

#### CONSEJO EDITORIAL

Director	Capitán de Fragata	RAFAEL STEER RUIZ
Comité de Redacción	Capitán de Corbeta	FERNANDO CAMACHO LONDOÑO
	Capitán de Corbeta	MARCO ANTONIO GOMEZ ACERO
	Teniente de Navio	LUIS ALVARO MENDOZA
	Teniente de Navio	CARLOS ALBERTO ANDRADE ANAYA
	Teniente de Navio	FRANCISCO ARIAS ISAZA
	Químico	JESUS ANTONIO GARAY TINOCO
	Biólogo Marino	FRANCISCO ALBERTO CASTILLO GONZALEZ
Editor		BLANCA ELENA CADAVID RESTREPO

Indizada en Banco Nacional de Analíticas  
ICFES  
Bogotá-Colombia

Periodicidad Irregular

Dirección Postal Boletín Científico CIOH  
Apartado Aéreo 982  
Cartagena-Colombia

Formato A4 (210 mm X 280 mm)

En el Boletín Científico del CIOH serán publicados trabajos de investigación y artículos científicos que constituyan una contribución original a las ciencias del mar. Los manuscritos deben enviarse a la dirección postal, rigiendo su presentación por las Normas de Documentación del Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC.

El Boletín agradece a la oficina de la Secretaria General de la OEA en Colombia por la ayuda económica prestada para la publicación del Boletín Científico No.7.

Resolución del Ministerio de Gobierno No. 176 de Enero 17 de 1986.  
Licencia del Ministerio de Comunicaciones en trámite.

Boletín Científico CIOH	Cartagena (Colombia)	No. 7	págs. 3-36	Mayo 1987	ISSN 0120-0542
-------------------------	-------------------------	-------	------------	-----------	----------------

#### CONTEXTO HIDRODINAMICO Y SEDIMENTOLOGICO DEL CANAL DE LA BOQUILLA

Por JEAN-LUC PAGLIARDINI \*

Se advierte que en el tipo de litoral, llamado estable, la poca amplitud de los fenómenos sedimentarios es obligatoria. Sin embargo, aún sucesos de poca importancia pueden perturbar este equilibrio precario. Situado en la extremidad septentrional del cordón lacustre de la ciénaga de Tesca, el pueblo de La Boquilla está bordeado por un canal que une temporalmente la laguna al mar. Este esporádico desagüero es el origen de numerosos problemas

• Las modificaciones topográficas producidas por la existencia del canal están ligadas con la interacción de fenómenos climáticos (vientos, lluvias); oceanográficos (olas, corrientes, mareas) y sedimentológicos

Estos factores actúan sobre el medio natural acarreamo grandes trastornos bio-ecológicos en la ciénaga. Se pueden observar variaciones considerables de los parámetros físico-químicos (salinidad, pH, contenido de oxígeno, entre otros), produciendo una gran mortandad de la biomasa.

• Las consecuencias socio-económicas se relacionan con esas catástrofes naturales e influyen considerablemente en la vida del pueblo de La Boquilla cuyo principal recurso es la pesca.

• La presencia del canal es un factor de aislamiento para las zonas habitadas de los Morros.

• La construcción de un eje de carreteras que une a Cartagena con Barranquilla necesita el paso del canal.

• La urbanización de la zona Crespo-La Boquilla por la Corporación Nacional de Turismo ya está programada con recuperación de playas.

Luego es indudable que este canal interesa a muchas personas, entre los investigadores, los economistas y los promotores. La comprensión de los mecanismos responsables de su apertura y de su cierre resulta primordial. Se están dedicando tiempo y recursos en determinar la evolución especial del canal, con sus características hidráulicas en el transcurso del año, así como las modificaciones que trae en el tránsito y en la configuración del litoral.

#### 1. LA BOQUILLA Y SUS ALREDEDORES

La punta de Morrito está situada aproximadamente a 2 km al noreste del pueblo de La Boquilla (Figura 1). La playa que une estos dos puntos no es rectilínea, se ha descrito como una forma longespiralada, lo que es cierto en gran escala. En realidad, el encorvamiento de la playa presenta dos retrocesos verdaderos que son casi permanentes, señalándose por 1 en la figura 1, su origen se debe a la difracción del oleaje por el cabo de Morrito. La distancia que separa los dos "huecos" es de cerca de 1.000 metros.

\* Despedido en Oceanografía de la Universidad de Bordeaux - Francia.

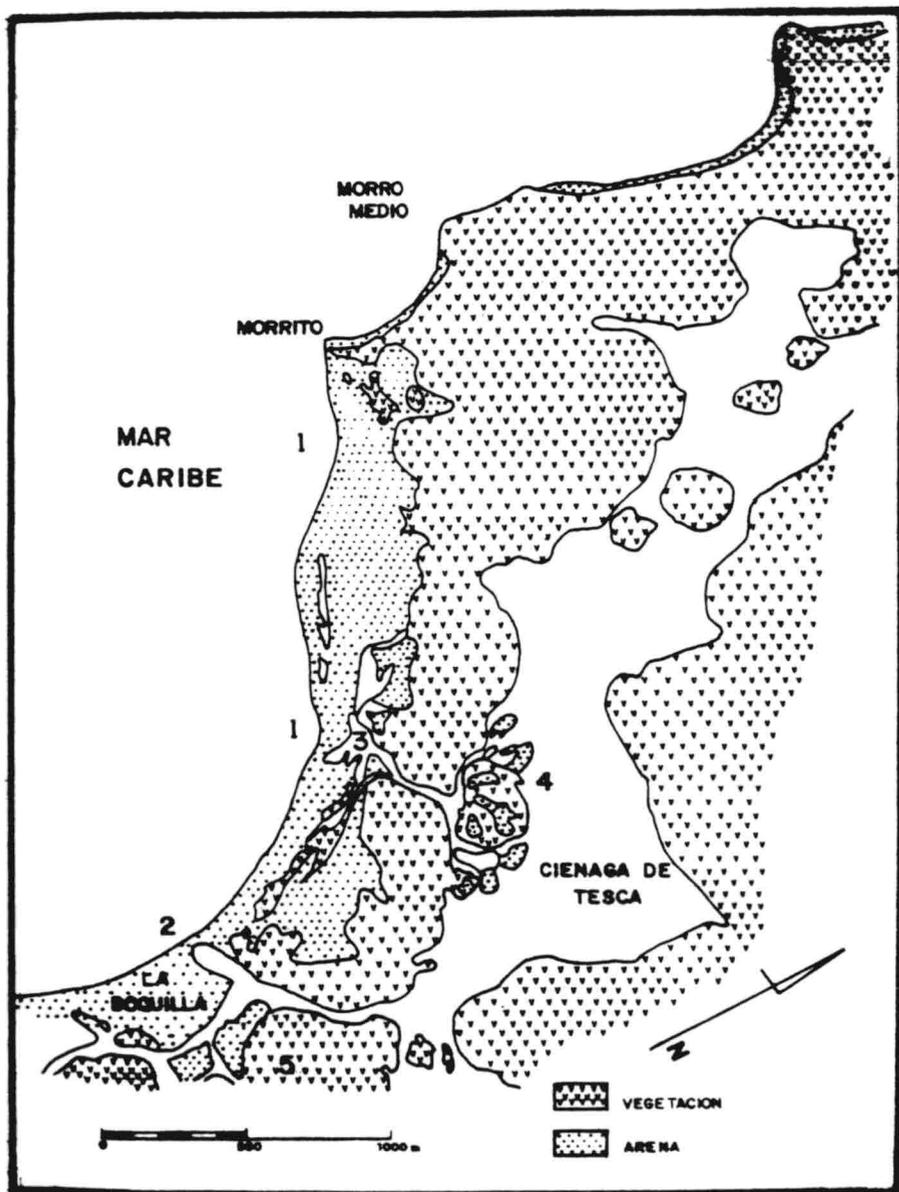


FIGURA 1. Zona costera entre Los Morros y La Boquilla

Del mes de abril al de noviembre, en promedio, esta costa está interrumpida por un canal que une la ciénaga de Tesca al mar Caribe. La posición de este canal no es fija en el espacio, el punto de la rotura más frecuente se presenta en los mismos alrededores del pueblo de La Boquilla (no. 2 del plano). Otro punto frágil se encuentra en el segundo "retroceso" de la costa (no. 3 en el plano). La frecuencia de apertura de este punto no. 3 está materializado por un canal que termina en delta invertido o delta de marea, de modestas proporciones (no. 4 en el plano). El canal sur, el más atractivo, posee también un delta de marea invertido (no. 5 en el plano) y sus dimensiones son más importantes.

La Figura 2 (observación del litoral entre los Morros y La Boquilla) presenta dos aspectos diferentes del segmento de playa entre La Boquilla y Morrito.

El primer trazado proviene de fotos aéreas reunidas por la Universidad Jorge Tadeo Lozano en 1979. Se observan las crestas de la playa y la línea de rompimiento de las olas.

El segundo trazado proviene de un estudio efectuado en marzo de 1982. Está complementado por medidas de corrientes hechas a lo largo de la costa, hasta 50 metros de la orilla; figuran también la orientación de las crestas de las olas y observaciones particulares de orden sedimentario (micas, chinás y nivel endurecido).

La línea de la orilla no es estable en el tiempo. Las líneas de cresta de los cordones arenosos materializan la historia de su evolución. (Tanner, 1974). En el mapa de 1979, se pueden distinguir dos tipos de alineación:

- Alineaciones paralelas con la costa, visibles por todas partes, afiladas al sur y al norte.
- Alineaciones en forma de ángulo encontradas sobre el canal norte.

Dado que una reapertura de este canal destruye por donde pasa todo vestigio de las antiguas crestas de los cordones arenosos (por erosión), y dado que la apertura de este canal es hoy sólo excepcional, se puede pensar que, en días pasados, esta apertura desempeñaba un papel mucho más importante.

Las crestas afiladas, según TANNER (1971), son características de un aporte de arena de alta mar hacia la costa.

En la parte norte, las crestas de los cordones arenosos están truncadas por la playa: se presenta, en consecuencia, erosión.

En resumen, se puede decir que esta porción del litoral está formada por una zona de erosión (1) Figura 2 y por una zona de sedimento (entre (1) y (2)).

