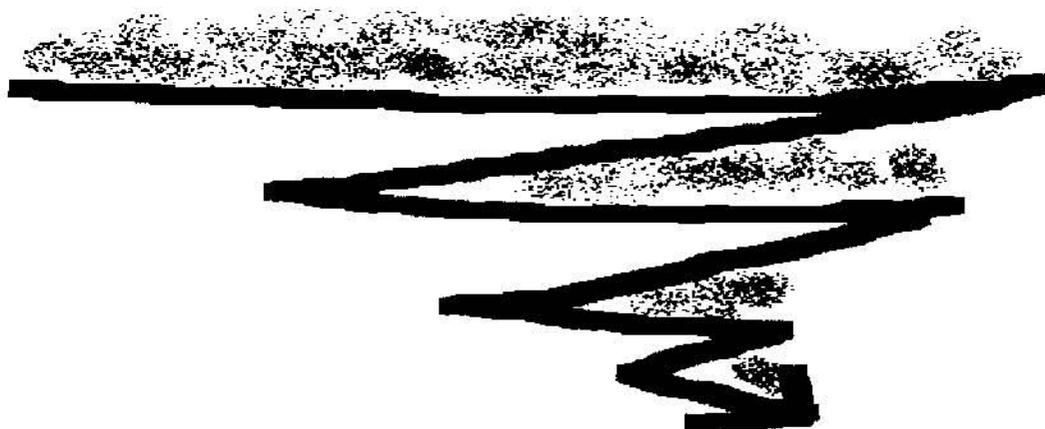


Modelos Morfodinámicos en Geología

CURSO DE DOCTORADO

Prof. Dr. J. Martínez Martínez

ULPGC



**Este Curso de Doctorado pertenece al Programa de Doctorado
"Métodos Matemáticos en las Ciencias de la Naturaleza"
para el cual se valora con 3 créditos.**

Fechas: A partir del 18 de Octubre de 1993.

Primera sesión: 18 de Octubre, Lunes, a las 13:30

Lugar: Departamento de Matemáticas

INDICE

	Pag.
1. Delimitación del campo de la experimentación.	04
2. Introducción a la modelización de los procesos sedimentarios intermareales, en playas arenosas: Filosofía de procedimiento y tipologías de modelos.	09
3. Escenarios geográficos de la modelización.	14
4. Bancos de datos de partida, para el diseño de los distintos modelos.	18
5. Un modelo físico respecto a los procesos sedimentarios del litoral: las clasificaciones climáticas de las playas arenosas.	30
6. Modelos a partir de una ecuación diferencial, con un término logístico y otro de saturación. Interpretación genética de los mismos.	56
7. Modelos de ecuación diferencial, con un término logístico, otro de impulsos energéticos y un tercero de ruidos.	74

8. Modelos deterministas, para evaluar los impulsos energéticos.	87
9. Modelos de la composición frecuencial del balance sedimentario, para determinar, en parte, el término de ruidos.	96

1. Delimitación del campo de la experimentación.

La macro modelización geológica se centra en la Tectónica de Placas (cuadro 1), que constituye la estructura conductora del conjunto de procesos, que tienen lugar en el Planeta Tierra.

Estos procesos son:

- tanto constructivos, de geodinámica interna,
- como destructivos, de geodinámica externa.

La geodinámica externa, que modela la superficie de la Tierra, comprende tres tipos de procesos:

- erosivos,
- de transporte, y
- de deposición sedimentaria,

De esta manera, desde una perspectiva de procesos externos, se pueden obtener modelos morfológicos, correspondientes a un espectro muy amplio:

- desde los que explican los ripple marks, por ejemplo, en los depósitos sedimentarios de las arenas, tanto de ambientes marinos como eólicos,
- hasta los que se refieren a la génesis y evolución de las grandes formas del relieve (calderas de erosión, amplios valles, potentes acantilados, etc.).

En este curso de doctorado, se pretende dar una panorámica, ciertamente muy limitada, de la modelización de los procesos de ganancias y pérdidas sedimentarias, en ambientes de playas

arenosas.

La sub-estructura conductora será:

- una clasificación de costas, que contemple la erosión, transporte y depósito, en los procesos sedimentarios (cuadro 2),
- y el conjunto de dependencias y condicionantes (variables), que definen la dualidad causas - efectos.

La modelización de los procesos sedimentarios, en las playas arenosas, tienen un fuerte interés:

- en la propuesta de usos,
- en la redacción de proyectos,
- y en la toma de decisiones,

para la protección y/o recuperación de estos espacios geográficos:

- que representan, en muchas ocasiones, la materia prima, de una industria turística,
- y que suelen ser, además, lugar de esparcimiento y disfrute de los lugareños.

En definitiva, esta modelización supone una herramienta en la ordenación, planificación y gestión de una parte importante del litoral.

Macro - modelización: La Tectónica de Placas.	Modelización de procesos constructivos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estructura interna de la Tierra. 2. Formación de orógenos. 3. Actividad vulcanológica. 4. Génesis de islas oceánicas. 5. Localización y actividad sísmica. 6. Formación de rocas ígneas y metamórficas. 7. etc.
	Modelización de procesos destructivos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modelos geomorfológicos a partir de los procesos de erosión. 2. Modelos de transporte sedimentario. 3. Modelos de deposición sedimentaria. 4. Modelos mixtos.

Cuadro 1

La modelización de los procesos geológicos.

ECOSISTEMA LITORAL					
erosión + transporte + depósito = clasificación de costas				otros procesos	
erosión = Geomorfología		transporte + depósito = procesos litorales			
clasificación ge nética de playas		marismas, marshes y manglares	formaciones arrecifales		estuarios y deltas

Cuadro 2

Delimitaciones físicas interdependientes en el ecosistema litoral

2. Introducción a la modelización de los procesos sedimentarios intermareales, en playas arenosas: Filosofía de procedimiento y tipologías de modelos.

FILOSOFIA DE PROCEDIMIENTO

Los procesos de acreción - erosión intermareal, en playas arenosas, representan los efectos ante unas causas determinadas. Conocida y comprendida la dualidad "efectos - causas", se puede predecir "causas - efectos", mediante un modelo numérico, o una simulación.

En la modelización de los procesos sedimentarios intermareales, se puede seguir una metodología piramidal. Esta debe desarrollar diversas etapas conceptuales, ordenadas jerárquicamente, según el nivel de abstracción y generalidad que se alcance.

Un resumen de la secuenciación de estas etapas sería el siguiente (cuadro 1) :

- a). En una primera fase, las campañas de campo llevan a la identificación de un modelo físico, en que predomina la selección de características básicas cualitativas.
- b). La traducción de datos cualitativos a cuantitativos constituye un proceso complejo, que pasa por etapas intermedias de modelización parcial. La representación de los parámetros descriptivos seleccionados, en las escalas adecuadas, culmina con el establecimiento de una fase cuantitativa.
- c). En la fase cuantitativa, se aplica, esencialmente, el aparato matemático. Se establece un problema abstracto, que sirve, con preferencia, para el análisis de cuestiones generales.

TIPOLOGIAS DE MODELOS

Aceptado el anterior procedimiento, se puede admitir las siguientes tipologías de modelización :

1. Modelos a partir de una ecuación diferencial, con un término logístico y otro de saturación.

Estos pueden constituir los puntos de arranque de una modelización, que permita conocer y comprender los procesos internos de ganancias y pérdidas de arenas, en las playas.

Para las playas arenosas, tales estructuras matemáticas permiten, en principio, buenos ajustes empíricos de los volúmenes intermareales de arenas, en equilibrio (figura 1), y las pautas de evolución de estos.

Las playas arenosas se entienden como sistemas sedimentarios, tendentes a equilibrios entre :

- las energías del oleaje incidente,
- los valores granulométricos de los depósitos sedimentarios, y
- las pendientes topográficas del estrán.

Sin embargo, los modelos que se formulan tienen difícil interpretación física.

2. Modelos también de ecuación diferencial, donde junto a un término logístico hay otros dos : uno de impulsos energéticos y otro de ruidos.

Estos modelos ya admiten una interpretación física. Dan cabida a las pérdidas de arenas, por temporales de ocurrencia probabilística. Los temporales erosivos corresponden a los

impulsos energéticos.

3. Modelos deterministas, para evaluar los impulsos energéticos.

Tienen presentes las variables :

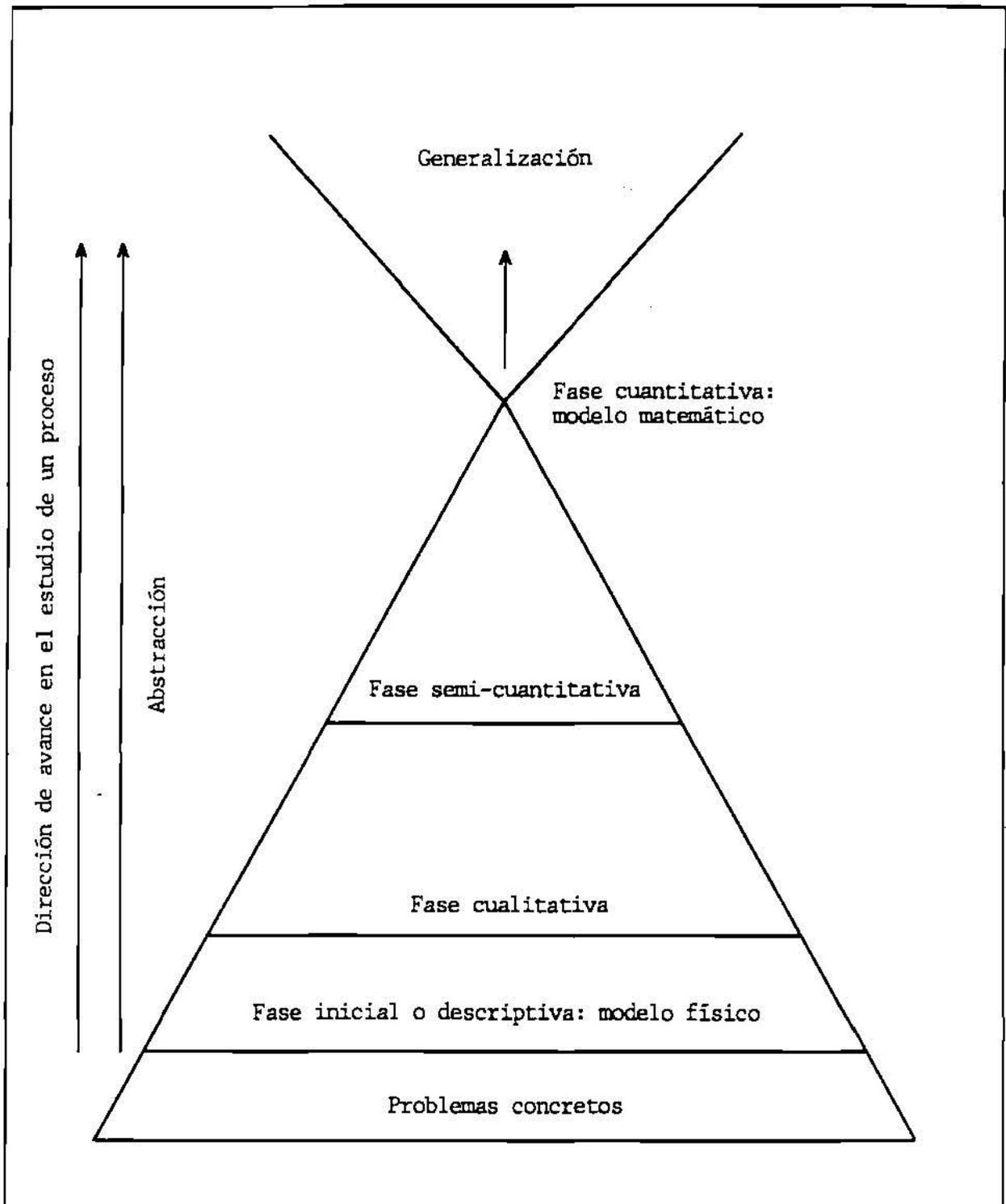
- de localización y orientación geográfica,
- de contornos geomorfológicos, o por obras marítimas,
- oceanológicas, sobre todo del clima marítimo, y
- morfodinámicas, incluidas las granulométricas del depósito sedimentario y las de las oscilaciones atrapadas del agua (ondas de borde).

4. Modelos de la composición frecuencial del balance sedimentario, para determinar, en parte, el término de ruidos.

Estos modelos explican ganancias y pérdidas sedimentarias (movimientos topográficos) de segundo orden, como respuestas a las variables en dependencia, entre otras, :

- con las transferencias de energías, en el ambiente sedimentario,
- con las mareas astronómicas y, posiblemente,
- con perturbaciones océano-atmosféricas, del tipo de las denominadas de "El Niño".

5. Simulación numérica de los procesos sedimentarios, como una herramienta de predicción, en base a los desarrollos de los anteriores modelos.



Cuadro 1

Fases de un proceso de modelización.

3. Escenarios geográficos de la modelización.

Los diferentes modelos se han formulado para la Playa de Sardina del Norte, al NW de la Isla de Gran Canaria (figura 1).

Esta define un ambiente sedimentario arenoso en bolsillo (figura 2), de acuerdo con la Clasificación Genética de Suárez Bores (1978).

Las dimensiones de la playa seca - intermareal son reducidas: de unos 100 metros de longitud por 60 metros de ancho.

Bibliografía:

Suárez Bores, P. 1978. Shore Classification - simple forms with prevailing wind action. III Congres Inter IAEG, Madrid, pp 150-169.

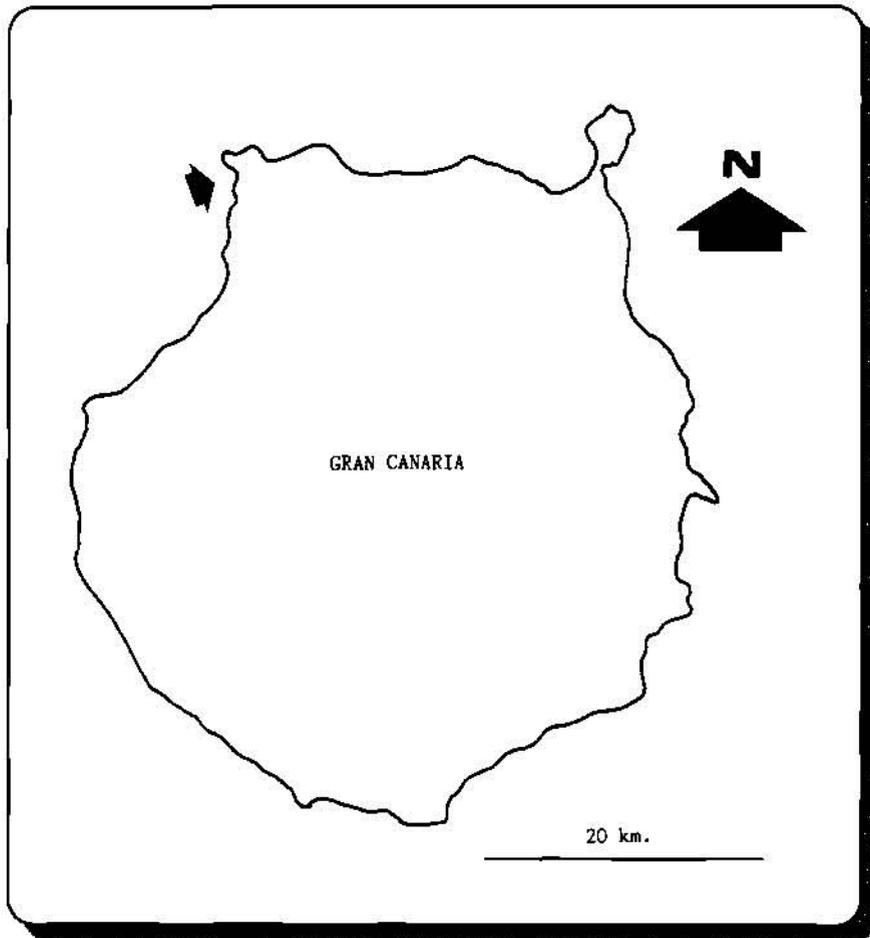


Figura 1

Localización de la Playa de Sardina del Norte
(Isla de Gran Canaria).

