en cuanto a las plagioclasas y una menor variación en cuanto a los feldspatos potásicos, que con un respaldo de acuerdo a la petrografía (Figs. 19b, 21b) se infiere que su composición está en función de la roca fuente. Esto se debe posiblemente a la geología de esta zona que varía de andesitas a basaltos (Fig. 1) lo cual se refleja en la dispersión del polígono en el sentido de los polos Ca-Na. Los ambientes fluviales de la zona norte están determinados composicionalmente por la roca fuente de origen volcánico que provee de gran cantidad de líticos volcánicos (Figs. 17b, 19b). Para los ambientes costeros del sur hay menor variación en estas componentes quizá por la pérdida de Ca-Na durante el acarreo de sedimentos desde el río hasta la playa. Los ríos del sur muestran también porcentajes similares de fragmentos de roca volcánica (Figs. 17b, 19b) a los del norte; sin embargo químicamente muestran una composición similar a las de arenas de playas y dunas estudiadas. La incompatibilidad, en este caso, entre la petrografía y la química puede estar en función del relieve más suave en donde se sitúan los ríos del sur que influye en la disolución del Ca-Na por efecto del intemperismo durante el transporte fluvial (Ibbeken y Schleyer, 1991). Estas pérdidas se documentan con la Tabla 14 de valores comparativos de roca y sedimentos para cada componente.

Para los polos del sílice y aluminio los polígonos para las playas y las dunas del norte se traslapan (Fig. 34b) observándose la menor dispersión en los ambientes para los polos  $\text{SiO}_2$ : $\text{Al}_2\text{O}_3$ :Ca+Na+K<sub>2</sub>O. Solo se



observa una mayor dispersión en los ambientes fluviales reflejo del mayor intemperismo para los sedimentos de río con respecto a los sedimentos de playa y duna. Las playas del sur muestran la dispersión hacia los polos  $\text{SiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$  que está asociado quizá al aporte de fragmentos de roca y feldespatos más intemperizados por los ríos en una zona de relieve más suave. Las dunas del sur poseen sedimentos menos intemperizados ya que la dispersión del polígono es en dirección a los polos  $\text{SiO}_2\text{:Ca+Na+K}_2\text{O}$ , reflejo de la composición de feldespatos y cuarzo para el ambiente eólico (Fig. 17b). Las dunas del sur muestran la mayor dispersión en los polígonos presentados por el análisis geoquímico (Fig. 34b) y petrográfico (Fig. 17b) por la mayor cantidad de feldespatos. Los ambientes fluviales del norte y sur muestran gran dispersión para los polos  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ , que puede interpretarse como el mayor grado de intemperismo para los sedimentos de río. Para los ambientes de playa, duna y río del norte y del sur se observa una relación directa entre la geoquímica y la petrografía debido a que la dispersión en este caso sigue un patrón similar a la dispersión del polígono presentado en las Figs. 17b y 19b y que en ambos ambientes domina el cuarzo y los fragmentos de roca asociados al  $\text{SiO}_2\text{:Ca+Na+K}_2\text{O}$ . Sin embargo, la relación triple entre el silíce, el aluminio y el calcio+sodio+potasio debe tomarse con reserva porque el silíce está contenido el cuarzo, los feldespatos y los fragmentos de roca. El índice de alteración química (Fig. 36b) es menor para los sedimentos de las playas del norte y mayor para las playas del sur debido a que en el sur hay mayor suministro de minerales alterados que no han tenido tiempo de iniciar una etapa "fresca" al llegar a la playa. Los sedimentos de los ríos muestran el mayor grado de alteración.

#### **Relación entre granulometría, petrografía y geoquímica.**

La Tabla 15 muestra la relación entre el tamaño de grano (Mz), la petrografía (C, F, FR), el índice de madurez (Petijohn, 1975) y la geoquímica de cinco elementos mayores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ) para los sedimentos de playa, duna y río. Se observa que el tamaño de grano entre los sedimentos de playa y duna no difieren mucho (2.29 y 2.18 $\phi$  respectivamente). Sin embargo, para los ríos el tamaño de grano en promedio es mayor (0.23 $\phi$ ). Lo más importante de resaltar en este caso es la relación entre el tamaño de grano, la concentración de fragmentos de roca, el índice de madurez, el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y el CaO. Los sedimentos de playa muestran una mayor concentración de fragmentos de roca en comparación con los de duna sin importar

el tamaño de grano. Esta diferencia se debe a la mayor capacidad del ambiente de playa para concentrar fragmentos de roca con pequeñas diferencias de tamaño de grano promedio con respecto a la duna (2.29 y 2.18φ). El mayor índice de madurez y en la concentración de CaO se observan en los sedimentos de duna debido a la mayor concentración de cuarzo en la duna que incrementa en índice de madurez mineralógica y a la concentración de feldespatos que han resistido al intemperismo con un incremento relativo del CaO. Los sedimentos fluviales muestran el tamaño de grano más grueso y la mayor concentración de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en comparación a los sedimentos de playa y duna. Esta relación entre el mayor tamaño de grano y la mayor concentración de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> puede deberse a que los sedimentos de río inician más temprano su etapa de intemperismo químico.

TABLA 15. TAMAÑO DE GRANO, PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS DE PLAYA, DUNA Y RÍO

Muestra	Mz	C	F	FR	Im	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
MP3 (playa)	2.04	45.45	11.57	42.97	83.24	53.11	7.46	2.48	11.46	1.10
CHP2i (playa)	2.28	31.60	22.50	45.83	46.24	63.84	9.22	1.00	2.06	1.70
OP2m (playa)	2.38	56.70	19.38	23.71	131.58	43.91	5.64	6.72	0.83	0.63
CHP3m (playa)	2.54	18.20	22.26	59.51	22.25	58.52	6.97	1.50	1.20	1.09
FP3s (playa)	2.03	50.71	20.00	29.28	102.90	44.09	6.53	7.22	0.99	0.76
JAP1s (playa)	2.50	2.87	17.17	80.15	2.74	61.65	11.16	1.62	2.23	1.64
X	2.29	34.21	18.81	46.91	64.83	54.19	7.83	3.42	1.46	1.19
STD	0.20	18.99	3.71	18.84	45.20	7.92	1.84	2.55	0.52	0.45
DM95 (duna)	2.24	53.15	14.73	32.10	113.49	57.10	7.01	4.81	1.14	0.99
JAPD2b (duna)	1.57	25.60	26.82	47.56	34.41	69.49	7.76	1.00	1.55	1.63
APD3c (duna)	2.34	40.70	29.20	30.08	66.65	40.82	5.38	10.00	0.69	0.53
CHPD1c (duna)	2.56	28.93	50.31	20.75	40.71	38.57	5.46	8.69	0.69	0.48
FPD3s (duna)	2.35	65.58	16.27	18.13	190.63	51.71	6.68	3.90	1.10	0.89
JAPD1s (duna)	1.99	42.40	19.60	38.00	73.61	58.13	9.10	3.25	1.65	1.45
X	2.18	42.73	16.16	31.10	86.92	52.64	8.90	5.28	1.14	0.99
STD	0.32	13.66	12.00	9.97	53.02	10.59	1.30	3.12	0.37	0.43
APA (fluvial)	-1.06	2.67	22.99	74.33	2.74	49.74	16.50	5.15	2.87	1.54
MR (fluvial)	-1.57	5.50	36.86	57.62	5.82	50.49	13.81	4.71	2.08	1.11
OR1 (fluvial)	2.17	24.47	16.56	56.96	32.40	60.73	11.36	2.15	2.23	1.79
AGF2 (fluvial)	1.38	7.86	15.28	76.85	8.53	58.41	8.41	1.00	1.35	0.97
X	0.23	10.13	23.42	66.44	12.37	54.84	12.47	3.25	2.13	1.35
STD	1.58	8.48	8.23	9.20	11.74	4.81	2.97	1.73	0.54	0.33

