

Sedimentos continentales y transicionales del borde del Golfo de Venezuela

Consideraciones críticas sobre el valor del Análisis Granulométrico en la Determinación de Ambientes sedimentarios (1)

Por Claus H. Graf (2)

INTRODUCCION

Basado en el Principio de Uniformitarianismo, se ha desarrollado un nuevo ramo de las ciencias geológicas el cual consiste en el estudio detallado de los ambientes deposicionales modernos y de sus sedimentos. Mediante estos estudios se trata de obtener criterios, los cuales con ciertos cambios (evolución de organismos por ejemplo) sean de utilidad en la identificación de ambientes sedimentarios antiguos. Uno de tales criterios lo constituye los parámetros estadísticos granulométricos de arenas, los cuales según Friedman (1961) sirven para diferenciar arenas playeras, de arenas eólicas y de arenas fluviales.

El presente trabajo es parte de un estudio del Cuaternario del noroeste de Falcón y norte del Zulia. (Figura 1), realizado por el autor como tesis doctoral; en Rice University, Houston. El principal objetivo del estudio es la determinación de la historia geológica cuaternaria (pleistocena y holocena) de un area no-glacial costanero. El estudio de ambientes y sedimentos modernos por lo tanto fue hecho con el único fin de obtener criterios adicionales en la interpretación de las columnas

(1) Manuscrito recibido en agosto de 1968.

(2) Geólogo al servicio de Creole Petroleum Corporation, Caracas.

estratigráficas cuaternarias del noroeste de Venezuela. El muestreo de los sedimentos no fue tan detallado como en estudios dedicados enteramente a depósitos modernos, pero se puede justificar su uso ya que la identificación de ambientes sedimentarios antiguos también se basa en muestreos hechos al azar hasta tanto no se haya definido el ambiente, o una secuencia de ambientes sedimentarios y cambios laterales puedan ser perseguidos por un muestreo sistemático. Estudios realizados por Fisk y McFarlan, 1955; Alen, 1965; Kruit, 1955; Johnson y Friedman, 1966 y Van Straaten, 1959 entre otros, también hicieron uso de criterios texturales obtenidos del estudio de sedimentos modernos para delucidar la historia sedimentaria y estructural de complejos sedimentarios antiguas.

El estudio fue realizado durante una ausencia de permiso de la Creole Petroleum Corporation. El autor agradece la colaboración del Departamento de Geología de la Escuela de Geología, Minas y Metalurgia de la Universidad Central de Venezuela, del Ministerio de Obras Públicas, de la Fundación de Desarrollo de Estados Centro-Occidentales, de Rice University y del Departamento de Geología de Creole Petroleum Corporation. También agradece a todas aquellas personas que de alguna forma prestaron su ayuda durante las distintas fases del trabajo.

SEDIMENTOLOGIA

El muestreo de depósitos modernos fue restringido a ambientes continentales (fluviales) y transicionales de albuferas, deltaicos, eólicos y playeros). Sedimentos fluviales se obtuvieron solamente de los espolones aluviales ("Point bars") para darle uniformidad al muestreo y para evitar el modo sumamente grueso representado por guijarros y cantos. El muestreo se efectuó con un taladro de mano de aproximadamente 10 cm. de diámetro y con tubos plásticos de 5 cm de diámetro. Muestras pre-modernas (del Holoceno y Pleistoceno) provienen de afloramientos y pozos de agua. Información adicional se obtuvo de las publicaciones de Hedberg (1934), Redfield, (1955, 1958 y 1961), Bermúdez (1960) y Zeigler y Pérez

(1960) que versan sobre los ambientes modernos y sus sedimentos en el noroeste de Venezuela.

Los sedimentos se sometieron a análisis mineralógicos (minerales pesados y livianos, secciones finales, estudios binoculares de la fracción gruesa, residuo insoluble y determinación de minerales de arcilla por Rayos X), estudios de la textura sedimentaria y estudios paleontológicos. Esta información se complementó con estudios geomorfológicos, análisis de estructuras sedimentarias, ratas de sedimentación, estudios climatológicos, análisis de suelos, etc. En este artículo solo se entrará en detalles en cuanto al estudio de texturas se refiere. Los resultados muy generalizados de los demás experimentos y observaciones solo se incluirán en el resumen de las características de los sedimentos modernos.

ESTUDIO ESTADISTICO DE LOS PARAMETROS GRANULOMETRICOS

Para ser de uso en estudios de ambientes antiguos las relaciones entre texturas sedimentarias y ambientes deposicionales deben ser estadísticamente significativas y deberían ser re-evaluadas en cuencas sedimentarias de diferentes situaciones geográficas (climatológicas) y estructurales (tectonismo activo relativamente estables. Se trata aquí de determinar tal relación para la región costanero del Golfo de Venezuela, un área de clima cálido, semi-árido y de relativa inestabilidad tectónica.

