

MEMORIA

Sociedad de Ciencias Naturales La Salle
Tomo LI, número 135-136, Enero/diciembre 1991
Contribución N° 170, Estación de Investigaciones Marinas de Margarita
Fundación La Salle de Ciencias Naturales

EL ANALISIS VECTORIAL EN LA DETERMINACION DE ZONAS DE EROSION, TRANSPORTE Y SEDIMENTACION EN LAGUNAS COSTERAS ¹

M. Llano, P. I. Guevara y A. Acevedo

Estación de Investigaciones Marinas de Margarita
Fundación La Salle de Ciencias Naturales,
Apdo. 144, Porlamar, Venezuela.

Palabras Claves: Dinámica Sedimentaria. Erosión. Transporte. Sedimentación. Analisis Vectorial.

RESUMEN

En la granulometría, la media, es interpretada como Energía Cinética Media, (E.C.M.). Basados en el hecho que la disipa desde zonas de alta energía hacia zonas de baja energía, se puede considerar que la diferencia entre las E.C.M. de dos estaciones adyacentes, puede tomarse como indicativo del gradiente de disipación entre las dos estaciones, así como de su dirección. Esta metodología se aplicó en 58 muestras de 20 estaciones en la Laguna de Punta de Piedras, las cuales fueron procesadas por métodos tradicionales de granulometría. Después de calcular las E.C.M., se construyó el cuadro vectorial de cada estación y se calculó gráficamente el vector resultante. Estos se llevaron a un mapa de la zona de estudio y se encontró que el escalar representa eficazmente la intensidad de la disipación y la dirección señala la región más afectada por ella. Por último, se evidenció que resultantes mayores que 3 phi, descubren zonas de fuerte disipación y por ende alta sedimentación; resultantes menores a 3 phi, indican zonas de poca disipación energética, donde domina el transporte sedimentario, y por último, cuando estas últimas resultantes se orientan hacia tierra, señalan zonas donde la disipación se efectúa contra los flancos, generando erosión.

¹Trabajo presentado a la Conferencia Chapman sobre Procesos de Transporte Sedimentario en Estuarios. 13 al 17 de Julio de 1988, Bahía Blanca, Argentina.

Key Words: Sediment dynamics. Erosion. Transport. Sedimentacion. Vector analysis.

SUMMARY

Mean grain size is interpreted to be a measure of Mean Kinetic energy (MKE). Given that energy is dissipated from regions of high energy toward regions of low energy, adjacent stations of contrasting grain size are interpreted to record the direction and gradient of energy dissipation. This analytical procedure is applied to 58 samples from 20 stations in a lagoon at Punta de Piedras, Margarita island, Venezuela.

Grain size has been measured by conventional methods. Following estimation of the MKE from grain size, vectors of decreasing MKE have been plotted for each station. The resulting map illustrates vectorially the variation in kinetic energy throughout the lagoon.

Sedimentation is occurring wherever the vectorial resultant is greater than 3 phi whereas sediment transport characterizes areas with smaller vectors. Areas of erosion are characterized by small resultant vectors which point landward.

INTRODUCCION

En los estudios de granulometría, el análisis estadístico de las fracciones recogidas en la columna Tyler, permite obtener la media (Mz: tamaño medio del grano), de forma rápida, por medio de la fórmula propuesta por Folk y Ward (1957):

$$Mz \phi = \frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3}$$

Donde:

Mz ϕ = Valor de la Media en Unidades PHI

$\phi 16, \phi 50, \phi 84$ = Valor en PHI de los Percentiles 16,50 y 84 respectivamente

Con ella, se puede obtener una eficiencia en relación al método de los momentos del 88% (Corrales *et al.*, 1977) y los valores obtenidos se interpretan como el nivel estadístico de energía media en el ambiente sedimentario, siempre que estuvieran disponibles todos los tamaños de granos.