Mz= tamaño de grano en  $\phi$ ; C= cuarzo total; F= feldespatos; FR= fragmentos de roca; Im =índice de madurez; X= media; STD= desviación estandar

### **Marco tectónico y sedimentos.**

El análisis petrográfico refleja que los sedimentos de playa y de duna de los ambientes estudiados caen en el campo de una zona de arco disectado-arco transicional-orógeno reciclado lo cual no refleja un marco tectónico definido debido a los procesos de transporte y depositación para los sedimentos de playa y duna. Esta interpretación puede respaldarse con la idea de Mack (1984) en el sentido de que las arenas en una zona de dominio volcánico pueden hacerse más cuarzosas por efecto de los mecanismos de transporte y el *intemperismo químico*. En el caso de este trabajo, la interpretación está más directamente relacionada con la acción selectiva del viento, los mecanismos de transporte y la depositación de los sedimentos. En contraste, el análisis petrográfico de los sedimentos fluviales si reflejan el marco tectónico del area (arco no-disectado). El análisis químico muestra que la zona se sitúa dentro de una margen de arco de isla continental sin importar que sedimentos se utilicen para este fin. La zona ha estado activa tectónicamente desde el Mioceno y la disección de la zona se manifiesta en la erosión de los extrusivos que proveen de los líticos que componen los ambientes estudiados. Se puede decir que hay que ser cautelosos en la selección de muestras de sedimento para interpretaciones de éste tipo. No necesariamente la composición del sedimento va a imprimir la huella digital del marco tectónico.

## CAPITULO 6. CONCLUSIONES

1.- La granulometría indica que los sedimentos de playas y dunas presentan una distribución normal o Gaussiana dominante sobre una distribución Rossin o asimétrica lo que implica un proceso de depositación selectiva. El transporte litoral y la acción selectiva del viento determinan este tipo de distribución normal. Para la boca de los ríos existe una tendencia al dominio de las distribuciones Rossin por la incompetencia de los arroyos a transportar fragmentos más gruesos hasta la desembocadura. En contraste, en el cauce distal a la boca las curvas son predominante bimodales con tendencia a la asimetría negativa, esto como consecuencia de la erosión cercana al área de suministro con fragmentos gruesos, que por la baja competencia de los arroyos, no llegan hasta la desembocadura. La bimodalidad de las distribuciones presentes para ésta zona se asocia a periodos de baja competencia y alta competencia de los arroyos.

2.- El modelo de discriminación lineal de funciones puede aplicarse a distribuciones log-normales truncadas y traslapadas. La componente C y B de los segmentos truncados de la distribución discrimina la infraplaya de la mesoplaya y la supraplaya y la boca del río del cauce distal a la boca, respectivamente. La interpretación en base a mecanismos de transporte (C=suspensión y B=suspensión intermitente) debe tomarse con reserva, aunque parece que el comportamiento de las partículas en estas zonas, si parece estar influido por las condiciones hidrodinámicas al establecer ciertas comparaciones con otro modelo presentado en una región diferente.

3.- La petrografía y geoquímica son de gran utilidad ya que muestran que los sedimentos de las playas y dunas del norte están influidos composicionalmente por el transporte litoral y fuente de suministro de rocas volcánicas. Los sedimentos de playas y dunas del sur están influidos por el suministro por parte de los ríos y el relieve. La composición de los sedimentos de los ríos del norte y sur está asociada a la composición de la roca fuente y el relieve, respectivamente. Los sedimentos de las playas y dunas del sur y ríos del norte y sur muestran al mayor grado de intemperismo con respecto a los ambientes de playa y duna del norte. Esto puede estar asociado al aporte de los ríos del sur, con sedimentos más alterados hacia las playas del sur, por el menor relieve en esta zona.

4.- Los sedimentos de playa y duna no reflejan desde el punto de vista petrográfico el marco tectónico de la zona. Esto debido a la concentración anómala de cuarzo en una zona de dominio volcánico. La química de sedimentos se aproxima mejor a la interpretación del marco tectónico sin importar el ambiente sedimentario utilizado. no obstante, los sedimentos fluviales si imprimen desde el punto de vista petrográfico y químico el marco tectónico.

## REFERENCIAS

- BASU, A., 1976. Petrology of Holocene fluvial sands derived from plutonic sources implication to paleoclimatic interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 26: 664-709.
- BASU, A., 1985. Influence of climate and relief on compositions of sands released at source areas. In: Zuffa, G.G. (Ed.). *Provenance of Arenites*, Holland, Reidel, 1-18.
- BATHIA, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: *The Journal of Geology*, 91: 611-627
- BIGARELLA, J.J., A.H., ALESSI, R.D., BECKER, y G.M., DUARTE, 1969. Textural characteristics of coastal dunes, sand ridges and beach sediments. *Paranaens*, 27:15-18.
- BOYD, R., R., DALRYMPLE y B.A., ZAITLIN, 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. In: J.F. Donoghue, R.A. Davis, C.H. Fletcher & J.R. Suter (Editors). *Quaternary Coastal Evolution*. *Sedimentary Geology*, 80:139-150.
- BROWNLOW, A.H., 1979. *Geochemistry*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- CANTAGREL, J.M. y C., ROBIN, 1979. K-Ar dating on eastern volcanic rocks-relations between the andesitic and the alkaline provinces. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 5: 99-114.
- CARRANZA-EDWARDS, A. y M., CASO-CHAVEZ, 1994. Zonificación del perfil de playa. *GEOUNAM*, (2) 2: 26-32.
- CARRANZA-EDWARDS, A., L., ROSALES-HOZ y S., SANTIAGO PEREZ, 1994. Provenance memories and maturity of Holocene sands in NW Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 31: 1550-1556.
- CARRANZA-EDWARDS, A. y L., ROSALES-HOZ, 1995. Grain size trends and provenance of southwestern Gulf of Mexico beach sands. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32: 2009-2014.