Análisis texturales se practicaron en todos los sedimentos clásticos no consolidados. La distribución de granos de arena se determinó con tamices U. S. Standard, en serie de $1/2/\phi$. El tiempo de tamizado fue de 15 minutos. La distribución de granos de limo se determinó con el uso del hidrofotómetro (método de foto-extinción de Rose, 1953, McKenzie, 1963). Se usó la clasificación de Wentworth (1922) y los parámetros texturales se calcularon de acuerdo a las fórmulas de Inman (1952). Estas últimas también fueron usadas por Maloney y Caraballo (1966) en un estudio similar en el oriente de Venezuela.

El paso inicial consistió en determinar si los parámetros varían significativamente entre sedimentos de ambientes distintos de una localidad. La figura 2 representa los análisis de arenas de 4 ambientes distintos de 3 localidades diferentes (Area del río Coro (A), desembocadura del río Borojó (B) y desembocadura del río Matícora (C). Es obvio que las diferencias en los valores de tamaño promedio (Mn), el escogimiento (So) y la simetría (Sk) entre arenas fluviales y litorales (playa y duna) son grandes y significativas. Entre las arenas playeras y eólicas sin embargo, las diferencias no son tan claras. En general, pero no siempre, el tamaño promedio de grano (Mn) decrece desde la playa al monte eólico inmediatamente detrás de la línea de marea alta y decrece definitivamente si esta arena eólica es retransportada a dunas más altas y más distantes de la playa. El escogimiento mejora desde la arena playera al depósito eólico, reflejando el transporte selectivo del viento. La simetría (Sk) generalmente cambia de valores negativos altos en la arena playera a cero o valores positivos bajos en las dunas. De nuevo, las dunas más distantes reflejan mejor esa pérdida de material con la distancia y el tiempo.

De este corto análisis entonces parece que en escala local las parámetros texturales pueden ser usados en la diferenciación de ambientes sedimentarios continentales y transicionales. Basado en el pequeño número de muestras usado en este examen, parece que ambientes similares tienen parámetros similares, aún estando en áreas diferentes. Estas conclusiones deben entonces ser analizadas con un número mayor de muestras.

Para determinar la utilidad de estos criterios en toda la región estudiada, se han representado los parámetros texturales usados de todas las arenas fluviales, playeras y eólicas modernas analizadas en la Figura 3. Debe mencionarse que muchos depósitos fluviales contienen porcentajes de arcilla muy altos que impiden la determinación de sus parámetros texturales.

El diagrama A muestra la curva de frecuencia de los valores de tamaño promedio (Mn) de todas las muestras moder-

nas de los 3 ambientes mencionados. La mayoría de los depósitos fluviales y playeros tienen valores cercanos a 2.10ϕ . Arenas playeras de grano más grueso (valores de ϕ más bajos) reflejan la influencia de material orgánico clástico (conchas de moluscos, fragmentos de coral, gasterópodos, etc.). Depósitos fluviales con valores de Mn más altos que 3.5ϕ son típicos de las regiones de clima subhúmedo (cuencas del río Maticora y del río Limón) y reflejan la influencia de procesos químicos de meteorización en la fuente de sedimentos. Arenas eólicas son generalmente más finas ($Mn \approx 2.5\phi$), pero se nota que las 3 curvas tienen una distribución muy amplia y cubren mucha área común.

Las curvas de frecuencia de los valores de escogimiento (S_o) en el diagrama B, muestran una buena diferenciación entre arenas fluviales y litorales. Las anteriores están -pobre o muy pobremente escogidas, mientras que las segundas generalmente muestran buen escogimiento. De nuevo, la existencia de arenas playeras mal escogidas se debe a la presencia de fragmentos de concha, los cuales por el tamizado mecánico son retenidos en los tamices superiores (correspondientes a arenas gruesas o muy gruesas), pero que hidráulicamente, por su densidad inferior, pertenecen a tamaños de arenas medianas y hasta muy finas.

El diagrama C muestra la distribución de valores de simetría (S_k). No se puede obtener una separación clara de los 3 tipos de sedimento, pues las tres curvas son muy amplias y cubren mucha área común. La mayoría de los sedimentos fluviales tienen valores positivos altos, arenas eólicas tienen valores de simetría bajos, mientras que las arenas playeras tienden hacia valores negativos altos.

De estas distribuciones entonces, parece que los parámetros texturales de Inman pueden ser utilizados como un criterio más en la identificación de ambientes sedimentarios en escala regional. Cualquier diagrama a base del Mn tenderá a separar arenas fluviales y playeras de arenas eólicas, pero se pueden anticipar muchos valores comunes. El escogimiento (S_o) es probablemente el parámetro más útil y separaría las arenas litorales de las fluviales. El coeficiente de simetría (S_k)

teóricamente podría separar estos 3 tipos de arena, pero debido a los muchos valores coincidentes, este parámetro tiende a ser de poca utilidad en la práctica. Los diagramas de dispersión de la Figura 4 reafirman lo dicho anteriormente.