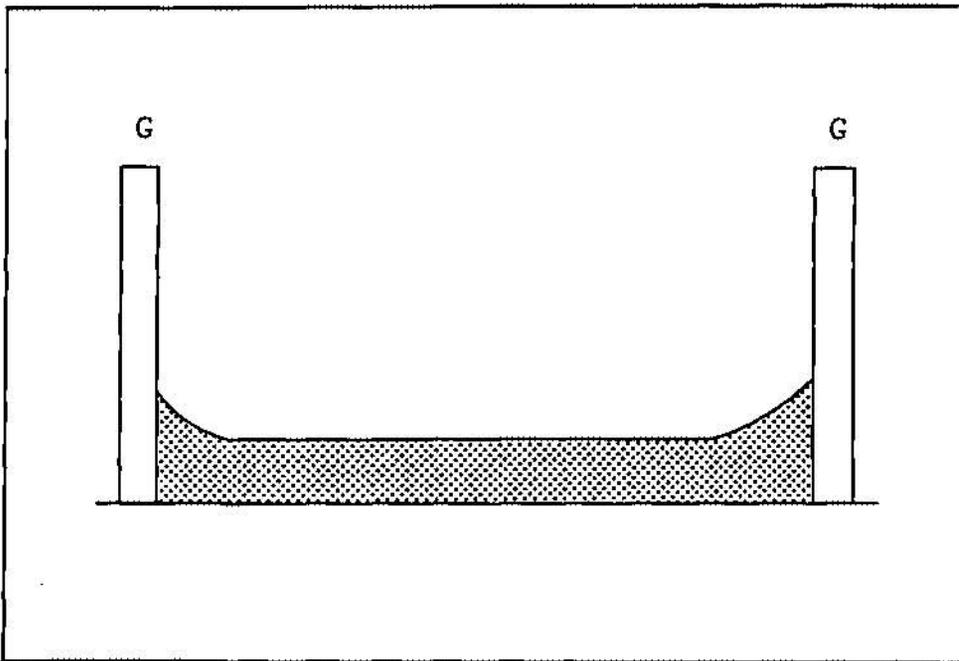


Figura 2

Esquema de una playa en bolsillo.

4. Bancos de datos de partida, para el diseño de los distintos modelos.

En la modelización de los procesos de acreción y erosión, en playas arenosas, se precisan, en principio, de dos series temporales de datos:

- Una en relación con el clima marítimo, que incida en el ambiente sedimentario, que se estudie.
- Y la otra, respecto a los cubicajes de arena, por lo menos, de campañas mensuales, sobre una superficie horizontal imaginaria fija de referencia (figura 1). Los cálculos se obtienen con la aplicación del método trapezoidal, de Puig Adam (1979).

La primera de estas series está en estrecha dependencia con la Meteorología, y la segunda es una respuesta de la primera. Luego, las amplitudes significativas de ambas series están marcadas por los procesos meteorológicos.

Por otra parte, las manchas solares condicionan, en mucho, la Meteorología. Esta actividad solar tiene ciclos en torno a los 11 años. De aquí que las series temporales, en cuestión, para que sean significativas, deben recopilar, como mínimo, datos de 7 años consecutivos. De esta forma, se registra la influencia de las manchas solares, tanto en sus fases de reactivación como de atenuación.

Con series más cortas, de menos de 7 años, pueden quedar reflejados sólo los efectos de una reactivación, o de una atenuación, de las manchas solares. Ello traería consigo una modelización distorsionada, estadísticamente, de los procesos sedimentarios playeros.

La serie temporal del clima marítimo se confecciona con los datos de la Boya de Las Palmas y de mapas de oleajes. En el cuadro 1, se recoge la serie utilizada en las modelizaciones. Las manipulaciones estadísticas se muestran en las figuras 2, 3, 4 y 5.

Los modelos, que se estudian, fueron desarrollados, básicamente, a partir de una serie temporal de cubicajes (cuadro 2), correspondiente a la Playa de Sardina del Norte, en la Isla de Gran Canaria (figura 6).

En su totalidad, la serie presenta una amplitud significativa. Sin embargo, al acoplarla, en el tiempo, con la serie temporal del clima marítimo, se reduce la amplitud operativa, y se aleja, en algo, de su carácter significativo. A pesar de ello, las deducciones e interpretaciones dibujan radiografías de los procesos sedimentarios con bastante aproximación. Esto resulta válido si lo que se pretende es, sobre todo, la puesta a punto de una metodología, a calibrar.

En algunos casos, como apoyos colaterales en la modelización, se recurren a cubicajes de series mensuales, de ciclos sedimentarios cortos (cuadro 3), de un conjunto de playas arenosas, seleccionadas en el litoral grancanario (figura 6).

Bibliografía :

Puig Adam, P. 1979. Cálculo Integral. Editorial Gómez Puig. Madrid.

	1	2	3	4	5	9	10	11	12		
	ID	CUBIC	TD	ALT_SIGN	DU	ME	INC_C	SEA	SWEL		
1	26	1255	0	168.28	10	3	0				
2	40	1219	0	169.11	7	4	-36				
3	65	1155	6	179.14	8	5	-64				
4	94	1255	17	166.60	4	5	100				
5	123	1406	26	175.19	4	6	151				
6	151	1570		0	0	7	164				
7	188	1583		0	0	8	13				
8	221	1442		0	0	10	-141				
9	247	1541	8	156.99	11	10	99				
10	275	1467	7	227.64	10	11	-74				
11	304	1546	8	184.78	9	12	79				
12	337	853	12	259.20	4	1	-693			NW	
13	342	748	0	213.86	6	2	-105	NW		NW	
14	373	1214	20	194.52	4	3	466	N		NW	
15	407	1639	2	187.53	12	4	425	NE		NW	
16	432	1456	20	180.73	3	5	-183	NE		NE	
17	461	1489	27	166.17	3	6	33	NE		NE	
18	491	1384	12	166.56	5	7	-105	NE		NW	
19	495	1370	2	155.24	3	7	-14	NE		N	
20	517	1503	0	0	0	7	133				
21	540	1488	18	166.71	3	8	-15	NE		N	
22	578	1350	19	186.45	3	9	-138	NE		NE	
23	582	1336	1	182.56	4	10	-14	NW		NW	
24	617	1035	88	198.10	44	11	-301	NE		NW	
25	639	1071	0	187.30	7	11	36	NE		N	
26	666	716	14	276.32	8	12	-355	W		W	
27	679	888	5	186.90	7	1	172	NE		NE	
28	695	1099	0	266.61	17	1	211	N		NW	

	1	2	3	4	5	9	10	11	12		
	ID	CUBIC	TD	ALT_SIGN	DU	ME	INC_C	SEA	SWEL		
29	731	1239		0	0	2	140				
30	760	1448	0	184.01	5	3	209	NE		NE	
31	797	1392	4	175.67	10	5	-56	NE		NE	
32	798	1390	0	218.67	2	5	-2	NW		NE	
33	829	1261	0	177.37	4	6	-129	NE		NE	
34	856	1325		0	0	6	64				
35	884	1378	0	170.94	24	7	53	NE		N	
36	915	1478	3	177.48	10	8	100	NE		N	
37	946	1798	27	160.32	4	9	320	NE		N	
38	961	1589	10	191.36	3	10	-209	NE		N	
39	975	1394	2	164.36	13	10	-195	N		NW	
40	1013	1373		0	0	12	-21				
41	1043	1412		0	0	1	39				
42	1063	1411	7	208.93	6	1	-1	NE		NW	
43	1073	1411	3	162.66	8	2	0	NE		NW	
44	1092	1362	7	294.36	4	2	-49	NE		NE	
45	1100	1342	0	191.27	9	3	-20	NE		NW	
46	1124	1271		0	0	3	-71				
47	1151	1226	15	205.77	11	4	-45	NE		N	
48	1182	1356	24	227.37	6	5	130	NE		NW	
49	1213	1380		0	0	6	24				
50	1242	1435		0	0	7	55				
51	1271	1276	0	0	0	8	-159				
52	1284	1096	7	157.10	3	9	-180	NE		N	
53	1298	902	10	161.52	5	9	-194	NE		N	
54	1334	1429		0	0	10	527				
55	1367	971	0	217.04	23	11	-458	NE		NW	
56	1404	1283	8	205.31	8	12	312	SW		NW	

01 = Espaciado, en el tiempo, de los muestreos, desde el 23-3-1986.

02 = Cubicajes, en metros cúbicos, en relación con #1 de una campaña determinada de referencia (de cubicaje mínimo).

03 = Días que transcurrieron entre una campaña de muestreo y su oleaje previo, relativamente más energético.

04 = Medias de alturas significativas previas, en centímetros, de valores más altos.

06 = Duración, en días, de las alturas significativas previas, más energéticas.

09 = Mes de muestreo.

10 = Ganancias o pérdidas de arenas, en relación con la campaña precedente.

11 = Dirección del oleaje Sea.

12 = Dirección del oleaje Swell.

Cuadro 1

Recopilación y manipulación de un banco de datos, para la modelización de la Playa de Sardina del Norte (Gran Canaria).

Campana	Ganancias o pérdidas	Campana	Ganancias o pérdidas
19-12-85	1428.446	03-01-89	1411.910
21-01-86	1415.866	02-02-89	1411.210
21-02-86	1179.556	01-03-89	1342.080
23-03-86	1255.105	25-03-89	1270.910
01-05-86	1154.576	21-04-89	1225.820
30-05-86	1255.116	22-05-89	1356.150
28-06-86	1406.436	22-06-89	1380.198
26-07-86	1570.086	21-07-89	1435.460
01-09-86	1582.766	19-08-89	1276.116
04-10-86	1442.086	15-09-89	901.600
30-10-86	1541.176	21-10-89	1428.610
27-11-86	1466.956	30-10-89	1193.900
26-12-86	1546.316	17-11-89	1335.364
02-02-87	748.386	23-11-89	970.940
05-03-87	1214.276	10-02-90	674.794
08-04-87	1638.746	11-03-90	101.388
03-05-87	1455.766	11-04-90	0.000
01-06-87	1488.686	09-05-90	45.269
05-07-87	1370.206	09-06-90	1168.056
27-07-87	1502.806	05-07-90	1110.356
19-08-87	1488.166	06-08-90	1251.745
30-09-87	1336.446	27-09-90	1142.467
04-11-87	1035.046	04-10-90	1459.836
26-11-87	1071.196	04-11-90	1367.511
23-12-87	716.026	02-12-90	1146.804
21-01-88	1098.536	06-01-91	1255.238
26-02-88	1239.240	02-02-91	1235.620
26-03-88	1447.796	15-02-91	1390.212
03-05-88	1389.580	23-02-91	1106.068
03-06-88	1260.811	02-03-91	1239.246
30-06-88	1325.422	12-03-91	2901.097
28-07-88	1378.178	28-04-91	1344.827
28-08-88	1477.847	30-05-91	2609.969
28-09-88	1798.032	31-07-91	2221.106
27-10-88	1394.161	29-08-91	1285.079
04-12-88	1373.070		

Cuadro 2

Serie temporal de 6 años, de ganancias y pérdidas sedimentarias intermareales. Playa de Sardina del Norte (Gran Canaria).

1	2	3	1	2	3
Playa de sardina del N. (Caidar). Periodo: 27-7-87/21-12-87			Playa de El Inglés (San Bartolomé). Periodo: 1-1-86/24-12-86		
27-07-87	000	0000.00	03-03-86	000	00000.00
19-08-87	023	00146.40	01-04-86	029	01876.95
30-09-87	045	0166.36	01-05-86	059	04864.90
04-11-87	100	0467.76	30-05-86	088	10842.96
26-11-87	122	0411.78	01-07-86	120	22934.85
23-12-87	149	0786.78	29-07-86	148	24224.07
Playa del Hombre (Taida). Periodo de seguimiento: 17-1-86/20-4-86			28-08-86		
			178		
			26195.47		
			11-09-86		
			192		
			27612.87		
17-01-86	000	0000.00	29-10-86	240	31470.12
14-02-86	028	0692.69	26-11-86	268	38928.05
07-03-86	049	3314.56	24-12-86	296	40266.28
30-04-86	103	3585.86	Punta de Maspeyomas-San Bartolomé. Periodo de seguimiento: 1-4-86/24-12-86		
Playa de El Burrero (Aguimes). Periodo de seguimiento: 3-12-85/21-10-86			01-04-86	000	00000.00
03-12-85	000	0000.00	01-05-86	030	01195.02
02-01-86	030	0394.79	30-05-86	059	02096.72
03-02-86	062	0375.63	01-07-86	091	03523.10
01-03-86	088	0388.56	29-07-86	119	07000.02
03-04-86	121	0523.18	28-08-86	149	09445.38
08-05-86	156	0396.69	11-09-86	183	08600.69
16-06-86	195	0437.67	29-10-86	211	09171.84
07-07-86	216	0462.86	26-11-86	239	11462.59
10-08-86	250	0556.98	24-12-86	267	13671.17
04-09-86	275	0647.78			
21-10-86	322	0689.69			

Cuadro 3

Cubicajes mensuales, de ciclos sedimentarios cortos, de una serie de playas seleccionadas de Gran Canaria.

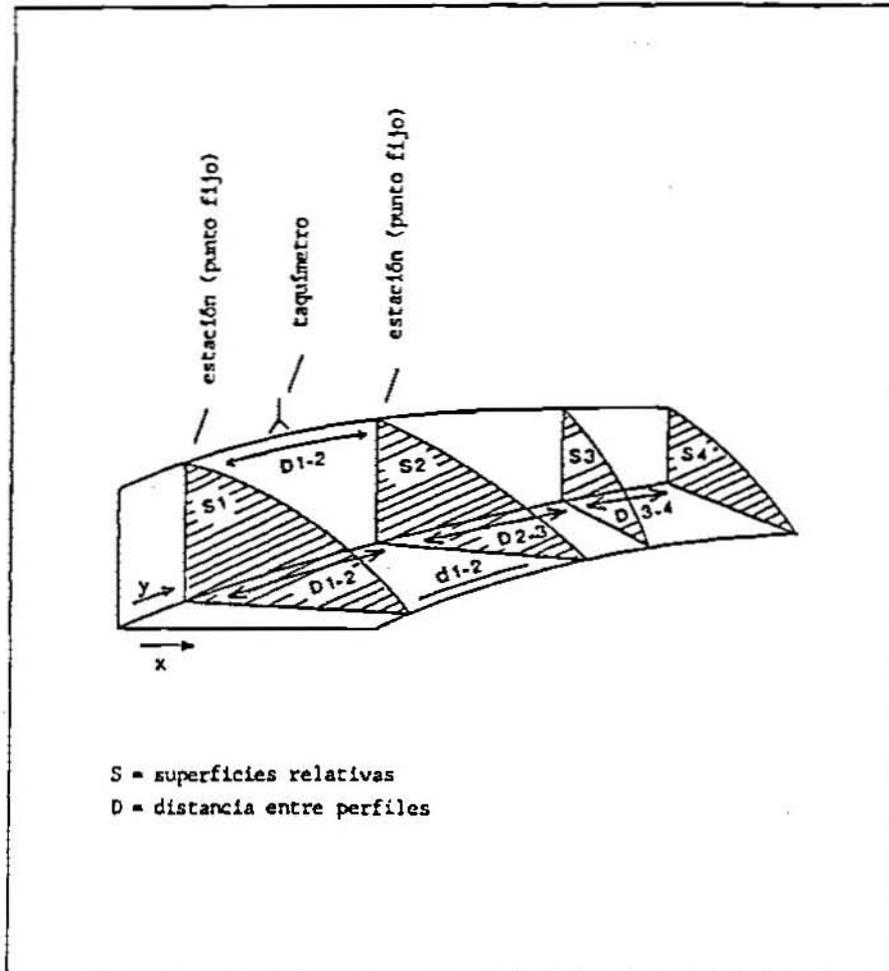


Figura 1

Elementos geométricos para el cálculo de cubicajes de arena, a partir de una superficie horizontal fija de referencia.

