

Batimetría, sedimentos y ambientes de depósito en la laguna costera de Guásimas Sonora, México

Saúl Chávez López*
Alejandro D. Álvarez Arellano**

Recibido: 12 de enero de 2005
Aceptado en versión final: 3 de marzo de 2006

Resumen. Guásimas se localiza en la planicie costera del estado de Sonora. En este cuerpo lagunar se determinó su batimetría, distribución de facies sedimentarias y ambientes de depósito. Para ello se emplearon técnicas convencionales ampliamente reconocidas de campo, laboratorio y gabinete. Se identificaron tres zonas relacionadas con la profundidad y distribución de facies sedimentarias: los tamaños de arena gruesa moderadamente seleccionada se encuentran en la entrada donde la profundidad va de 0.5 a 10 m, cambiando a arena muy fina mal seleccionada hacia el norte (Estero Bachoco), donde la profundidad va de 0.5 a 3 m, y a limo muy mal seleccionado hacia el sur (Estero Mapoli) con 0.5 a 1 m de profundidad. Este arreglo es típico de laguna costera y se encuentra asociado a las corrientes de agua dentro del ambiente lagunar, el cual se interpretó empleando parámetro de asimetría ($SK\phi$), como ambientes de depósito de alta, media y baja energía, consistentes con la batimetría y geomorfología. Aun cuando no fue posible identificar claramente la huella de depósito generada por los agentes y mecanismos de transporte, se logró reconocer la gradación de un ambiente a otro y las características texturales de las diferentes facies sedimentarias.

Palabras clave: Laguna, batimetría, sedimentos, ambientes de depósito.

Batimetry, sediments and depositional environments in Guásimas lagoon, Sonora, Mexico

Abstract. Guásimas, is located on the coastal plain of Sonora State. Its bathymetry, sedimentary facies distribution and depositional environments were determined. Conventional widely recognized field, laboratory and studio techniques were used to process the samples. Three areas related with the depth and distribution of sedimentary facies were identified: the sizes of thick sand moderately selected they are in the entrance where the depth goes from 0.5 to 10 m, changing to very fine sand poorly selected toward the north (Estero Bachoco), where the depth is from 0.5 to 3 m, and to half silt very bad selected toward the south (Estero Mapoli) with 0.5 to 1 m of depth. This arrangement is typical of coastal lagoon and it is associated to the currents of water inside the lagoon environment, which was interpreted using the parameter of skewness ($SK\phi$), like depositional environments of high, medium and low energy, coherent with the bathymetry and geomorphology. Even though it was not possible to identify

*Programa de Planeación Ambiental y Conservación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C., Mar Bermejo 195, Playa Palo Santa Rita, 23090 La Paz, B. C. S., México. E-mail: schavez04@cibnor.mx

**Cuerpo Académico de Geología Ambiental y Desarrollo de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur km 5.5, 23080 La Paz B.C.S., México.

depositional signals generated by agents and mechanisms of transport clearly, but we could recognize the gradation from one environment to another and the textural characteristics of the different sedimentary facies.

Key words: Lagoon, bathymetry, sediments, depositional environments.

INTRODUCCIÓN

El propósito del trabajo fue interpretar aspectos de transporte y ambientes de depósito sedimentario a partir de los mapas batimétrico y de distribución de los parámetros texturales de los sedimentos del ambiente lagunar de Guásimas (Pérez y Chee, 1984; McLaren and Bowles, 1985; Paola Chris, 2000; Bhattacharya and Giosan, 2003). Chester (1970) menciona que si la tasa de suministro de sedimentos es baja y uniforme y las condiciones de energía son relativamente constantes, una buena huella de los ambientes de depósito se puede encontrar en los sedimentos. En contraste, si el suministro de sedimento y las condiciones de energía fluctúan ampliamente, los depósitos resultantes mostrarán un amplio y confuso rango estadístico de tamaño (poligénico). Sin embargo, el carácter poligénico en los depósitos lagunares puede atribuirse a diferentes factores como las fluctuaciones del nivel del mar, que también han cambiado y retrabajado los sedimentos costeros. Otro aspecto importante a considerar, es que las lagunas costeras, pese a su barrera de protección, no son completamente ambientes de baja energía, ya que por lo general están sujetas a la acción de fuertes corrientes en sus entradas y canales de marea. De aquí que dependiendo de las características morfológicas, batimétricas, material sedimentario y los agentes dinámicos, se generarán respuestas diferenciadas en la distribución del sedimento y por tanto en cambios batimétricos y morfológicos.

En la literatura científica, referente a los aspectos físicos del ambiente lagunar estudiado, se encuentran los trabajos publicados por Villalba *et al.* (1989, 1990) en los que se aborda la comparación geoquímica y la variación espacio temporal de los sedimentos

en tres ambientes lagunares (Guásimas, Algodones y Lobos). La escasa información y el creciente interés por parte de la comunidad local de incorporar a la laguna de Guásimas a la actividad acuícola del estado de Sonora, así como la actual política de Desarrollo Sustentable, hacen de la información batimétrica (primer antecedente) y la distribución de sedimentos aquí presentada, una contribución importante al conocimiento de la componente física. La caracterización del sustrato sedimentario permite inferir los procesos y el nivel de energía para el transporte y depósito de sedimentos. Esto a su vez es una componente de las variables que condicionan la distribución del sistema biótico y las modificaciones que puedan producirse en éste.

ÁREA EN ESTUDIO

La laguna de Guásimas se localiza en la planicie costera del estado de Sonora entre los $27^{\circ} 49'$ - $27^{\circ} 55'$ latitud norte y $110^{\circ} 29'$ - $110^{\circ} 40'$ longitud oeste. El cuerpo lagunar tiene un área de 51 km^2 y está limitado por dos barreras arenosas, una al norte y otra al sur. Dichas barreras dan forma a la entrada lagunar de 3.25 km de ancho, a través de la cual se mantiene comunicación permanente entre las aguas de la laguna y las del Golfo de California (Figura 1).

La región presenta un clima desértico, predominan los depósitos aluviales, eólicos, litorales, palustres y lacustres. El relieve costero sólo se interrumpe por la presencia de cerros isla (*inselbers*) formados por rocas volcánicas que varían en composición de andesita a riolita y basalto del Terciario (SPP, 1981).