En términos energéticos se traduce como la Energía Cinética Media (E.C.M.), del ambiente sedimentario, de acuerdo con la siguiente tabla (Alvarez, 1983):

VALOR DE LA MEDIA EN σ	ENERGIA CINETICA MEDIA	INTERPRETACION
< 0	Muy alta	Partículas < 1 mm tienen dificultad para depositarse
De 0 a 2	Alta	Partículas <0,25 mm tienen dificultad para depositarse
De 2 a 4	Moderada	Partículas <0,063 mm tienen dificultad para depositarse
De 4 a 6	Baja	Partículas <0,0 15 mm tienen dificultad para depositarse
> 6	Muy baja	Las arcillas son muy abundantes

Halliday y Resnick (1974), afirman que un proceso natural que se inicia en un estado de equilibrio, y que termina en otro, se desplaza en la dirección en que se incrementa la entropía del sistema.

Alvarez (1987), basado en este concepto, emplea los valores de la ECM para obtener empíricamente las corrientes de fondo, a partir de la representación gráfica de las variaciones de la ECM entre las estaciones (Figs. 1a, b, c).

Al considerar que la energía se disipa desde zonas de alta concentración, hacia zonas de baja concentración, (dirección del movimiento), y que la diferencia entre ellas, es la magnitud correspondiente a esta disipación, quedó en evidencia que se tenían todos los elementos integrantes de un vector, a saber:

- Origen del vector: que corresponde al punto de aplicación y en este caso es la estación de muestreo.
- Dirección: determinada por la recta que contiene al vector (horizontal, vertical y oblicua). Consideradas horizontales en este caso.
- Sentido: indicado por la punta de la flecha, colocada en el extremo del segmento; en este caso va desde estaciones con ECM altas hacia estaciones con ECM bajas.
- La magnitud o módulo: que es el escalar que representa una cantidad.

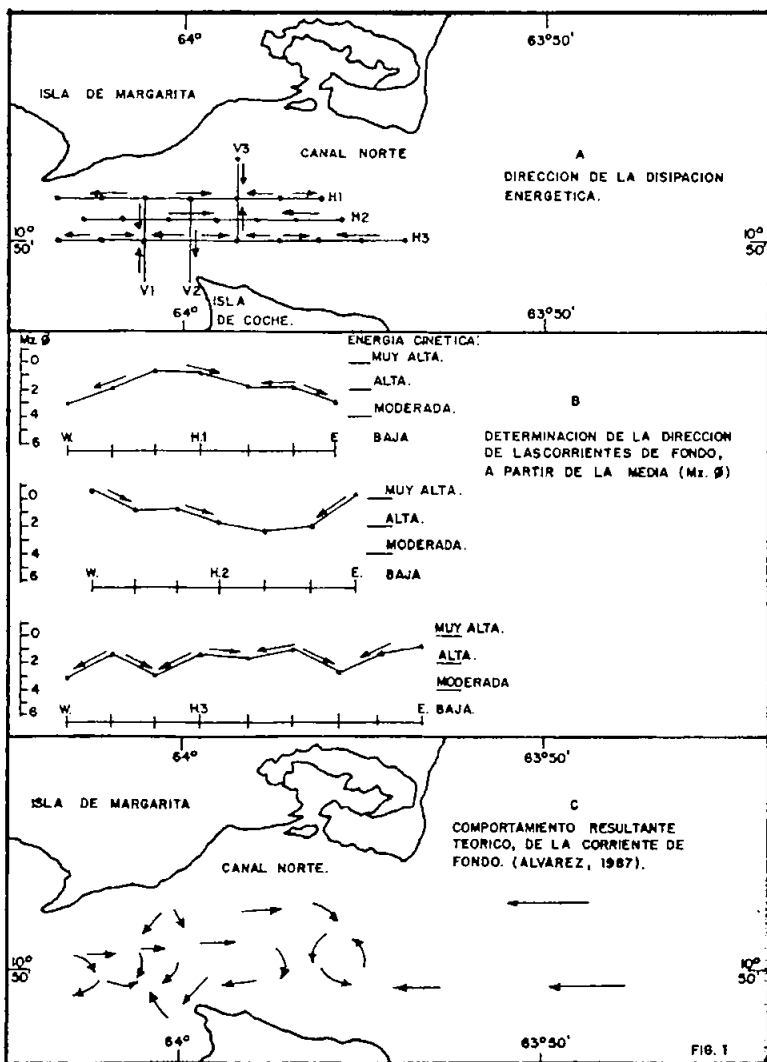


Figura 1

Deducción de la dirección de las corrientes de fondo, a partir del tamaño medio de los granos. (Modificado de Alvarez, 1987).