- CRITELLI, S. y E., LE PERA, 1994. Detrital modes and provenance of Miocene sandstones and modern sands of the southern Apennines Thrust-Top Basins, Italy. *Journal of Sedimentary Research*, 64:824-835.
- CUANALO, C.H., T., OJEDA, A. SANTOS, y C.A. ORTIZ , 1980. Provincias y Regiones Terrestres de Mexico. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mexico.
- CURRAY, J.R., 1960. Sediments and history of Holocene transgression continental shelf NW Gulf of Mexico. *American Association of Petroleum Geologists*, 221-266.
- DAVIS, J.C., 1973. *Statistics and Data Analysis in Geology*. Wiley & Sons. New York.
- DICKINSON, W.R. y C.A., SUCZECK, 1979. Plate tectonics and sandstone composition. *American Association of Petroleum Geologists*, 63: 2164-2182.
- DICKINSON, W.R. y R., VALLONI, 1980. Plate settings and provenance of sands in modern basins. *Geology*, 8: 82-86.
- DICKINSON, W.R., L.S., BEARD, G.R., BRAFENRIDGE, J.L., ERJAVEC, R.C.,FERGUSON, K.F., INMAN, R.A., KEPP, F.A. LINDBERG y RYBERG, P.T, 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting . *Geological Society of American Bulletin*, 94: 2213-2350.
- DICKINSON, W.R., 1988, Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins, in Kleinspehn, K.L. and Paola, C., eds., *New Perspectives in Basin Analysis*: New York, Springer-Verlag, p. 3-25.
- DUANE, D. B., 1964. Significance of skewness in recent sediments, Western Palmico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34: 864-874.
- ERICKSON, P.G., U.M., SHREIBER, B.F., RECZKO y C.P., SNYMAN, 1994. Petrography and



- geochemistry of sandstones interbedded with the Rooiberg Felsite Group (Transvaal sequence, South Africa), implications for provenance and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*, 64: 836-846.
- ERNST, W.G., 1969. *Earth Materials*. Prentice Hall.
- ESCHNER, T.R. y J.E., KIRCHER, 1984. Interpretation of grain-size distributions from measured sediment data, Platte River, Nebraska. *Sedimentology*, 31: 569-573.
- FERNANDEZ-EGUIARTE A., A., GALLEGOS-GARCIA, y J., ZAVALA HIDALGO, 1992a. *Oceanografía Física 1 (Masas de Agua y Mareas de los Mares Mexicanos)*. Atlas Nacional de México (Hojas IV.9.1), Instituto de Geografía, U.N.A.M.
- FERNANDEZ-EGUIARTE, A., A., GALLEGOS-GARCIA, y J., ZAVALA HIDALGO, 1992b. *Oceanografía Física 2 (Masas de Agua y Mareas de los Mares Mexicanos)*. Atlas Nacional de México (Hojas IV.9.1), Instituto de Geografía, U.N.A.M.
- FLORES-RUIZ, 1990. Integración Geológica y Geofísica en el Área de Laguna Verde y sus alrededores. Tesis de Ingeniería, Fac. de Ingeniería, UNAM.
- FOLK, R.L. y W., WARD, 1957. Brazos River Bar a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
- FOLK, R.L., 1966. A review in grain size parameters. *Sedimentology*, 6: 73-93.
- FOLK, R.L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphill Publ. Texas.
- FRIEDMAN, G.M., 1961. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31: 514- 529.
- FRIEDMAN, G.M., 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

- frequency distributions of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37: 337-354.
- FULL, W.E., R., ENRLICH, y S.K., KENNEDY , 1984. *Optimal configuration and information content of sets of frequency distributions* . *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 117-126.
- GARCIA, E. , 1992. Clima. Atlas Nacional de México. (Hoja IV.4.10), Instituto de Geografía, UNAM.
- GARCIA, E. Y R. , VIDAL-ZEPEDA, 1992. Clima. Atlas Nacional de México. (Hoja IV.4.5). Instituto de Geografía. UNAM.
- GOLDICH, S.S., 1938, A study in rock weathering: *Journal of Geology*, 46: 15-58.
- GRACE, J. T., B. T., GROTHAUS y R., EHRLICH, 1978. *Size frequency distributions taken from within sand laminae*. *Journal of Sedimentary Petrology*, 48:1193-1202.
- GRANTHAM, J.H. y M. A., VELBEL, 1988. The influence of climatic and topography in rock fragment abundance in modern fluvial sands of the SE Blue Ridge Mountains, N. Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58:219-222.
- GREELEY, R., D.G., BLUMBERG y S.H., WILLIAMS, 1996. Field measurements of the flux and wind-blown sand. *Sedimentology*, 43: 41-52.
- GRIFFITHS, J.C., 1961. *Measurements of the properties of sediments*. *Journal of Geology*, 69: 487-489.
- GRIFFITHS, J.C., 1967. *Scientific method in analyses of sediments*. McGrawHill, New York.
- HALD, A., 1952. *Statistical theory with engineering applications*. Wiley & Sons, New York.
- HARWOOD, G., 1988. *Microscopic techniques : II. Principles of sedimentary petrography*. En M. Tucker (Editor) .*Techniques in Sedimentology*. Blackwell Sc. Publ. P.108-173.
- HYNDMAN, D.W., 1972. *Petrology of Igneous Rocks*. Mc.Graw Hill, New York.
- IBBEKEN, S. y C., SCHLEYER, 1991. *Source and Sediments*. Springer Verlag, New York.

- INEGI, 1985. Carta geológica, 1:250,000. Hoja Veracruz (E14-3). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INGERSOLL, R.V., 1978. Petrofacies and petrology evolution of the Late Cretaceous fore-arc basin northern and central California. *Journal of Geology*, 86:335-352.
- INGERSOLL, R.V., T.F., BULLARD, R.L., FORD, J.P., GRIMM, y J.D., PICLE, 1984. The effect of grain size on detrital modes. A test of the Gazzi Dickinson point counting method. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 0103-0116.
- INMAN, D.L., 1949. Sorting of sediments in the light of fluid mechanic. *Journal of Sedimentary Petrology*, 19:51-70.
- INMAN, D.L., 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 22:125-145.
- JOHNSON, D.W. 1910. Beach cusps. *Geological Society of American Bulletin*. 21: 604-624.
- JOHNSON, M.J., 1990. Tectonic versus chemical-weathering controls on the composition of fluvial sands in tropical environments: *Sedimentology*. 37 : 713-726.
- KENNEDY, S.K., R., EHRLICH y T.W., KANA, 1981. The non-normal distribution of intermittent suspension below breaking waves. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51:1103-1108.
- KLOVAN, J.E., 1966. The use of factor analysis in determining depositional environments from grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36:115-125.
- KRUMBEIN, W.C. y F.A., GRAYBILL, 1965. An introduction to statistical models in Geology . McGraw Hill, New York, 475 pp.
- LANCASTER, N., 1981. Grain size characteristics of Namib Desert linear dunes. *Sedimentology*, 28:115- 122.