Los aspectos climáticos y geológicos de la región se reflejan en una incipiente red de corrientes superficiales intermitentes, y en el predominio de suelos tipo regosoles y fluvi-

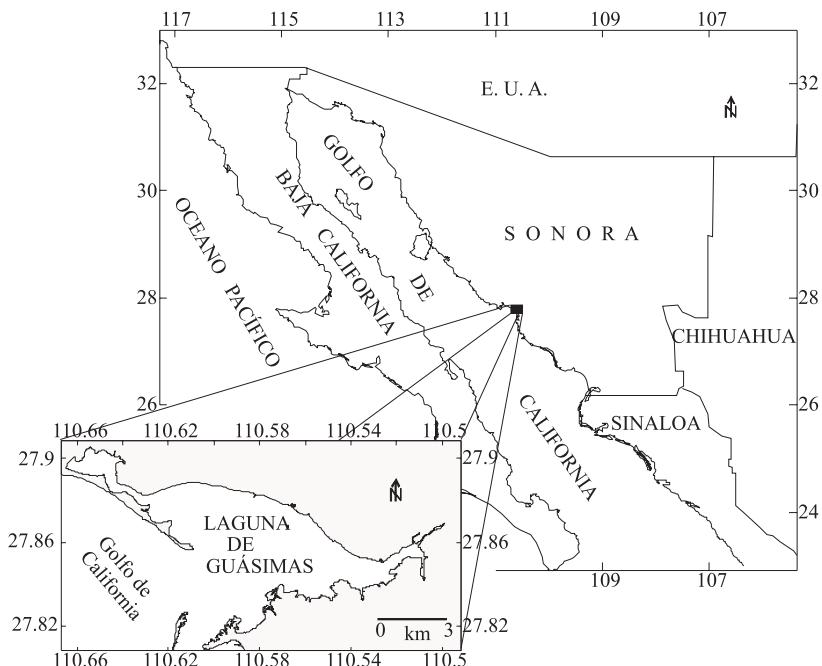


Figura 1. Ubicación del área en estudio.

soles en sus variedades éutrico y calcárico, y hacia la franja costera suelos tipo solonchak, que presentan fases sódico-salinas (SPP, 1983). La cobertura vegetal es poca, llegando en algunas zonas a ser nula, se compone básicamente por matorral desértico micrófilo y espinoso. Hacia la zona limítrofe del ambiente lagunar se presenta mangle de escasa abundancia y altura, como el *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Avicennia germinans* (mangle blanco; INEGI, 1993). Estos aspectos condicionan en buena medida a la comunidad del poblado de Guásimas a basar su actividad económica en el uso y explotación de los recursos pesqueros del ambiente lagunar, ya que la capacidad de uso del suelo en agricultura y/o ganadería del área aledaña a la laguna es muy reducida.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de campo se realizó en tres campañas (30 - 31 de enero, 13 - 14 de febrero, 16 - 17

de abril de 1999), a bordo de una lancha de 22 pies de eslora con motor fuera de borda. Se colectaron 37 muestras de sedimentos superficiales con draga portátil Van Veen, y se registraron 7 384 datos de profundidad empleando ecosonda (Furuno) y estadal. En cada campaña se ubicó dentro de la laguna un estadal (punto fijo referido al muelle de Guásimas como banco de nivel), con la finalidad de hacer lecturas cada cinco minutos del nivel del mar y construir la curva de marea. La ubicación geográfica de todo el trabajo de campo se realizó empleando un posicionador global (GPS Corvallis Mic).

En laboratorio, el análisis granulométrico de las muestras de sedimentos se efectuó a intervalos de medio phi (ϕ), utilizando las técnicas de tamizado y pipeteo descritas en Lewis (1984). En gabinete, con los resultados del análisis granulométrico, se obtuvo la clasificación, nomenclatura y parámetros estadísticos (tamaño promedio, desviación estándar, sesgo y curtosis), empleando el diagrama

ternario de FolK (1974), y el método de los momentos propuesto por Krumbein y Pettijohn (1938), descrito en Fredman y Sanders (1978).

Se corrigieron por marea los datos de profundidad según la fecha y hora en que se registraron, utilizando para ello las curvas de marea de la laguna, construidas a partir de las lecturas del nivel del mar en su respectivo punto fijo, y teniendo como referencia las curvas de mareas del calendario gráfico del Puerto de Guaymas (UNAM, 1999) para, de esta manera, referir los datos de profundidad al nivel de bajamar medio inferior.

Con los datos corregidos de profundidad y los parámetros estadísticos de los sedimentos y su ubicación geográfica, se elaboraron los mapas batimétrico, de distribución textural (tamaño promedio \bar{X}_ϕ), de grado de selección (desviación estándar S_ϕ) y de asimetría (sesgo SK_ϕ), empleando el programa para PC SURFER 6.04 de Golden Sofware, Inc.

RESULTADOS

Batimetria

Los resultados del trabajo batimétrico se resumen en la Figura 2, donde las isobatas denotan un ambiente lagunar somero, con una profundidad promedio de 1.0 m y máxima de 10 m. La laguna mantiene comunicación permanente con el Golfo de California mediante dos canales de marea, localizados hacia el flanco norte y sur de la boca, su distribución en el interior lagunar no está bien definido, ya que la profundidad a lo largo de los canales es variable oscilando entre los 0.50 y 2 m. Las máximas profundidades en los canales se manifiesta como depresiones aisladas, debido a la presencia de bajos arenosos que interrumpen su continuidad. Hacia la porción sur de la laguna entre el poblado de Guásimas y el Estero Mapoli las zonas de bajos son comu-