Para este caso representa la disipación energética ocurrida entre dos estaciones adyacentes (gradiente), y esta dado en Unidades PHI.

Al realizar un análisis vectorial en el que se sumaron todos los vectores actuantes sobre cada estación, se encontró que las resultantes vectoriales obtenidas permiten evidenciar y diferenciar de forma fácil zonas de erosión, transporte de sedimentos y zonas de depositación. Este trabajo presenta la metodología empleada, así como su aplicación en sedimentos recientes y una breve disertación sobre su aplicabilidad en sedimentos antiguos y rocas sedimentarias.

MATERIALES Y METODOS

Los resultados granulométricos empleados para la realización de este trabajo, provienen del estudio sedimentológico de la Laguna de Punta de Piedras (Llano, 1987), y corregidos por la metodología de substracción de los bioclastos autóctonos, para una mejor aproximación de la interpretación del ambiente físico reinante en las zonas de muestreo (Llano *et al.* 1988) (Tabla 1).

Tabla 1
Laguna de Punta de Piedras. Texturas de los sedimentos.

# Est.	Promedio en %			Clasificación Shepard	Mz ø Media
	Gravas	Arenas	Fangos		
1	0,0	72,82	27,18	Arena-Fangosa	4,18
2	0,0	64,26	35,73	Arena-Fangosa	3,66
3	33,11	57,73	11,38	Arena-Gravosa	0,39
4	23,45	67,40	7,64	Arena-Gravosa	0,41
5	9,82	53,43	36,37	Arena-Fangosa	3,18
6	34,73	52,62	13,31	Arena-Gravosa	0,5
7	15,88	69,50	15,10	Arena-Gravosa	1,05
8	33,53	57,95	8,52	Arena-Gravosa	0,1
9	16,13	64,86	19,66	Arena-Fangosa	1,77
10	17,79	64,93	17,16	Arena-Gravosa	1,51
11	0,02	66,57	33,39	Arena-Fangosa	4,29
12	0,0	51,72	48,27	Arena-Fangosa	4,67
13	0,0	40,81	59,19	Fango-Arenoso	4,66
14	0,77	40,09	59,12	Fango-Arenoso	5,07
15	0,34	32,22	67,42	Fango-Arenoso	5,54
16	0,64	25,25	74,10	Fango-Arenoso	5,30
17	1,14	39,22	59,62	Fango-Arenoso	4,83
18	0,0	47,64	52,35	Fango-Arenoso	4,53
19	0,87	30,42	68,68	Fango-Arenoso	5,29
20	0,54	16,99	82,45	Fango	5,51

La media ($Mz\phi$), fue calculada según la fórmula propuesta por Folk y Ward (1957), a partir de percentiles obtenidos matemáticamente por interpolación desde los intervalos en la distribución de frecuencias acumuladas, por el método del cómputo directo (Haber y Runyon, 1973). Se empleó este método porque elimina las inexactitudes subjetivas características del método gráfico, sin embargo, los resultados obtenidos son muy similares entre sí.

A partir de estos valores de la media, interpretados como ECM se determina el sentido de la corriente, desarrollando una figura que presenta los valores de la media en las ordenadas (en forma decreciente), mientras que en las abscisas se presentan todas las combinaciones posibles de pares de estaciones cercanas. El sentido de cada vector entre dos estaciones se grafica en forma descendente, pudiéndose visualizar de esta forma el concepto de disipación de la energía desde zonas de alta concentración hacia zonas de baja concentración. Posteriormente, se calcula la magnitud de la disipación energética restando los valores de las medias correspondientes a cada par de estaciones y su valor en unidades phi, se escribe sobre el vector (Fig: 2).

Se realizó un "Cuadro vectorial" con los vectores establecidos para cada estación, en combinación con las estaciones circundantes (Fig. 3), a partir de los cuales se calculó el "Vector Resultante", aplicando la propiedad fundamental de los vectores y empleando la regla del polígono para realizar la suma (tabla 2). La magnitud en unidades phi del vector resultante se determina gráficamente.