Las observaciones realizadas en marzo del 1982, sin tener valor representativo para el conjunto del año, proponen argumentos complementarios. Se vuelven a encontrar allí las dos zonas de retroceso de la línea de la orilla en (1) y (2).

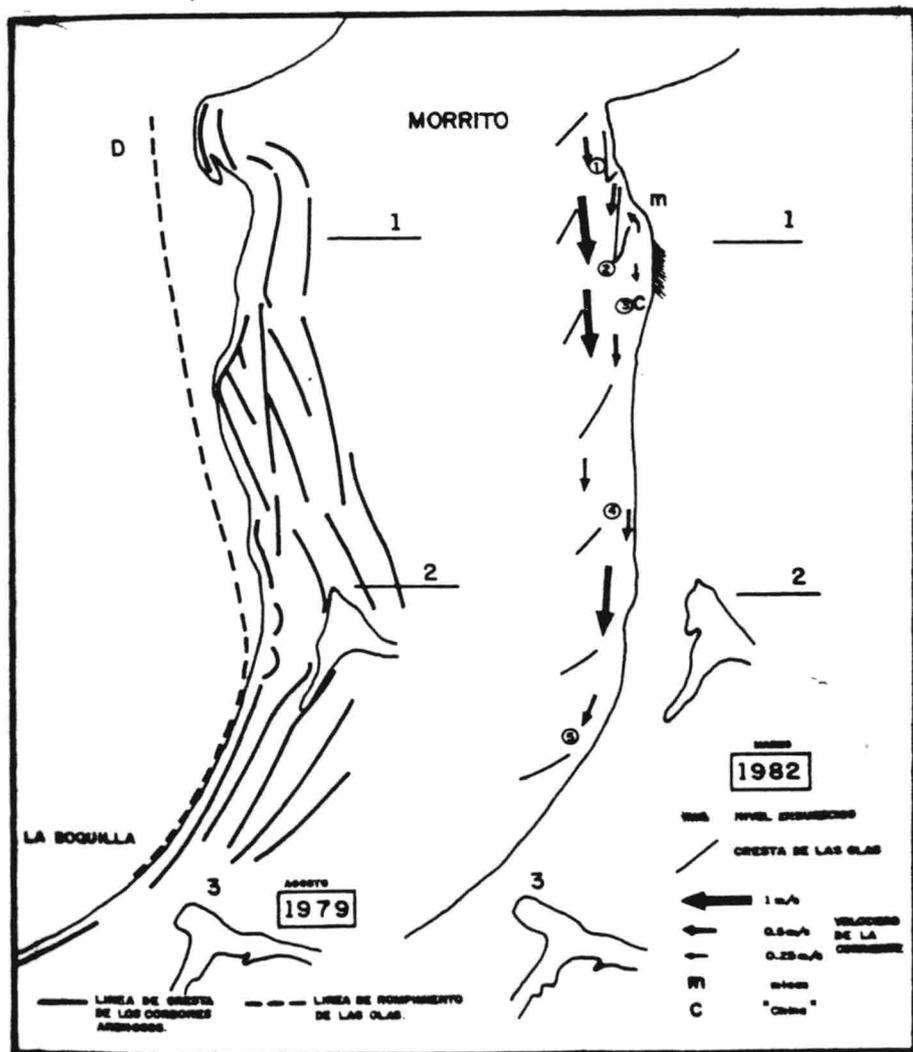


FIGURA 2. Observación del litoral entre Los Morros y La Boquilla.

En 1, aparece un nivel endurecido, constituido por arena limosa, negra, rica en materia orgánica.

Las corrientes medidas hasta los 50 metros de la orilla son más frecuentes (1 m/seg. en 1) y en 2. En 1, se observan pequeñas flechas arenosas que se desarrollan paralelamente a la orientación general de la orilla.

Acumulaciones de micas aparecen en las zonas abrigadas (dinámica débil) y de "china" (grava de forma muy redondeada, de diámetro medio 1 cm) (LESUEUR, 1979) se acumula en la zona más expuesta.

Como conclusión de esta aproximación se pueden individualizar tres conjuntos:

En 1, una zona de erosión marcada por un retroceso de la playa (aparición de un nivel endurecido), ligado probablemente con la difracción de las olas, pero más precisamente con un probable retroceso de la punta del Morrito. En efecto, la difracción no ha existido siempre y si el régimen de las olas no se ha modificado en el tiempo, sólo se puede considerar un retroceso del cabo.

Entre (1) y (2), una zona de sedimento; el material depositado procedería a la vez del dismantelamiento de (1) y de aluviones profundos.

En (2), una zona de sedimento y de erosión, donde los cordones arenosos son más anchos, testigos de un importante depósito, pero las corrientes son igualmente fuertes, y por lo tanto el transporte litoral debe ser importante.

El transporte litoral se produce a lo largo del año hacia el sur, pues el régimen dominante del oleaje es del sector norte-noreste. El plano de oleaje realizado para esta zona ver adjunto A que completan los presentados por BOTTAGLISIO (1975), muestran que, incluso, las olas del sector oeste inducen un transporte litoral hacia el sur.

El pueblo de La Boquilla se sitúa en la prolongación sur de la zona que se acaba de describir y la sedimentación será, pues, directamente influenciada por el transporte litoral que se presenta en el norte.

Esta zona, altamente inestable tiene su modelo litoral en perpetuo movimiento. Con el fin de atender las modalidades de esta dinámica, se efectuaron estudios topográficos utilizando teodolitos en el momento de los principales cambios de configuración costera de 1.981 a 1.982.

La zona más inestable está situada al norte del pueblo, con un canal que une la ciénaga de Tesca al mar, y se abre entre los meses de abril y noviembre. Durante los meses restantes un cordón litoral obstruye ese canal. Se trata de un pasaje seco de más de 60 metros de ancho que interrumpe el intercambio entre el mar y la ciénaga.

## II. APERTURA DEL CANAL

La apertura del canal no se efectúa del interior de la ciénaga hacia el exterior, pues en abril, al final de la estación de los vientos, la evaporación ha bajado considerablemente el nivel del agua en la ciénaga.

Por el contrario si se miran los diagramas del oleaje (ver adjunto A), en

La zona de La Boquilla se ven aparecer concentraciones en varias direcciones para períodos importantes NE 12 s. W 12 s

Además de ser un mes en el cual se presentan olas de períodos largos, abril es también un mes de mareas de aguas vivas

Se vecho, olas y mareas actuar conjuntamente. Cuando una brecha se hace en la cresta de playa, el agua de mar se precipita en el canal que se ha creado y lo agranda cada vez más, llevando con su movimiento grandes cantidades de arenas hacia el interior de la ciénaga. Se alcanza el equilibrio cuando el nivel del mar es el mismo que el de la ciénaga.

### III. CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS DEL CANAL

Las características hidráulicas de un canal, corresponden a su media "estadística" del funcionamiento del canal. Los valores de velocidad máxima, amplitud en la ciénaga etc., pueden alejarse de éstos valores medios por la acción de factores meteorológicos anormales lluvias excepcionales, vientos, etc. A pesar de todo, éstos resultados permiten obtener una buena representación de la realidad

Para la región de La Boquilla, ANTOINE (1972) estudió las características dinámicas del canal, pero tomando una marea de tipo semi-diurno.

#### A. TEORIA

Desde un punto de vista teórico, varios autores han trabajado con las ecuaciones que gobiernan la dinámica de los canales bajo la influencia de la marea y los aluviones continentales. La adaptación de esas ecuaciones a los sistemas de tipo océano-canal-ciénaga ha sido el fruto de numerosos investigadores.

KEULEGAN describe en 1967 la fluctuación de la superficie libre de ciénaga (véase figura 3) por la ecuación diferencial.

$$\frac{dn}{dt} = K_e \frac{\pi}{T_m} \sqrt{2 R_0 |h_0 - h_1|}$$

con:

$h_1$  = Nivel del agua en la ciénaga.

$h_0$  = Nivel del agua en el mar

$T_m$  = Período de la onda de marea.

$K_e$  = Coeficiente de relleno

$R_0$  = Coeficiente de marea.

$$\text{donde } K_e = \frac{T_m}{\pi \sqrt{R_0}} \frac{A_c}{A_1} \sqrt{\frac{g}{K_f + K_j + f L_c / 4R}}$$

$R$  = Radio hidráulico del canal

$R = 1 + 2d$

$i$  = Ancho del canal.

$d$  = Profundidad media.

$K_f$  = Coeficiente de pérdida al flujo.

$K_j$  = Coeficiente de pérdida al reflujó.

$f$  = Coeficiente de fricción de DARCY WEISBACH del canal.

$L_c$  = Largo total del canal.

$A_c$  = Area de la ciénaga.

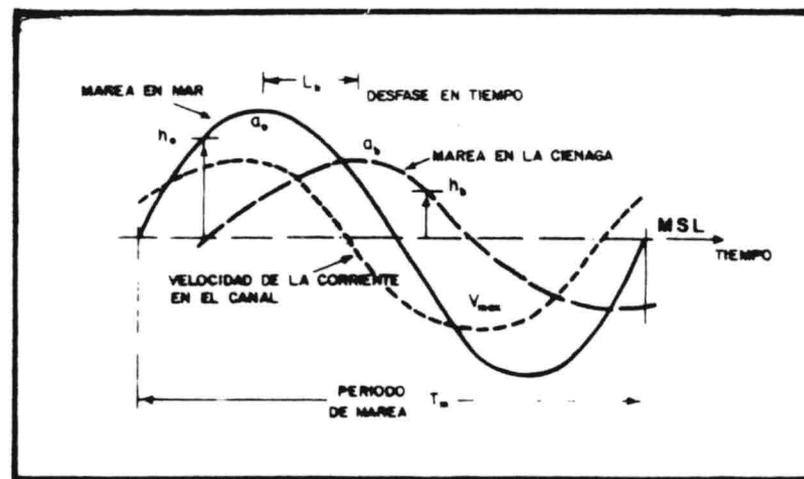


FIGURA 3. Ejemplo esquematizando las variaciones de la marea y la corriente en un sistema mar-canal-ciénaga.

O'BRIEN Y DEAN (1972), proporcionan una solución gráfica de las ecuaciones de KEULEGAN. Permiten describir las características del canal en función de cuatro parámetros que son:

• "Lang de fase", el cual en grados, permite expresar el desfase entre la pleamar al interior y al exterior de la ciénaga.