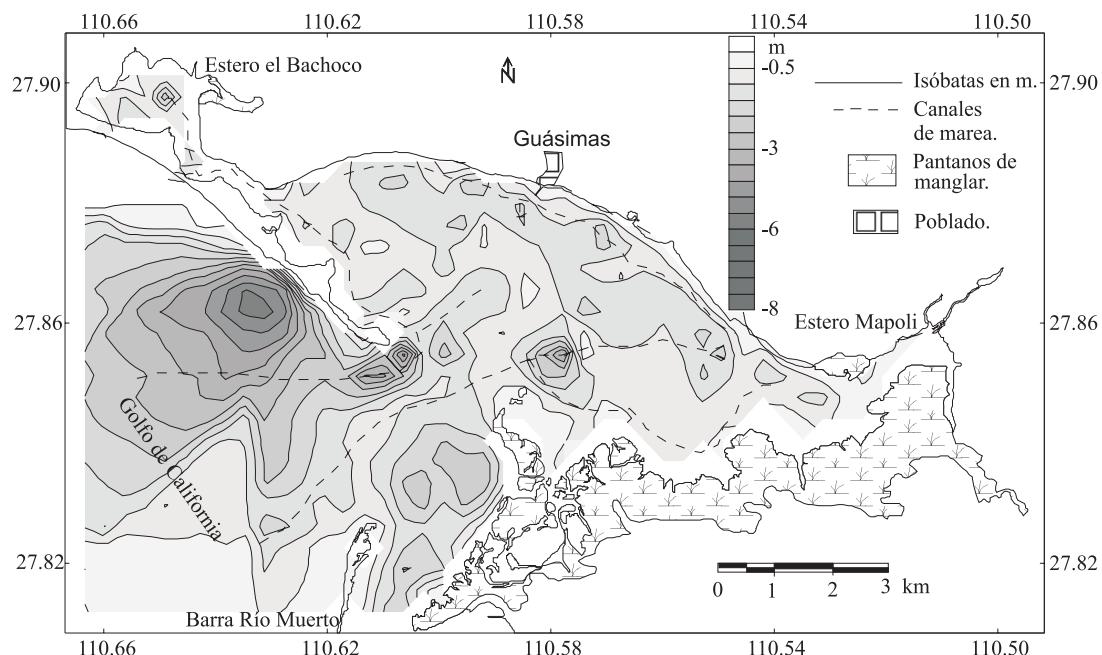


Figura 2. Batimetria del área lagunar de Guásimas, referida al nivel de bajamar medio inferior.

nes, consecuentemente esta zona es más somera que el resto del ambiente lagunar y presenta un mayor desarrollo de los pantanos de manglar. Esta zona con marea alta, apenas alcanza los 0.50 m de profundidad, por lo que durante los periodos de bajamar queda expuesto el fondo sedimentario, efecto que durante la bajamar de mareas vivas se observa aún más marcado al quedar al descubierto gran parte del fondo de la laguna. Estas características impiden la libre navegación y ponen de manifiesto un alto grado de asolamiento.

Con el propósito de complementar la batimetría y delinear los canales de marea se recurrió a la comunicación con los pescadores del lugar y a la verificación en fotografías aéreas escala 1: 70 000 (INEGI, 1973). Con esta información se determinó que el canal norte tiene una trayectoria paralela a la barrera arenosa hasta llegar a la parte central del Estero Bachoco localizado en el extremo norte de la laguna. El canal sur al ingresar a la laguna se bifurca en dos canales, los cuales siguen una dirección más o menos paralela hacia la zona del Estero Mapoli. Un tercer canal se localiza en el interior de la laguna, y tiene una traza paralela a la costa del pueblo de Guásimas con dirección NW-SE, y pierde comunicación tanto con el canal norte como con el sur por la presencia de zonas de bajos (Figura 2).

De acuerdo con la distribución de las isobatas se pueden apreciar tres zonas; la porción central de la laguna con profundidades de 0.5 a 10.0 m, la porción norte (hacia el Estero Bachoco) de 0.5 a 3.0 m y la porción sur (hacia el Estero Mapoli) de 0.5 a 1.0 m de profundidad.

Sedimentos

Los resultados del análisis granulométrico se resumen en la Tabla 1 y en el diagrama ternario de Folk (1974; Figura 3). De acuerdo con estos resultados se identifican dos grupos de sedimentos. El Grupo I corresponde a

partículas del tamaño de arena y el Grupo II a partículas del tamaño de limo y arcilla. Ambos grupos se dividen a su vez en dos subgrupos, el primero Ia son sedimentos tipo arena y el Ib son arena-limoso. El grupo II se divide en sedimentos limo arenoso IIa y lodo arenoso IIb.

De acuerdo con su estación de muestreo (Figura 4), se observa una tendencia generalizada de distribución que zonifica el ambiente lagunar en dos áreas. La primera de ellas cubre de la entrada lagunar hacia la porción noroeste (Estero Bachoco) con sedimentos del grupo I (arena), y la segunda domina hacia la porción sureste (Estero Mapoli), con predominio de sedimentos limo arenoso y lodo arenoso del grupo II.

Al correlacionar el tamaño promedio (\bar{X}_ϕ) y la desviación estándar (S_ϕ ; Figura 5, Tablas 2 y 3), y reagrupar los sedimentos, se encontró que los del subgrupo Ia se pueden diferenciar en arena que va de gruesa a fina moderadamente seleccionada, y arena de gruesa a muy fina de mal a muy mal seleccionada, mientras que los sedimentos del subgrupo Ib se concentran en el rango de la arena muy fina a limo grueso de mal a muy mal seleccionados. En cuanto a los sedimentos de los subgrupos IIa y IIb, no es posible diferenciarlos en esta correlación, ya que se concentran formando un solo grupo entre el rango del limo grueso a fino, de mal a muy mal seleccionados. Esta reagrupación infiere la zonificación de los sedimentos en la laguna, como producto de diferentes niveles de energía asociados a las corrientes dentro del ambiente lagunar, lo cual es predecible si se considera que un mecanismo de transporte (suspensión, salto, tracción) actuará diferencialmente dando como resultado una concentración o depósito de ciertos tamaños (Figura 5). De esta forma, y a medida que las corrientes ingresan a la laguna, pierden velocidad, disminuye su capacidad de carga y, por consiguiente, depositan primero las partículas de textura gruesa y hacia el interior transportan sólo las que

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las muestras de sedimentos colectadas, resultados del análisis granulométrico y tipo de sedimentos de acuerdo con el diagrama ternario de Folk (1974)