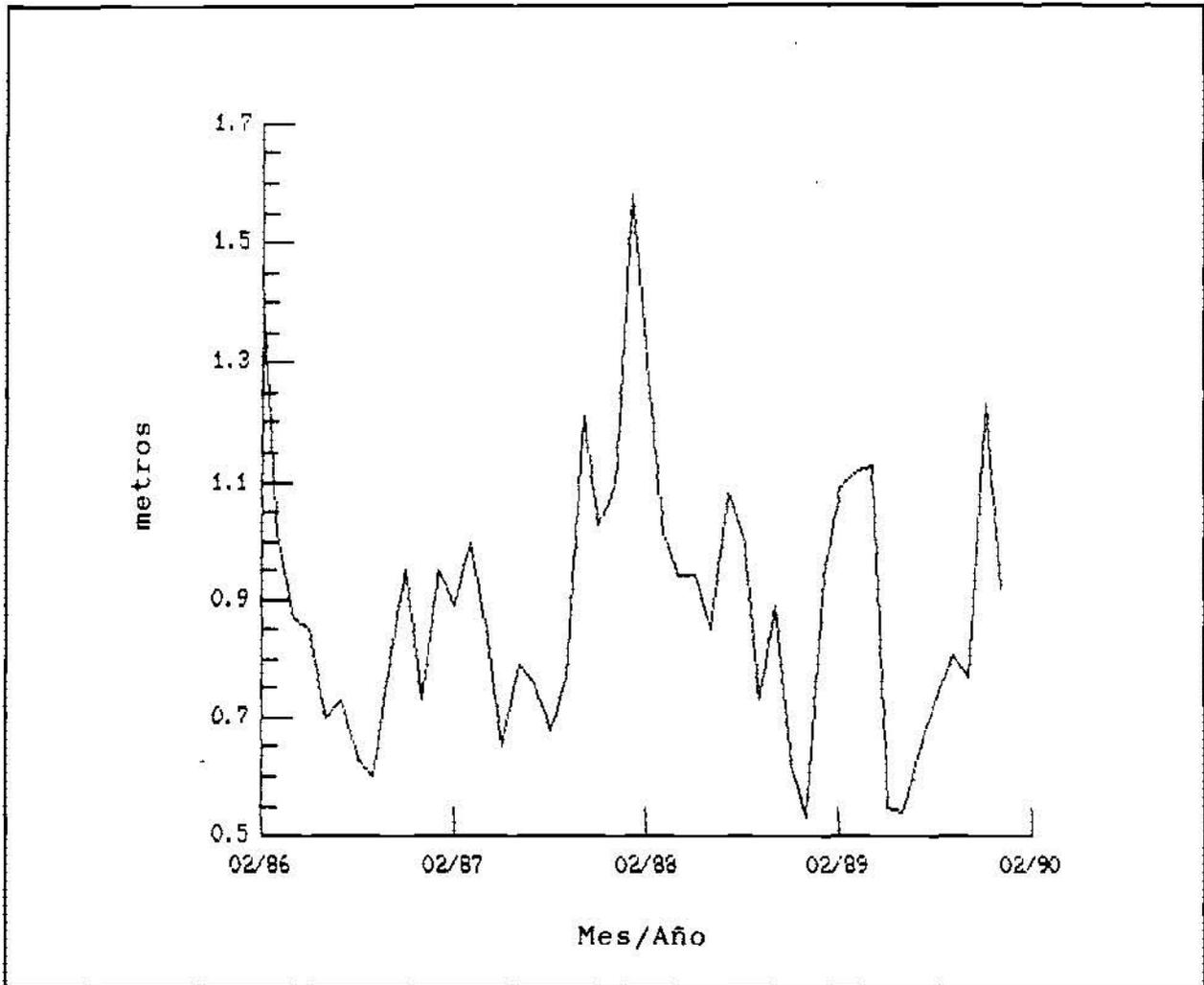


Figura 2

Serie temporal de alturas medias de olas.
Datos de la Boya de Las Palmas.

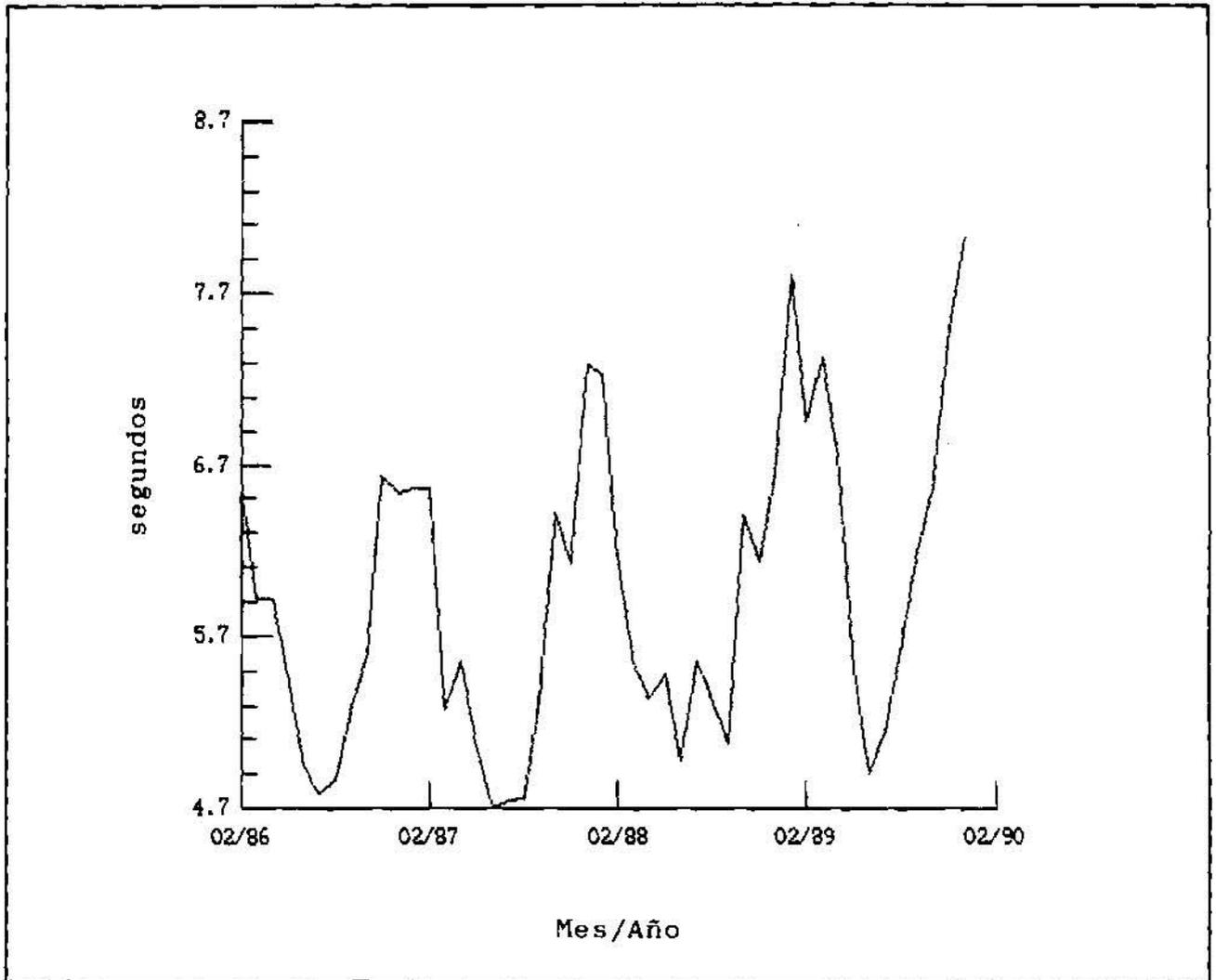


Figura 3

Serie temporal de periodos medios de olas.
Datos de la Boya de Las Palmas.

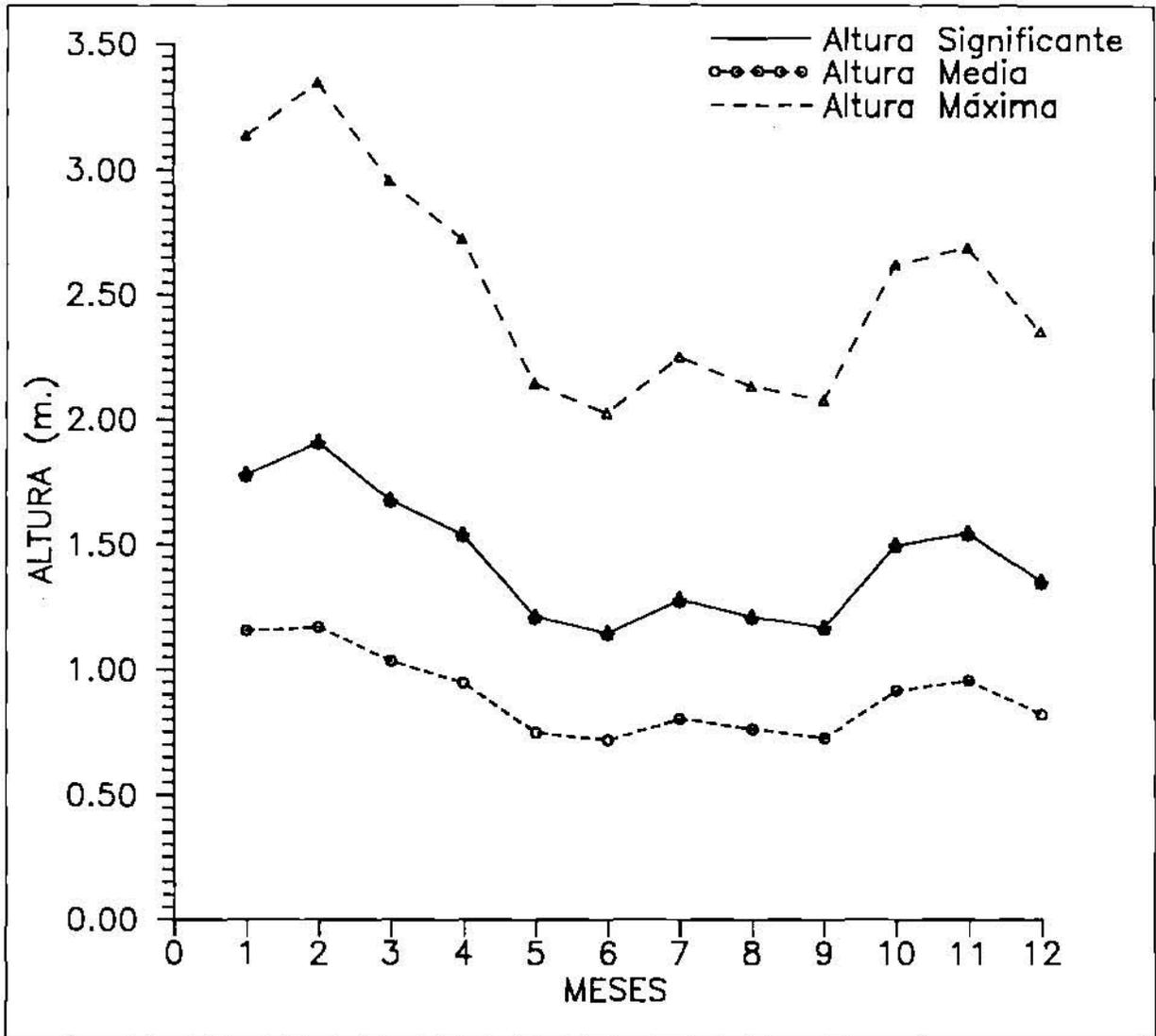


Figura 4

Distribución de la probabilidad mensual de presentación de la alturas del oleaje, a partir de una serie temporal de datos (1986 - 1990) de la Boya de Las Palmas.

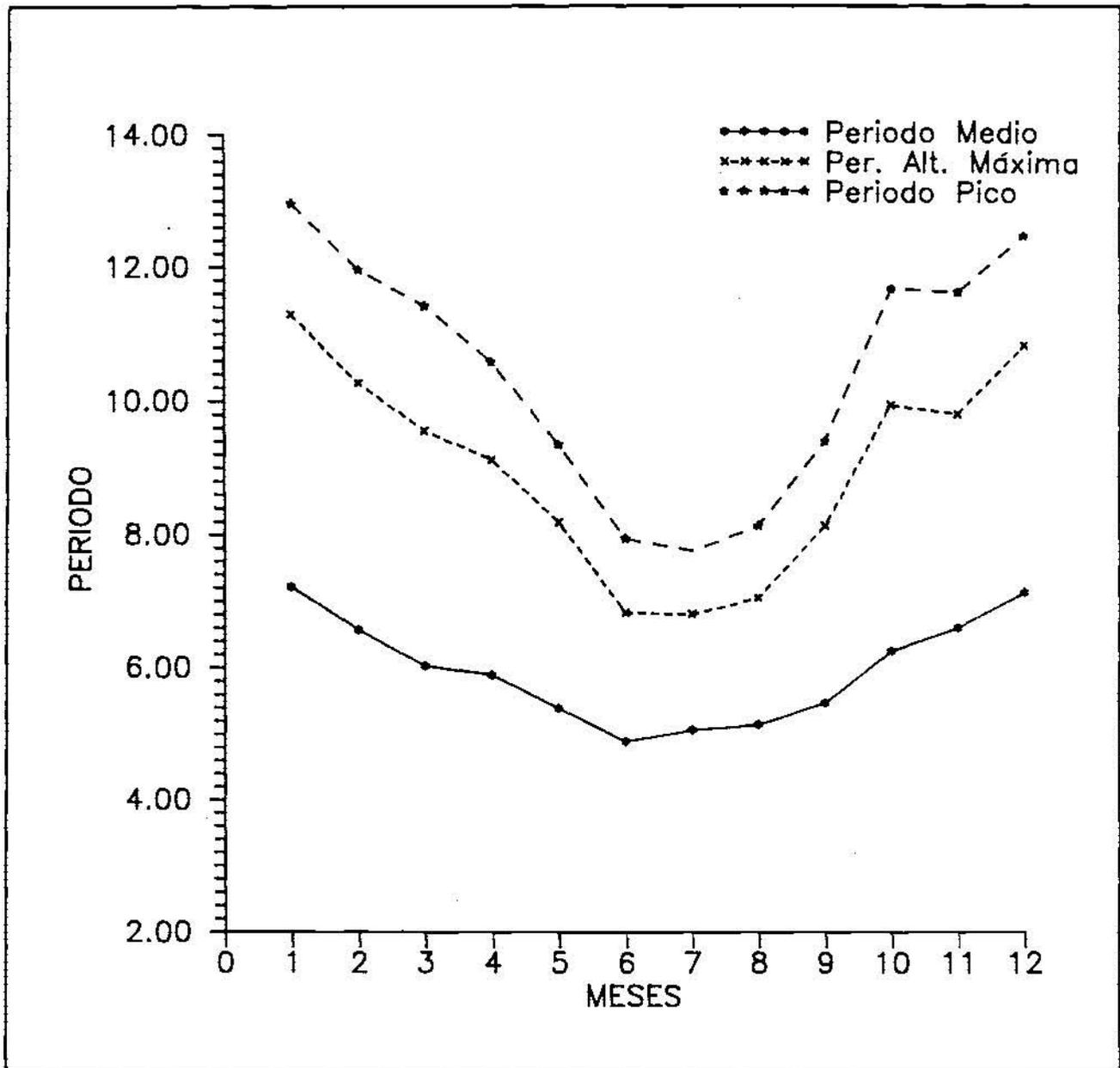


Figura 5

Distribución de la probabilidad mensual de presentación de los periodos del oleaje, a partir de una serie temporal de datos (1986 - 1990) de la Boya de Las Palmas.