- LANCASTER, N., 1986. Grain size characteristics of linear dunes in the southwestern Kalahari. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 395-400.
- LEROY, S.D., 1981. Grain size and moment measures: a new look at Karl Pearson's ideas on distribution. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 625-630.
- LONGUET-HIGGINS, M.S. y D.W., PARKIN, 1962. Sea waves and beach cusps *Geographical Journal*, 128:194-201.
- LOPEZ-GARCIA, J. 1992. Edafología. Atlas Nacional de México. (Hoja IV.7.1) Instituto de Geografía. UNAM.
- LOZANO-SANTA CRUZ, R., S.P., VERMA, GIRON, P., F., VELASCO, D., MORAN-ZENTENO, F., VIERA y G. CHAVEZ, 1995. Calibración preliminar de fluorescencia de rayos X para análisis cuantitativo de elementos mayores en rocas ígneas. *Actas INAGEQ*, 1:203-208.
- LOZANO-SANTA CRUZ, R., S.P., VERMA y P. F., GIRON. Determination of thirteen trace and ten major elements in 39 igneous chemical reference samples by x-ray fluorescence spectrometry (en preparación).
- LUGO-HUBP, J., J.F., ACEVES-QUEZADA y M.T., GARCIA-ARIZAGA 1989. Morfometría I Atlas Nacional De México (Hoja IV. 3.1). Instituto de Geografía. U.N.A.M.
- LUGO-HUBP, J. y C., CORDOVA-FERNANDEZ, 1990 Geomorfología I. Atlas Nacional de Mexico (Hoja IV.3.3). Instituto de Geografía .U.N.A.M.
- LUGO-HUBP, J., R., VIDAL-ZEPEDA, A., FERNANDEZ-EGUIARTE, A., GALLEGOS GARCÍA, J., ZAVALA-HIDALGO, 1990. Hipsometría y Batimetría. Atlas Nacional de México (Hoja I.1.1) Instituto de Geografía. U.N.A.M.
- LUGO-HUBP, J. y C., CORDOVA-FERNANDEZ, 1991. Geomorfología I. Atlas Nacional de Mexico (Hoja IV 3.3) Instituto de Geografía U.N.A.M.

- LUGO-HUBP, J., 1992. Geomorfología 2. Atlas Nacional de México (Hoja IV 3.4) Instituto de Geografía U.N.A.M.
- MACK, G.E., 1984. Exceptions to the relationship between plate tectonics and sandstone composition: *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 212-220.
- MADEREY-RASCÓN, L.E., 1992. Hidrogeografía. Atlas Nacional de México. (Hoja IV.6.4). Instituto de Geografía. U.N.A.M.
- MARSAGLIA, K.M. y R.V., INGERSOLL, 1992. Compositional trends in arc related deep marine sand sandstones. A reassessment of magmatic arc provenance. *Geological Society of American Bulletin*, 104:1637-1649.
- MARSAGLIA, K.M., R.V. , INGERSOLL y B.M., PARKER, 1992. Tectonic evolution of the Japanese Islands as reflected in modal composition of Cenozoic forearc and backarc sand and sandstones. *Tectonics* 11:1028-1044.
- McAIRE, J.J., C., COCIRTA, L., KARRAT y A., PERRUCHOT, 1994. Basalt weathering and fluvial sedimentary particles : comparison of two water sheds in the Middle Atlas Mountains Morocco. *Journal of Sedimentary Research*, 64: 490-499.
- McBRIDE, E.F., A., ABEL-WAHAB, y T.A., McGILVERY, 1996. Loss of sand-size feldspar and rock fragments along the South Texas Barrier Island, USA. *Sedimentary Geology*, 107: 37-44.
- McCAMMON, R.B., 1968. Multiple component analyses and its application on classification of environments. *American Association of Petroleum Geologists*, 52:2178-2196.
- McCLAREN, P., 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 31-43.
- Mc DANIEL, D.K., S.R., HEMMINS, S.M., McLENNAN y HANSON, G.N., 1994. Petrographic

*geochemical and isotopic constrains on the provenance of the Early Proterozoic*

Cheimsford Fm, Sudbury Basin ,Ontario. *Journal of Sedimentary Research*, 64: 362-372.

MIDDLETON, G.V., 1976. Hydraulic interpretation of sand size distributions. *Journal of Geology*, 84: 405-426.

MOIOLA, R. J., A.B., SPENCER, D. ,WEISER, 1974. Differentiation of modern sand bodies by linear discriminant analysis, *in Transactions: Gulf Coast Association of Geological Societies*, 321-326.

MOOSER, F. y SOTO, P., 1980. The geology of Laguna Verde, CFE Report, Mexico.

MORENO-CASASOLA, P., 1988. Patterns of plant species distribution on coastal dunes along the Gulf of Mexico. *Journal of Biogeography*, 15: 787-806.

MORENO-CASASOLA, P. y S., CASTILLO, 1992. Dune ecology an the eastern coast of Mexico In: *Coastal Plant Communities of Latin America* (Ed. Ulrich ), 309-321.

NIXON, G.T., 1982. The relationship between Quaternary volcanism in central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere. *Geological Society of American Bulletin*, 93:514-523.

NEGENDANK, J.F., EMMERMANN, R., KRAWCZYK, R. , MOOSER, F., TOBSCHALL, H. y WERLE, 1985. *Geological and geochemical investigation on the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt*. *Geofísica Internacional*, 24:477-575.

NOOA, 1985 *Gulf of Mexico Coastal and Ocean Zones*. Dep of Commerce USA National Oceanic and Atmospheric Administration.

ORTIZ-PEREZ, M.A. y L.M., ESPINOSA-RODRIGUEZ, 1992. *Geomorfología 2*. (Hoja IV.3.4)

Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía. UNAM.

PADILLA-SANCHEZ, R.J. y J.F., ACEVES-QUEZADA, 1992. Geología (Hoja IV.1.1).

Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía. UNAM.

PASSEGA, R., 1957. Texture as characteristics of clastic deposition. American Association of Petroleum Geologists, 41:1952-1984.

PASSEGA, R., 1964. Grain Size representation by CM patterns as a geological tool. Journal of Sedimentary Petrology, 34: 830-847.

PASSEGA, R. y R., BYRAMJEE, 1969. Grain-size image of clastic deposits. Sedimentology, 13:233-252.

PEREZ-VILLEGAS, G., 1992. Clima. Atlas Nacional de México (Hoja IV.4.2). Instituto de Geografía. UNAM.