No. M.	Longitud	Latitud	ARENA	LIMO	ARCILLA	Tipo de sedimento
			(%)	(%)	(%)	
1	110.657	27.896	55.57	43.66	0.77	Arena limosa
2	110.648	27.899	83.61	16.01	0.38	Arena
3	110.650	27.896	51.37	43.49	5.14	Arena limosa
4	110.645	27.893	85.58	11.90	2.52	Arena
5	110.646	27.891	59.64	37.64	2.71	Arena limosa
6	110.640	27.886	62.81	27.45	9.74	Arena limosa
7	110.634	27.883	98.67	1.33	0.00	Arena
8	110.624	27.879	99.15	0.85	0.00	Arena
9	110.617	27.877	60.30	36.68	3.02	Arena limosa
10	110.620	27.872	80.55	11.99	7.46	Arena
11	110.610	27.872	87.22	10.20	2.58	Arena
12	110.595	27.862	98.99	1.01	0.00	Arena
13	110.589	27.855	74.35	19.76	5.89	Arena limosa
14	110.582	27.860	99.32	0.68	0.00	Arena
15	110.578	27.876	39.53	46.67	13.80	Limo arenoso
16	110.570	27.869	87.72	10.36	1.92	Arena
17	110.571	27.853	30.99	61.60	7.41	Limo arenoso
18	110.564	27.863	26.38	52.19	21.43	Limo arenoso
19	110.551	27.858	91.33	6.31	2.36	Arena
20	110.551	27.850	63.41	33.54	3.05	Arena limosa
21	110.545	27.853	11.24	68.38	20.39	Limo arenoso
22	110.546	27.857	67.60	26.06	6.34	Arena limosa
23	110.536	27.849	54.18	42.62	3.20	Arena limosa
24	110.533	27.848	13.26	55.38	31.36	Lodo arenoso
25	110.530	27.847	5.93	78.58	15.48	Limo
26	110.609	27.858	100.00	0.00	0.00	Arena
27	110.610	27.860	100.00	0.00	0.00	Arena
28	110.638	27.884	99.95	0.05	0.00	Arena
29	110.657	27.900	82.41	16.83	0.76	Arena
30	110.640	27.899	42.14	34.15	23.71	Lodo arenoso
31	110.623	27.886	99.96	0.04	0.00	Arena
32	110.583	27.884	85.75	7.84	6.41	Arena
33	110.569	27.879	99.80	0.20	0.00	Arena
34	110.549	27.864	99.96	0.04	0.00	Arena
35	110.527	27.854	28.49	46.06	25.45	Lodo arenoso
36	110.545	27.844	11.28	76.43	12.29	Limo arenoso
37	110.572	27.841	11.92	76.48	11.60	Limo arenoso

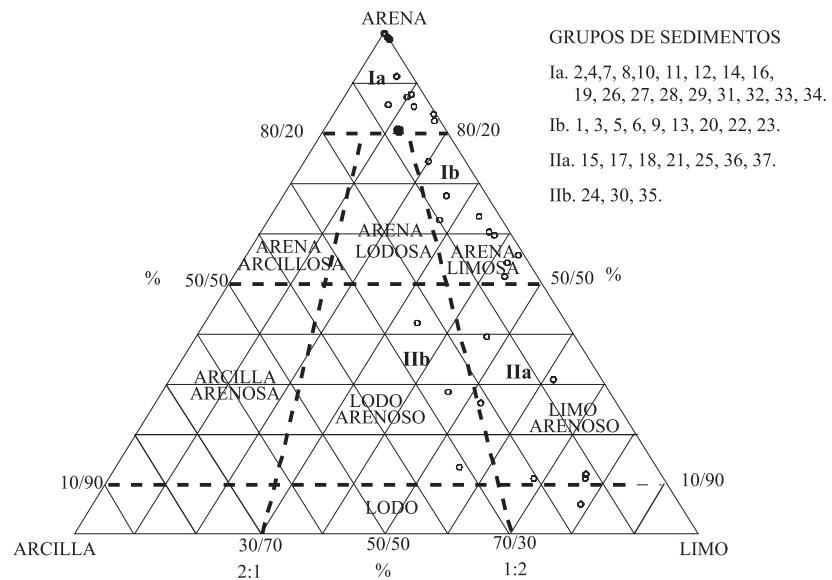


Figura 3. Diagrama Ternario de Folk (1974).

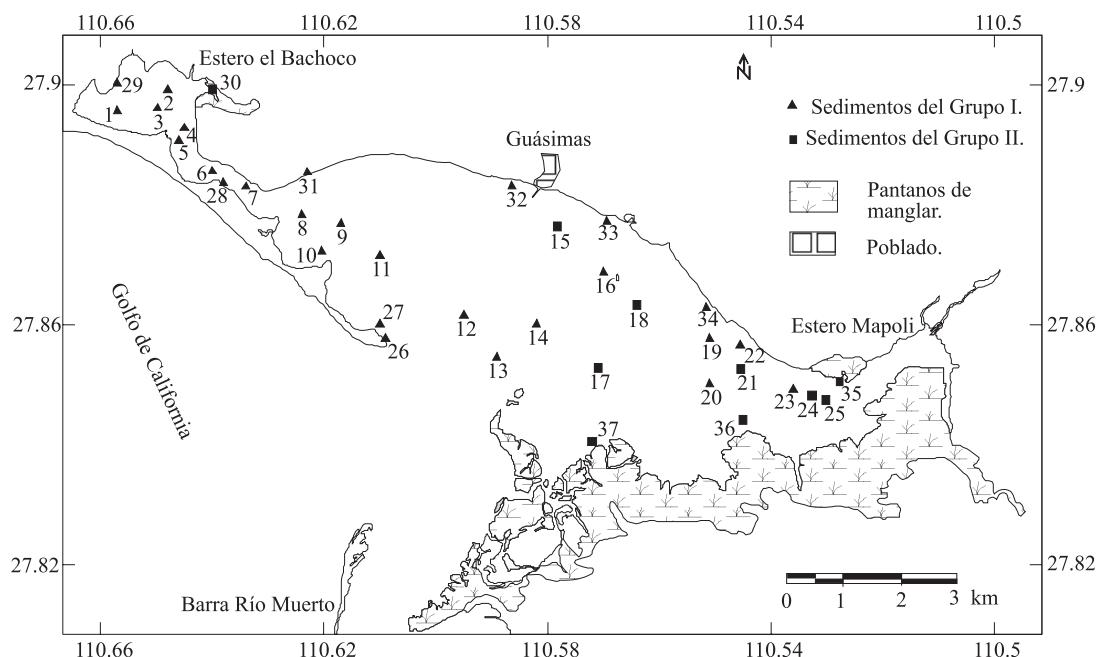


Figura 4. Estaciones de muestro.