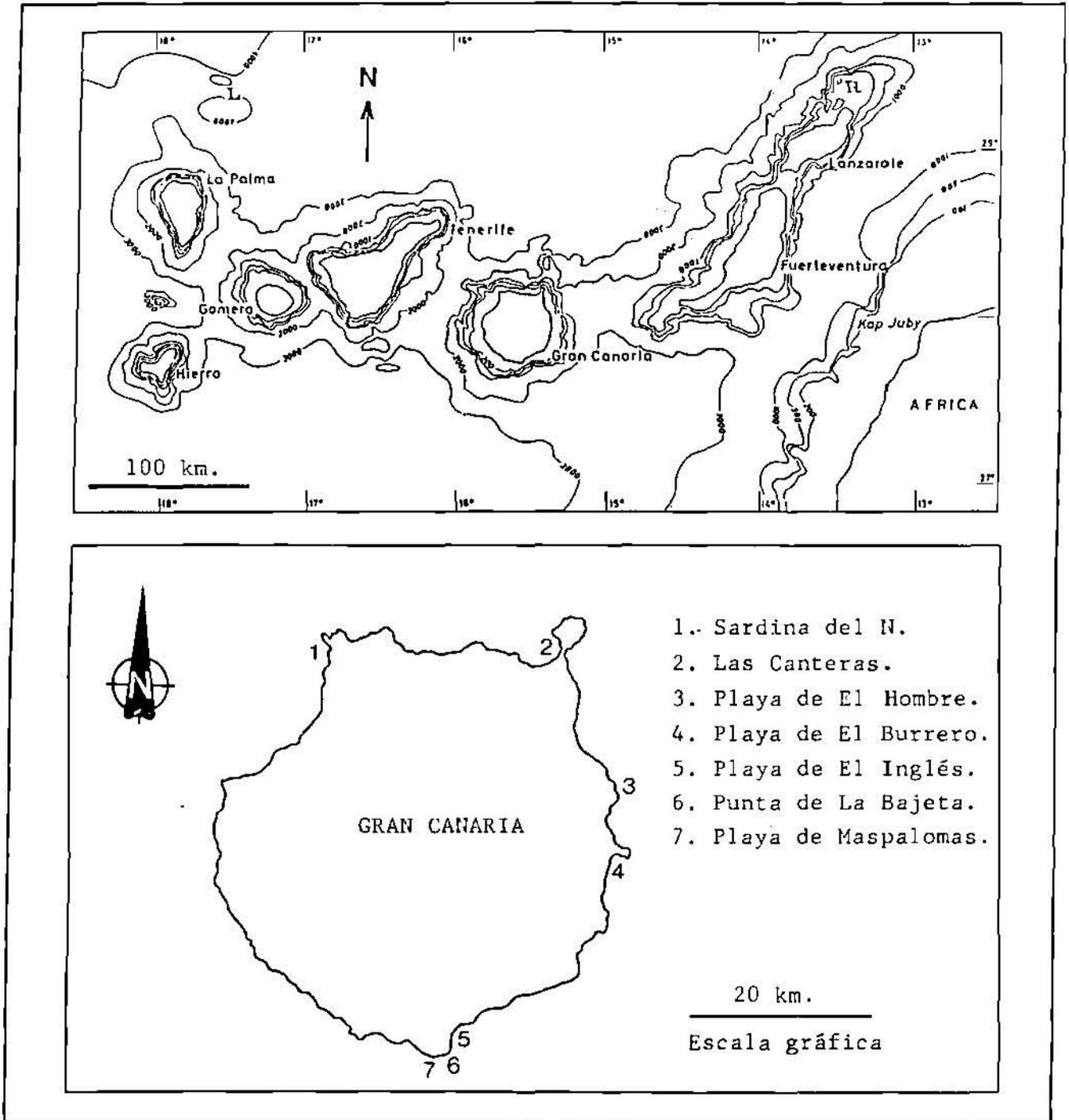


Figura 6

Localización de las playas en estudio.

5. Un modelo físico respecto a los procesos sedimentarios del litoral: las clasificaciones climáticas de las playas arenosas.

CLASIFICACION CLIMATICA DE LAS PLAYAS ARENOSAS DE GRAN CANARIA

J.Martínez, E. Melián, F.Reyes, C Rúa-Figueroa, C. del Toro.

Laboratorio de Geología-Departamento de Física Aplicada.
Campus Universitario de Tafira, 35017-LAS PALMAS DE GRAN
CANARIA.

ABSTRACT

In this work we develop a genetic classification of sandy beaches in Gran Canaria. Intertidal sedimentary gains and losses and the energetic characteristics of these processes are explained.

With that aim we take into account:

- Geographical location and beach orientation,
- and the directional swell regime in the canary coasts.

Moreover, some intrinsic factors of the sands are calculated and interpreted.

RESUMEN

Se intenta desarrollar una clasificación genética de las playas arenosas de Gran Canaria, que expliquen las ganancias y pérdidas sedimentarias más internas y la caracterización energética de estos procesos. Para ello, se relacionan:

- la localización y orientación geográfica de las playas,
- y el régimen de oleaje direccional en el entorno canario.

Además de calcular e interpretar algunos parámetros granulométricos de las arenas.

INTRODUCCION

La clasificación genética, de perspectivas múltiples, que se propone, es válida para franjas intermareales, de dimensiones significativas.

La clasificación tiene :

- una componente morfológica, en cuanto que considera como interviene el entorno fisiográfico delimitante, en los procesos de erosión-acreción,
- y otra morfodinámica, dado que se basa asimismo en algunas variables hidrodinámicas del oleaje, que condicionan las formas del depósito, en dependencia con las localizaciones y orientaciones geográficas de las playas.

En Canarias, el oleaje se encuentra determinado habitualmente por ciertas situaciones meteorológicas de superficie. Estas forman tres grupos, según la dirección de los vientos que conllevan:

1. Anticiclones atlánticos centrados en las proximidades de las Azores (alisios), junto con la influencia ocasional de las depresiones térmicas saharianas. Tales situaciones se dan, sobre todo, en primavera y verano. Explican vientos del N-NE.
2. Profundas borrascas atlánticas, con el núcleo por encima del Golfo de Vizcaya, y algunas veces anticiclones atlánticos, muy desplazados hacia el Sur. Tienen lugar desde el otoño hasta principios de primavera. Explican vientos del W-NW.
3. Anticiclones Norte-africanos o Sur-europeos, depresiones térmicas saharianas y borrascas atlánticas desplazadas hacia el Sur. Coinciden, en el tiempo, con las situaciones anteriores. Explican vientos de E-S.

METODOLOGIA

Para el desarrollo de esta clasificación, se ha seguido las

siguientes técnicas:

- Cálculo de cubicajes de arena en el estrán, a lo largo de ciclos sedimentarios cortos. Para ello, se emplea la metodología de Martínez et al. (1987).
- Análisis del clima marítimo, a partir de mapas de superficie de predicción meteorológica y mapas de oleaje.
- Y determinación de las características granulométricas de las arenas, que permitan llegar a parámetros de interpretación energética en el ambiente sedimentario.

Por otra parte, se ha seleccionado un conjunto de playas arenosas representativas, en el litoral grancanario.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las playas en seguimiento están indicadas en la figura 1 y descritas en la tabla 1. En primer lugar, se analiza la localización y orientación geográfica de las mismas. De esta manera, se establecen :

- Playas de la cornisa Norte resguardadas del oleaje del N-NE. y abiertas a los temporales del W-NW. (Las Canteras y Sardina del Norte).
- Playas del litoral oriental abiertas al oleaje del N-NE. (El Hombre, Playa del Inglés y Punta de la Bajeta).
- Playas del litoral oriental protegidas del oleaje del N-NE. y abiertas al SE (El Burrero).
- Playas meridionales (Maspalomas).

En la tabla 2 se recogen las ganancias y pérdidas de arenas, a lo largo de ciclos sedimentarios cortos (entre acreciones significativas, o erosiones máximas, consecutivas).

La figura 2, muestra la frecuencia de presentación de los vientos en superficie, en las proximidades de Canarias. Esta

se ha elaborado con datos de mapas de predicción meteorológica, dentro del periodo comprendido entre Mayo de 1983 y Febrero de 1986. Sus realizaciones permiten formular las siguientes deducciones :

- La máxima dominancia de los vientos del N-NE tiene lugar durante los meses del verano.
- Los vientos del W-NW presentan dos picos, uno en otoño y otro en primavera. Durante el verano tienen una fuerte caída.
- Y los vientos del S-E predominan, relativamente, desde otoño a primavera. También dejan de ser significativos durante el verano.

Se estudia el oleaje próximo a Canarias, en mapas analíticos del Servicio Nacional de Meteorología, dentro del periodo 1987-1989. Se considera la probabilidad de presentación/altura, a profundidad indefinida, de las olas significativas Swell y Sea en una cierta dirección (tablas 3,4 y 5 y figuras 3 y 4). En realidad, se hace un análisis del régimen de oleaje direccional. Las observaciones se dan en porcentajes mensuales.

Se establecen correlaciones entre:

- Las frecuencias más altas de los vientos dominantes y reinantes en superficie.
- La probabilidad de presentación y alturas mayores, a profundidad indefinida, de los oleajes condicionados por estos vientos.
- Y los procesos significativos de erosión, en las playas abiertas a los oleajes en cuestión.

Si se integran:

- la anterior correlación
- y la localización y orientación geográfica de las playas,

Aquellas playas de la cornisa Norte, orientadas de forma tal que se dejen sentir tanto los temporales del W-NW como el oleaje del N-NE, y las de la vertiente occidental están actualmente en estudio.

Las figuras 6 y 7 ilustran el modelo descrito.

Las tablas 3,4 y 5 y la figura 4, obtenidas de mapas analíticos, precisan que:

1. El oleaje del SW-W-NW tiene sus mayores alturas durante su apogeo (desde el otoño a principios de la primavera). El Ho promediado de las olas Sea generalmente superan los 2 m., cosa que no suele ocurrir con las olas Swell. Luego en las playas del Grupo I, no se da un desfase significativo entre:

- La erosión interna
- y la frecuencia de presentación máxima del oleaje direccional, que la determina.

Las pérdidas de arenas, en las playas de las Canteras y Sardina del Norte (tabla 2), verifican esta sincronización.

2. Tanto el oleaje Swell como Sea del N-NE alcanzan sus máximas alturas durante el invierno-principio de primavera. El Ho promediado normalmente rebasa, o está alrededor de, los 2 m. Las olas podrían depender de situaciones distintas de los alisios. Sea el ejemplo de las borrascas saharianas. Esto explica que las playas del Grupo II (playa de El Hombre, entre otras) tengan sus máximas erosiones internas en este periodo del año. Cuando domina el alisio, sólo se impide importantes procesos de acreción.

3. Y, por último, para las playas del Grupo III, se da, de nuevo, la sincronización entre máxima frecuencia de presentación del oleaje erosivo y efectos. En este periodo, el Ho promediado del E-SE toma sus valores más altos, próximos a 2 m. Las olas Swell de este régimen direccional determinan erosiones de segundo orden, durante la primavera, en coincidencia con sus Ho promediados de valores más altos, de unos 2 m. La Playa de El Burrero (tabla2) verifica estos comportamientos.

De acuerdo con Martínez et al.(1990), en las playas canarias,

y dentro de la franja intermareal, las pérdidas de arenas, de acreción significativa a erosión máxima, siguen una función exponencial del tipo :

$$y = a e^{bx}$$

en donde :

y = pérdidas en metros cúbicos,

x = tiempo en días, en un intervalo finito, que representa el periodo erosivo,

a = ordenada en el origen. Representaría a parámetros estáticos y

b = pendiente. Representaría a parámetros dinámicos

Los parámetros estáticos y dinámicos, en los procesos de pérdidas de arenas, en el estrán, están definidos por los anteriores autores.

Las figuras 7 y 8 traducen este comportamiento de las playas arenosas seleccionadas.

Para un mismo ambiente sedimentario y tipo de función, se describen una o varias curvas.

Cuando en un proceso global de pérdidas de arena interviene una sólo situación climática, aparece una única curva y la playa se clasifica como monoclímática (Sardina del Norte, El Hombre, El Burrero). En cambio, si intervienen dos o más situaciones climáticas diferenciadas, aparecen dos o más curvas, y la playa será bi o policlimática. Estos son los casos del Inglés y Punta de Maspalomas, que se identifican con playas biclimáticas.

En el ejemplo concreto de la playa del Inglés, la erosión se inicia cuando empieza a predominar el oleaje del N-NE, a finales de primavera, aunque llegue debilitado energéticamente a la orilla, por la difracción. El proceso de

pérdidas cambia de pautas con el apogeo del alisio y con los temporales del Sur, estos últimos en el otoño. Sus efectos erosivos se unen a los producidos anteriormente.

Algunos parámetros de relación, correspondientes a curvas semilogarítmicas de frecuencia acumulada, de arenas intermareales, permiten proponer tres subclasificaciones de las playas. Se basan en la interpretación energética de los efectos sobre el depósito sedimentario, provocadas por el oleaje incidente.

El parámetro M de Trask (1932), en mm., estima la energía cinética media relativa que incide en el ambiente sedimentario. Dentro de una escala logarítmica, en donde las unidades de 2 y 1 mm. tengan una separación de 27 mm., por convenio, se puede representar el promedio de las medias de Trask, de una campaña determinada. De igual manera, cabe representar la serie temporal de campañas mensuales, desde una acreción significativa a su inmediata erosión máxima, o viceversa, sobre líneas consecutivas que, también por convenio, mantengan una equidistancia de 1 cm.

Se opera en papel semilogarítmico, ya que las relaciones entre parámetros de valores granulométricos tienen distintos significados energéticos, en función de los intervalos de diámetros en los que se encuentren. Por ejemplo, un desplazamiento de 0.2 a 0.3 mm. representa un incremento energético menor que un desplazamiento de 1 a 2 mm.

El ángulo de desvío de la energía cinética media sería el que forma la vertical, que pase por el promedio de la media de Trask en acreción significativa, o erosión máxima, con la recta que se ajuste al conjunto de promedios de esta media, de la anterior serie temporal. A menor ángulo, menor evolución energética del ambiente sedimentario. Al respecto, las playas se subclasificarían de acuerdo con la tabla 6, que establece seis categorías:

- evolución energética muy suave,
- evolución energética suave,
- evolución energética moderada,
- evolución energética fuerte.

- evolución energética muy fuerte, y
- evolución energética extrema.

En la figura 9, se describen los ángulos de desvío de las playas en estudio. En las figuras 9f y 9g se detectan las situaciones biclimáticas en los procesos de erosión. La tabla 7 recoge la subclasificación en cuestión de estas playas. Se da una gama completa de posibilidades.

Mediante el parámetro Ska de Krumbein (1934), se mide la tendencia de la energía cinética media a desplazarse hacia valores más altos o bajos de lo normal. Se propone una escala (tabla 8), para subclasificar a las playas de acuerdo con esta tendencia. Los ambientes sedimentarios seleccionados se sitúan en un ábaco bastante completo (tabla 9), sobre todo si se contemplan situaciones promedios, de erosión y acreción. Están representadas playas :

- a) hiper - energéticas,
- b) meso - energéticas;
- c) en equilibrio energético,
- d) e hipo - energéticas.

El parámetro Kqa, en mm., de Krumbein (1938) traduce la duración de la energía cinética media, en el depósito de arenas. Con este otro criterio, las playas pertenecerán a uno de los siguientes grupos :

- de energía cinética media prolongada,
- de energía cinética media de duración normal, y
- de energía cinética media de duración reducida.

En relación con las erosiones máximas, los calificativos, que toman las playas, en este aspecto se recopilan en la tabla 10.