- Velocidad máxima,  $V_{\max}$  que describe.

$$V_{\max} = V'_{\max} \frac{2\pi a_0}{T_m} \frac{A_1}{A_c}$$

con  $V_{\max}$  = Velocidad máxima en el canal durante un ciclo de marea (m/seg).

$V'_{\max}$  = Velocidad máxima adimensionalada que se obtiene en los ábacos de KEULEGAN (1967).

$T_m$  = Período de la marea (aquí  $T = 24 \text{ h } 55$ ).

$A_1$  = Área de la ciénaga.

$A_c$  = Sección del canal.

$a_0$  = Amplitud de la marea en el mar.

- Razón  $a_1 / a_0$  de las amplitudes entre la marea en el mar y en la ciénaga.
- Coeficiente  $K_e$  de relleno de la ciénaga mencionado anteriormente.

Abacos uniendo estos cuatro parámetros. Los trabajos de O'BRIEN Y DEAN (1972), se limitan a las hipótesis de trabajo de KEULEGAN:

- . Paredes de la ciénaga verticales.
- . Ausencia de corrientes fuera de las de marea en el canal.
- . Ausencia de corrientes de densidad.
- . Mareas sinusoidales.
- . Variaciones uniformes del nivel de la ciénaga
- . Sección del canal constante.
- . Inercia del agua en el canal, despreciable.

En 1974, resuelve las ecuaciones de base por los sistemas mar-canal-ciénaga. Presenta sus resultados en forma de gráficos. Introduce dos coeficientes:

$$K_1 = \frac{a_0 A_1 F}{2L A_c}$$

$$K_2 = \frac{2\pi}{T_m} \sqrt{\frac{L A_e}{g A_c}} \quad \text{con } F = K_f \cdot K_1 \cdot \frac{fL}{4R}$$

$K_1$  es el coeficiente de fricción y  $K_2$  el coeficiente de frecuencia.

Este modelo admite las mismas hipótesis que KEULEGAN (1967) y O'BRIEN (1972).

SEELING (1977), HUVAL Y WINTERGERST (1977) toma como hipótesis.

- . Mareas no sinusoidales.
- . Área de la ciénaga variable con el nivel del agua.
- . Aportación de agua dulce en la ciénaga posible
- . Inercia del agua en el canal no-despreciable.

HUVAL Y WINTERGERST (1977), así como SEELING (1977), desarrollan programas para computadoras. MAYOR MORA (1977), realiza numerosos ensayos con maquetas y muestra que la fricción en el canal cuando el flujo es más débil que el reflujo ( $K_f < K_j$ ). Sus resultados integran varias observaciones

- Marea únicamente (sin olas).
- Olas y mareas.
- . Fondos blandos.
- . Canal y obra de fijación de las riberas.
- . Aportación de agua dulce.

Determina igualmente, el desfase en tiempo  $L_b$  entre bajamar y mar adentro y bajamar en la ciénaga por la razones  $\epsilon_b$ .  $\epsilon_b = \frac{L_b}{T_m}$ , así como el desfase en tiempo  $L_h$  entre alta mar y en la ciénaga por la razón  $\epsilon_h$ ,

$$\epsilon_h = \frac{L_h}{T_m}$$

Propone una evaluación del aumento del nivel de la ciénaga respecto del nivel del mar.

Por último, da el valor de  $F$ , que corresponde a las energías perdidas en el fondo del canal. Este sencillo método necesita únicamente el cálculo de  $K_e$ .

Muestra como la acción de las olas superponiéndose a la marea producen una disminución de la sección del canal. El transporte litoral es

responsable de esto por las aportaciones de arena hacia el interior de la ciénaga.

Además, proporciona al final de su trabajo ábacos que permiten comparar sus resultados con los de HUVAL Y WINTERGERST (1977).

SORENSEN (1977), propone también ábacos que permiten conocer las características hidráulicas de un canal según el método de cálculo de KING (1974).

#### B. ELEMENTOS DE CALCULO

Marea:

Tenemos valores variables según los autores

LCHF (1970) : Amplitud media de la marea 42 cm.

SCHAUSS (1974) : Amplitud media de la marea 16.5 cm.

CIOM (1976) : Amplitud media de la marea 28 cm.

Las medidas siempre están en la misma categoría de tamaño y su variación proviene quizá de la época en la cual se hizo la medida (aguas vivas, aguas muertas).

En un primer tiempo, se presumirá que la amplitud de marea es constante a lo largo del año. Cogemos para nuestros cálculos:

. Amplitud de la marea en mar  $a_0 = 0.24a$ .

. Período de la marea  $T_m = 24 \text{ h } 55'$

Ciénaga

. Area de la ciénaga  $A = 22.5 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ .

Canal:

. Longitud.  $L = 600 \text{ m.}$

. Radio hidráulico.  $R = 1.3 \text{ m.}$

. Sección.  $A_c = 56 \text{ m}^2$ .

. Coef. de Darcy Weisbach.  $f = 0.03$

. Coef. de pérdida al reflujo.  $K_f = 0.1$

. Coef. de pérdida de reflujo.  $K_j = 1$

Estos valores se obtuvieron de datos del terreno, cuando el canal estaba estabilizado en el tiempo.

TABLA 1 Características hidráulicas del canal de La Boquilla según cinco métodos de cálculo

		MAREA UNICAMENTE			MAREA + OLA	
		Hipótesis KEULEGAN		Hipótesis HUVAL et al (1977)		
		KING (1974)	O'BRIEN & DEAN (1972)	HUVAL & al (1977)	MAYOR-MORA (1977)	MAYOR MORA (1977)
DATOS	F	4,56				
	K <sub>1</sub>	366				
	K <sub>2</sub>	0,36				
	K <sub>e</sub>		0,16	0,16	0,16	0,16
$a \xi / a_0$		0,18		0,20		0,22
$a \xi$ (m)		0,04		0,05		0,05
V'm		0,15		0,15		0,19
V <sub>m</sub> (m/s)		1,10		1,10		1,40
$\epsilon$ (°)		79°		-		-
$\epsilon$ b		0,22		0,27		0,26
$\epsilon$ h		0,22		0,18		0,16
F		-		6,56		1,37
$\Delta / a_0$		0		0,28		0,4
$\Delta$ (m)		0		0,07		0,09
L <sub>b</sub>		5 h 15'		6 h 30'		6 h 10'
L <sub>h</sub>		5 h 15'		4 h 20'		3 h 55'

C. RESULTADOS SUPONIENDO LA AMPLITUD DE MAREA CONSTANTE

La tabla 1 presenta los resultados de los cinco métodos citados

- Método de O'BRIEN Y DEAN 1972, con las hipótesis de KEULEGAN (1967).
- Método de KING (1974), tomada de nuevo por SORENSEN (1977) (las mismas hipótesis);
- Método de HUVAL Y WINTERGERST (1977), con nuevas hipótesis,
- Método de MAYOR MORA (1977), las mismas hipótesis del anterior, pero considerando solamente la acción de la marea;
- Método de MAYOR MORA (1977), las mismas hipótesis del método de HUVAL Y WINTERGERST considerando la marea más las olas.

Se observa que los cuatro métodos que no consideran la acción de las olas dan resultados similares. Los datos de MAYOR MORA concuerdan con los datos observados en el terreno.

De la tabla 1 se puede deducir la figura 4, la cual reagrupa todos los datos en un poco más que un ciclo de marea. Se supone que la marea es de tipo diurno y que no hay aportes de agua dulce.

Se observa que la duración de la corriente de flujo es de 9 h 10' de promedio y que la del reflujo dura 14 h 40'.

Las velocidades son máximas en el flujo; en el reflujo la velocidad es menor (alrededor de 20 %).

Consideramos ahora los aportes de agua dulce en la ciénaga. Se sabe que el canal está abierto entre los meses de abril y noviembre, y que las lluvias empiezan en abril y terminan en noviembre, luego parece plausible que la pluviosidad, por sus aportes en la ciénaga, permitan mantener el canal abierto.

MAYOR MORA (1977) ha realizado ensayos con aportes de agua dulce, constatando un aumento del nivel de la ciénaga, un aumento en la duración del reflujo y un aumento en la velocidad del reflujo. No hay modificaciones en la  $a_1 / a_0$ .

Un estudio sobre las aportaciones de la lluvia en la cuenca vertiente de la ciénaga ha sido efectuado por ANTOINE (1972), PAGLIARDINI y VERNETTE (1982), reactualizando esos datos. La tabla 2 presenta el balance mensual de las aportaciones de agua dulce en la ciénaga de Tesca y de un conjunto de características climáticas que tienen importancia para el régimen de desagüe en los alrededores de la ciénaga.

La cuenca vertiente según los cálculos, presenta un déficit importante de agua durante diez de los doce meses. Sólo octubre y noviembre tienen estadísticamente un desagüe permanente que llega a la ciénaga. El aumento resultante del nivel del agua es de 1 cm sobre un ciclo de

TABLA 2. Balance mensual de los aportes de agua dulce a la ciénaga.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PLUVIOSIDAD	7	1	1	24	88	105	71	108	137	198	125	38
PLUVIOSIDAD (mm)	142	151	173	163	146	123	144	131	119	114	111	133
ETP (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	18	100	100	5
HUMEDAD DEL SUELO (%)	12	1	1	24	88	105	71	108	119	114	111	133
ETR (mm)	130	150	172	139	68	18	73	23	-	-	-	-
DEFICIT EN AGUA (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	444	3108	-
APORTE DE ZONAS DE GRAN PENDIENTE (10 <sup>6</sup> l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	532	3724	-
APORTE DE ZONAS PLANAS (10 <sup>6</sup> l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	448	-
APORTE DE LA ZONA DE LA CIENAGA (10 <sup>6</sup> l)	915	468	229	115	67	30	14	7	3	552	4108	1830
DESAGÜE EN LA CIENAGA (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	0,35	0,19	0,08	0,04	-	-	-	-	-	0,22	1,58	0,7
CAUDAL ENTRANTE EN LA CIENAGA (m <sup>3</sup> / s)	4	2	1	0,5	-	-	-	-	-	26	18,3	8
VARIACION RESULTANTE DEL NIVEL DE LA CIENAGA (cm)	0,14	0,07	0,03	0,01	-	-	-	-	-	0,1	0,62	0,28
VARIACION DEL NIVEL DE LA CIENAGA POR MAREA (cm)												