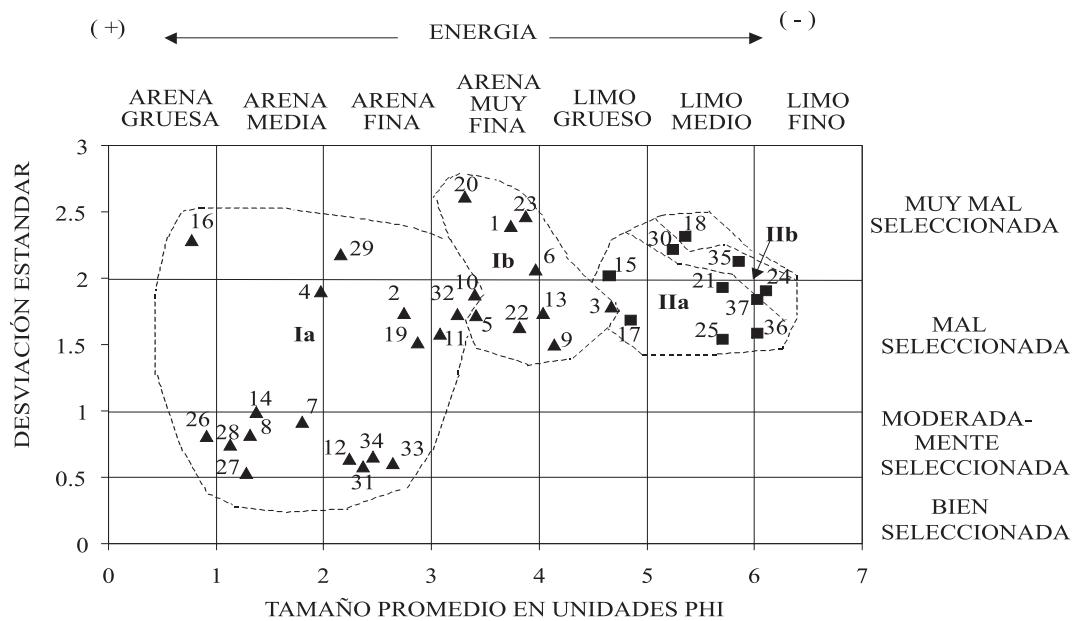


Figura 5. Correlación tamaño promedio y desviación estándar.

requieren de menores velocidades para su desplazamiento y depósito, lo cual es identificable en el diagrama de Hjulstrom, en el que se muestran los procesos de transporte y depósito como relación entre la velocidad de la corriente y el tamaño de las partículas sedimentarias (Brown *et al.*, 1993; Paphitis *et al.*, 2001; Holz *et al.*, 2004).

Esta relación se hace evidente en la distribución espacial del tamaño promedio y grado de selección que se muestran en las Figuras 6 y 7; con tamaños de arena gruesa moderadamente seleccionada en la entrada de la laguna (zona de alta energía), cambiando gradualmente a arena muy fina mal seleccionada hacia el Estero Bachoco (zona de energía moderada) y a limo medio muy mal seleccionado hacia el Estero Mapoli (zona de energía baja), mostrando así una distribución de facies sedimentarias típica de laguna costera, y la particularidad de presentar tres zonas energéticas bien diferenciadas y consistentes con la batimetría.

En general, las muestras que componen los diferentes grupos de sedimentos antes descritos, señalan curtosis (K_ϕ) de platicúrtica a leptocúrticas. Su significado por si solo no proporciona información que se pueda utilizar como parámetro ambiental, puesto que como medida adimensional sólo indica la picudez de la curva de distribución de tamaños del sedimento. Sin embargo, se ha incluido en los resultados de las Tablas 2 y 3 como parte de los cálculos de rutina y como un parámetro útil contra el cual pueden graficarse otros valores.

Ambientes de depósito

La Figura 8 muestra la distribución de la simetría (sesgo SK_ϕ) considerada particularmente sensible a la influencia medio ambiental. De tal forma que la zonificación antes referida se describe a continuación como ambientes de depósito en orden decreciente del nivel de energía, cuyas implicaciones ambien-

Tabla 2. Resultados del método estadístico de los momentos (Krumbein y Pettijohn, 1938; Fredman y Sanders, 1978)

No. M.	Tamaño promedio (\bar{X}_ϕ)	Desviación estándar (S_ϕ)	Sesgo (SK_ϕ)	Curtosis (K_ϕ)
1	3.74	2.40	-0.30	1.98
2	2.74	1.74	0.47	3.45
3	4.67	1.78	0.64	2.22
4	1.97	1.90	1.82	5.98
5	3.41	1.72	0.31	3.92
6	3.96	2.06	0.64	3.39
7	1.80	0.92	-0.01	3.17
8	1.32	0.82	0.65	4.04
9	4.14	1.50	0.91	4.04
10	3.40	1.88	1.74	4.93
11	3.07	1.58	1.20	6.03
12	2.24	0.64	-0.47	5.21
13	4.04	1.74	1.27	3.89
14	1.37	0.99	0.01	2.67
15	4.66	2.02	0.53	2.86
16	0.77	2.29	1.83	5.28
17	4.85	1.68	0.36	3.25
18	5.37	2.33	-0.36	2.43
19	2.88	1.51	1.51	7.66
20	3.31	2.61	0.08	1.93
21	5.72	1.93	-0.38	3.39
22	3.82	1.63	1.43	5.19
23	3.88	2.47	-0.10	1.90
24	6.11	1.92	0.08	1.51
25	5.69	1.53	0.38	3.28
26	0.91	0.81	0.67	2.78
27	1.28	0.53	-0.15	2.90
28	1.13	0.75	0.33	2.71
29	2.15	2.18	0.67	2.85
30	5.26	2.24	0.25	1.79
31	2.36	0.58	-0.93	5.50
32	3.24	1.73	2.08	6.47
33	2.64	0.61	-0.35	4.19
34	2.46	0.66	-1.79	9.54
35	5.91	2.13	-0.27	1.79
36	5.99	1.58	-0.54	3.79
37	6.02	1.86	-1.49	5.41

Tabla 3. Nomenclatura de las muestras de sedimentos según los parámetros estadísticos del método de los momentos, presentados en la Tabla 2