En este corto análisis estadístico no se han incluido los depósitos de albúferas, porque especialmente en las albúferas influyen muchas condiciones locales (comunicaciones con el mar, cercanías a zonas tectónicamente activas o a áreas con extensos depósitos eólicos, etc.), que dan caracteres texturales a las arenas depositadas, los cuales no son alterados dentro del ambiente sedimentario debido a la reducida capacidad de las corrientes que allí operan. Depósitos deltaicos no se analizaron porque el muestreo no fue lo suficientemente detallado como para dar criterios para la identificación de la gran cantidad de micro-ambientes que componen un complejo deltaico. Dunas de arcilla, muy conspicuas y abundantes en el norte de Falcón no se han analizado por estar formadas mayormente de limo y arcilla con poca arena y porque su preservación en la columna geológica como facies identificable parece poco probable. Finalmente, no se han incluido los depósitos playeros de Paraguaná y de la Península de la Guajira, por tratarse de playas calcareas, cuyos constituyentes (con pocas excepciones) no se han acumulado como material clásico transportado por alguna corriente, sino que se han generado en, o muy cerca de su sitio de deposición.

RESUMEN DE CARACTERISTICAS DE SEDIMENTOS MODERNOS

El estudio completo (mineralógico, textural, paleontológico, geomorfológico, etc.), de los sedimentos continentales y transicionales del noroeste de Venezuela, indica ciertos factores típicos que pueden ser de utilidad en la identificación de ambientes sedimentarios antiguos en esa región.

Depósitos fluviales deberían identificarse en base a sus estructuras sedimentarias (estraficación cruzada de ángulo bajo), su pobre escogimiento, su coeficiente de simetría positivo, su alto contenido de limo y arcilla y la presencia relativa-

mente abundante de fósiles redepositados. Depósitos de albuferas se caracterizan por tener una asociación faunal de invertebrados muy especializada y típica, por su alto contenido de material orgánico y de restos vegetales, colores oscuros y localmente, presencia de piritita autigénica. Exceptuando criterios de tipo geométrico y geomorfológico, este estudio no reveló factores útiles para la identificación de deltas antiguos. Líneas de playa deberían reconocerse por la abundancia de conchas fragmentadas o pulidas de invertebrados marinos, por el buen escogimiento de las arenas y por los coeficientes de simetría negativos altos. Arenas eólicas se caracterizan por su buen escogimiento, valores de simetría bajos, estratificación cruzada de ángulo alto y por la geometría del depósito. Ciertos depósitos, restringidos geográficamente, como son las rocas de playa ("beach rocks") que ocurren a lo largo de la costa oriental del istmo de los Médanos, son productos de condiciones y ambientes muy especiales y serían excelentes indicadores de ambientes sedimentarios antiguos. Vale la pena mencionar finalmente que el autor no encontró ningún indicio a favor de la teoría que asigna a los minerales de arcilla un origen autogénico, el cual les daría excelentes características como índices ambientales. Por el contrario, la distribución de los minerales de arcilla en los sedimentos analizados correlaciona en forma perfecta con la distribución de estos minerales en las zonas meteorizadas de las fuentes de sedimentos. Así parece que estos minerales son productos de procesos de meteorización y se integran a los distintos sedimentos continentales y transicionales como componentes detríticos.

APLICACION DE RESULTADOS A SEDIMENTOS PREMODERNOS (Holocenos y Pleistocenos) DE FALCON Y ZULIA

La identificación de los ambientes sedimentarios premodernos Holocenos (post-máximo glacial, menos \pm 20.000 años de edad) fue tarea relativamente simple. La localización de estos sedimentos permite generalmente una correlación directa con los ambientes deposicionales modernos. Esto está suplementado además por la preservación de características mor-