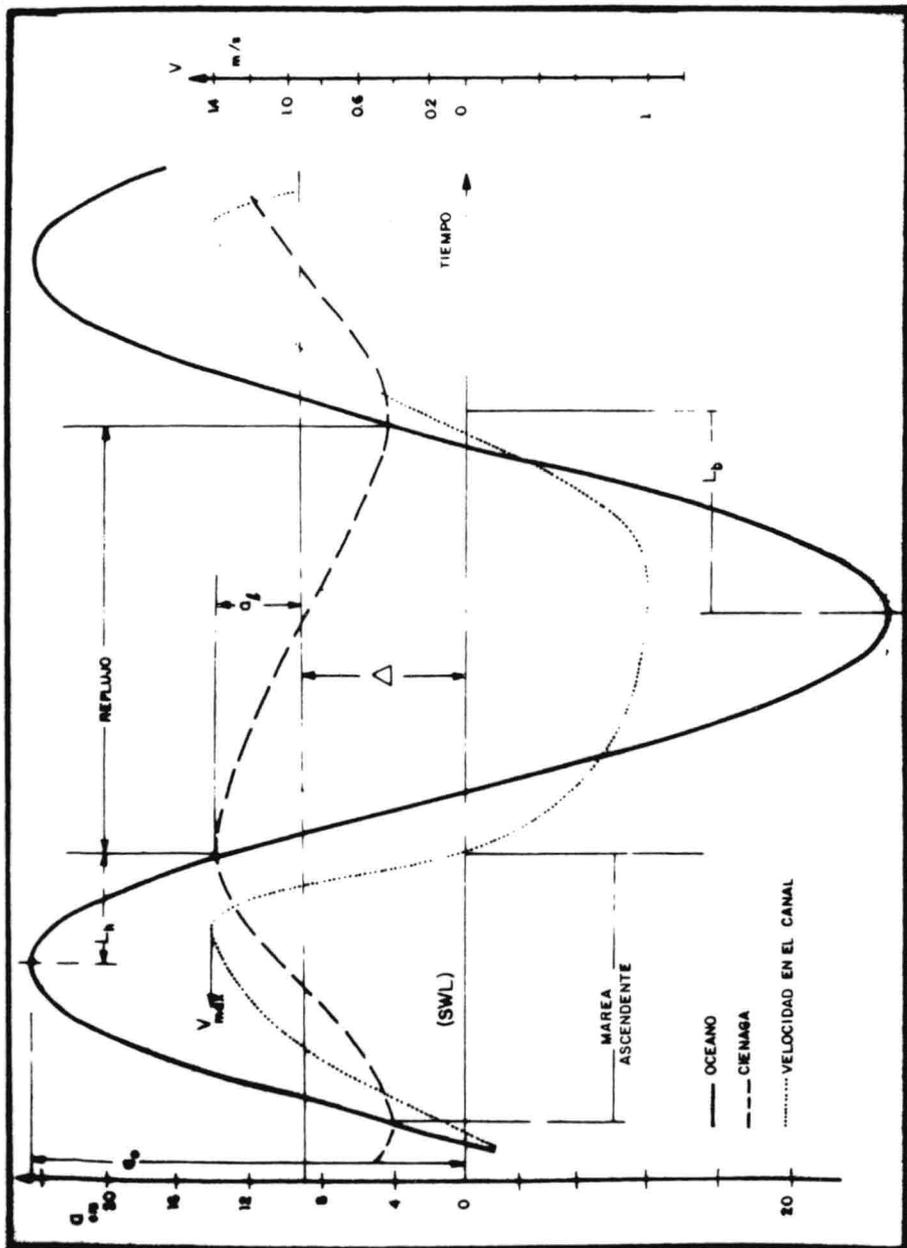


FIGURA 4. Características hidráulicas medias del canal de La Boquilla

marea de noviembre. Esta diferencia es baja y produce una variación de 3 cm/seg en la velocidad de la corriente de reflujo. Sin embargo, precipitaciones excepcionales pueden ocasionar la desaparición de la corriente de flujo sobre más de un ciclo de marea. Este hecho está confirmado por pescadores de La Boquilla.

Este canal está, pues, mantenido esencialmente por la marea que se opone al encallamiento ligado al tránsito litoral

**D. RESULTADOS SUPONIENDO QUE LA AMPLITUD DE MAREA ES VARIABLE**

Se sabe que la marea no es constante a lo largo del año. El Ministerio de Obras Públicas (MOP) en su estudio sobre las alcantarillas de Cartagena, publicó en 1979 un trabajo bastante completo sobre las mareas. La figura 5 muestra las fluctuaciones mensuales del nivel medio (MTL: Mean Tide Level) entre 1948 y 1949.

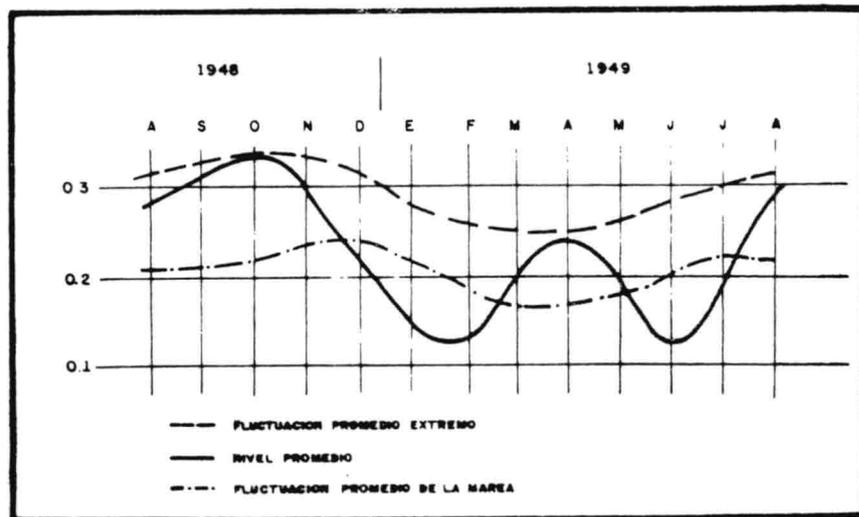


FIGURA 5. Fluctuaciones mensuales debido a la marea en Cartagena ( En MOP 1949).

El año se recorta en dos mareas máximas y dos mínimas. Supongamos ahora, por necesidad de los cálculos, que la sección del canal no varía con el tiempo.

$$A_c = 55 \text{ m}^2$$

(lo que es evidentemente falso, pues si el canal se llena  $A_c$  es nulo).

Se acaba de ver que la marea es el principal mecanismo para mantener la

apertura del canal. Luego vamos a considerar la hipótesis de que no se cierre, con el fin de estimar las características hidráulicas que sólo la marea le otorgaría

Los resultados están agrupados en la tabla 3 y algunas variaciones se presentan en la figura 6

TABLA 3. Variación de las características hidráulicas del canal bajo la acción.

	ENERO	MARZO	JUNIO	OCTUBRE
$A_c$	55	55	55	55
$V_m$	0.23	0.18	0.23	0.15
$a/a_0$	0.32	0.22	0.32	0.19
$a_0$	0.14	0.24	0.14	0.33
$a_f$	0.045	0.053	0.045	0.060
$K_e$	0.2	0.16	0.2	0.11
$V_m$	0.95	1.30	0.95	1.50
$E_b$	0.24	0.26	0.24	0.27
$L_b$	5 <sup>h</sup> 45'	6 <sup>h</sup> 10'	5 <sup>h</sup> 45'	6 <sup>h</sup> 25'
$E_n$	0.16	0.17	0.16	0.17
$L_n$	3 <sup>h</sup> 55'	4 <sup>h</sup> 05'	3 <sup>h</sup> 55'	4 <sup>h</sup> 05'
$K_e \sqrt{F}$	0.6	0.38	0.6	0.32
$P_{(10^6 m^3)}$	2.02	2.38	2.025	2.7
$Q(m^3/d)$	17.4	23.8	17.4	27.5

Se pueden apreciar aquí algunos tamaños que son compatibles con las medidas tomadas en el terreno, velocidades máximas inferiores a 1.5 m/seg y caudales entre 20 y 30 m<sup>3</sup> / seg.

Un factor del que no se ha hablado y cuyos efectos en la corriente del canal deben ser importantes es el viento.

Puede, soplando violentamente sobre la superficie de la ciénaga provocar un aumento o un descenso local de varios centímetros durante algunas horas. Este mecanismo está descrito en el SPM (1973).

Las modificaciones de la superficie causan un cambio de la pendiente y luego del caudal en el canal. Sin embargo su acción está limitada en el tiempo.

#### IV. CAUDAL SOLIDO EN EL CANAL

Existe multitud de fórmulas para evaluar el caudal sólido en un canal a partir de las velocidades del flujo. MITCHELL (1973), muestra que la divergencia de los resultados excede frecuentemente el 100%. Argumenta este tema desarrollando los cálculos según la fórmula de MEYER PETER, de KALINSKE y de SCHOKLITSH, y subrayando las diferencias obtenidas. Luego hay que ser muy prudentes en la hipótesis de cálculo y ser conscientes de la precisión relativa de los resultados.

Por estas razones no se presentarán resultados de esos cálculos.

En La Boquilla, la arena es fina  $D_{50} = 125 \mu m$ . Se puede pues prever un ahondamiento importante del canal, siendo débil la velocidad de erosión ( $U_0 = 0.25 m/seg$ ). Como los materiales son finos, la marea tiende a agrandar y a profundizar el desagadero, pero igualmente el oleaje tiende a taparlo (LARRAS, 1964).

#### V. ESTABILIDAD Y EVOLUCION DE LA SECCION DEL CANAL

El aspecto físico de un canal y de su desembocadura varía constantemente con el tiempo. SORENSEN (1977), proporciona un método para evaluar la estabilidad en el tiempo de la sección de los canales de marea en las costas americanas. Propone representar la variación del prisma de marea en función de los valores de la sección del canal. Se llama a esta curva la respuesta hidráulica del canal. Se busca luego la fórmula de estabilidad del canal elaborada empíricamente por JARRETT (1976), que depende del tipo de canal (con o sin dique, con una o dos escolleras) y del tipo de marea (diurna o semi-diurna).

La figura 6 muestra la variación del prisma de marea en la ciénaga, en función de los diversos valores de la respuesta hidráulica del canal, superpuesta a su línea de estabilidad.