No. M.	N O M E N C L A T U R A
1	Arena muy fina, muy mal seleccionada, muy asimétrica hacia gruesos, platicúrtica.
2	Arena fina, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
3	Limo grueso, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, platicúrtica.
4	Arena media, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
5	Arena muy fina, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
6	Arena muy fina, muy mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
7	Arena media, moderadamente seleccionada, casi simétrica, leptocúrtica.
8	Arena media, moderadamente seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
9	Limo grueso, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
10	Arena muy fina, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
11	Arena muy fina, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
12	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, muy asimétrica hacia gruesos, leptocúrtica.
13	Limo grueso, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
14	Arena media, moderadamente seleccionada, casi simétrica, platicúrtica.
15	Limo grueso, muy mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, platicúrtica
16	Arena gruesa, muy mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
17	Limo grueso, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
18	Limo medio, muy mal seleccionada, muy asimétrica hacia gruesos, platicúrtica.
19	Arena fina, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
20	Arena muy fina, muy mal seleccionada, casi simétrica, platicúrtica.
21	Limo medio, mal seleccionada, muy asimétrica hacia gruesos, leptocúrtica.
22	Arena muy fina, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
23	Arena muy fina, muy mal seleccionada, casi simétrica, platicúrtica.
24	Limo fino, mal seleccionada, casi simétrica, platicúrtica.
25	Limo medio, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
26	Arena gruesa, moderadamente seleccionada, muy asimétrica hacia finos, platicúrtica.
27	Arena media, moderadamente bien seleccionada, asimétrica hacia los gruesos, platicúrtica.
28	Arena media, moderadamente bien seleccionada, muy asimétrica hacia finos, platicúrtica.
29	Arena fina, muy mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, platicúrtica.
30	Limo medio, muy mal seleccionada, asimétrica hacia finos, platicúrtica.
31	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, muy asimétrica hacia gruesos, leptocúrtica.
32	Arena muy fina, mal seleccionada, muy asimétrica hacia finos, leptocúrtica.
33	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, muy asimétrica hacia gruesos, leptocúrtica.
34	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, muy asimétrica hacia gruesos, leptocúrtica.
35	Limo medio, muy mal seleccionada, asimétrica hacia los gruesos, platicúrtica.
36	Limo medio, mal seleccionada, muy asimétrica hacia gruesos, leptocúrtica.
37	Limo fino, mal seleccionado, muy asimétrica hacia gruesos, leptocúrtica.

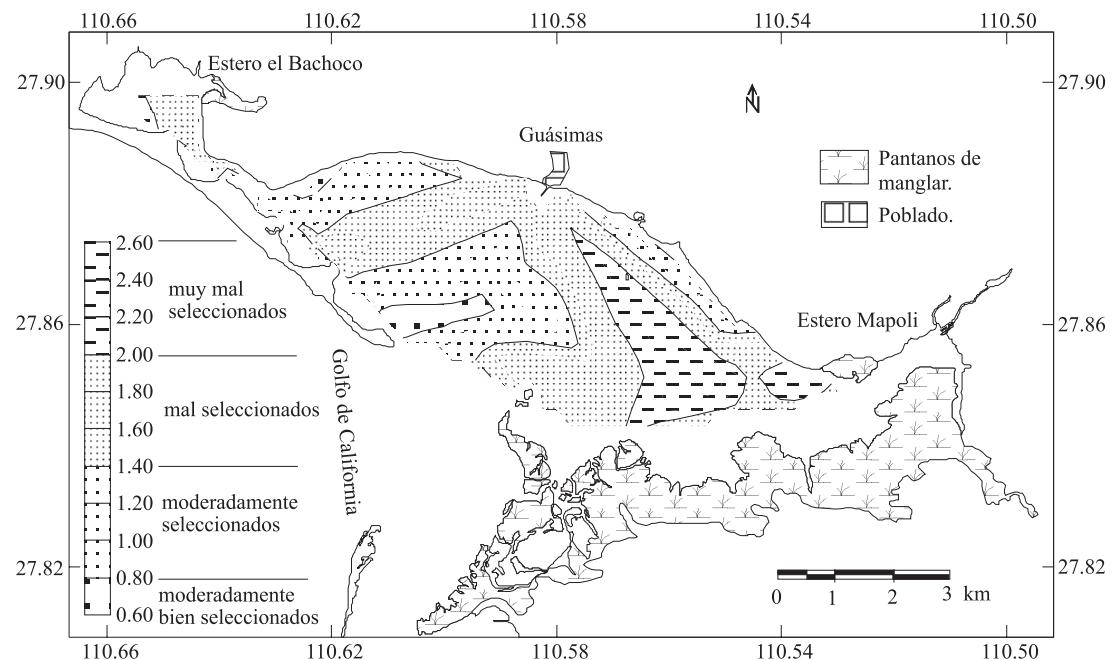


Figura 6. Distribución espacial del tamaño promedio de sedimento.

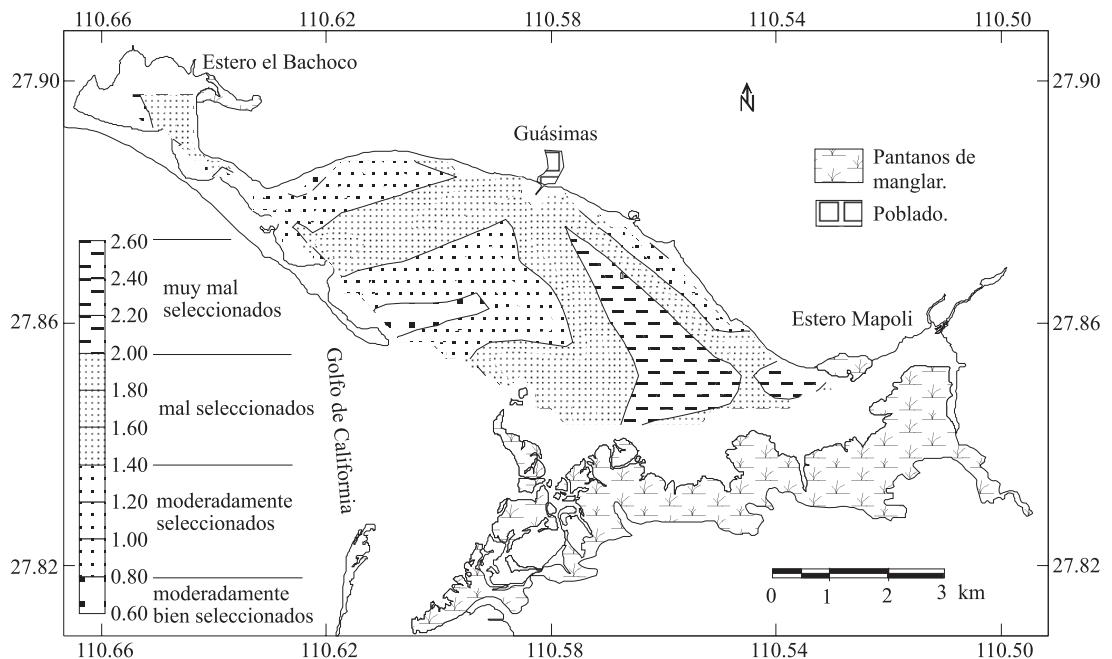


Figura 7. Distribución espacial del grado de selección (desviación estándar).

tales resultan congruentes con los rasgos batimétricos y morfológicos del área lagunar de Guásimas (Figura 2).