fológicas de origen sedimentario en la superficie de las terrazas holocenas, como son planos fluviales abandonados, dunas estabilizadas, líneas de pleya, etc. (En base a criterios geomorfológicos se identificaron las puntas Maragüey y Caimán como deltas abandonados del río Mitare). La composición mineralógica es comparable a la de los sedimentos modernos, aunque la mayor abundancia de ciertos productos de meteorización bajo climas húmedos, sugiere la existencia de tales climas en regiones donde al presente reinan climas semi-áridos. Tales condiciones también son indicadas por la solución parcial de conchas calcáreas fósiles de estos sedimentos, un proceso que no es de importancia regional en el noroeste de Venezuela bajo el clima presente. Estas observaciones coinciden con las conclusiones alcanzadas por Royo (1960) en base a estudios de los vertebrados de El Muaco (Falcón) y corroborados por estudios palinológicos. Las estructuras sedimentarias están bien preservadas y son índices claves en algunos casos. Igualmente las texturas han sido poco alteradas por los procesos de meteorización y solo localmente se encuentran nódulos de caliche y montmorillonita, que según Keller (1957) son productos de meteorización en climas donde la evaporación excede la precipitación. Así parecen ser productos secundarios formados bajo climas modernos. Con la excepción de estos casos, las texturas correlacionan bastante bien con las observadas en los sedimentos modernos, a pesar de que los sedimentos pre-modernos son en general de grano algo más fino, lo cual puede ser debido a climas más húmedos. Así, las "playas de Sinamaica", Miller (1960), tienen por promedio un Mn de 2.72ϕ , un So de $.65\phi$ y un Sk de $-.01$, opuesto a 2.55ϕ , $.52\phi$ y $-.08$ respectivamente de las playas modernas de esta zona (Isla San Carlos). En los diagramas de dispersión la mayoría de estos sedimentos caen dentro del campo teórico "eólico", siendo sedimentos playeros. Algo similar sucede con arenas eólicas pre-modernas de esta zona y del área de desembocadura del río Maticora cuando son comparados con arenas eólicas modernas de estas regiones. En estos casos, las diferencias son aumentadas por el transporte eólico selectivo de granos de cuarzo (livianos) con respecto a minerales pesados.

La identificación de ambientes sedimentarios del Pleistoceno se hace más complicada. Procesos post-deposicionales, sobre todos los procesos de meteorización, han destruido muchos de los factores característicos del ambiente sedimentario original. Las conchas calcáreas han sido disueltas en gran parte y solo en algunos afloramiento y en muestras de pozos de agua de la Guajira y Paraguaná fue posible identificar ambientes en base de asociaciones fósiles. La mineralogía generalmente está alterada por minerales de origen secundario como nódulos de hierro, kaolinita, illita, minerales coloidales de sílice y aluminio, etc.. En los afloramientos de secuencias pleistocenas, las estructuras sedimentarias, aún constituyen un buen índice de ambiente, indicando un origen fluvial para la gran mayoría de los sedimentos expuestos. Esto está confirmado por la presencia de capas extremadamente lenticulares (probablemente arenas de canal) en estas secuencias. La abundancia de madera silicificada en trozos demasiado grandes, pesados y angulares para haber sido transportados después de la silicificación, dentro de la formación El Milagro, sugiere la existencia temporal, local y cíclica de pantanos o lagunas durante el Pleistoceno. La adición de minerales de arcilla y la reducción física y química de arenas muy finas a limos y hasta arcillas, da a la mayoría de los sedimentos pleistocenos continentales y transicionales una abundancia de constituyentes muy finos, que los clasificaría como sedimentos fluviales de acuerdo a su textura. En algunos casos (donde fósiles han sido preservados) tales indicios son contradictorios y aún en aquellos casos donde coinciden con lo indicado por otras características ambientales (estructuras sedimentarias) no representan las condiciones ambientales originales y su correlación es puramente coincidencial. Sin embargo, ciertas muestras de pozos de agua, que por su fósiles parecen ser arenas playeras, también presentan parámetros granulométricos comparables a los de las playas modernas. Así podría aún discutirse a favor de la textura como índice en los ambientes transicionales y continentales, en los casos donde los sedimentos no han sufrido alteraciones post-deposicionales por meteorización, cosa que sin embargo no es muy común en estos ambientes.

CONCLUSIONES

El presente estudio indica que el uso de los parámetros granulométricos para la identificación de ambientes sedimentarios continentales y transicionales antiguos es justificable. Sin embargo debe usarse solamente como un criterio secundario a indicaciones dadas por fósiles bentónicos, presencia de vegetales fósiles (incluyendo tal vez el pólen) y por estructuras sedimentarias. Además, estos parámetros deben usarse en conjunto con cualquier otro índice ambiental que pueda estar presente tanto en el afloramiento (geometría de la capa, por ejemplo) o en la mineralogía de la roca (pirita antigénica, por ejemplo). Si los parámetros texturales son aplicados a una sola muestra son probablemente de tan poco, o menos, valor interpretativo como pueda ser otro indicio. Si se les aplica a una secuencia lateral o vertical de sedimentos pueden ser de ayuda en la interpretación de los ambientes originales de sedimentación. Como sucede con otros criterios basados en el Uniformitarismo, el uso de los parámetros texturales debe tomar en consideración ciertas diferencias climatológicas y tectónicas que pueden haber existido entre el presente y cualquier época del pasado, cambios que pueden haber influenciado el ambiente original de sedimentación. Tal como muchos otros criterios interpretativos, los indicios obtenidos por estudios granulométricos pueden guiar a conclusiones completamente erróneas si son usados como criterio único y absoluto.