PEREZ-VILLEGAS, G., 1992. Clima. Atlas Nacional de México (Hoja IV.4.3). Instituto de Geografía. UNAM.

PETTIJOHN, F.J., P.E. POTTER y R., SIEVER, 1973. Sand and sandstones. Springer-Verlag New York.

PETTIJOHN, F.J., 1975. Sedimentary Rocks, Harper & Row, New York.

POTTER, P.E., 1986, South America and a few grains of sand: part 1-beach sands: The Journal of Geology, 94 : 301-319.

PYE, K. 1994. Sediment transport and depositional processes. Blackwell Sc. Publ. Mass.

PYE, K. y J., MAZZULLO, 1994. Effects of tropical weathering on quartz grain shape: an example from northeastern Australia. Journal of Sedimentary Research, 64: 500-507.

RAISZ, E., 1964. Physiographic Provinces. Escala 1: 4 000 000 Cambridge, Mass.

- REED W.E., R.E. LE LEVER. y G.J., MOIR, 1975. Depositional environment interpretation from settling velocity (Psi) distribution. *Geological Society of American Bulletin*, 86:1321-1328.
- REINECK H.E. y I.B., SINGH, 1973. *Depositional Sedimentary Environments*. Springer Verlag Berlin.
- ROBIN, C. y J., TOURNON, 1978. Spatial relations of andesitic and alkaline provinces in Mexico and Central America. *Canadian Journal*, 15:163-1641.
- ROBIN, C., 1982. Relations volcanologie- mineralogie geodynamique. Applications an passage entre volcanisme alkalin et andesitique dans le sud mexicain. *Canadian Journal*, 15:1633-1641.
- ROSALES-HOZ, L. y A., CARRANZA-EDWARDS, 1994. Heavy metals in rocks and stream sediments from the northwestern part of Baja California, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 10:77-82.
- ROSALES-HOZ, L. y A., CARRANZA-EDWARDS, 1995. Geochemistry of two Mexican tropical basins in an active margin and their influence on littoral sediments. *Journal of South American Earth Sciences* 8: 221-228.
- ROSER, B.P. y R.J., KORSCH, 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites usin SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. *Journal of Geology*, 94:75-83.
- RUST, B.R., 1978a. A classification of alluvial channel systems. In : Miall A.D: (Ed.). *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoires, 5: 187-198.
- RZEDOWSKI, J., 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México.
- SEDIMENTATION SEMINAR, 1981. Comparison of methods of size analysis for sands of the Amazon-Solimoes Rivers, Brazil and Peru. *Sedimentology*, 28:123-128.



- SCHLEYER, R., 1986. The goodness of fit to ideal Gauss and Rossin distributions: a new grain size parameter. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57:871-880.
- SORENSEN, M. y I., McEWAN, 1996. On the effect of mid-air collisions on aeolian saltation. *Sedimentology*, 46: 65-76.
- SUTHERLAND, R.A. y CH. T., LEE, 1994a. Discrimination between coastal subenvironments using textural characteristics. *Sedimentology*, 41:1133-1145.
- 1994b. Application of the Log-Hyperbolic distribution to Hawaiian beach sands. *Journal of Coastal Research*, 10:251-262.
- SWAN, A.R.H. y M., SANDILANDS, 1995. *Introduction to Geological Data Analysis*. Blackwell Sc. Oxford.
- TAMAYO, J.L., 1991. *Geografía Moderna de México*, Trillas, Mex. 400 pp.
- VALLONI, R. y J.B., MAYNARD, 1981. Detrital modes of recent deep sea sands and their relation to tectonic settings: a first approximation. *Sedimentology*, 28:75-78.
- VIARD, J.P. y J.A., BREYER, 1979. Description and hydraulic interpretation of grain size cumulative curves from the Platte River system. *Sedimentology*, 26:427-439.
- VIDAL-ZEPEDA, R., 1992. *Clima. Atlas Nacional de México (Hoja IV.4.4)*. Instituto de Geografía. UNAM.
- VIDAL-ZEPEDA, R., 1992. *Clima. Atlas Nacional de México (Hoja IV.4.6)*. Instituto de Geografía. UNAM.
- VIDAL-ZEPEDA, R. y E., GARCIA, 1992. *Clima. Atlas Nacional de México (Hoja IV.4.7)*. Instituto de Geografía. UNAM.

- VISHER, G.S., 1965. Fluvial processes from ancient and recent fluvial deposits in Middleton G.V. (ed) Primary Sedimentary Structures and their Hydrodynamic interpretation Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 12:116-132.
- VISHER G.S., 1969. Grain size distribution and depositional processes. Journal of Sedimentary Petrology, 39:1077-11.
- WEBB, W.M. y P.E., POTTER, 1969. Petrology and chemical composition of modern detritus derived from a rhyolitic terrain western Chihuahua. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 32:45-61.
- YOUNG, S.W., A., BASU, G., MACK, N., DARNELL y L.J., SUTTNER, 1975. Use of size-composition trends in Holocene soil and fluvial sands for paleoclimatic interpretations. Proceedings 1xth Intl. Congress of Sedimentology. Theme 1 , Nice, France.

ANALISIS DE DISCRIMINACION MULTIVARIADO DE FUNCIONES PARA PERFILES DE PLAYA, DUNA Y AMBIENTE DE RIO UTILIZANDO POBLACIONES LOG-NORMALES TRUNCADAS (a, b y c)

1) Se hace el analisis para el perfil de playa y duna tomando las regiones de infra, meso y supraplaya y barlovento, cresta y sotavento para la duna

Nuevamente se define A= infraplaya B= mesoplaya C= supraplaya  
 y a= componente grano grueso b= componente grano medio c= componente grano fino

A = READPRN(archivo4) B = READPRN(archivo5) C = READPRN(archivo6)

	a	b	c
A =	0.12	99.58	1.29
	0.07	99.91	0.14
	14.7	85.39	0.21
	7.2	92.9	0.07
	1	98.5	0.49
	0.05	99.88	0
	0.01	99.89	0.03
	1.5	96.4	1.98
	0.04	99.86	0.13
	0.01	98.99	0.99
	0.01	99.4	0.99
	0.01	95.3	4.98
	46.51	53.46	0.01
	82.35	17.89	0
	0	98	1.98
	0	99.93	0.05

	a	b	c
B =	50	49	0.98
	0.08	99.52	0.39
	0.02	97.97	2.48
	0.02	99.96	0.01
	0.04	99.85	0.1
	0.12	99.83	0.04
	20	79.9	0
	0.07	99.92	0
	0	99.92	0.07
	0.29	99.51	0.18
	0.33	99.7	0.08
	0.2	99.72	0.07
	0.2	99.52	0.25
	0.02	99.99	0.54
	0.01	99.7	0.34
	0.12	98	1.98
	0.02	99.82	0.15
	77.9	21.99	0
	0.61	98.5	0.82
	0	95.91	3.99
	0.02	95.97	3.99