El primer ambiente de depósito se asocia al canal de marea ubicado en la porción norte y cercano a la barrera arenosa. El canal se bifurca al ingresar en la laguna en dirección noroeste y norte (parte media). En esta área se registra una profundidad media de 1 m y máxima de 10 m frente al lóbulo de la barrera. Los sedimentos de este ambiente son arenas de textura gruesa a media moderadamente seleccionadas. Su textura y selección señalan a la barrera arenosa como la fuente y suministro de material sedimentario, puesto que su tendencia evolutiva indica un transporte longitudinal de sedimentos en dirección noroeste-sureste, que al tener su cara exterior expuesta a una mayor acción del oleaje y corrientes alternantes de marea, remueven por sorteo diferencial el material fino (limos y arcillas), confiriendo a estos sedimentos una

asimetría hacia el material grueso (Figura 8). Posteriormente estos sedimentos son transportados hacia el interior de la laguna a través del canal principal, definido como un ambiente de alta energía y al cual se asocian diversos mecanismos de transporte (suspensión, saltación y tracción).

El segundo ambiente corresponde a la porción noroeste de la laguna comunicada por la bifurcación del canal de mareas que siguen esa misma dirección, la profundidad media en esta área es de 1.0 m, y la superficie lagunar se reduce hasta quedar sólo el canal que comunica al Estero Bachoco con el resto de la laguna. En estas áreas predomina el depósito de arenas de texturas fina a muy fina mal seleccionadas y con sesgo hacia los sedimentos finos (Figura 8). Estas características y el cambio gradual de textura indican una zona de moderada energía, cuyas implicaciones ambientales son atribuibles a un conjunto de factores entre los que se destacan: a) La barrera

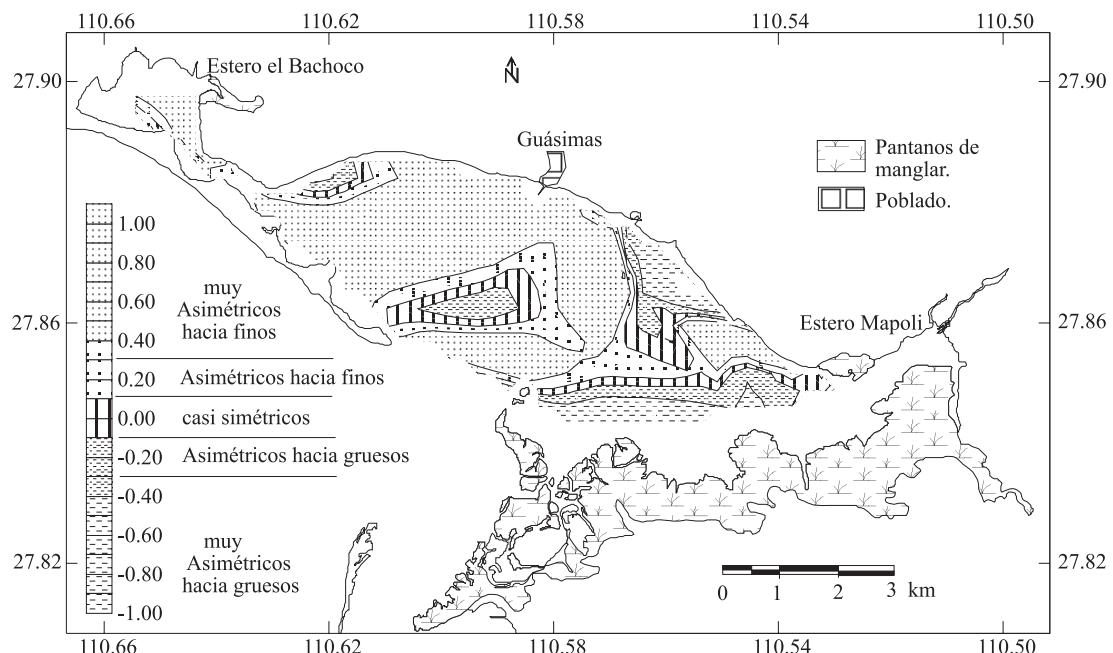


Figura 8. Distribución espacial de simetría (sesgo).

arenosa, la cual resguarda esta porción de la laguna de la acción directa del oleaje, y al mismo tiempo representa un suministro adicional de sedimentos transportados por el viento desde las dunas hacia su interior. *b)* La reducción en la velocidad y capacidad de carga de las corrientes por efecto de la fricción al disminuir la profundidad del canal, favoreciendo así el depósito de una mayor cantidad de partículas de textura muy fina (limos), que en adición al aporte de sedimentos de las dunas dan a estos sedimentos su mala selección y tendencia en el sesgo hacia los sedimentos finos. *c)* La morfología de embudo en dos direcciones (NW-SE), que se forma entre el Estero Bachoco y en el resto del área lagunar, el cual reactiva la velocidad de las corrientes (flujo y reflujo de marea) modificando así la hidrodinámica y aumentando el nivel de energía en esta porción de la laguna, de tal forma que no alcanza a depositarse toda la carga de limos y arcillas que se encuentra aun en suspensión.

El tercer ambiente de depósito se ubica en la porción sureste de la laguna conocida como Estero Mapoli, se caracteriza por ser el área más somera de la laguna con una profundidad media de 0.5 m y por un mejor desarrollo de los pantanos e islotes de manglar. Esta área también se encuentra protegida por una isla de barrera conocida como Barra Río Muerto, cuyo desarrollo indica un transporte longitudinal de sedimentos neto, en dirección de sur a norte. Los sedimentos en este ambiente muestran una gradación textural que va de arenas muy finas, depositadas cerca a la isla de barrera y en un segundo canal de mareas con profundidad de 1.5 m, que al ingresar a la porción sureste de la laguna se hace más somero y los sedimentos pasan a ser predominantemente limos gruesos a finos de mal a muy mal seleccionados con sesgo hacia los gruesos (Figura 8).