Según JARRETT (1976), para un tipo de marea diurna, sin escolleras ni dique:

$$A_c = 3.51 \times 10^{-4} P^{0.86}$$

$A_c$  = Sección del canal.

$P$  = Prisma de marea.

Varias configuraciones se presentan

Si la ecuación del canal está por encima de la recta de estabilidad, el prisma de marea es demasiado grande para el valor de  $A_c$ , hay erosión del canal (porción A de la figura 7).

- Si la ecuación está por debajo, hay sedimentación y obturación del canal (porción B de la figura 7).

- Si las dos rectas se cortan, hay equilibrio (caso de los puntos 1 y 2):

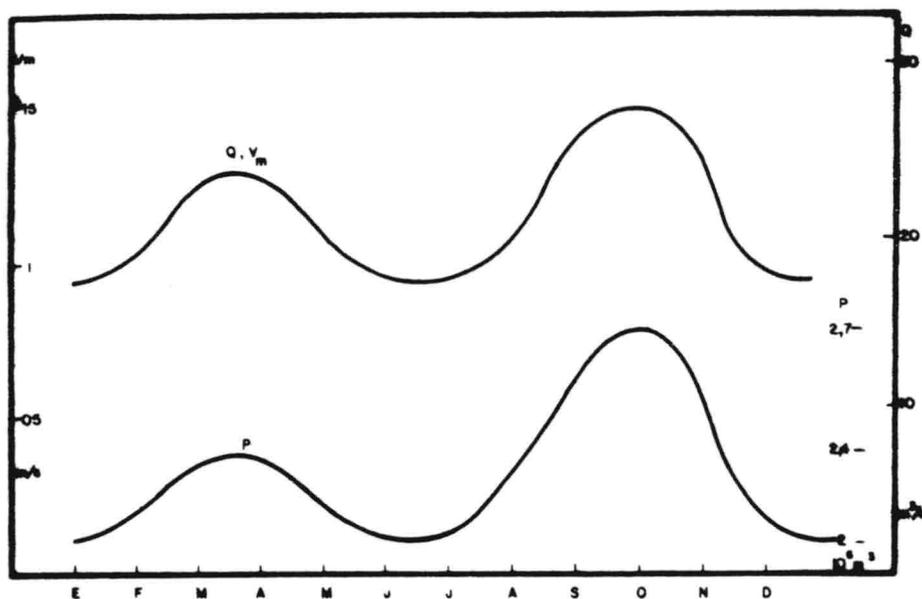


FIGURA 6 Fluctuaciones del prisma de marea, del caudal líquido y de la velocidad máxima de la corriente en el canal durante el año.

El equilibrio es estable y un aumento de la sección del canal provoca una sedimentación y una disminución causa una erosión (como en el punto 1);

El equilibrio es inestable, en el caso contrario (punto 2), este equilibrio es solo aparente, pues corresponde a una variación muy lenta  $A_c$  por erosión o depósito.

Si referimos el caso del 2 de abril de 1981, donde  $A_c$  valía  $35 \text{ m}^2$ , se observa bien que la sedimentación tiende a tapan el canal cuando los niveles mar-cié-naga estan equilibrados.

El funcionamiento medio del canal de la boquilla se cumple con una sección de  $55 \text{ m}^2$ , pudiendo alcanzar en los casos más extremos  $80 \text{ m}^2$ .

Esta teoría se verificó bien en nuestro caso. En efecto, se tiene un aumento de la sección del canal, que pasa de  $42 \text{ m}^2$  en la apertura a  $65 \text{ m}^2$  en su cierre de 1981.

En las condiciones actuales, si se quiere dibujar un canal sin escollera ni

dique que sea estable, hay que aumentar su sección hasta  $560 \text{ m}^2$  (o sea 10 veces su sección actual).

Este tipo de estabilidad precaria debe relacionarse con la apertura de Boca Grande por los españoles. MARCO DORTA (1960), cuenta que por la mitad del siglo XVII, el estrechamiento de Boca Grande se cierra naturalmente. Un siglo más tarde, alrededor de 1740, los españoles practicaron una apertura en el cordón arenoso con el fin de permitir el paso a barcos de poco calado, pero la apertura se ensancho cada vez más y en 1760 era posible el paso de barcos de alto tonelaje. Fue por razones de seguridad para la ciudad de Cartagena, que se decidió en 1768 la construcción de un muro sub-marino, la escollera, que unía Boca Grande con la isla de Tierra Bomba.

El pequeño canal presentaba condiciones de equilibrio inestable que han podido conducir a un aumento de la sección del canal.

En resumen, se advierte que paralelamente con el movimiento del canal hacia el sur, su sección va aumentando, no tiene tiempo para su valor de estabilidad, ya que la deriva litoral se vuelve preponderante en noviembre y tapa la entrada del canal.

#### VI. APERTURA Y CIERRE DEL CANAL

La apertura del canal está relacionada con la sección de las olas y de las mareas. El cierre está ya lo hemos visto relacionado con el antagonismo de la deriva litoral y de la corriente en el canal, se utilizará para describir estos eventos el método de LARRAS (1972).

Si se designa por  $O$  el volumen de agua que sale por el paso a lo largo del año

$$O = 353 P$$

Siendo  $P$  el prisma de marea.

Si se designa con  $S$  el volumen de arena que salva una perpendicular con la costa en el mismo tiempo.

$$S = 12 Q_1$$

$Q_1$  siendo calculado por mes.

Según LARRAS (1964)

Si $O/S$	$>10^6$	$<10^5$
Entonces	El agua del canal desvía la arena de la deriva costera.	El banco de arena casi no es desviado.

Si  $O/S = 10^5$ , hay tendencia al cierre.

En la figura 7 se ha trasladado  $O$  en  $\text{m}^3$  por año y  $10^5 S$  en  $\text{m}^3$  /año.

Las dos rectas cortándose:

. Si  $0 > 10^5$  s, se mantiene la apertura;

. Si  $0 < 10^5$  s, hay tendencia al cierre.

Se ha rayado la zona donde la apertura es posible, se puede observar bien que, de abril a noviembre, si la apertura existe, se auto-mantiene por la corriente en el canal.

Si la apertura del canal puede hacerse en diferentes momentos del año, su conservación no se puede asegurar de diciembre a marzo pues la deriva litoral rellena el canal.

#### VII. MODIFICACION DEL TRANSITO LITORAL EN LA DESEMBOCADURA DEL CANAL

El canal de La Boquilla generalmente está abierto de mayo a diciembre y su apertura modifica el tránsito litoral por desviación de la arena hacia el interior de la ciénaga de Tesca. El canal también elabora en su desembocadura un banco que hace las veces de provisión de arena, que es repartida de nuevo cuando se produce el cierre del canal en el tránsito litoral.

##### A. DESVIACION DEL TRANSITO LITORAL HACIA EL INTERIOR DE LA CIENAGA

La presencia de un delta en la desembocadura del canal en la ciénaga de Tesca, es la prueba indiscutible de un aporte de arena hacia su interior.

Nuestros estudios fotográficos, efectuados regularmente a lo largo de todo el año (ver adjunto 1) en la zona de desembocadura del canal, permiten esquematizar los sucesos sedimentarios de la manera siguiente:

- Cuando el nivel de agua en la ciénaga se encuentra más bajo que el nivel medio del mar (por causa de la evaporación), la corriente queda orientada hacia el interior de la ciénaga durante varios días, acreando una considerable cantidad de arena que, al ser prisionera del mangle, edifica el delta interno.
- Cuando la ciénaga alcanza su nivel de equilibrio con el nivel del mar, el canal es el centro de dos corrientes de marea (flujo y refluo), y se inicia el antagonismo entre estas corrientes de marea y la deriva litoral. las corrientes de marea ensayan despejar la abertura del canal mientras el tránsito litoral concurre a su relleno. Como la deriva litoral proviene del norte, el canal empieza una migración hacia el sur,
  - . Las riberas norte son el centro de una acumulación de arena traída por las olas.
  - . Las riberas sur están en perpetua erosión.
- El cierre del canal ocurre cuando las corrientes de marea ya no tienen suficiente fuerza para limpiar el lecho del canal, de los sedimentos de la deriva costera. El cierre se produce, entonces, por una aportación de arena desde el mar.