	a	b	c
C =	0.89	99.02	0.4
	0.02	99.95	0.12
	0	99.95	0.05
	0.46	99.61	0.08
	2.04	97.9	0.02
	0.49	99.6	0.19
	0.81	98.97	0.15
	0.03	99.91	0.11
	0.05	80.03	19.99
	0.04	92.19	6.96
	0.01	99.9	0.09
	0	99.93	0
	0.12	97.2	2.97
	85.93	13.99	0
	11.81	74.01	14.1
	0.07	92.88	6.97
	0.02	99.97	0.45

ia = 1..rows(A)  
 ib = 1..rows(B)  
 ic = 1..rows(C)  
 j = 1..3  
 k = 1..3

rows= filas

$$D1_j = \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{\text{rows}(A)} - \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{\text{rows}(B)}$$

$$D1 = \begin{pmatrix} 2.453 \\ -2.4 \\ 0.05 \end{pmatrix}$$

Este es el vector de diferencias de medias de A y B (infra y mesoplaya)

$$SPA_{j,k} = \frac{\sum_{ia} A_{ia,j} \cdot A_{ia,k}}{\text{rows}(A)}$$

$$SPA = \begin{bmatrix} 7.742 \cdot 10^3 & -7.618 \cdot 10^3 & -120.292 \\ -7.618 \cdot 10^3 & 7.519 \cdot 10^3 & 95.902 \\ -120.292 & 95.902 & 25.472 \end{bmatrix}$$

Esta es la matriz de suma de productos de A (infraplaya)

$$SPB_{j,k} = \sum_{ib} (B_{ib,j} \cdot B_{ib,k}) = \frac{\sum_{ib} B_{ib,j} \cdot \sum_{ib} B_{ib,k}}{\text{rows}(B)}$$

$$SPB = \begin{bmatrix} 7.897 \cdot 10^3 & -7.846 \cdot 10^3 & 67.559 \\ -7.846 \cdot 10^3 & 7.826 \cdot 10^3 & 36.751 \\ 67.559 & 36.751 & 31.347 \end{bmatrix}$$

Esta es la matriz de suma de productos de B (mesoplaya)

La matriz de varianza i covarianza está dada por :

$$Sdos\_subP = \frac{1}{\text{rows}(A) \cdot \text{rows}(B) \cdot 2} \cdot SPA \cdot SPB$$

$$Sdos\_subP = \begin{bmatrix} 3.455 \cdot 10^6 & -3.439 \cdot 10^6 & -2.305 \cdot 10^4 \\ -3.405 \cdot 10^6 & 3.389 \cdot 10^6 & 2.269 \cdot 10^4 \\ -4.869 \cdot 10^4 & 4.844 \cdot 10^4 & 355.709 \end{bmatrix}$$

$$VecDiscrim = Sdos\_subP^{-1} \cdot D1$$

$$VecDiscrim = \begin{bmatrix} 18.057 \\ 18.02 \\ 17.891 \end{bmatrix}$$

Este es el vector de discriminación (infra y mesoplaya)

$$Da = \sum_j VecDiscrim_j \cdot \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{\text{rows}(A)} \quad Db = \sum_j VecDiscrim_j \cdot \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{\text{rows}(B)} \quad D0 = \frac{Da - Db}{2}$$

$$Da = 1.805 \cdot 10^3 \quad Db = 1.803 \cdot 10^3 \quad D0 = 1.804 \cdot 10^3$$

$$E_j = \frac{VecDiscrim_j \cdot D1_j}{Da \cdot Db}$$

Para meso y supraplaya se tiene el siguiente analisis:

$$E_j$$

22.863
-22.324
0.461

$$D2_j = \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{\text{rows}(B)} - \frac{\sum_{ic} C_{ic,j}}{\text{rows}(C)}$$

$$D2 = \begin{pmatrix} 1.1 \\ 1.222 \\ -2.313 \end{pmatrix}$$

vector de diferencias entre B y C (meso y supraplaya)

$$SPC_{j,k} = \sum_{ic} (C_{ic,j} \cdot C_{ic,k}) \cdot \frac{\sum_{ic} C_{ic,j} \sum_{ic} C_{ic,k}}{\text{rows}(C)}$$

$$SPC = \begin{pmatrix} 6.908 \cdot 10^3 & -6.769 \cdot 10^3 & -149.04 \\ 6.769 \cdot 10^3 & 7.185 \cdot 10^3 & -398.683 \\ -149.04 & -398.683 & 541.658 \end{pmatrix}$$

Esta es la matriz de suma de productos de C (supraplaya)

La matriz de varianza y covarianza está dada por :

$$Sdos\_subP = \frac{1}{\text{rows}(B) - \text{rows}(C) - 2} \cdot SPB \cdot SPC$$

$$Sdos\_subP = \begin{pmatrix} 2.991 \cdot 10^6 & -3.05 \cdot 10^6 & 5.318 \cdot 10^4 \\ -2.977 \cdot 10^6 & 3.037 \cdot 10^6 & -5.363 \cdot 10^4 \\ -2 \cdot 10^4 & 1.969 \cdot 10^4 & 344.339 \end{pmatrix}$$

$$Sdos\_subP^{-1} \cdot D2 = \begin{pmatrix} 5.202 \\ 5.192 \\ 5.253 \end{pmatrix}$$

vector de discriminación entre B y C (meso y supraplaya)

$$VecDiscrim = Sdos\_subP^{-1} \cdot D2 = \begin{pmatrix} 5.202 \\ 5.192 \\ 5.253 \end{pmatrix}$$

$$Dc = \sum_j VecDiscrim_j \frac{\sum_{ic} C_{ic,j}}{\text{rows}(C)} \quad Db = \sum_j VecDiscrim_j \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{\text{rows}(B)} \quad D0 = \frac{Dc - Db}{2}$$

$$Dc = 519.626 \quad Db = 519.539 \quad D0 = 519.582$$

$$E_j = \frac{VecDiscrim_j \cdot D2_j}{Dc \quad Db}$$

$E_j$ 

65.547
72.693
-139.24

Para infra y supraplaya se obtiene lo siguiente:

$$D3_j = \frac{\sum_{ic} C_{ic,j}}{\text{rows}(C)} - \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{\text{rows}(A)}$$

$$D3 = \begin{pmatrix} -3.552 \\ 1.178 \\ 2.263 \end{pmatrix}$$

Este es el vector de diferencias de medias de C y A (supra e infraplaya)

$$Sdos\_subP = \frac{1}{\text{rows}(C) - \text{rows}(A) - 2} \cdot SPC \cdot SPA$$

$$Sdos\_subP = \begin{pmatrix} 3.389 \cdot 10^6 & 3.34 \cdot 10^6 & -4.787 \cdot 10^4 \\ -3.455 \cdot 10^6 & 3.405 \cdot 10^6 & 4.817 \cdot 10^4 \\ 5.865 \cdot 10^4 & -5.84 \cdot 10^4 & 209.972 \end{pmatrix}$$

$$Sdos\_subP^{-1} \cdot D3 = \begin{pmatrix} -7.044 \\ -7.051 \\ -6.82 \end{pmatrix}$$