B I B L I O G R A F I A S

- ALLEN, J. R. L.—“Late Quaternary Niger Delta and adjacent areas; sedimentary environments and lithofacies”. Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull., vol. 49, p. 547-600. (1965).
- BERMUDEZ, P. J.—“Foraminíferos Planctónicos del Golfo de Venezuela”. Memoria Tercer Cong. Geol. Venez., Tomo 2; Bol. de Geol. Publ. Espec. N^o 3, p. 905-927. (1960).
- FISK, H. N., and MCFARLAN, E. Jr.—“Late Quaternary deltaic deposits of the Mississippi River-local sedimentation and basin tectonics, *en* Crust of the Earth”. Geol. Soc. America Spec. Paper 62, p. 279-302. (1955).
- FRIEDMAN, G. M.—“Distinction between Dune, Beach and River Sands from their textural characteristics”. Jour. Sed. Pet. vol. 31, p. 514-529. (1961).
- HEDBERG, H. D.—“Some recent and fossil brackish to fresh water foraminifera”. Jour. of Paleont., vol. 8, p. 469-476. (1934).
- INMAN, D. L.—“Measures for describing the size distribution of sediments”. Jour. Sed. Pet., vol. 22, p. 125-145. (1952).
- JOHNSON, K. G., and FRIEDMAN, G. M.—“The Devonian Catskill deltaic Complex of New York, Type Example of a “Tectonic Delta Complex”. *en* Deltas, in their geologic framework, Shirley, M. L. *ed.*, Houston Geol. Soc.; Houston. (1966).
- KELLER, W. D.—“The principles of chemical weathering”. Lucas Broth. Publishers, Columbia, Mo., 111 p. (1957).
- KRUIT, C.—“Sediments of the Rhone Delta, Rijksuniv. te Groningen”. La Haya, Mouton and Co. (1955).
- MALONEY, N. J., and CARABALLO, L. F.—“Textural characteristics of coastal and shallow marine sands of eastern Venezuela”. Bol. Inst. Ocean. Univer. Oriente, vol. 5, p. 54-66. (1966).
- McKENZIE, K. G.—“The adaptation of a colorimeter for measuring silt-size particles— a rapid photo-extinction (PE) method”. Jour. Sed. Pet., vol. 33, p. 41-48. 1963.

- MILLER, J. B.—“Directrices tectónicas en la Sierra de Perijá y partes adyacentes de Venezuela y Colombia”. *Memorias Tercer Cong. Geol. Venez.*, Tomo 2, Bol. de Geol. Public. Espec. N° 3, p. 685-718. (1960).
- REDFIELD, A. C.—“The hydrography of the Gulf of Venezuela”. *Pap. in Marine Biology and Oceanography, Suppl.*, vol. 3 of Deep-Sea Research, p. 115-133. (1955).
- REDFIELD, A. C.—“Preludes to entrapment of organic matter in the sediments of Lake Maracaibo”. *in Weekks, L. G. ed. Habitat of Oil, A Symposium, Amer. Assoc. Petr. Geol., Tulsa.*, (1958).
- REDFIELD, A. C.—“The tidal system of Lake Maracaibo, Venezuela”. *Limnology and Oceanography*, vol. 6, p. 1-12. (1961).
- ROSE, H. E.—“The measurement of particle size in very fine powders”. *Constable and Company Ltd. London.* (1953).
- ROYO Y GOMEZ, J.—“Características paleontológicas y geológicas del yacimiento de vertebrados de Muao, Estado Falcón, con industria lítica humana”. *Memoria Tercer Cong. Geol. Venez.*, Tomo 2, Bol. de Geol. Public. Espec. N° 3, p. 501-505.
- VAN STRAATEN, L. M. J. U.—“Littoral and submarine morphology of the Rhone Delta, Coastal Geog.”. *Confer., Louisiana State University*, p. 233-264. (1959).
- WENTWORTH, C. K.—“A scale of grade and class terms for clastic sediments”. *Jour. Geol.*, vol. 30, p. 377-392. (1922).
- ZEIGLER, J. M. y PEREZ MENA, R.—“Distribución de sedimentos en el Golfo de Venezuela”. *Memoria Tercer Cong. Geol. Venez.*, Tomo 2, Bol. de Geol. Public. Espec. N° 3, p. 895-904. (1960).