Sólamente en las playas de la provincia morfodinámica de Morro Besudo- Faro de Maspalomas (El Inglés, Punta de la Bajeta y Maspalomas), la energía cinética media tiene una duración reducida. Este hecho es coherente por la localización geográfica: se tratan de playas resguardadas del W-NW, en donde el oleaje del N-NE llega muy debilitado. El tiempo Sur erosivo representa episodios esporádicos.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha llegado a tres conclusiones principales:

1. Los procesos más internos de ganancias y pérdidas sedimentarias de arenas se ajustan a un modelo físico, que distribuye a las playas en grupos específicos, en cuanto a características geográficas y del oleaje incidente.

2. Se pueden discriminar las distintas situaciones oceanológicas significativas, que intervienen en los procesos de erosión, mediante el número de curvas que se obtienen en la representación temporal de las pérdidas sedimentarias.

3. Las intensidades relativas, duración y evolución de la energía cinética media, que determinan los procesos de acreción-erosión, se estiman a partir de parámetros granulométricos de las arenas. En estas estimaciones se basan subclasificaciones de las playas arenosas.

BIBLIOGRAFIA

Krumbein, W.C. 1934. Size frequency distribution of sediments. Jour. Sedim. Petrol. 4, 65-77.

Krumbein, W.C.; Pettijohn, F.J. 1938. Manual of Sedimentary Petrography. Appleton. New York. 549 pp.

Martínez, J.; Sastre, J.; Alemán, G.; Castro, J.; Martín, A. y Robaina, D. 1987. Los movimientos de las superficies topográficas en las playas de arenas: Métodos de investigación e interpretación. Revista de Obras Públicas, Julio - Agosto, 469-483.

Martínez, J.; Melián, M.E.; Reyes, F; Rua-Figueroa, C.; Del Toro, C. 1990. La predicción de la erosión intermareal por temporales en playas arenosas del entorno canario. Memorias del I Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería. Las Palmas 82 - 89.

Trask, P.D. 1932. Origin and environment of source sediments of Petroleum. Gulf. Publ. co., Houston.

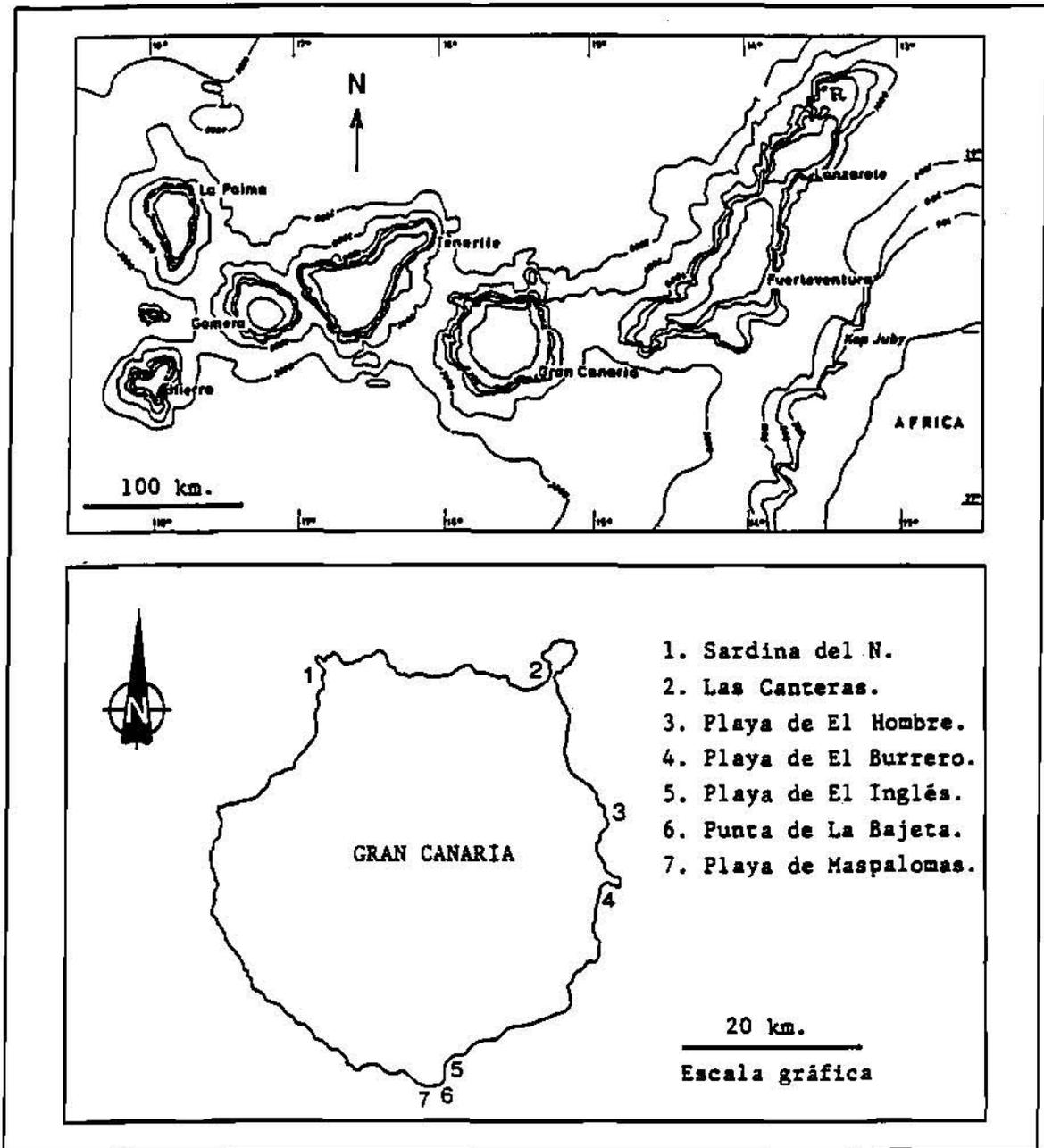


Figura 1

Localización geográfica de las playas grancanarias en seguimiento.

Playa	Localización	Morfología	Dimensiones aproximadas		Clasificación geotécnica según Balazs Boros (1980).
			longitud en m.	anchura máxima en m.	
Sardinas del N.	Costa N. (Gáldar)	en caleta	85	45	$CC_{0,0}^0$
Las Canteras	Costa N. (Las Palmas)	sub-caleta en una caleta amplia	3100	90	$CCdCCdCC^1_{0,0}$
El Hombre	Costa Oriental. (Tejido)	en caleta	224	91	$CC_{0,0}^0$
El Barrero	Costa Oriental. (Agüimes)	en caleta	205	30	$CC_{0,0}^0$
El Inglés	Costa Meridional (S. Bartolomé)	rectilínea	2700	100	$CC_{0,0}^0 (2)$
La Bajeta	Costa Meridional (S. Bartolomé)	convexa hacia el mar	470	100	$E_{0,2}^1$
Maspalomas	Costa Meridional (S. Bartolomé)	rectilínea	2103	50	$EE_{0,2}^2$

Tabla 1

Descripciones de las playas de Gran Canaria (España) en seguimiento.

Cambios de arena, en m ³ , en relación con la erosión significativa del ciclo anual en seguimiento.							
Playa	Sardinas del N	Las Canteras	El Hombre	El Barrero	El Inglés	La Bajeta	Maspalomas
	D:46.8x9.0	D:2169.0x10.0	D:200.6x10.0	D:97.1x12.0	D:2111.0x15.0	D:471.5x15.0	D:2102.5x15.0
diciembre 1985	303.14	05745.23	3285.30	689.49	32842.94	10680.09	04192.74
enero 1986	272.30	03816.09	3585.86	334.70	35704.79	12365.30	06562.86
febrero 1986	038.38	06095.64	2893.17	313.86	40266.28	12024.72	00000.00
marzo 1986	100.58	00000.00	0271.30	300.93	38349.33	13671.17	01729.70
abril 1986	000.00	03511.69	0000.00	166.31	35401.32	12476.15	01829.60
mayo 1986	070.63	05861.03	2779.44	292.80	29423.33	11574.44	04696.84
junio 1986	266.69	09933.13	3434.31	251.82	17331.43	10148.07	14806.72
julio 1986	496.01	09075.08	2686.86	226.63	16042.21	06671.15	16841.51
agosto 1986	489.18	10687.70	2999.49	132.31	14070.81	04223.79	28391.80
septiembre 1986	327.72	09794.63	3192.79	091.71	12653.42	05070.47	30345.58
octubre 1986	444.91	04845.50	3096.40	000.00	08796.16	04499.31	37778.00
noviembre 1986	343.37	---	3347.16	023.23	01338.24	02208.58	28671.13
diciembre 1986	445.95	---	3051.68	---	00000.00	00000.00	10215.95

D = dimensiones, en m., de la franja intermareal observada.

Tabla 2

Balances sedimentarios, durante un ciclo anual, en algunas playas arenosas de la isla de Gran Canaria (España).

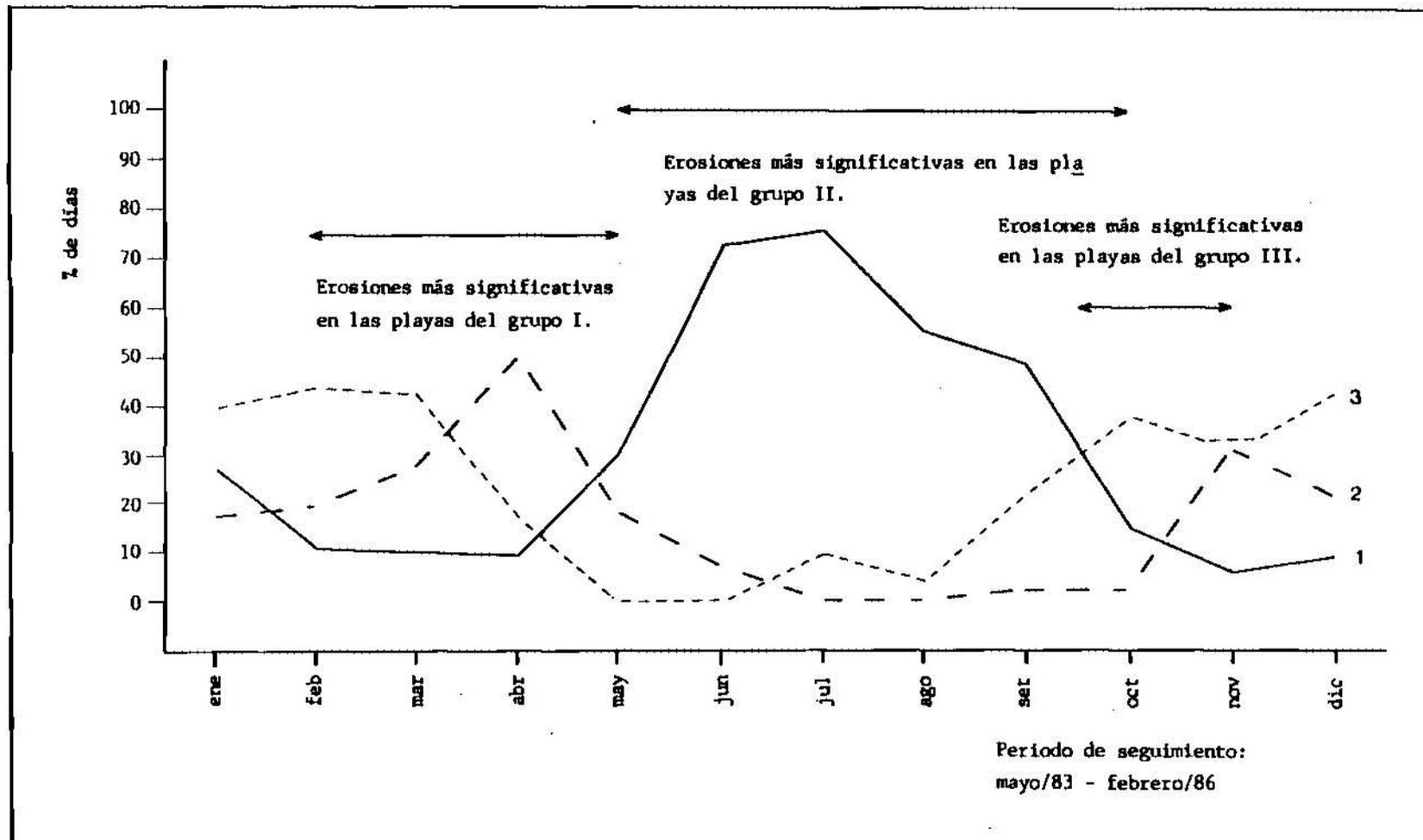


Figura 2

Frecuencia de los vientos en el entorno de la Isla de Gran Canaria (España). 1: vientos del N-NE (alisios), 2: vientos del W-NW, 3: vientos del E-S. Datos obtenidos a partir del análisis de mapas sinópticos previstos de superficie.

Mes	Swell		Sea		Swell o Sea	
	% días	altura promed	% días	altura promed	% días	altura promed
ENERO	13.98	2.15	27.96	1.73	41.94	1.87
FEBRERO	12.94	2.66	52.94	2.07	65.88	2.13
MARZO	17.20	2.13	61.29	1.96	79.57	1.93
ABRIL	26.67	2.15	62.22	1.89	87.78	1.96
MAYO	27.96	1.42	55.91	1.66	84.95	1.53
JUNIO	22.22	1.23	55.53	1.63	62.22	1.51
JULIO	38.71	1.64	80.65	1.55	95.70	1.50
AGOSTO	40.45	1.58	75.53	1.63	86.52	1.63
SEPT.	37.35	1.28	59.04	1.35	74.70	1.33
OCT.	20.05	1.33	53.66	1.43	63.42	1.40
NOV.	12.20	2.57	31.71	1.60	35.37	1.72
DIC.	7.23	1.42	26.51	1.84	32.53	1.75

Tabla 3

Oleaje del N-NE en el entorno canario, a partir de mapas de análisis. Observaciones de las 6.00 a.m. Período 1987-1989.

Mes	Swell		Sea		Swell o Sea	
	% días	altura promed	% días	altura promed	% días	altura promed
ENERO	19.23	1.88	21.79	2.21	35.48	2.02
FEBRERO	32.43	2.08	13.51	2.30	38.82	2.00
MARZO	22.99	1.73	13.79	2.21	33.33	1.89
ABRIL	25.00	1.60	17.86	1.77	40.00	1.74
MAYO	18.18	1.28	20.45	1.58	36.56	1.44
JUNIO	2.74	1.00	10.96	1.63	11.11	1.45
JULIO	6.90	1.67	4.60	1.50	10.75	1.60
AGOSTO	13.79	1.54	2.30	1.00	15.05	1.46
SEPT.	14.29	1.27	12.99	1.45	24.44	1.30
OCT.	26.83	1.55	20.73	1.29	41.94	1.44
NOV.	19.75	1.47	30.86	1.76	45.56	1.65
DIC.	30.38	1.98	29.11	2.28	50.54	2.13

Tabla 4

Oleaje del SW-W-NW en el entorno canario, a partir de mapas de análisis. Observaciones de las 6.00 a.m. Período 1987-1989.

Mes	Swell		Sea		Swell o Sea	
	% días	altura promedio	% días	altura promedio	% días	altura promedio
ENERO	6.60	1.75	17.60	1.81	20.88	1.80
FEBRERO	0.00	0.00	6.33	1.60	6.33	1.60
MARZO	1.10	2.53	3.33	1.67	4.44	1.90
ABRIL	1.12	2.50	2.25	1.75	3.37	2.00
MAYO	1.90	2.00	1.90	1.50	2.17	1.75
JUNIO	1.11	2.00	2.22	1.25	4.44	1.33
JULIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AGOSTO	0.00	0.00	1.12	1.00	1.12	1.00
SEPT.	1.30	1.50	0.00	0.00	1.30	1.50
OCT.	2.50	1.00	5.00	1.00	7.50	1.00
NOV.	3.65	1.83	3.65	1.50	7.32	1.67
DIC.	3.61	1.66	16.87	1.14	20.48	1.17

Tabla 5

Oleaje del E-SE-S en el entorno canario, a partir de mapas de análisis. Observaciones de las 6.00 a.m. Período 1987-1989.