Por último, se trasladaron los vectores resultantes sobre cada estación, en un mapa de la zona de estudio (Fig. 4).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los cuadros vectoriales de cada estación, fueron realizados empleando todos los valores de ECM correspondientes a las estaciones vecinas más próximas, se ha considerado que mientras más estaciones se tenga, más completa será la información que nos da la resultante vectorial, pero por otra parte, no se sabe hasta que distancia se puede considerar que los valores obtenidos en una estación afecten a otra. Sin embargo, basados en la teoría del muestreo, se ha aceptado que unas pocas estaciones alrededor de la estación central, pueden dar una idea razonable de la resultante general en una zona, sin necesidad de aumentar considerablemente el esfuerzo. Esta es la razón por la cual en la estación 15 tomada como ejemplo, sólo se tuvieron en cuenta las estaciones 11, 12, 14, 16, 17 y 18.

También se encontró que generalmente mientras más alejadas las estaciones, más grande es la magnitud del vector resultante, lo que concuerda con lo esperado, ya que en una mayor distancia recorrida por una corriente

mayor será su disipación energética. Como lo que se desea observar es la disipación energética entre los lugares muestreados, entonces la metodología más adecuada es la de considerar solamente las estaciones vecinas más próximas.

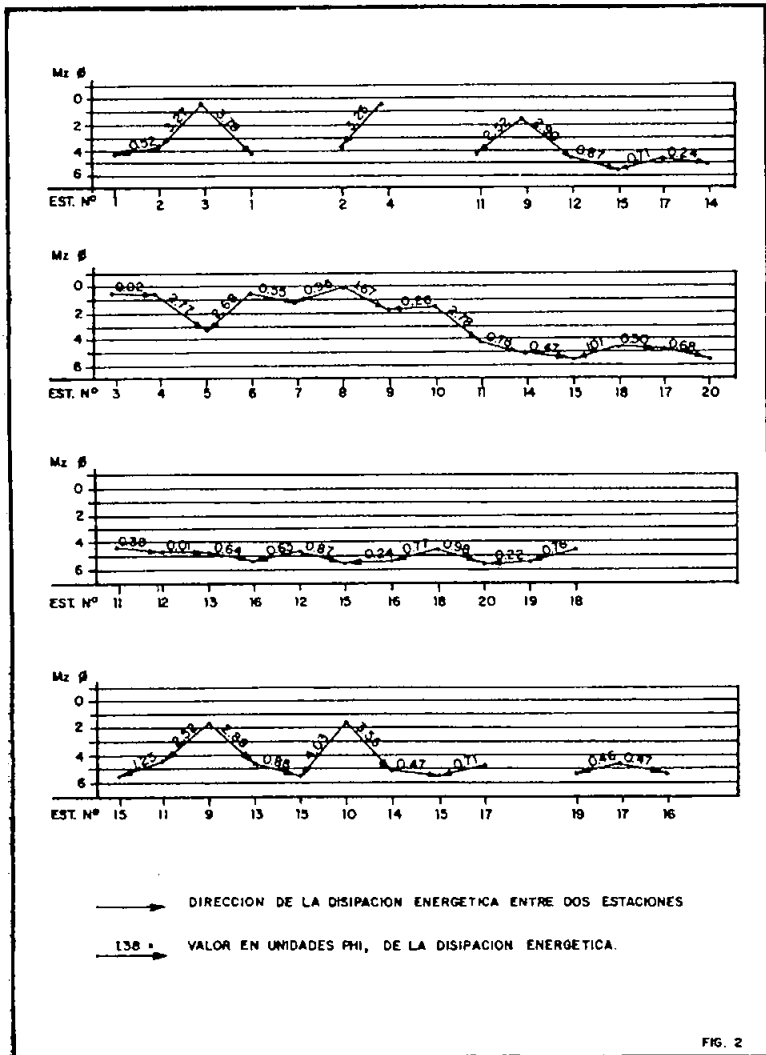


FIG. 2

Figura 2

Dirección y magnitud de la disipación energética, para las estaciones de la laguna de Punta de Piedras.