Este es el vector de discriminación entre C y A (supra e infraplaya)

$$VecDiscrim = Sdos\_subP^{-1} \cdot D3 \quad VecDiscrim = \begin{pmatrix} 7.044 \\ 7.051 \\ 6.82 \end{pmatrix}$$

$$Dc = \sum_j VecDiscrim_j \cdot \frac{\sum_{ic} C_{ic,j}}{\text{rows}(C)} \quad Da = \sum_j VecDiscrim_j \cdot \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{\text{rows}(A)} \quad D0 = \frac{Dc - Da}{2}$$

$$Dc = -704.491$$

$$Da = -705.774$$

$$D0 = 705.132$$

 $E_j$ 

$$E_j = \frac{VecDiscrim_j \cdot D3_j}{Dc - Da}$$

$E_j$  = vector de diferencia de medias de subpoblaciones entre la media multivariada de las poblaciones a discriminar

65.547
72.693
-139.24

Para el perfil de duna se tiene lo siguiente (A=barlovento B=cresta C=sotavento)

A = READPRN(archivo7) B = READPRN(archivo8) C = READPRN(archivo9)

a b c			a b c			a b c		
0.01	99.44	0.64	0.09	98.89	2	1.53	98.21	0.4
0.46	98.5	1.59	0.29	93.7	6.1	0.28	89.64	0.07
0	96.63	4.04	1.06	98.2	0.9	0.97	98.89	0.16
0	99.94	0.02	0.04	99.77	0.08	0	99.14	0.95
1.49	91.9	0.09	0.01	99.98	0.25	0.01	99.77	0.02
0.02	98.18	1.79	0.02	99.95	0.02	6.64	92.98	0.4
0.02	99.97	0.06	0	99.87	0.01	0.01	91.58	8.98
0	99.2	1.05	0	97.9	2.98	0	99.22	0.89
0.01	99.13	0.91	0	85.81	14.94	0	98	1.89
0.22	95.9	3.95	0.08	95.18	4.91	0	99.01	1.04
0.01	99.92	0.05	0.01	98.99	0.97	0.01	95.9	3.95
7.99	91.2	0.75	0	99.85	0.12	0.12	98	1.57
57.5	41	0.99	0.01	99.98	0	0.04	99.34	0.82
			1.68	93.1	4.98	78	19	2.6
			0.01	96.26	3.92	30.29	68.17	2.49
			2.87	95.8	1.6	0	84.01	14.35
			28.5	68	3.3			
			0	60.8	40.01			

ia = 1..rows(A)  
 ib = 1..rows(B)  
 ic = 1..rows(C)  
 j = 1..3  
 k = 1..3

$$Dl_j = \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{\text{rows}(A)} - \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{\text{rows}(B)}$$

2.453  
-2.4  
0.05

Este es el vector de diferencias de medias de A y B (barlovento y cresta)

$$SPA_{j,k} = \frac{\sum_{ia} (A_{ia,j} \cdot A_{ia,k})}{\text{rows}(A)}$$

SPA	$3.02 \cdot 10^3$	$-3.012 \cdot 10^3$	-18.29
	$-3.012 \cdot 10^3$	$3.049 \cdot 10^3$	5.981
	-18.29	5.981	22.033

Esta es la matriz de suma de productos de A (barlovento)

$$SPB_{j,k} = \frac{\sum_{ib} B_{ib,j} \cdot B_{ib,k}}{\text{rows}(B)}$$

$$SPB = \begin{pmatrix} 757.756 & 712.701 & 57.386 \\ -712.701 & 2.141 \cdot 10^3 & 1.444 \cdot 10^3 \\ -57.386 & 1.444 \cdot 10^3 & 1.532 \cdot 10^3 \end{pmatrix}$$

Esta es la matriz de suma de productos de B (cresta)

La matriz de varianza y covarianza está dada por :

$$Sdos\_subP = \frac{1}{rows(A) + rows(B) - 2} \cdot SPA \cdot SPB$$

$$Sdos\_subP = \begin{pmatrix} 1.53 \cdot 10^5 & -2.957 \cdot 10^5 & 1.431 \cdot 10^5 \\ -1.537 \cdot 10^5 & 2.988 \cdot 10^5 & -1.456 \cdot 10^5 \\ 668.5 & -206.191 & 902.537 \end{pmatrix}$$

$$Sdos\_subP^{-1} \cdot D1 = \begin{pmatrix} -1.594 \\ -1.572 \\ 1.544 \end{pmatrix}$$

Este es el vector de discriminación de A y B (barlovento y cresta)

$$VecDiscrim = Sdos\_subP^{-1} \cdot D1 = \begin{pmatrix} -7.044 \\ -7.051 \\ -6.82 \end{pmatrix}$$

$$Da = \sum_j VecDiscrim_j \cdot \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{rows(A)} \quad Db = \sum_j VecDiscrim_j \cdot \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{rows(B)} \quad D0 = \frac{Da - Db}{2}$$

$$Da = -156.577 \quad Db = -157.39 \quad D0 = 156.984$$

$$E_j = \frac{VecDiscrim_j \cdot D1_j}{Da - Db}$$

$E_j$
6.439
0.578
6.861

Para cresta y sotavento se tiene

$$D2_j = \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{rows(B)} - \frac{\sum_{ic} C_{ic,j}}{rows(C)} \quad D2 = \begin{pmatrix} 1.1 \\ 1.222 \\ -2.313 \end{pmatrix} \quad \text{vector de diferencias de medias de B y C (cresta y sotavento)}$$

$$SPC_{j,k} = \frac{\sum_{ic} C_{ic,j} \cdot C_{ic,k}}{rows(C)}$$



$$SPC = \begin{pmatrix} 6.18 \cdot 10^3 & 6.09 \cdot 10^3 & -17.008 \\ 6.09 \cdot 10^3 & 6.301 \cdot 10^3 & 196.572 \\ -17.008 & -196.572 & 222.041 \end{pmatrix}$$

Esta es la matriz de suma de productos de C (sotavento)