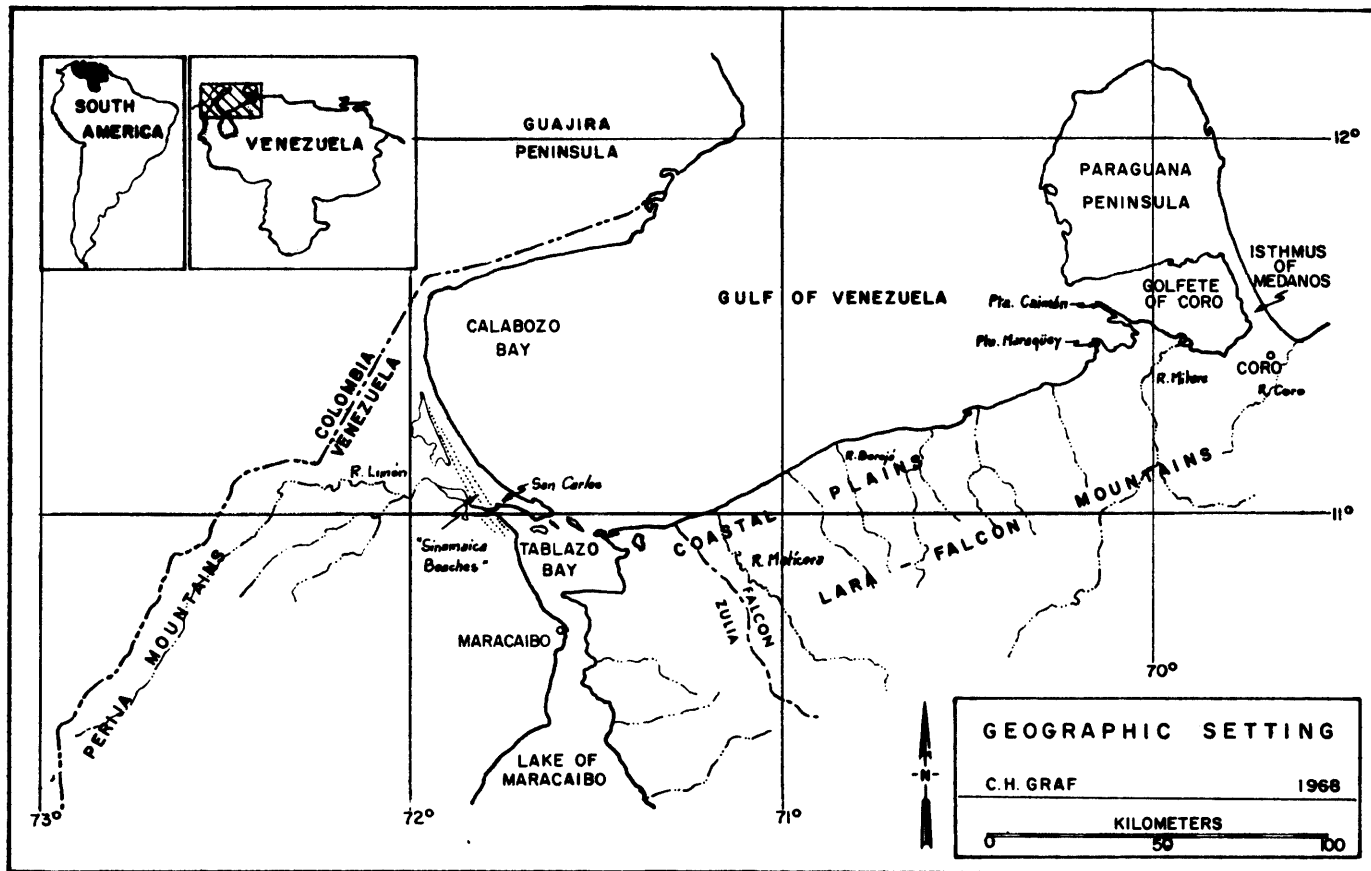


Fig. Nº 1