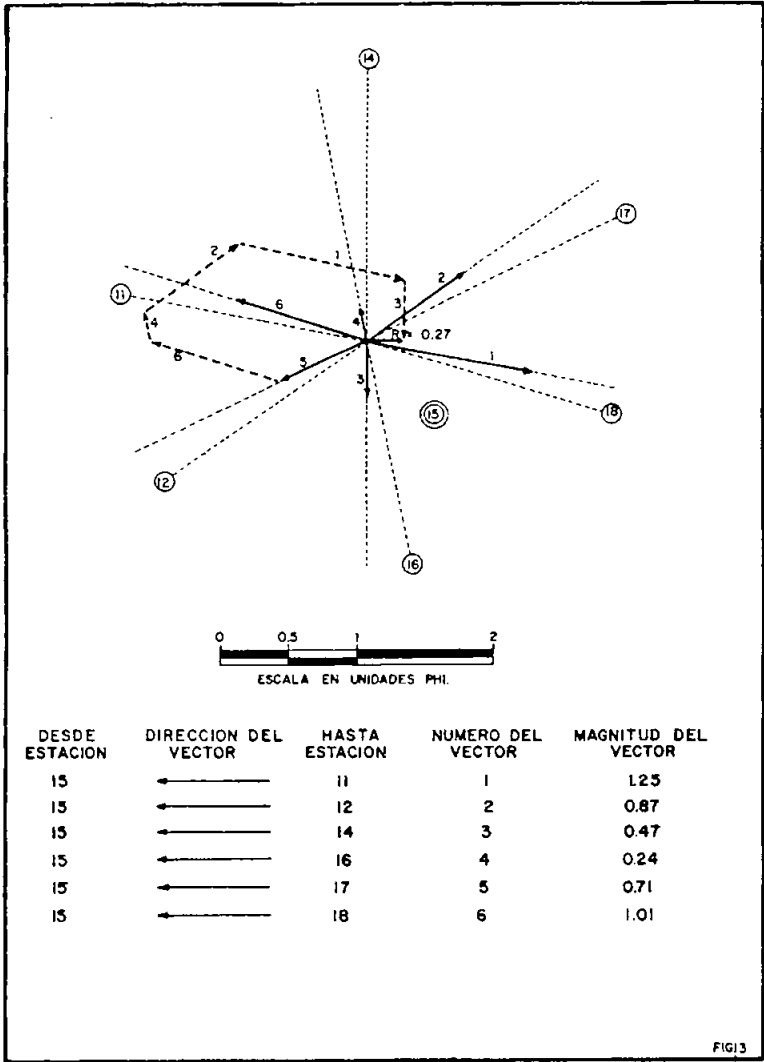


Figura 3
Resultante vectorial para la estación N° 5.

Tabla 2
Resultantes Vectoriales.

Estación	Magnitud (\emptyset)	Estación	Magnitud (\emptyset)
1	4,1	11	4,4
2	3,4	12	3,9
3	6,6	13	3,1
4	1,9	14	4,0
5	1,71	15	0,27
6	2,2	16	0,53
7	0,44	17	0,52
8	1,0	18	0,77
9	6,4	19	1,01
10	4,7	20	1,56

La figura 4 presenta las resultantes vectoriales para las veinte estaciones de muestreo en la laguna costera de Punta de Piedras, en ella se puede observar que en determinadas áreas, las resultantes presentan cierta orientación preferencial y a su vez una magnitud dentro de un rango determinado. Las estaciones 1, 2 y 3 de la boca de la laguna, tienen una magnitud superior a 3 unidades phi de disipación y presentan una orientación Noreste-Suroeste, y se interpreta como una zona de alta disipación energética y por lo tanto alta depositación de sedimentos, lo que concuerda con los resultados granulométricos encontrados por Llano (1987).

De forma similar, las estaciones del cuerpo principal, desde la 9 hasta la número 15, también presentan una magnitud superior a 3 unidades phi de disipación, y presentan una dirección general desde el Oeste hacia el Este, poniendo en evidencia la fuerte disipación energética de la corriente que entra por el canal de acceso y que al salir al cuerpo principal, de mayores dimensiones superficiales, se frena (Llano, 1987), descargando gran parte del material de carga que transportaba en el canal.