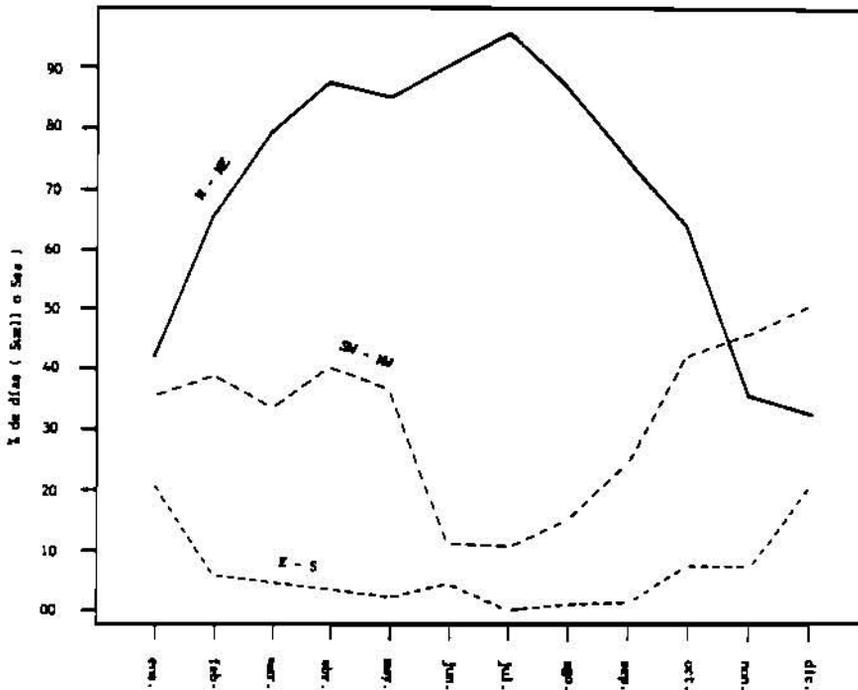


Figura 3

Frecuencia de presentación del oleaje Swell o Sea en el entorno canario, a partir de mapas analíticos. Observaciones de las 6.00 a.m. Período 1987-1989.

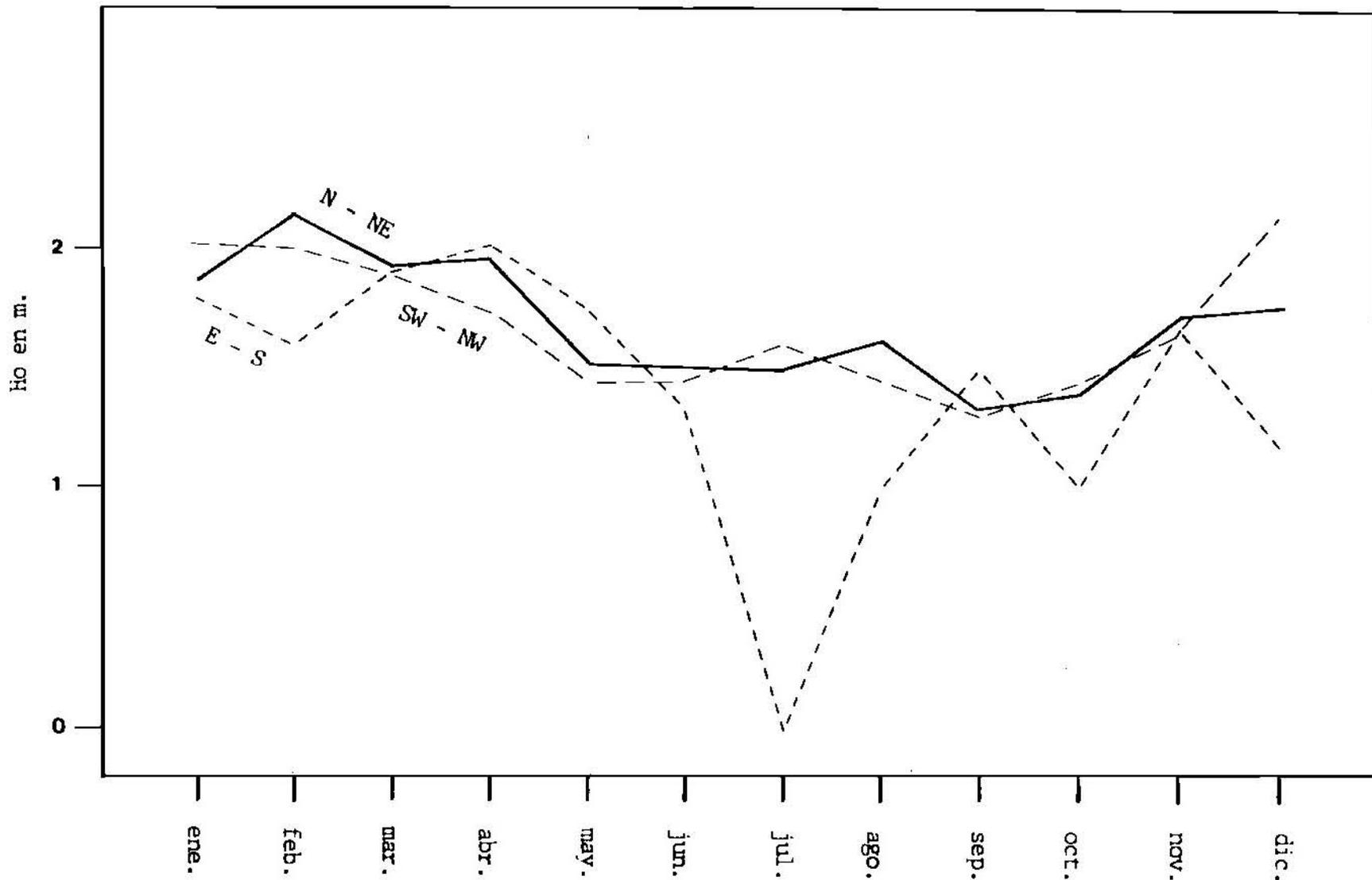


Figura 4

Frecuencia de presentación de la altura H_o del oleaje Swell o Sea en el entorno canario, a partir de mapas de análisis. Observaciones de las 6.00 a.m. Período 1987-1989.

Periodo del año \ Grupo de playa	I	II	III	IV
Invierno	↑			
Primavera	↓	↑		
Verano		↓		
Otoño			↑	

Figura 5

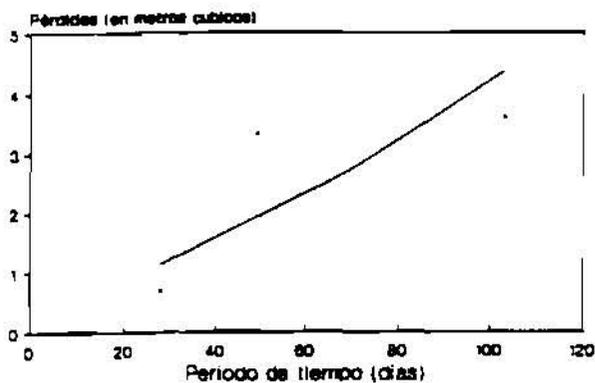
Localización de los procesos excesos de erosión anual en las playas arenosas de Gran Canaria.

Periodo del año \ Grupo de playa	I	II	III	IV
Primavera				
Verano	↑			
Otoño	↓	↑	↑	
Invierno		↓	↓	

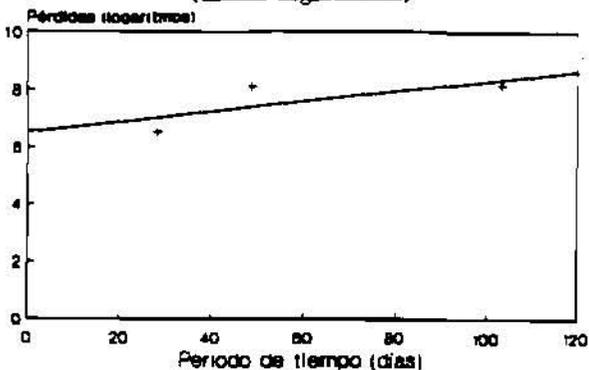
Figura 6

Localización de los procesos más importantes de acreción anual en las playas arenosas de Gran Canaria.

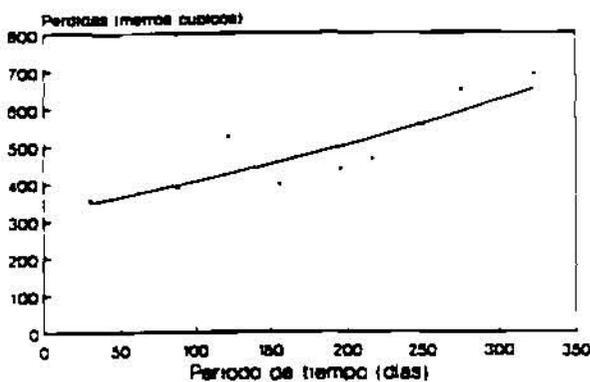
Playa de El Hombre



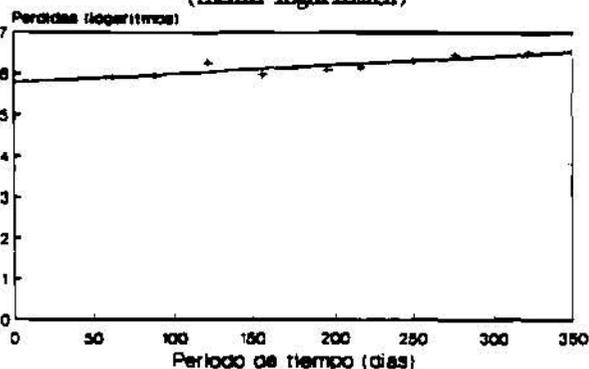
**Playa de El Hombre
(Escala logarítmica)**



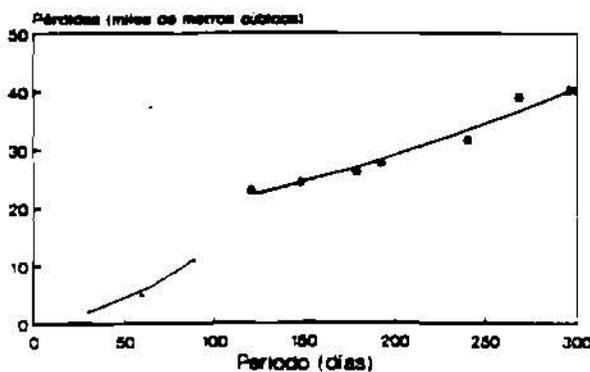
Playa de El Burrero



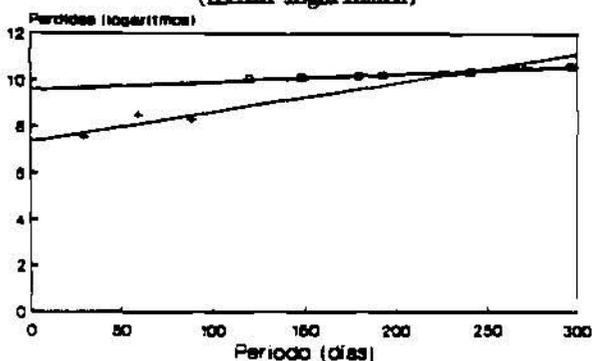
**Playa de El Burrero
(Escala logarítmica)**



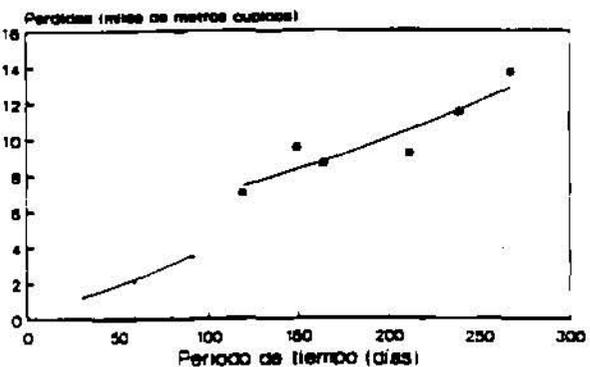
Playa de El Inglés



**Playa de El Inglés
(Escala logarítmica)**



Punta de Maspalomas



**Punta de Maspalomas
(Escala logarítmica)**

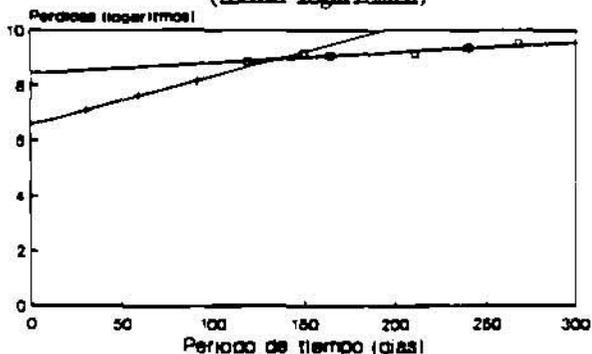


Figura 8

Curvas de erosión

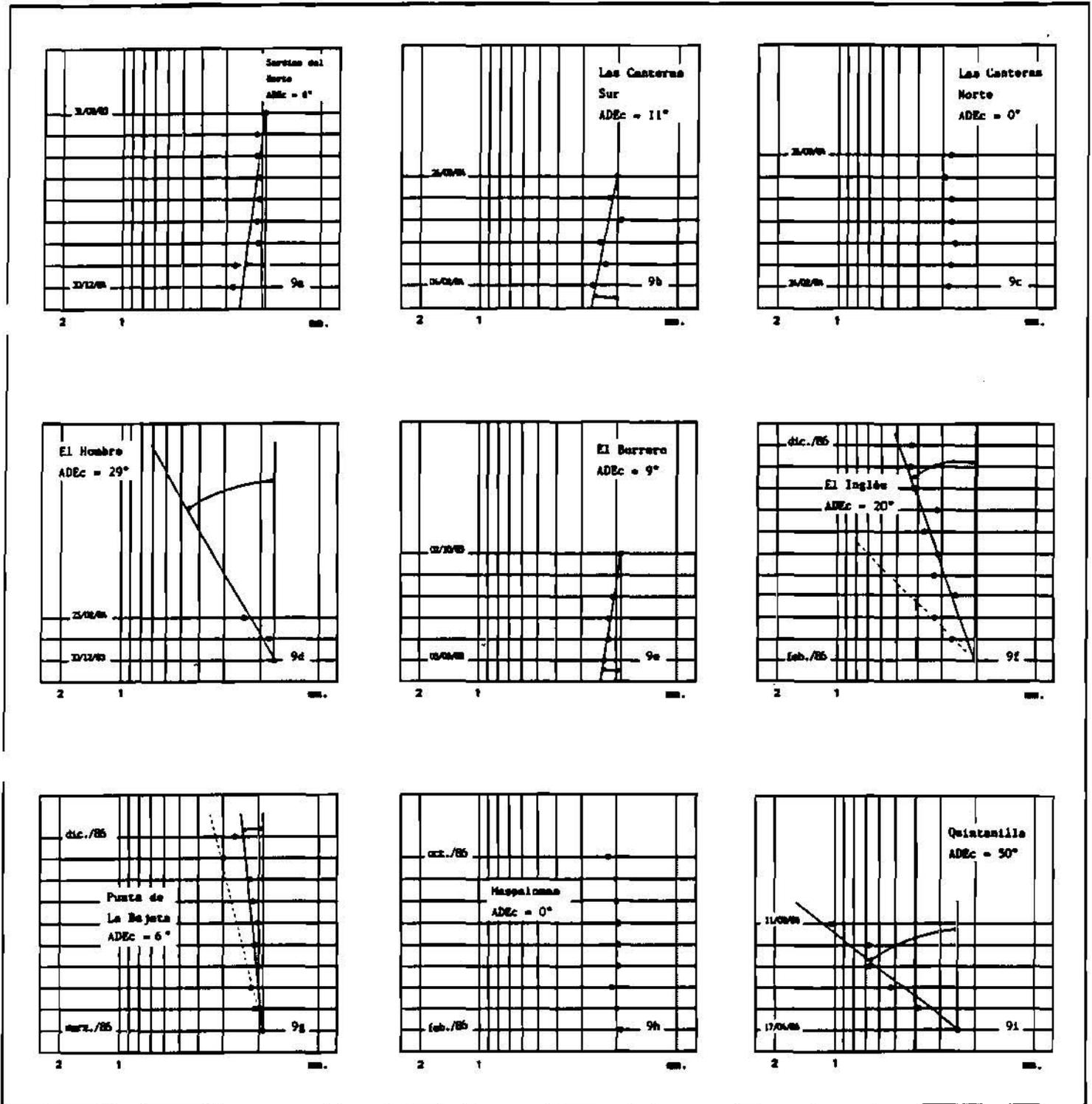


Figura 9

Angulos de desvío de la energía cinética media de las playas en seguimiento.