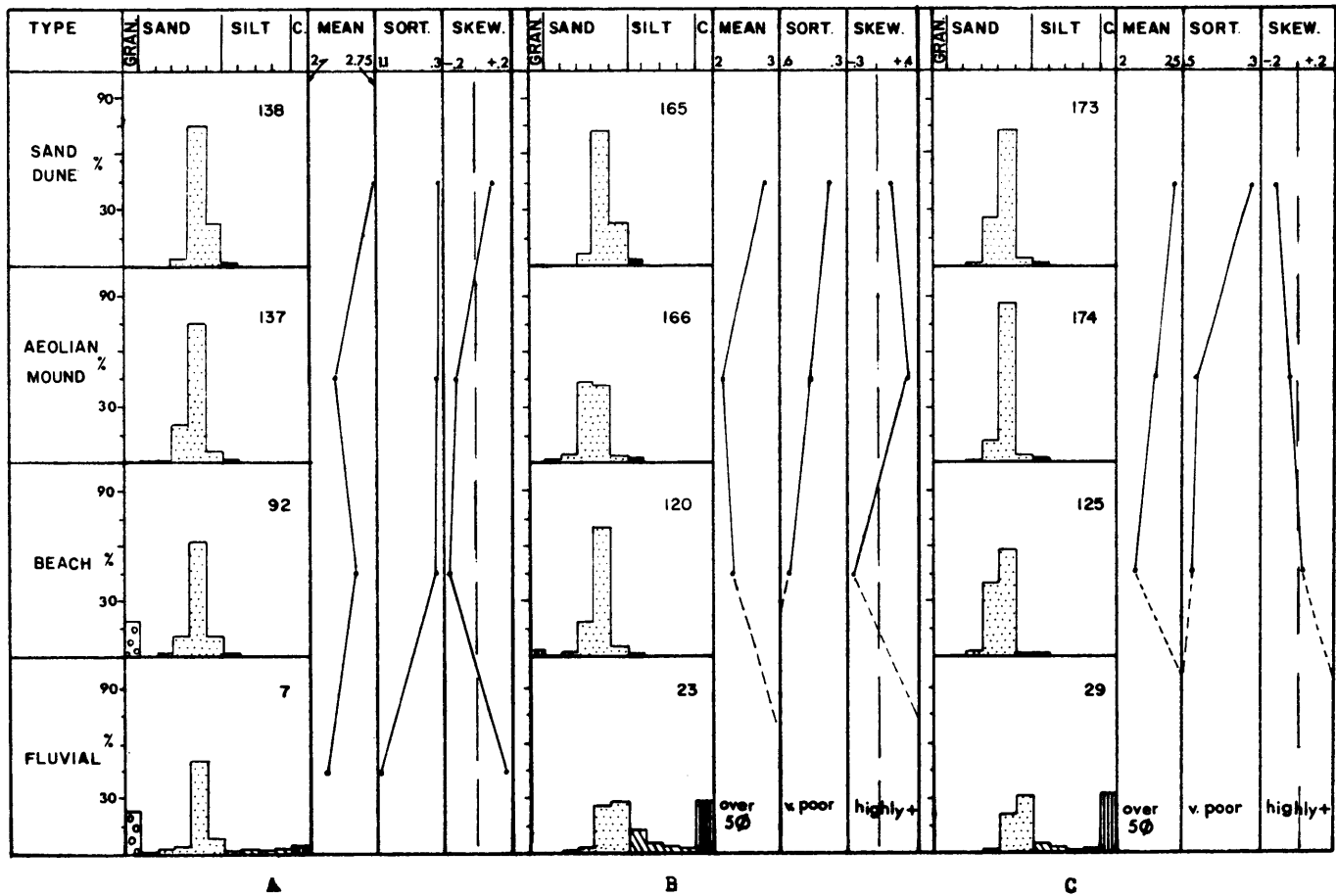


Fig. No 2

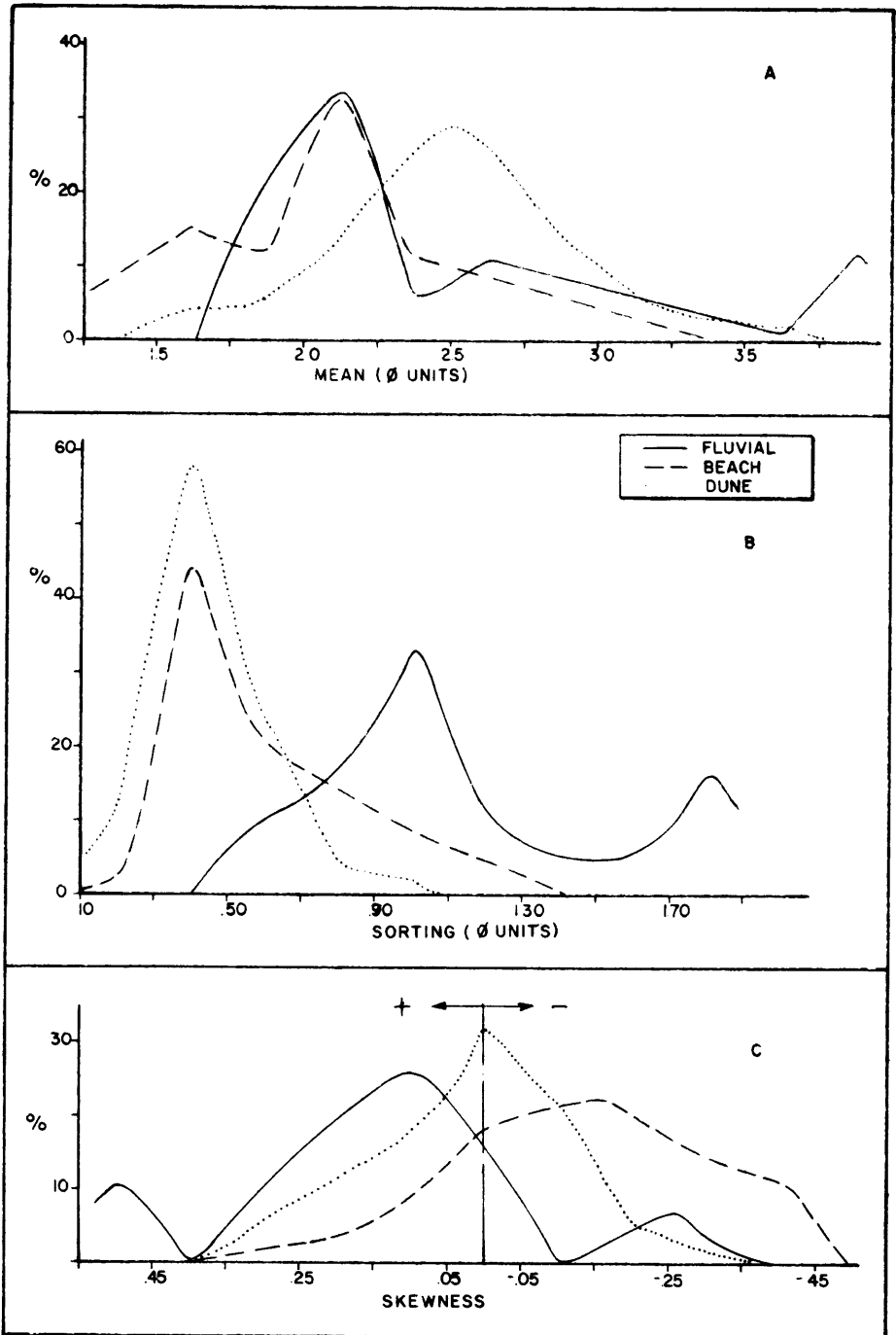