En la zona del canal, estudiado con las estaciones 4 a 8, no se observa una dirección general en las resultantes obtenidas, pero tienen la característica común de tener una magnitud inferior a 2,2 unidades phi de disipación, lo cual corresponde a una débil disipación, lo que a su vez se puede traducir en un ambiente de alta energía cinética (Llano, 1987) donde predomina el transporte de sedimentos.

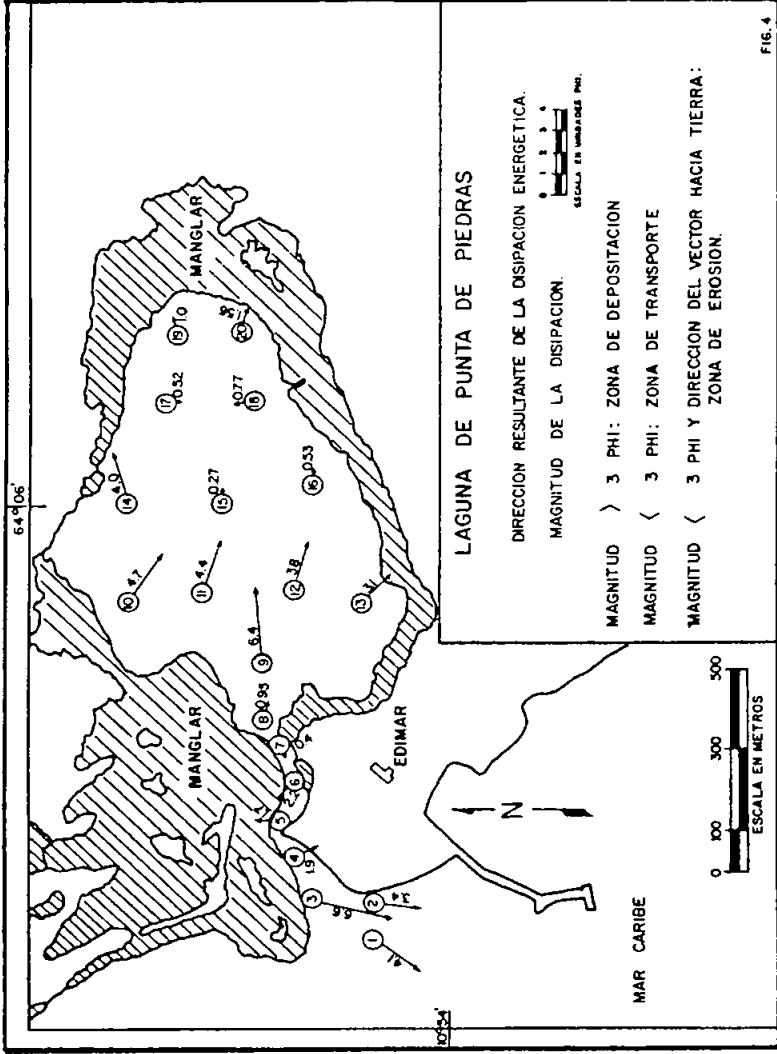


FIG. 4

Resultantes vectoriales en la laguna de Punta de Piedras.

Al analizar detalladamente las resultantes del canal de acceso, se observó que las estaciones 4, 5, y 6 presentan resultantes vectoriales con magnitudes inferiores a 2,2 phi, pero superiores a 1,71 phi, a diferencia de las estaciones 7 y 8 que presentan resultantes vectoriales con magnitudes inferiores a 0,95 Phi. Además, se observó que las resultantes se orientan hacia los lados del canal de acceso y no en alguno de los sentidos del eje del canal. Este hecho, nos llevó a pensar que a pesar que el canal es una zona neta de transporte, en las estaciones 4, 5, y 6 se presenta una pequeña disipación energética de la corriente que se debe estar llevando a cabo contra los bordes del canal, evidenciando procesos locales de erosión. Lo anterior puede ser confirmado para la estación 4, con la comparación de mapas de la línea de costa de esta zona, correspondientes a los años 1980 y 1987, en los cuales se observa un retroceso de la línea de costa de aproximadamente 14 metros en los 7 años de diferencia entre los dos mapas (Fig 5). En la estación 5, el proceso erosivo que se está llevando a cabo, está claramente evidenciado por el cambio de dirección del canal de acceso, que obliga a la corriente entrante o saliente, a chocar contra el flanco norte del canal para cambiar de rumbo.