La matriz de varianza y covarianza se da con

$$Sdos\_subP = \frac{1}{rows(B) - rows(C) - 2} \cdot SPB \cdot SPC$$

$$Sdos\_subP = \begin{pmatrix} 2.82 \cdot 10^5 & -2.842 \cdot 10^5 & 3.577 \cdot 10^3 \\ -5.443 \cdot 10^5 & 5.661 \cdot 10^5 & -2.279 \cdot 10^4 \\ 2.629 \cdot 10^5 & -2.829 \cdot 10^5 & 1.953 \cdot 10^4 \end{pmatrix}$$

$$Sdos\_subP^{-1} \cdot D2 = \begin{pmatrix} 0.421 \\ 0.424 \\ 0.469 \end{pmatrix} \quad \text{Este es el vector de discriminación de B y C (cresta y sotavento)}$$

$$VecDiscrim = Sdos\_subP^{-1} \cdot D2 \quad VecDiscrim = \begin{pmatrix} 0.421 \\ 0.424 \\ 0.469 \end{pmatrix}$$

$$Dc = \sum_j VecDiscrim_j \frac{\sum_{ic} C_{ic,j}}{rows(C)} \quad Db = \sum_j VecDiscrim_j \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{rows(B)} \quad D0 = \frac{Dc - Db}{2}$$

$$Dc = 42.181 \quad Db = 42.671 \quad D0 = 42.426$$

$$E_j = \frac{VecDiscrim_j \cdot D2_j}{Dc - Db}$$

$E_j$

-4.674
3.472
2.202

Para sotavento y barlovento se tiene

$$D3_j = \frac{\sum_{ic} C_{ic,j}}{rows(C)} - \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{rows(A)} \quad D3 = \begin{pmatrix} 2.159 \\ -3.718 \\ 1.311 \end{pmatrix} \quad \text{Este es el vector de diferencias de medias de C y A (sotavento y barlovento)}$$

$$Sdos\_subP = \frac{1}{rows(C) - rows(A) - 2} \cdot SPC \cdot SPA$$

$$Sdos\_subP = \begin{pmatrix} 1.371 \cdot 10^6 & -1.377 \cdot 10^6 & -5.549 \cdot 10^3 \\ -1.384 \cdot 10^6 & 1.391 \cdot 10^6 & 5.361 \cdot 10^3 \\ 1.988 \cdot 10^4 & -2.025 \cdot 10^4 & 149.175 \end{pmatrix}$$

0.004  
 Sdos\_subP<sup>-1</sup> · D3 = 0.004  
 0.001

Este es el vector de discriminación entre C y A  
 (sotavento y barlovento)

VecDiscrim = Sdos\_subP<sup>-1</sup> · D3    VecDiscrim =  $\begin{bmatrix} -0.004 \\ -0.004 \\ 0.001 \end{bmatrix}$

$$D_c = \sum_j \text{VecDiscrim}_j \cdot \frac{\sum_{ic} C_{ic,j}}{\text{rows}(C)} \quad D_a = \sum_j \text{VecDiscrim}_j \cdot \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{\text{rows}(A)} \quad D_0 = \frac{D_c - D_a}{2}$$

Dc = -0.34                  Da = -0.347                  D0 = 0.344

$$E_j = \frac{\text{VecDiscrim}_j \cdot D3_j}{D_c - D_a}$$

E <sub>j</sub>
-4.674
3.472
2.202

3) Para ríos se obtienen los vectores correspondientes de la función discriminante para el lecho del río distal a la boca y la desembocadura o boca en donde A= boca B= lecho distal a la boca

A = READPRN(archivo10) B = READPRN(archivo11)

	a	b	c		a	b	c
A =	12.5	86.5	0.1		95.5	0.04	0
	0	99.96	0.03		98.9	1.07	0.02
	44.35	47.54	8.1		99.2	0.68	0.02
	15.01	81.51	3.42		90.77	5.48	3.74
				B =	99.75	0.2	0
					51.73	38.38	9.45
					99	0.98	0
					89.03	10.98	0.23
					88	11.4	0.3
					58.31	40.51	1.3

ia = 1..rows(A)

ib = 1..rows(B)

j = 1..3

k = 1..3

Unicamente para la boca y el lecho se obtiene

$$D1_j = \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{\text{rows}(A)} - \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{\text{rows}(B)}$$

D1 =  $\begin{bmatrix} 3.284 \\ -0.299 \\ -3.613 \end{bmatrix}$     Este es el vector de diferencias de medias de A y B (boca y lecho)

$$SPA_{j,k} = \sum_{ia} A_{ia,j} \cdot A_{ia,k} \cdot \frac{\sum_{ia} A_{ia,j} \cdot \sum_{ia} A_{ia,k}}{\text{rows}(A)}$$

$$SPA = \begin{pmatrix} 1.058 \cdot 10^3 & 1.255 \cdot 10^3 & 202.527 \\ -1.255 \cdot 10^3 & 1.492 \cdot 10^3 & -243.436 \\ 202.527 & -243.436 & 43.387 \end{pmatrix}$$

Esta es la matriz de suma de productos de A (boca)

$$SPB_{j,k} = \frac{\sum_{ib} B_{ib,j} \cdot \sum_{ib} B_{ib,k}}{\text{rows}(B)}$$

$$SPB = \begin{pmatrix} 2.756 \cdot 10^3 & -2.428 \cdot 10^3 & 355.536 \\ -2.428 \cdot 10^3 & 2.193 \cdot 10^3 & 276.591 \\ -355.536 & 276.591 & 82.443 \end{pmatrix}$$

Esta es la matriz de suma de productos de B (lecho)

La matriz de varianza i covarianza está dada por:

$$Sdos\_subP = \frac{1}{\text{rows}(A) - \text{rows}(B) - 2} \cdot SPA \cdot SPB$$

$$Sdos\_subP = \begin{pmatrix} 4.908 \cdot 10^5 & -4.387 \cdot 10^5 & -5.887 \cdot 10^4 \\ -5.828 \cdot 10^5 & 5.209 \cdot 10^5 & 6.989 \cdot 10^4 \\ 9.448 \cdot 10^4 & -8.447 \cdot 10^4 & -1.131 \cdot 10^4 \end{pmatrix}$$

$$Sdos\_subP^{-1} \cdot D1 = \begin{pmatrix} 166.275 \\ -161.371 \\ -183.645 \end{pmatrix}$$

Este es el vector de discriminación de A y B (boca y lecho del río)

$$VecDiscrim = Sdos\_subP^{-1} \cdot D1 \quad VecDiscrim = \begin{pmatrix} 166.275 \\ -161.371 \\ -183.645 \end{pmatrix}$$

$$Da = \sum_j VecDiscrim_j \cdot \frac{\sum_{ia} A_{ia,j}}{\text{rows}(A)} \quad Db = \sum_j VecDiscrim_j \cdot \frac{\sum_{ib} B_{ib,j}}{\text{rows}(B)} \quad D0 = \frac{Da - Db}{2}$$

$$Da = 1.625 \cdot 10^4 \quad Db = -1.652 \cdot 10^4 \quad D0 = 1.638 \cdot 10^4$$

$$E_j = \frac{VecDiscrim_j \cdot D1_j}{Da - Db}$$

$$E_j = \begin{pmatrix} 1.066 \\ 1.851 \\ 0.235 \end{pmatrix}$$