Angulo de desvío, en grados sexagesimales, de la energía cinética media.	Calificación
de 0 a 5	evolución energética muy suave.
de 6 a 15	evolución energética suave.
de 16 a 25	evolución energética moderada.
de 26 a 35	evolución energética fuerte.
de 36 a 45	evolución energética muy fuerte.
>46 sólo queda arena residual entre gravas, cantos y/o bloques.	evolución energética extrema.

Tabla 6

Tentativa de subclasificación de las playas arenosas de Gran Canaria, de acuerdo con los cambios energéticos relativos desde acreción significativa a erosión máxima o viceversa. Se emplean unas escalas en papel semilogarítmico conforme con el texto.

PLAYA	FECHA	PERIODO SEDIMENTARIO INTERMAREAL	ADEC. (en grados sesagesimales)	CALIFICACION
Sardina del Norte	30/12/84 31/8/85	de erosión a acreción	8°	evolución energética suave
Las Canteras Norte	26/2/84 26/9/84	de erosión a acreción	0°	evolución energética muy suave
Las Canteras Sur	4/2/84 26/9/84	de erosión a acreción	11°	evolución energética suave
El Nombre	30/12/83 23/2/84	de acreción a erosión	29°	evolución energética fuerte
El Burrero	5/5/85 2/10/85	de erosión a acreción	9°	evolución energética muy suave
El Inglés	febrero/86 diciembre/86	de acreción a erosión	20°	evolución energética fuerte
Punta de la Bajata	marzo/86 diciembre/86	de acreción a erosión	6°	evolución energética suave
Napaloma	febrero/86 octubre/86	de erosión a acreción	0°	evolución energética muy suave
Quintanilla	17/4/86 11/9/86	de acreción a erosión	50°	evolución energética extrema

Tabla 7

Subclasificación de las playas en seguimiento, a partir del ángulo de desvío de la Ec media (ADEC).

		HIPER-ENERGETICA
0.02-	VALORES POSITIVOS	MESO-ENERGETICA
0.01-		EN EQUILIBRIO ENERGETICO
0.00		HIPO-ENERGETICA
-0.01-	VALORES NEGATIVOS	
-0.02-		

Tabla 8

Escala para la clasificación de las playas a partir del parámetro SKa de Krumbein.

PLAYA	SKa en erosión	CLASIFICACION	SKa en acreción	CLASIFICACION	SKa medio	CLASIFICACION
Sardina del Norte	-0.013	Equilibrio energético	0.009	Equilibrio energético	-0.002	Equilibrio energético
Las Canteras Norte	0.023	Hiper-energética	0.006	Equilibrio energético	0.016	Meso-energética
Playa Chica	0.036	Hiper-energética	0.011	Meso-energética	0.023	Hiper-energética
Las Canteras Sur	0.033	Hiper-energética	0.031	Hiper-energética	0.027	Hiper-energética
El Nombre	0.008	Meso-energética	0.007	Equilibrio energético	0.006	Equilibrio energético
El Barrero	-0.006	Hipo-energética	0.004	Equilibrio energético	-0.001	Equilibrio energético
El Inglés	0.053	Hiper-energética	0.026	Hiper-energética	0.041	Hiper-energética
La Bajeta	0.007	Meso-energética	0.006	Equilibrio energético	0.006	Equilibrio energético
Maspalomas	0.005	Equilibrio energético	0.003	Equilibrio energético	0.004	Equilibrio energético

Tabla 9

Subclasificación de las playas en estudio de acuerdo con el parámetro SKa de Krumbein.

PLAYA	FECHA (de erosión máxima)	Kq _e	TIPO de curva	CALIFICACION
Sardina del S.	30/12/84	0.147	angulosa	de energía cinética media prolongada.
Las Canteras N.	24/2/84	0.224	angulosa	de energía cinética media prolongada.
Las Canteras S.	4/2/84	0.236	angulosa	de energía cinética media prolongada.
El Hombre	25/2/82	0.260	normal	de energía cinética media, de duración normal.
El Burrero	5/5/85	0.253	angulosa	de energía cinética media prolongada.
El Inglés	diciembre/86	0.300	achatada	de energía cinética media de duración reducida.
Punta de la Bajeta	diciembre/86	0.528	achatada	de energía cinética media de duración reducida.
Haspalomas	3/3/86	0.289	achatada	de energía cinética media de duración reducida.

Tabla 10

Subclasificación de las playas en seguimiento según la duración de la energía cinética media durante la erosión máxima.

6. Modelos a partir de una ecuación diferencial, con un término logístico y otro de saturación. Interpretación genética de los mismos.

MODELO MATEMATICO DE LOS PROCESOS INTERMAREALES DE ACRECIÓN Y EROSION, EN PLAYAS ARENOSAS.

Jesús Martínez, Angelo Santana, Elena Melián, Frella Reyes, Cristina Rúa-Figueroa y Carmen del Toro.

Facultad de Ciencias del Mar. Campus Universitario de Tafira. 35017. Las Palmas de Gran Canaria

ABSTRACT

In this work, accretion and erosion processes in intertidal strips of sandy beaches are modelled.

With that aim the following steps have been made:

- 1.- Topographic monitoring of a beach in the Island of Gran Canaria (Spain).
- 2.- Development of a mathematical model.
- 3.- And interpretation of a significative time serie of records of sedimentary volumes.

RESUMEN

Se pretende modelizar los procesos de acreción y erosión en franjas intermareales de playas arenosas. Para ello:

1. Se ha hecho el seguimiento de los cambios topográficos de una playa de Gran Canaria (España).
2. Se desarrolla un modelo matemático.
3. Y se interpreta una serie temporal significativa, referente a observaciones de balances sedimentarios.

TECNICAS EMPLEADAS

Para el desarrollo de la modelización, se han seguido las siguientes técnicas:

- cálculo de cubicajes de arena en el estrán, de la playa arenosa seleccionada. Se emplea la metodología de Martínez et al, (1987).
- y ajuste de curvas logísticas, como las que recogen Beltrami (1987) y Draper Smith (1981).

RESULTADOS Y DISCUSION

I. DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO

Se fundamenta el modelo en las tres siguientes hipótesis de partida, en relación con la franja intermareal de una playa arenosa:

1. El proceso de ganancia de volumen se rige por la ecuación:

$$\frac{dv}{dt} = rv(1 - \frac{v}{K}) \quad (1)$$

en donde V = volumen,, t = tiempo,, dv/dt representa la variación de volumen en el tiempo,, r = inverso del intervalo de tiempo, para pasar de un volumen 1 a un volumen 2,, K = volumen máximo admisible para la playa.

2. El proceso de pérdidas se rige por la ecuación:

$$\frac{dv}{dt} = - \frac{\beta v^2}{A^2 + v^2} \quad (2)$$

en donde A = volumen mínimo característico de la playa,, β = tasa de erosión (cambio de volumen en un tiempo dado).

3. El parámetro β se mantiene constante, hasta que aparezca un temporal, con el que toma otro valor.

De acuerdo con lo anterior, se plantea la ecuación de balance:

$$\frac{dv}{dt} = rv(1 - \frac{v}{K}) - \frac{\beta v^2}{A^2 + v^2} \quad (3)$$

El equilibrio entre pérdidas y ganancias se alcanza cuando no hay variación de volumen, esto es, cuando $dv/dt = 0$. Por tanto, el volumen de equilibrio de la playa será aquel que resulte como solución de:

$$rv(1 - \frac{v}{K}) - \frac{\beta v^2}{A^2 + v^2} = 0 \quad (4)$$

Si se definen:

$$p = \frac{K}{A^2} \frac{\beta}{r} - \frac{K^2}{3A^2} + 1 \quad (5) \quad , \quad q = \frac{1}{3} \frac{K^2}{A^3} \frac{\beta}{r} - \frac{2K}{3A} \left[\left(\frac{K}{3A} \right)^2 + 1 \right] \quad (6)$$

$$\Delta(p,q) = q^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} p \right)^3 \quad (7)$$

puede probarse que, en función de estos términos, la ecuación (3) está en algunos de los casos recogidos en la figura 1.

Dado que:

$V' > 0$ implica V creciente, y

$V' < 0$ implica V decreciente,

según la figura 1:

- a.- En los casos 1 y 2, cualquiera que sea el volumen inicial de la playa, siempre se alcanza el volumen de equilibrio V_1 .
- b.- En el caso 3, donde V_0 se considera como el volumen inicial, se cumple que:
 - Si $V_0 \leq V_2$, el equilibrio se alcanza en V_1
 - Si $V_0 > V_2$, el equilibrio se alcanza en V_2
- c.- En el caso 4:
 - Si $V_0 < V_1$, el equilibrio se alcanza en V_1
 - Si $V_0 \geq V_2$, el equilibrio se alcanza en V_2
- d.- Y, por último, en el caso 5, se verifica que:
 - Si $V_0 < V_2$, el equilibrio se alcanza en V_1
 - Si $V_0 > V_2$, el equilibrio se alcanza en V_3 .

De todo lo anterior, se infieren una serie de consecuencias, en el análisis de los procesos sedimentarios de ganancias y pérdidas intermareales, de una playa arenosa:

1. Inicialmente la playa se encuentra en un cierto volumen de equilibrio.
2. Cuando cambie β/r , también lo harán las soluciones de equilibrio.
3. Tras un periodo de ajuste, la playa adoptará un nuevo volumen de equilibrio. (Si el β/r permanece constante el tiempo suficiente para ello).

4. Si en la nueva situación hubiera un solo volumen de equilibrio, éste se alcanzará con seguridad. Si hubiera dos o tres, se alcanzará uno u otro, de acuerdo con el caso en que se esté, y con la posición relativa de V_0 , respecto a los nuevos volúmenes de equilibrio.

Cada playa y cada situación concreta de la misma, calma o temporal, dan lugar a un valor (p,q) que puede situarse en el plano pq . De acuerdo con (5) y (6), se prueba que para un valor constante de K/A , los posibles puntos (p,q) se sitúan sobre rectas. Sus posiciones están recogidas en la figura 2. Sobre esas rectas, la ubicación de un punto depende del valor que toma β/r . De esta forma, al variar β/r , lo hará el número de volúmenes de equilibrio y/o sus valores.

Cuando el cambio es sólo momentáneo y vuelve a su valor inicial, puede ocurrir:

1. Si la playa sólo tiene un volumen de equilibrio, se retorna a éste.
2. Si tiene varios volúmenes de equilibrio, la playa se estabiliza en el volumen de equilibrio que le correspondiese, de acuerdo con la posición del volumen originado por la perturbación.

II. APLICACION DEL MODELO

El modelo se ha experimentado en la Playa de Sardina del Norte (figura 3), que se localiza en el NW de la Isla de Gran Canaria (España).

En la Playa se delimitó una franja intermareal, con una amplitud operativa de 9 metros y una longitud de 90 metros. De ella, se tiene una serie temporal de seis años de medidas mensuales de cubicajes (tabla 1).

Se estima que el estrán tiene un K/A promedio en torno a 1.21. Esto quiere decir que se está en la situación c_1 , de la figura 2. Su ambiente sedimentario intermareal evoluciona en el plano pq , dentro de la región de una solución.

A partir de análisis cuantitativos de la acreción-erosión en la franja delimitada (Martínez et al, 1991), la anterior evolución se sitúa, además, en las proximidades o dentro, de la banda de los estadios disipativos, conforme a la clasificación morfodinámica de Wright y Short (1983).

La ecuación (1) que modeliza la acreción tiene como solución:

$$V = \frac{K}{1 + ae^{-rt}} \quad (8)$$

A partir de la serie temporal de la tabla I, se analizan los periodos de acreción del 2-2-87 al 19-8-87, y del 23-12-87 al 28-9-88. Los parámetros de (8) pueden estimarse por mínimos cuadrados, a partir de estos datos. Se obtienen así las siguientes curvas:

$$V = \frac{774.6}{1+31.2e^{-0.13t}} \quad V = \frac{773.4}{1+6.6e^{-0.05t}}$$

que muestran un ajuste satisfactorio con los datos observados (V en m^3 y t en días). Los perfiles de estas curvas dependen de los condicionantes oceanológicos, durante el proceso de acreción desde la erosión máxima.

Los procesos de erosión intermareal, ante temporales determinados, con sus

4. Si en la nueva situación hubiera un solo volumen de equilibrio, éste se alcanzará con seguridad. Si hubiera dos o tres, se alcanzará uno u otro, de acuerdo con el caso en que se esté, y con la posición relativa de V_0 , respecto a los nuevos volúmenes de equilibrio.

Cada playa y cada situación concreta de la misma, calma o temporal, dan lugar a un valor (p,q) que puede situarse en el plano pq . De acuerdo con (5) y (6), se prueba que para un valor constante de K/A , los posibles puntos (p,q) se sitúan sobre rectas. Sus posiciones están recogidas en la figura 2. Sobre esas rectas, la ubicación de un punto depende del valor que toma β/r . De esta forma, al variar β/r , lo hará el número de volúmenes de equilibrio y/o sus valores.

Cuando el cambio es sólo momentáneo y vuelve a su valor inicial, puede ocurrir:

1. Si la playa sólo tiene un volumen de equilibrio, se retorna a éste.
2. Si tiene varios volúmenes de equilibrio, la playa se estabiliza en el volumen de equilibrio que le correspondiese, de acuerdo con la posición del volumen originado por la perturbación.

II. APLICACION DEL MODELO

El modelo se ha experimentado en la Playa de Sardina del Norte (figura 3), que se localiza en el NW de la Isla de Gran Canaria (España).

En la Playa se delimitó una franja intermareal, con una amplitud operativa de 9 metros y una longitud de 90 metros. De ella, se tiene una serie temporal de seis años de medidas mensuales de cubicajes (tabla 1).

Se estima que el estrán tiene un K/A promedio en torno a 1.21. Esto quiere decir que se está en la situación c_1 , de la figura 2. Su ambiente sedimentario intermareal evoluciona en el plano pq , dentro de la región de una solución.

A partir de análisis cuantitativos de la acreción-erosión en la franja delimitada (Martínez et al, 1991), la anterior evolución se sitúa, además, en las proximidades o dentro, de la banda de los estadios disipativos, conforme a la clasificación morfodinámica de Wright y Short (1983).

La ecuación (1) que modeliza la acreción tiene como solución:

$$V = \frac{K}{1 + ae^{-rt}} \quad (8)$$

A partir de la serie temporal de la tabla I, se analizan los periodos de acreción del 2-2-87 al 19-8-87, y del 23-12-87 al 28-9-88. Los parámetros de (8) pueden estimarse por mínimos cuadrados, a partir de estos datos. Se obtienen así las siguientes curvas:

$$V = \frac{774.6}{1+31.2e^{-0.13t}} \quad V = \frac{773.4}{1+6.6e^{-0.05t}}$$

que muestran un ajuste satisfactorio con los datos observados (V en m^3 y t en días). Los perfiles de estas curvas dependen de los condicionantes oceanológicos, durante el proceso de acreción desde la erosión máxima.