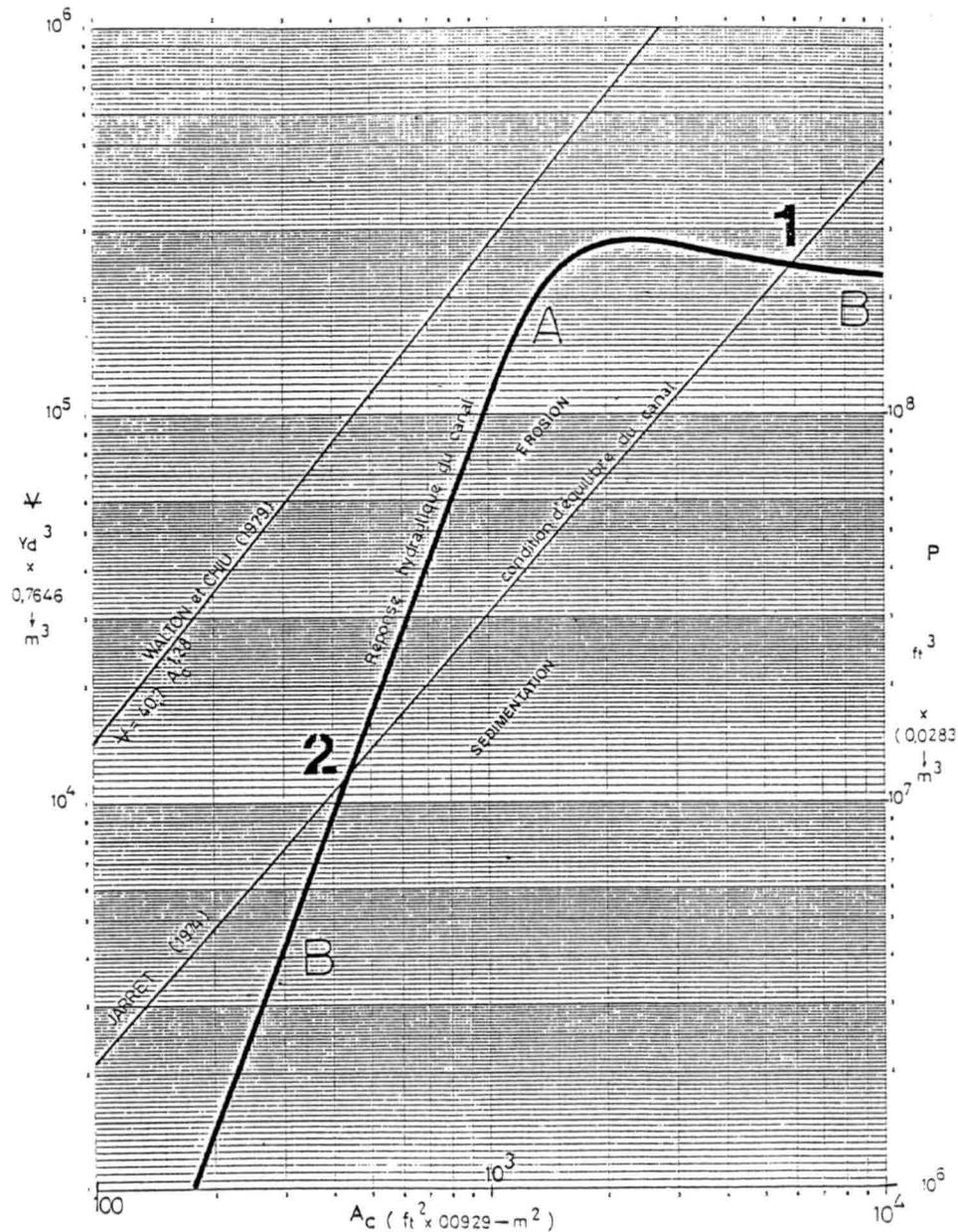


FIGURA 7. Variación del prisma de marea en la ciénaga en función de la sección del canal -- Respuesta hidráulica del canal -- Estabilidad del canal.

Con el fin de determinar la cantidad de los desplazamientos de arena de la zona de La Boquilla, se realiza una comparación de los estados topográficos con el método de cálculo siguiente:

- Se disponen cinco secciones paralelas con la zona más móvil (ver figura 8).
- Se traza para cada estado topográfico la variación del relieve sobre las cinco secciones.
- Se compara cada sección con el homólogo del estado topográfico siguiente, planimetrando la superficie aparecida o desaparecida (si ha desaparecido, se le incluye el signo -).
- Se cartografían los puntos nodales (puntos invariantes entre dos estados consecutivos, WEBER 1978), y las superficies medias medidas en cada sección.
- Se hace el cálculo de los volúmenes por la fórmula de la pirámide truncada (figura 9).

$$V = \frac{\delta}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2})$$

Donde  $\delta$  es el espacio de las secciones y  $S_1$  y  $S_2$  son las superficies de igual signo, las cuales se corresponden en las estructuras costeras (canal, cresta de playa, etc.).

- La posición de los puntos nodales delimitando las principales zonas de sedimento y erosión, llegamos a la tabla 4, la cual agrupa el conjunto de los datos calculados.

La "vida" de un canal puede ser ilustrada por los mecanismos dinámico-sedimentarios siguientes:

#### APERTURA DEL CANAL:

- Erosión de la cresta de playa (por la corriente del canal y la sección de las olas).
- Erosión de las riberas del canal (por la corriente del canal).
- Relleno del lecho del antiguo canal (por la corriente del canal).

#### MIGRACION DEL LECHO DEL CANAL POR DERIVA COSTERA:

- Erosión de las riberas del canal (por la corriente del canal y la sección de las olas).
- Excavación del nuevo lecho del canal (por la corriente del canal).
- Reedificación de la cresta de playa (por la deriva costera).

TABLA 4. Volúmenes de arena transportada por el canal de La Boquilla y por la deriva litoral según los levantamientos topográficos.

	31-3	5-8	20-5	21-4	2-4	1-4	3-2	MECANISMOS
	m <sup>3</sup> /235 j	m <sup>3</sup> /125 j	m <sup>3</sup> /30 j	m <sup>3</sup> /19 j	m <sup>3</sup> /j	m <sup>3</sup> /j	m <sup>3</sup> /28 j	EROSION CRESTA DE PLAYA
			4420		740		6740	EROSION PAREDES DEL CANAL
			40		2215		2680	EROSION LECHO DEL CANAL
		26 960						EROSION LECHO DEL CANAL ANTES DE LA CERRADA
10 190				1380				RELLENO ANTIGUO LECHO DEL CANAL
			2230	1300	1050		4950	REEDIFICACION DE LA CRESTA DE PLAYA
32130			700	1290				RELLENO LATERAL DEL CANAL
		9840						TOTAL EROSION (CANAL)
10190		26960	4460	1380	2955		9323	DEPOSITO (CANAL)
			2230	1300	1050		4950	DEPOSITO (OLAS)
32130		9840	703	1290				TOTAL DEPOSITO
32150		9840	2950	8031	1050		4950	RESULTANTE (NETA)
21940		-17120	-1530	1210	-1905		-4470	

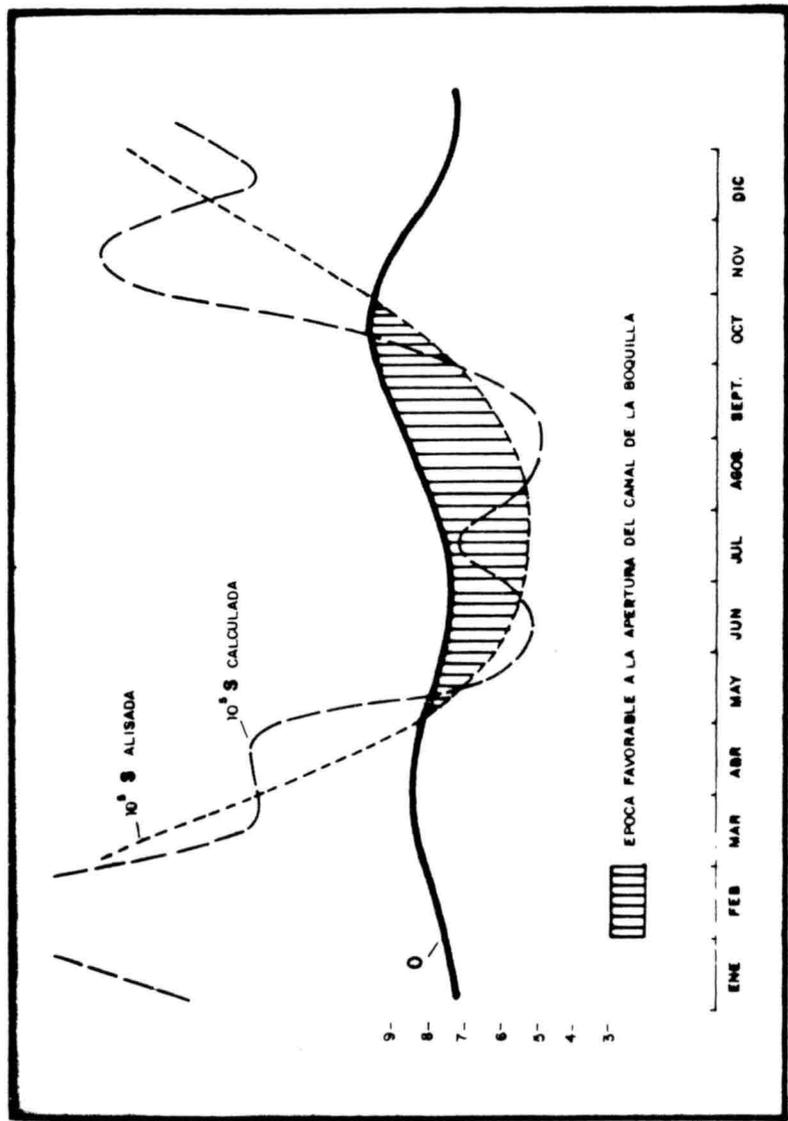


FIGURA 8. Apertura cierre del canal de La Boquilla.

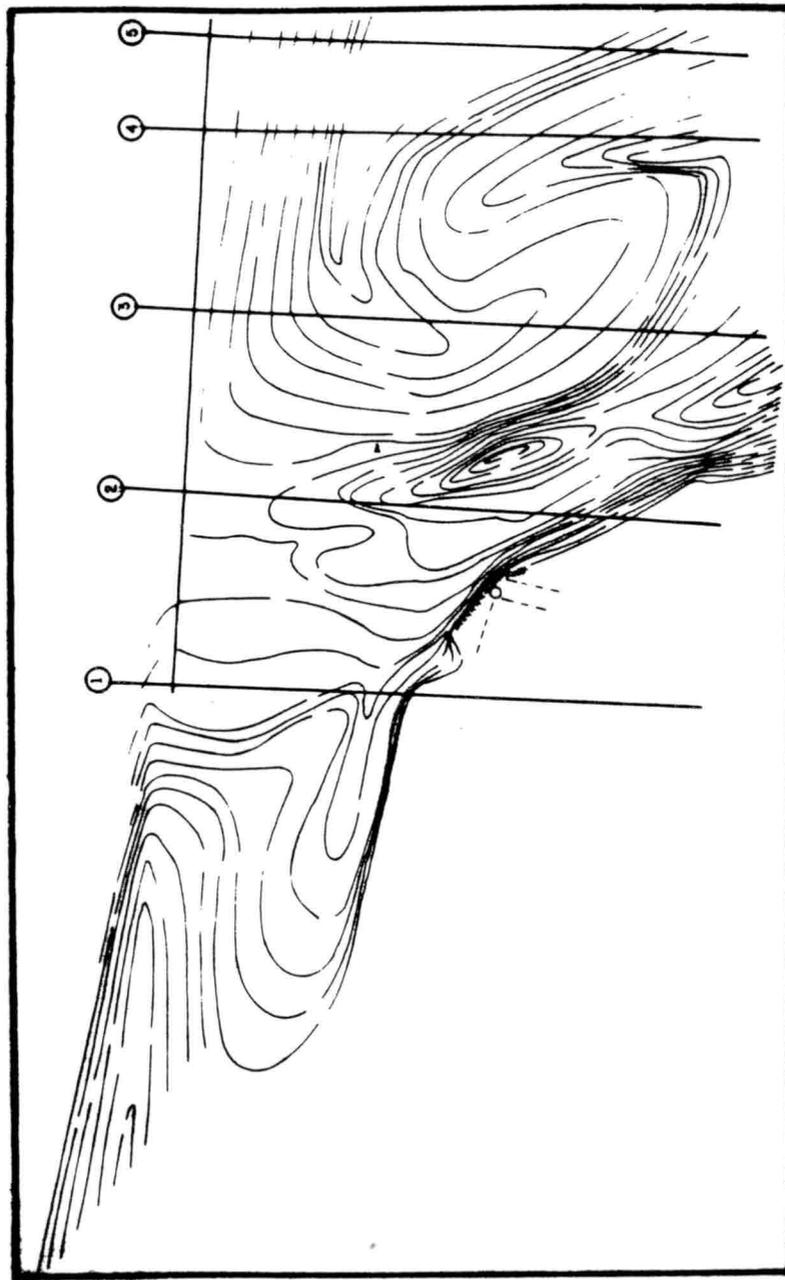


FIGURA 9. Posiciones de cinco secciones sobre los levantamientos topográficos de La Boquilla.