Para la estación 6, a pesar de poder inferir lo mismo que para el caso anterior, la resultante vectorial no se dirige hacia tierra, lo cual hace que la misma explicación no sea suficiente. Se considera que para la interpretación de la estación 6 se requiere de una cantidad mayor de datos y una mejor comprensión de esta metodología.

Las estaciones 16 a 20, correspondientes a la parte más interna del cuerpo principal de la laguna, se caracterizan por presentar resultantes vectoriales de magnitudes de disipación pequeñas, comprendidas entre 0,5 y 1,6 Phi, lo que las hace similares a las resultantes de las estaciones del canal de acceso, lo cual se podría explicar entonces como una zona de transporte de sedimentos, sin embargo, esta región corresponde a la zona de la laguna que presenta la más baja ECM. La diferencia, entre éstas, radica en que el canal con alta energía transporta gran cantidad de material que se deposita inmediatamente éste llega a la laguna (estaciones 9 a 15), mientras que en las estaciones 16 a 20, ya la corriente no transporta gran cantidad de material, pero en esta región de todas maneras hay cierta circulación que es evidenciada por la magnitud de disipación de las resultantes vectoriales, y donde se considera que de todas maneras debe haber cierta depositación de material muy fino (limos y arcillas). Lo anterior es confirmado por los resultados de la textura granulométrica encontrados para esta región (Llano, 1987).

Alvarez (1987), empleando solamente la dirección de disipación de la energía entre unas estaciones y otras, y sin emplear el análisis vectorial para la determinación de las resultantes, estima que la dirección de la disipación permite determinar la dirección de las corrientes de fondo.

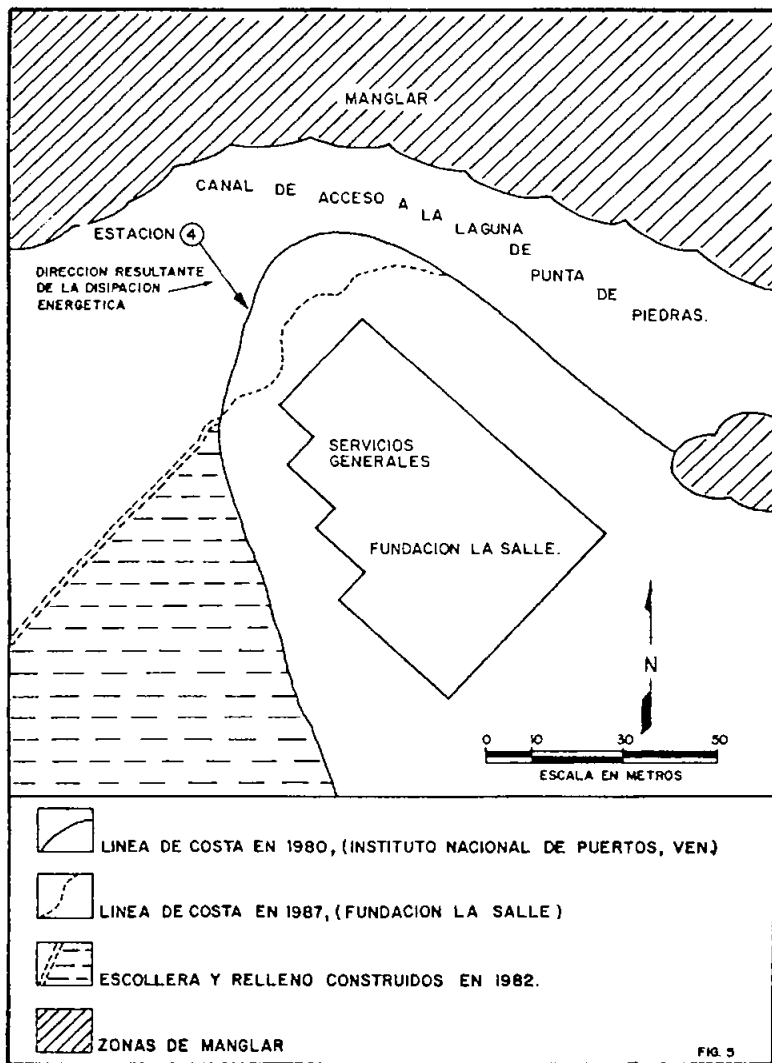


Figura 5

Zona de erosión, evidenciada por el método del análisis vectorial, en el canal de acceso de la Laguna de Punta de Piedras.