Fig. № 3

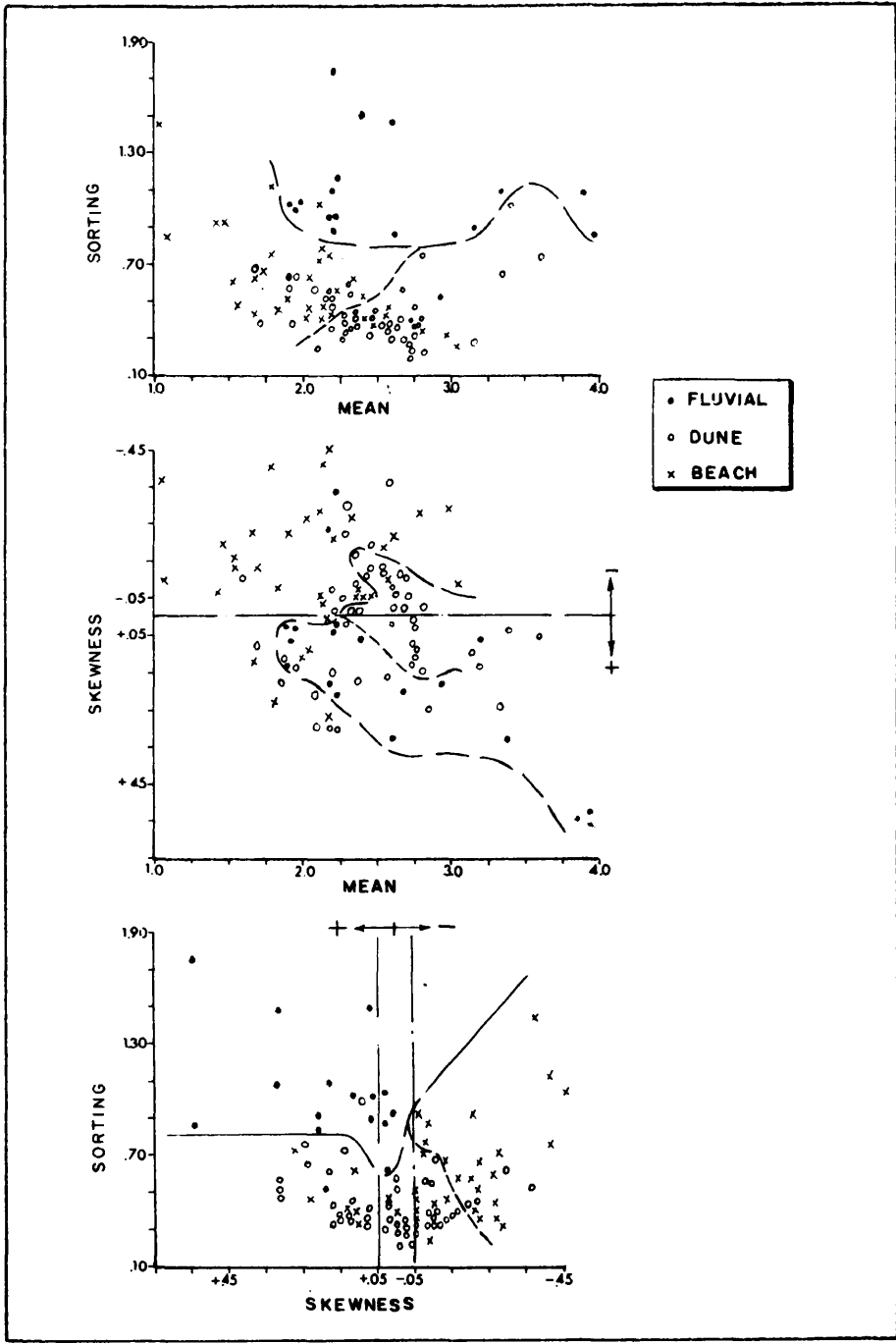


Fig. № 4