Relleno del antiguo canal (por la deriva costera).

#### CIERRE DEL CANAL

- Erosión del canal antes de su cierre (por la corriente del canal).
- Reedificación de la cresta de playa (por la deriva costera).
- Relleno del canal (disminución de la velocidad de la corriente del canal).

Después de determinar las cantidades de estos diferentes conjuntos, la arena que entró en la ciénaga durante la primera abertura del canal se puede estimar en 5.000 m<sup>3</sup> aproximadamente.

El aporte de las olas, abarcando la reedificación de tamaño de  $dQ_n/dx$ .

Luego se pueden comparar estos valores con los de nuestro cálculo (tabla 5).

	CANAL ABIERTO	CANAL CERRADO
$dQ_n/dx$ Observado	2	4,1
$Q^3$ mes. Calculado	3,4	5,26

\* AB. A 5 valores de  $dQ_n/dx$  calculados y medidos.

Se observa que los órdenes de tamaño y las variaciones están relacionados.

No es posible con este tipo de estado, evaluar el volumen de arena entrando y saliendo en cada marea. La configuración estable del canal al interior del delta invertido, hace pensar que el balance sedimentario total no está orientado hacia el interior de la ciénaga, sólo la abertura del canal permite la edificación del delta invertido, en caso contrario, el canal se rellenaría cuando ocurre el cierre, sobre una mayor longitud.

En el interior del canal, para un ciclo de marea, la velocidad del flujo es más fuerte que en el refluo (1,4 m/seg contra 1,2 m/seg), pero el flujo es más corto (9 h 20'), que el refluo (14 h 40'). Se puede pensar que el balance sedimentario del canal por marea será débil, aún despreciable.

Se observa también que la tendencia es a la erosión cuando se presenta la abertura del canal y que es el aporte el que domina cuando ocurre el cierre. Esta erosión alimenta el banco del canal el cual aporta arena.

$$V = \frac{\delta}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2})$$

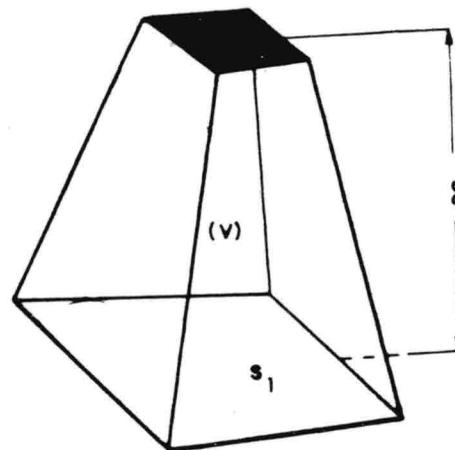


FIGURA 10. Esquema para el cálculo del volumen de un tronco de pirámide.

#### B. PROVISION DE ARENA RELACIONADA CON LA PRESENCIA DEL CANAL

Por la acumulación de arena en su banco externo y su delta interno, un canal desempeña el papel de reserva de arena (DEAN y WALTON, 1973). El banco se edifica a costa de la playa y la deriva costera deposita la arena en la desembocadura del canal. Esta arena es proyectada entonces hacia altamar. Luego con el movimiento del canal hacia el Sur, el transporte litoral progresa principalmente a lo largo del banco arenoso.

La evolución del aporte de arena puede hacerse por dos métodos.

- DEAN y WALTON (1973), proponen calcular la diferencia entre el relieve actual y otro en el cual se borraría el rastro del banco arenoso (ver figura 10).

- WALTON y CHIU (1979), dan una ecuación que une la sección del canal  $A_c$  con el volumen de arena acumulado, con el banco del canal ( $V$ ) (véase figura 6).

Hemos aplicado estos dos métodos al banco del canal de La Boquilla y obtenido:

- Por el método DEAN y WALTON (1.973) :  $V = 2.1 \times 10^5 \text{ m}^3$
- Por el método WALTON y CHIU ( 1979 ) :  $V = 1.4 \times 10^5 \text{ m}^3$

Cuando el canal desaparece, esta arena es puesta lentamente en circulación de nuevo en la deriva litoral, según el régimen de las olas. Se sabe que la zona de Morrito, es el centro de un tránsito litoral importante. Estamos aquí en presencia de una reserva potencial que la deriva puede utilizar.

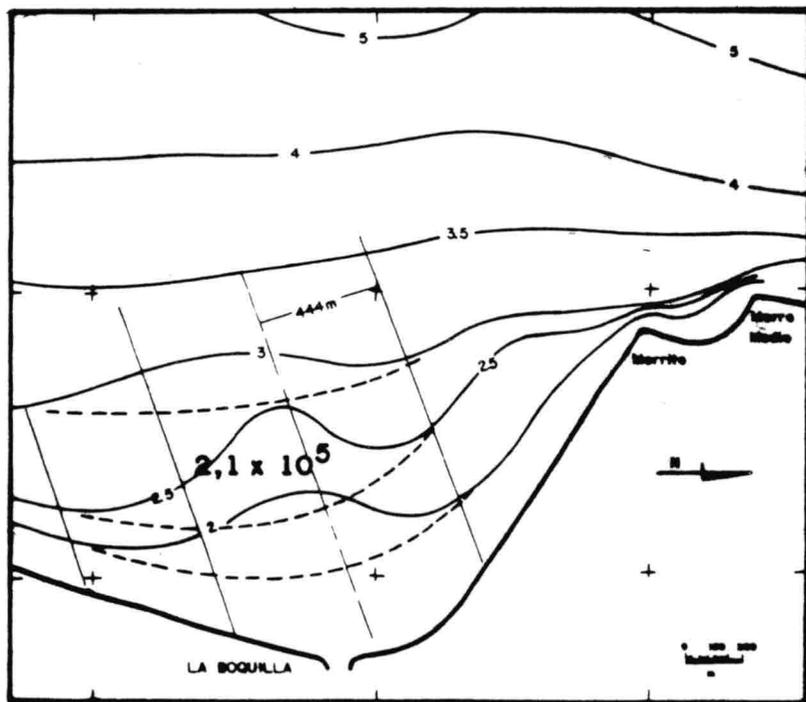


FIGURA 11. Evaluación del depósito arenoso de la barra del canal de La Boquilla según el método DEAN Y WALTON (1973).

#### CONCLUSION

Acabamos de ver en este artículo, la repercusión de la circulación sedimentaria general del banco de Playa Grande en una escala local. Se tiene una buena continuidad entre los fenómenos descritos por los cálculos a escala de la plataforma

litoral y las observaciones de carácter puntual realizadas en La Boquilla.

El problema del canal de La Boquilla reside en su extremadamente grande libertad, su abertura no está fijada ni en el tiempo ni en el espacio, con el fin de mitigar los inconvenientes del canal parece deseable estabilizarlo, dándole una abertura permanente, que sólo podría realizarse con la postura de escolleras y el encausamiento del canal; las escolleras bloquearían momentáneamente la deriva costera (la instalación de un "passingby" es deseable) y el encausamiento mejoraría fijando las características hidráulicas del canal.

Una vez estabilizada la abertura, será posible considerar la construcción de un puente, uniendo la zona de Los Morros con Cartagena.

Se ha observado por otra parte que el canal tenía dos efectos mayores sobre el tránsito litoral:

- Absorbe  $5.10^3 \text{ m}^3$  de arena cuando se abre.
- Reserva  $2.10^3 \text{ m}^3$  de arena frente a su boca, la cual puede ser puesta nuevamente en circulación por la deriva litoral.

## BIBLIOGRAFIA

- ABECASIS F. M. Coastal hydraulic model and their verification in nature. *Quaderni de la Ricerca Scientifica*, Roma, 1976. p. 77-94, 8 fig. et photos.
- ANTOINE Ph. Régimen de las aguas en la hoya de la Ciénaga de la Virgen y en su desembocadura de la Boquilla. L.E.H., L.C.H.F., M.O.P., Bogotá, 1972.
- BRESSOLIER C. Processus d'actions dynamiques et réponses sédimentaires à la pointe de la Coubre. *Mém. Lab. Géomorph., Ecole Pratique des Hautes Etudes*, Dianard, no. 27, 1974. 107 p., 12 tabl., 34 fig.
- BUITRAGO J., CAMPOS N., LLANO M., VERNETTE G. Variaciones morfológicas de las costas de la bahía de Cartagena a partir del siglo XVI. *Bol. Centro Invest. Oceanog. Hidrog.*, Cartagena, Colombia, 1977. Vol. 1 p. 21-39, 10 fig.
- BUREL T. Caractérisation des modalités d'évolution récente de la marge continentale nord-colombienne. Thèse 3ème cycle, 1982. Université de Bordeaux I, N° 1018, 200 p., 72 fig., 24 car.
- BUREL th., VERNETTE G. Huellas de la última transgresión marina en la región de Cartagena. In *Boletín Científico CIOH* no. 4. Cartagena, 1982. p. 39-47, 3 fig., 8 fotos.
- CASAS J. Estudio hidrogeológico preliminar para el abastecimiento de aguas subterráneas en el municipio de Cartagena. *Ser. Geol. Nacional de Colombia*, Bogotá, 1958. Informe 1277, 22 p., 1 carte, 3 fig.
- DEAN R. G. Heuristic models of sand transport in the surf zone. *Proceedings of conference on engineering dynamics in the surf zone*, Sidney, 1973. p. 208-215.
- DEAN R.G., EAGLESON P.S. Finite amplitude waves. In *Estuary and coastline hydrodynamics*, Mc Graw-Hill Book Co. Inc., New-York, 1966. p. 93-132.
- DEAN R.G., WALTON T.L., Jr. Sediment transport processes in the vicinity of inlets with special reference to sand trapping. *Estuarine research*, Vol. II. Academic Press, New-York, 1973. p. 129-151, 9 fig., 2 tabl.
- ESTUDIOS TECNICOS LTDA. Rectificación del caño Juan Angola y dragado de la Ciénaga de la Virgen en Cartagena. C.N.T., Cartagena. 1975.
- FRAPPA M., BRICEÑO L., PUJOS M., VERNETTE G. Reconocimiento sísmico en la plataforma continental de Colombia. Sedimentos recientes y estructura. (à paraître - *Bull. Inst. Geol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux), 1983.
- GONZALEZ A., et al. Estudio hidroclimático de la región del Caribe. I.G.A.C., Bogotá. 1975.
- HIDROESTUDIO. Rehabilitación de la zona sur-oriental de Cartagena. *Diseño de las obras de adecuación de terrenos*. Informe final. Cartagena. 1978.