Los sedimentos en esta área se encuentran relacionadas al mejor desarrollo de los pantanos de manglar, puesto que su estableci-

miento requiere de áreas someras asociadas a corrientes de baja energía, las cuales favorecen en principio el depósito de partículas de textura fina y adicionalmente al efecto que tiene el manglar al reducir aún más la velocidad de la corriente hasta llegar prácticamente al estancamiento y a actuar como trampas de sedimentos propiciando aún más el depósito de limos y arcillas, característicos de ambientes de baja o nula energía. En este ambiente la mala clasificación y el sesgo hacia los sedimentos gruesos se explica por la adición de componentes no terrígenos como conchas y fragmentos de éstas, cuya relativa abundancia altera la distribución de tamaños.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una inspección más detallada de las Figuras 6, 7 y 8, hace evidente que la descripción anterior presenta problemas al tratar de establecer fronteras bien delimitadas entre los ambientes sedimentarios, particularmente en los depósitos de arena cuyas características de tamaño son similares o se sobreponen. De tal manera que no es posible identificar de forma determinante una huella depositacional específica generada por los agentes de transporte (corrientes de mareas, oleaje). Aun cuando resulta intuitivo que deba existir diferencia en la naturaleza textural de los sedimentos, también es evidente que muchos factores pueden operar para encubrir estas impresiones, como es el caso de la asimetría hacia los sedimentos gruesos en el ambiente de baja energía. Sin embargo, es posible apreciar una gradación textural de un ambiente a otro y se reconocen las características modales de las diferentes facies, lo que nos lleva a considerar que la dinámica no puede ser totalmente inferida a partir de la distribución textural de sedimentos, puesto que áreas con sedimentos de texturas similares pueden estar sujetas a los diferentes flujos de energía y mecanismos de transporte. También debe tenerse en cuen-

ta, que una vez que una partícula ha sido desalojada del lecho, continuará siendo transportada, aun cuando la velocidad de la corriente disminuya un poco. Esto significa que se requiere menos velocidad (y por lo tanto menos energía) para mantener una partícula en movimiento que la necesaria para erosionar e iniciar su movimiento (Brown *et al.*, 1993; Paphitis *et al.*, 2001; Holz *et al.*, 2004). En este sentido, las partículas del tamaño de limo y arcilla se consideran como un caso particular, puesto que una vez depositadas requieren velocidades de corriente más altas que las de su transporte para ser erosionadas, debido a su característica de plasticidad y cohesividad, lo cual explica el alto contenido de conchas y fragmentos de éstas en el ambiente de baja energía.

Pese a la dificultad que representa interpretar las implicaciones ambientales, debido a los diferentes factores físicos, químicos y biológicos que inciden e interactúan en el ambiente lagunar, el método empleado en este estudio ha demostrado tener la ventaja de una fácil comparación de las muestras de sedimentos analizadas y de resaltar las diferencias reales y aparentes en su distribución espacial, interpretada y descrita como ambientes de depósito. De igual forma, es relevante la importancia que tienen las inspecciones visuales, que en muchas ocasiones proporcionan valiosa información complementaria a la derivada de los parámetros estadísticos.

Lo anterior evidencia y enfatiza que clasificar los sedimentos, así como su descripción e interpretación a través de la distribución de facies sedimentarias, es un aspecto fundamental de la componente física, dada la diversidad de fenómenos naturales por los cuales puede estar controlada la distribución de los diferentes ambientes de depósito en la laguna. Este trabajo aporta elementos para el mejor conocimiento de este rasgo costero y se incorpora como condición de contorno para otros estudios, como pudiera ser la operación de proyectos de acuicultura en la localidad de

Guásimas, cuya economía ha dependido de la pesca artesanal y ostricultura en pequeña escala.

REFERENCIAS

- Bhattacharya, J. P. and L. Giosan (2003), "Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction", *Sedimentology* 50(1), pp. 187-210.
- Brown J., A. Colling, D. Park, J. Phillips, D. Rothery and J. Wright (1993), "Sediment erosion", in Bearman, G. (ed.), *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*, The Open University/Pergamon Press, Oxford, pp. 81-83.
- Chester, R. (1970), *An introduction to sediment analysis*, Edit. Arizona State University, Arizona.
- Folk, R. L. (1974), *Petrology of sedimentary rocks*, Edit. Hemphill, Austin, Texas.
- Holz, C., Stuut, Jan-berend W. N and H. Rüdiger (2004), "Terrigenous sedimentation processes along the continental margin off NW Africa: implications from grain-size analysis of seabed sediments", *Sedimentology* 51(5), pp. 1145-1154.
- Fredman, G. M. and J. E. Sanders 81978), *Principles of sedimentology*, Ed. John Wiley & Sons, Indianápolis, In.
- INEGI (1973), Fotografías aéreas: 29, 30, 31-2F, y 1, 2, 3-3F, Zona 79A-R373, escala 1:70 000, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- INEGI (1993), *Estudio hidrológico del estado de Sonora*, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- Krumbein, W. C. and F. J. Pettijohn (1938), *Manual of sedimentary petrography*, Edit. Appleton-Century-Crofts, New York.
- Lewis, D. W. (1984), *Practical sedimentology*, Edit. Van Nostrand Reinhold Company Inc, New York.

- McLaren, P. and D. Bowles (1985), "The effects of sediment transport on grain-size distributions", *Jurnal of Sedimentary Petrology*, 55(4), pp. 457-470.
- Paola, C. (2000), "Quantitative models of sedimentary basin filling", *Sedimentology*, 47(s1), pp. 121-178.
- Paphitis, D., A. F. Velegrakis, M. B. Collins and A. Muirhead (2001), "Laboratory investigations into the threshold of movement of natural sand-sized sediments under unidirectional, oscillatory and combined flows", *Sedimentology*, 48(3), pp. 645-659.
- Pérez, H. R. y B. A. Chee (1984), "Transporte de sedimentos en la Bahía de Todos Santos, B.C.", *Ciencias Marinas*, 10(3), pp. 31-52.
- SPP (1981), *Carta Geológica La Paz*, 1 mapa, escala 1:1 000 000, Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, México.
- SPP (1983), *Carta Edafológica Guaymas G12- 2*, 1 mapa, escala 1:250 000, Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, México.
- UNAM (1999), *Calendario Gráfico de Mareas Guaymas, Sonora*, Instituto de Geofísica, UNAM, México.
- Villalba, A. A., R. P. Ortega y V. M. De la O (1989), "Evaluación geo-química en la fase sedimentaria de ecosistemas costeros del estado de Sonora, México", *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 5(1), pp. 97-105.
- Villalba, A. A., R. P. Ortega, C. D. Vásquez del, y V. M. De la O (1990), "Variación espacio-temporal de parámetros sedimentológicos en tres cuerpos lagunares de Sonora, México", *Boletín del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, México*, 9(1), pp. 51-62.