La aplicación del análisis vectorial como metodología para determinar en sentido de la disipación, así como su magnitud, permite entonces, no sólo estimar de forma más precisa la dirección general en una zona determinada, sino que también permite tener una idea cuantitativa de la magnitud de la corriente, dada en términos de disipación energética en unidades Phi. De esta forma, se podrá establecer estos mismos parámetros en sedimentos antiguos, permitiendo elaborar un cuadro más completo de la paleogeografía y en general de la paleoecología regional. Para estos propósitos se necesitará de juegos de núcleos de sedimentos, colectados relativamente cerca, unos de otros y de una buena datación cronológica para estar seguros de emplear los sedimentos correspondientes a la misma edad.

CONCLUSIONES

La interpretación de los valores de la Media ($Mz \bar{\emptyset}$) obtenidos por la fórmula propuesta por Folk y Ward (1957), en unidades Phi, empleando el análisis vectorial, permite establecer de forma rápida la dirección general de las corrientes de fondo y la magnitud de la disipación energética que esta sufre entre dos estaciones determinadas.

La elaboración de cuadros vectoriales, para un grupo de estaciones vecinas, permite calcular la resultante vectorial que es interpretada como la dirección general en la cual se disipa la corriente en el área muestreada y la magnitud de esta resultante se puede utilizar para visualizar el fenómeno sedimentológico que esta ocurriendo en la región en cuestión.

Resultantes vectoriales de magnitud superior a 3 unidades Phi. reflejan zonas de fuerte disipación energética y por ende alta depositación de material sedimentable. Resultantes inferiores a 3 unidades Phi. indican zonas donde predomina el transporte de sedimentos, dentro de las cuales se pueden distinguir zonas de alta energía cinética media que, obviamente transportará mezclas de material grueso y fino, y zonas de baja energía cinética media, que transportará solamente material fino y muy fino (limos y arcillas).

Por último, cuando el sentido de resultantes vectoriales de magnitud inferior a 3 unidades Phi se dirige hacia tierra firme, puede ser considerado como indicador de procesos erosivos en las zonas indicadas por estas resultantes.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez, R.

1983 Geomorfología, geología histórica y sedimentología de la zona suroccidental de la Plataforma Margarita-Los Testigos. Estudios de Factibilidad del Enlace Vial Margarita-Coche-Tierra Firme. FLASA, Punta de Piedras, 47 p. (Informe técnico, no publicado).

1987 Dinámica sedimentaria en los canales marinos entre la Isla de Margarita, Coche y Península de Araya (Venezuela). *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 47 (127-128): 77-104.

Corrales Z. I., J. Rosell, L. Sánchez, J.A. Vera, L. Vila.

1977 *Estratigrafía*. Editorial Rueda, Madrid. 718 p.

Folk, R.L., W. C. Ward.

1957 Brazos River Bar: a study in the significance of grain-size parameters J. *Sediment. Petrol.*, 27: 3-26.

Haber A., R. P. Runyon.

1973 *Estadística General*. Fondo Educativo Interamericano, S.A., México. 371 p.

Halliday D., R. Resnick.

1974 *Fundamentals of Physics*. Revised printing. John Wiley and Sons, Inc. New York. 827 p.

Llano, M.

1987 Dinámica sedimentaria de la Laguna de Punta de Piedras. I: Epoca de mareas mínimas. *Mem. Soc. Cien. Nat. La Salle*, 47 (127-128): 37-76.

Llano, M., P.I. Guevara, A. Acevedo.

1988 Efectos causados por los factores biológicos en la interpretación de los ambientes sedimentarios. I: lagunas costeras. Fundación la Salle de Ciencias Naturales. Congreso Iberoamericano y del Caribe. Boletín de Resúmenes. N°: 058.