- HUVAL C. J. et WINTERGERST J. E. Simplified numerical simulation, comparison of numerical and physical hydraulic models. Masomoro inlet, North Carolina. G.I.T.I. Report 6, App. 4, U.S. Army, Corps of engineers, Coastal engineering research center. Fort Belvoir. 1977.
- J. P. A. Plan maestro de alcantarillado. Plantas depuradoras de la Ciénaga de Tesca. EE PP.MM., Cartagena. 1975.
- JARRET J. T. Tidal prism. Inlet area relationships. G.I.T.I. Report 3, U.S. Corps of Engineers, C.E.R.C., Fort Belvoir. 1976.
- KEULEGAN G. H. Wave motion. Chap. 11 of "Engineering Hydraulics" H. Rouse Edit., John Wiley and sons. New-York, 1950.
- KEULEGAN G. H. Tidal Flow at Entrances. *Tech. Bull. no. 14*, Committee on tidal hydraulics. Corps of Engineers, U.S. Army. Fort Belvoir, 1967.
- KING D. B. The dynamics of inlets and bays. T.P. 22. C.O.E.L., Univ. Florida, Gainesville, 1974.
- KING D. B. The dynamics of inlets and bays. T.P. 22. C.O.E.L., Univ. Florida, Gainesville. 1974.
- KLINGEBIEL A., VERNETTE G. Marine Geology research on the Colombian Caribbean shelf. *Symposium CARIBBEAN*, Caracas, 1976. p. 393-398, 5 fig.
- LECLERC J. P. Action de la houle sur les sédiments. *Lab. Centre Hydr. France*, Paris. 1976. 191 p.
- LARRAS J. Plages et côtes de sable. Eyrolles Ed., Paris, 1957. 116 p.
- LARRAS J. Embouchures, estuaires, lagunes et deltas. Eyrolles Ed., Paris. 1964. 170 p.
- LARRAS J. Hydraulique et granulats. *Collection du Centre de Recherches d'Essai de Chatou*, Eyrolles, Paris, 1974. 254 p.
- LECLERC J. P. et al. Estudio de playas en Cartagena. *Protección de la Avenida Santander. Informe general*. L.E.H., L.C.H.F., M.O.P., Bogotá, 1971.
- LECLERC J. P. Cartagena, estabilización de la boca "La Boquilla". L.E.H., L.C.H.F., M.O.P., Bogota, 1971.
- LECLERC J. P. Playas de Cartagena, estudio en modelo reducido. *Rapport L.C.H.F.*, L.E.H., Bogota. 1972. 57 p., 11 fig.
- LE MEHAUTE B., SOLDATE M. Mathematical Modelin of shore evolution. *Miscellaneous Report no. 77-10*, U.S. Army, Corps of engineers, C.E.R.C., Fort Belvoir, 1977. 56 p.
- LESUEUR P. Sédiments et milieux sédimentaires dans la baie de Cartagena (Colombie). Thèse 3ème cycle, Univ. Bordeaux I, 1979. no. 1539, 144 p., 72 fig., 2 tomes.

- LESUEUR P., VERNETTE G. Etude sédimentologique en la baie de Cartagena (Colombie). Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, 1978. no.24, p. 71-84, 14 fig.
- LESUEUR P., VERNETTE G. Approche sédimentologique d'un problème d'érosion de plage dans la baie de Cartagena (Colombie). Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, 1979. no.26.
- LESUEUR P., VERNETTE G. Proceso de erosión en la playa de Manzanillo. Bol. Científico. C.I.O.H., Cartagena, Colombia, 1981. p. 55-72.
- MARCO DORTA E. Cartagena de Indias puerto y plaza fuerte. A. Amado Ed., Cartagena, 1960.
- MAYOR MORA Laboratory investigation of tidal inlets on sandy coast. G.I.T.I., Report 11, U.S. Army, Corps of Eng., C.E.R.C., Fort Belvoir, 1977. 106 p.
- MITCI C. Le débit solide à la rive sud du fleuve Saint-Laurent au Québec et ses effets sur le canal de prise d'eau de la Centrale nucléaire de Gentilly. Centre Belge d'Etude et de Documentation des Eaux., 1973. no. 353, p. 183-189, Bruxelles.
- M.U.P. Alcantarillado de Cartagena. Informe preliminar. Cartagena, 1949.
- O'BRIEN M. P. Equilibrium flow areas of tidal inlets on sandy coasts. Journ. of the Waterways and Harbors division, A.S.C.E., 1969. Vol. 95, no. WW 1, p. 43-52.
- O'BRIEN M. P. and DEAN R. G. Hydraulics and sedimentary stability of coastal inlets. Proceedings of the 13th Coastal Eng. Conf., Vancouver, Canada, 1972. p. 761-780.
- PAGLIARDINI J. L. Síntesis del proyecto bahía de Cartagena - Oceanografía física. Bol. Cient. C.I.O.H., Cartagena, Colombia, 1982. no. 4, p. 49-110.
- PAGLIARDINI J. L., VERNETTE G. (à paraître). Variation du niveau des eaux de la Ciénaga de tesca. Bol. Cient. C.I.O.H., Cartagena, Colombia.
- PUJOS M., PAGLIARDINI J. L., STEER R., VERNETTE G. et WEBER O. Influence du contre-courant nord colombien sur la circulation des eaux de la plateforme continentale : son action sur la dispersion des effluents en suspension du Magdalena (à paraître : Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, 1983).
- SANTA CRUZ H., PARRA R. Estudio oceanográfico preliminar de la bahía de Cartagena. Pub. Armada de Colombia, C.I.O.H., Cartagena, 1973. 15 p., 31 fig.
- SCHAUS R. Modelo Hidrodinámico numérico de circulación. DIMAR Ministerio de Defensa Nacional, Bogotá D.O. 15, 1972. 29 p., 1 fig.
- SCHAUS R. Circulación y transporte de agua en la bahía de Cartagena de Indias mediante su representación por el modelo hidrodinámico numérico de circulación. DIMAR Ministerio de Defensa Nacional, Bogotá, D.O. 20, 1974, 49 p., 26 fig.

- SCHAUS R. Estimación del período de renovación de las aguas en un estuario o una bahía - Aplicaciones a la bahía de Cartagena. DIMAR Ministerio de Defensa Nacional. Bogotá. D.O. 1974. 21 p., 7 fig.
- SEKELING W.N. A simple computer model for evaluating coastal inlet hydraulics. C.E.T.A. no. 77-1, U.S. Army, Corps of Eng., C.E.R.C., Fort Belvoir, 1977, 47 p.
- SERVICIO COLOMBIANO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Boletín Climatológico mensual H.I.M.A.T., Bogotá.
- SERVICIO COLOMBIANO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Calendario Meteorológico. H.I.M.A.T., Bogotá.
- SHORE PROTECTION MANUAL U.S. Army coastal engineering research center, Washington, 1973. 3 Vol., 1184 p.
- SORENSEN R. M. Procedure for preliminary analysis of tidal inlet hydraulics and stability. C.E.T.A., no. 77-8, U.S. Army, Corps of eng., C.E.R.C., Fort Belvoir, 1977. 20 p., 5 fig., 1 tabl.
- TANNER W. F. Comparaison of Phi percentile deviations. Sed. Petrol., Tulsa, Okla., 1958. Vol. 28, no. 2, p. 203-204.
- TANNER W. F. The "a-b-c..." model. Proceedings of Symposium "Sediment Transport in nearshore zone" Tallahassee, Florida, 1974. p. 12-22.
- THORNTON E. B. Longshore current and sediment transport. Dept of Coastal and Oceanogr. Eng., Univ. of Florida, Gainesville, 1970. Tech. report no. 5.
- VERNETTE G. Estandarización de los criterios sedimentológicos para la cartografía de la plataforma continental. Bol. cient. C.I.O.H. Cartagena, Colombia. 1982. no. 4, p. 3-13, 4 fig.
- VERNETTE G., HINCAPIE de MARTINEZ S., MARTINEZ J. O., PARADA C. R. Características et support des sédiments sur la plateforme continentale colombienne de la mer Caraïbe. (à paraître, Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux), 1983.
- VERNETTE G., BUITRAGO J., CAMPOS N., LLANO M. Variaciones morfológicas de las costas de la bahía de Cartagena a partir del siglo XVI. Bol. Cient. C.I.O.H. Cartagena, 1977. no.1, p. 29-39, 10 fig.
- VERNETTE G., LESUEUR P., KLINGEBIEL A. Evolution morphologique et sédimentologique de la flèche du Laguito. (baie de Cartagena, Colombie). Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, 1978. no. 23, p. 127-145. 20 fig., 10 tabl.
- WALTON T. L., CHIU T. Y. Littoral sand transport on beaches. Univ. Florida, Gainesville, COEL, 1979. TR 041, 319 p., 90 fig., 24 tabl.
- WALTON T. L. Jr. Computation of Longshore energy flux using LEO current observations. C.E.T.A., no. 80, U.S. Army, Corps of Eng., C.E.R.C., Fort Belvoir, 1980. 12 p.