Los procesos de erosión intermareal, ante temporales determinados, con sus

condicionantes de entorno, morfodinámicos y oceanológicos en general, ya han sido analizados por Martínez et al (1990), y los resultados se integran coherentemente en el modelo logístico desarrollado.

CONCLUSIONES

1. El comportamiento global de ganancias y pérdidas, en una franja intermareal arenosa, se puede describir mediante el modelo desarrollado en este trabajo.
2. La ecuación diferencial, que soporta el modelo, tiene un término de comportamiento logístico y otro de decrecimiento. Este último implica un efecto de saturación.
3. El modelo permite determinar los volúmenes intermareales de equilibrio de una playa, y las pautas de evolución de éstos, como respuestas a nuevas situaciones oceanológicas.
4. Los términos referentes a los procesos de ganancias y pérdidas se ajustan aceptablemente a los comportamientos empíricos.

BIBLIOGRAFIA

- Beltrami, E. 1987. Mathematics for dynamics modeling. Academic Press. Boston.
- Draper - Smith, 1981. Applied regression analysis. Second edition. Wiley & Sons.
- Martínez, J., Sastre, J., Alemán, G., Castro, J.J., Martín, A. y Robayna, D. 1987. Los movimientos de las superficies topográficas en las playas de arenas: métodos de investigación e interpretación. Revista de Obras Públicas. Julio - agosto. pp 469 - 483.
- Martínez, J., Melián, E., Reyes, F., Rúa-Figueroa, C., Silvela, P. y del Toro, C. 1990. La predicción de la erosión intermareal por temporales en playas arenosas del entorno canario. Libro del I Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería. pp 82-89. Sociedad Española de Métodos Numéricos en Ingeniería. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- Martínez, J., Melián, M., Reyes, F., Rúa-Figueroa, C. y del Toro, C. 1991. Caracterización morfodinámica de la Playa de Sardina del Norte (Gran Canaria, España). Resúmenes de la VIII Reunión sobre el Cuaternario (Valencia 16-20 de Septiembre de 1991. pp 35-36).
- Wright, L. y Short, A. 1983. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia, In: P.D.Komar (Editor), C.R.C. Handbook of Coastal Processes and Erosion, C.R.C. Press, Boca Ratón, Florida, pags 35-64.

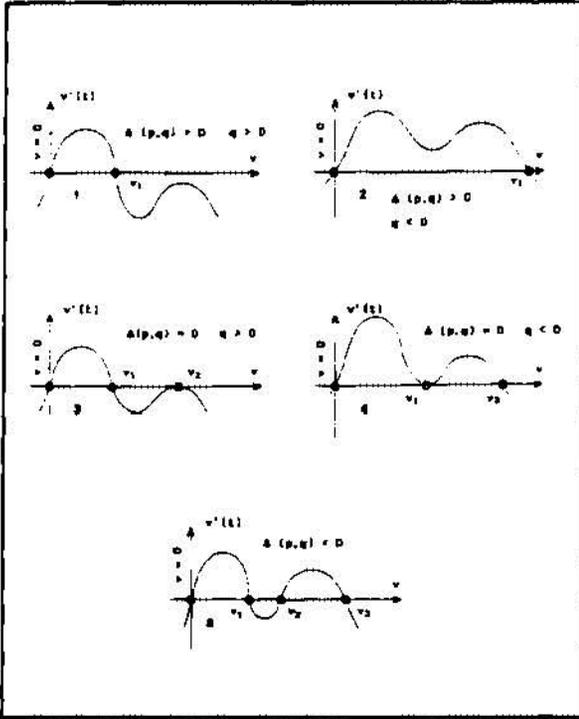


Figura 1.

Posibles casos de volúmenes intermareales de equilibrio en una playa arenosa.

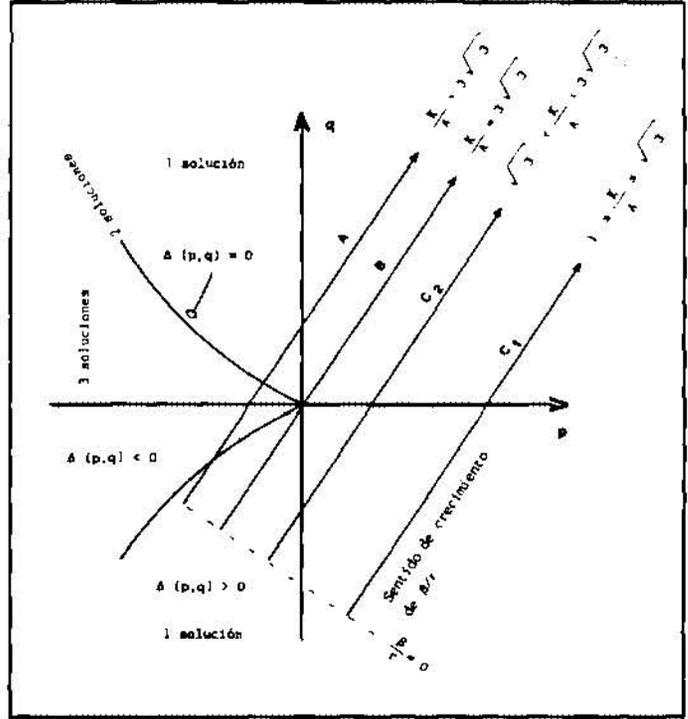


Figura 2.

Condiciones de equilibrio en el plano pq.

Campaña	Ganancias o pérdidas	Campaña	Ganancias o pérdidas
19-12-85	1428.446	03-01-89	1411.910
21-01-86	-1415.866	02-02-89	1411.210
21-02-86	1179.556	01-03-89	1342.080
23-03-86	1255.105	25-03-89	1270.910
01-05-86	1154.576	21-04-89	1225.820
30-05-86	1253.116	22-05-89	1356.150
28-06-86	1406.436	22-06-89	1380.198
26-07-86	1570.086	21-07-89	1435.460
01-09-86	1582.766	19-08-89	1276.116
04-10-86	1442.086	15-09-89	901.600
30-10-86	1541.176	21-10-89	1428.610
27-11-86	1466.956	10-10-89	1193.900
26-12-86	1546.316	17-11-89	1335.364
02-02-87	748.386	23-11-89	970.940
05-03-87	1214.276	10-02-90	674.794
08-04-87	1638.746	11-03-90	101.388
03-05-87	1455.766	11-04-90	0.000
01-06-87	1488.686	09-05-90	45.289
05-07-87	1370.206	09-06-90	1168.056
27-07-87	1502.806	05-07-90	1110.356
19-08-87	1488.166	06-08-90	1251.745
30-09-87	1336.446	27-09-90	1142.467
04-11-87	1035.046	04-10-90	1459.836
26-11-87	1071.196	04-11-90	1367.511
23-12-87	716.026	02-12-90	1146.804
21-01-88	1098.536	06-01-91	1255.238
26-02-88	1239.240	02-02-91	1235.620
26-03-88	1447.796	15-02-91	1390.212
03-05-88	1389.580	23-02-91	1106.068
03-06-88	1260.811	02-03-91	1239.246
10-06-88	1325.422	12-03-91	2901.097
28-07-88	1378.178	28-04-91	1344.827
28-08-88	1477.847	30-05-91	2609.969
28-09-88	1798.032	31-07-91	2221.186
27-10-88	1394.161	29-08-91	1285.079
04-12-88	1373.070		

Tabla 1.

Serie temporal (6 años) de ganancias y pérdidas sedimentarias intermareales. Playa de Sardina del Norte.

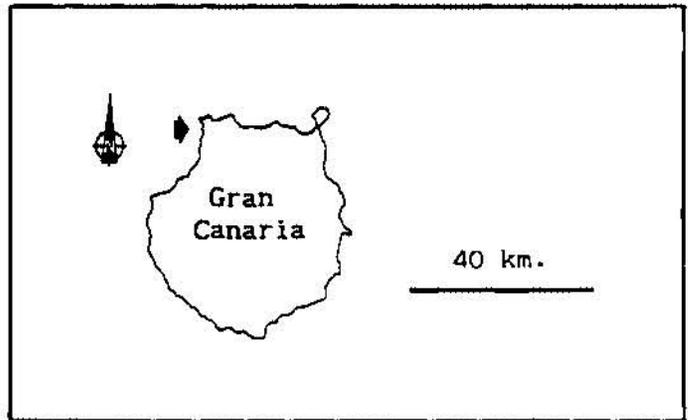


Figura 3.

Localización geográfica de la playa arenosa en seguimiento: Sardina del Norte (Gran Canaria).

LA ENERGIA CINETICA Y SUS EFECTOS EN LAS PLAYAS ARENOSAS

KINETIC ENERGY AND ITS EFFECTS ON SANDY BEACHES

Jesús Martínez Martínez, M. Elena Melián, Frella Reyes, Cristina Rua - Figueroa, Angelo Santana, Carmen del Toro, y J. Juan Alonso
Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
Campus Universitario de Tafira. 35017. Las Palmas.

Palabras clave: Acreción en playas, Erosión en playas, Sedimentología marina, Modelización de procesos físicos.

Keywords: Accretion on beaches, Erosion on beaches, Marine sedimentology, Physic processes modelling.

RESUMEN

Se pretende modelizar globalmente los procesos de acreción y erosión en franjas intermareales de playas arenosas. Para ello:

1. Se ha hecho el seguimiento de una playa de Gran Canaria (España).
2. Y se realiza un estudio estadístico de diversas series temporales significativas de observaciones, tanto de la dinámica de los depósitos sedimentarios como del enmarque oceanológico.

ABSTRACT

In this paper, accretion and erosion processes in intertidal strips of sandy beaches are modelled. With that aim the following steps were made:

1. Monitoring of one beach in the Island of Gran Canaria (Spain).
2. A series of records, taken at significant times, of both the dynamics of sedimentary deposits, and of the oceanographic framework, have been analysed.

1. INTRODUCCION

En relación con proyectos de optimización de playas arenosas, sobre todo turísticas, resulta necesario el estudio dinámico de tales ambientes sedimentarios. De ahí el interés de este tipo de trabajos, en los que se llega a establecer predicciones de las caracterizaciones y cuantificaciones de ganancias y pérdida de áridos.

Todo ésto se deberá considerar en la toma de decisiones respecto a la planificación y gestión del entorno litoral.

2. MATERIAL Y METODO

Para el desarrollo de la modelización, se han seguido las siguientes técnicas:

- cálculo de cubicajes de arena en el estrán. Se emplea la metodología de MARTÍNEZ *et al.* (1987),

- análisis estadístico del clima marítimo, con datos de la boya de Las Palmas,
- estimaciones de energías en las zonas de rompientes,
- y correlaciones entre los procesos dinámicos de los depósitos de arena y sus condicionantes arenosos,

Por otra parte, se ha seleccionado una playa arenosa representativa (Figura 1), en el litoral grancanario: Sardina del Norte (Gáldar).

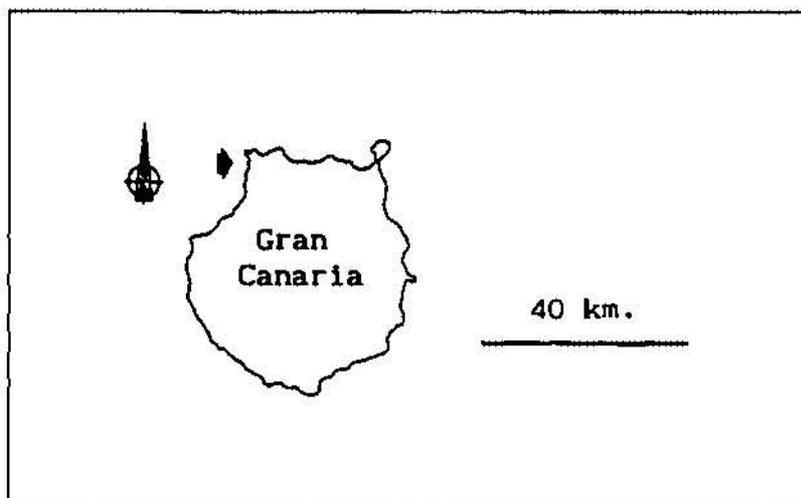


Fig. 1. Localización geográfica de la playa arenosa en seguimiento: Sardina del Norte, Gáldar (Gran Canaria).
 Fig. 1. Geographical situation of the sandy beach of Sardina del Norte, Gáldar (Gran Canaria).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los efectos más significativos de las franjas intermareales de las playas son, sin duda, las ganancias y pérdidas sedimentarias. La variación temporal del volumen de áridos de una playa resulta de la actuación conjunta de los procesos de acreción y erosión, que puede representarse mediante la ecuación:

$$\frac{dv(t)}{dt} = G(t) - P(t)$$

donde v representa al volumen de áridos, t es el tiempo, y $G(t)$ y $P(t)$ son, respectivamente, las ganancias y pérdidas instantáneas, que se producen en t .

De acuerdo con las series temporales de medidas de MARTÍNEZ *et al.* (1990), los cambios de volumen, debidos a los procesos de pérdidas, pueden ajustarse mediante expresiones exponenciales del tipo:

$$v(t) = ae^{-bt}, \quad (a \text{ y } b \text{ constantes, } b > 0) \quad (1)$$

Esta expresión de $P(t)$ implicaría, a medida que t crece, un agotamiento de todas las disponibilidades sedimentarias intermareales de la playa. Este sería un modelo idealizado que no se ajusta al comportamiento real de los balances sedimentarios de muchas playas. No obstante, la función exponencial sí sería aceptable para describir y predecir procesos de pérdidas en intervalos discretos de tiempo, y dentro de ciclos sedimentarios cortos (entre dos erosiones o acreciones significativas).

Sin embargo, los cambios de volumen debidos a procesos de acreción (Tabla I), se ajustan mejor a modelos logísticos de la forma:

$$v(t) = \frac{K}{1 + ae^{-bt}}, \quad (a, b \text{ y } K \text{ constantes, } b > 0, K > 0) \quad (2)$$

que se obtienen de resolver ecuaciones diferenciales del tipo:

$$\frac{dv}{dt} = r \frac{v(K-v)}{K}$$

Estas reflejan el hecho de que la velocidad con que aumenta el volumen es proporcional al producto de su valor en cada instante, por la cantidad de material que la playa aún puede admitir, hasta alcanzar su capacidad máxima K .

El modelo (2) da lugar a un incremento inicial muy rápido de las ganancias, para luego estabilizarse, en torno a la asíntota $v(t)=K$.

El seguimiento de las playas, descritas por MARTÍNEZ *et al.* (1990), permite verificar este comportamiento. Es obvio que el proceso de acreción no podría seguir una función exponencial del tipo $v(t) = ae^{bt}$, ($b > 0$). En ese caso, con el tiempo se daría un acopio infinito de sedimentos con respecto al macrosistema donde se ubica la playa, cosa que no coincide con la realidad.

La modelización global de los procesos de acreción y erosión en playas arenosas, conforme a las limitaciones establecidas, también puede llevarse a cabo mediante el uso de modelos logísticos, tales como los recogidos por BELTRAMI (1987).

Tabla I. Serie temporal de seis años, de ganancias y pérdidas sedimentarias intermareales. Playa de Sardina del Norte (Gran Canaria)

Table I. Six- year time series, of intertidal increases and losses. Beach of Sardina del Norte (Gran Canaria).

Campaña	Ganancias o pérdidas	Campaña	Ganancias o pérdidas
19-12-85	1428.446	03-01-89	1411.910
21-01-86	1415.866	02-02-89	1411.210
21-02-86	1179.556	01-03-89	1342.080
23-03-86	1255.105	25-03-89	1270.910
01-05-86	1154.576	21-04-89	1225.820
30-05-86	1255.116	22-05-89	1356.150
28-06-86	1406.436	22-06-89	1380.198
26-07-86	1570.086	21-07-89	1435.460
01-09-86	1582.766	19-08-89	1276.116
04-10-86	1442.086	15-09-89	901.600
30-10-86	1541.176	21-10-89	1428.610
27-11-86	1466.956	30-10-89	1193.900
26-12-86	1546.316	17-11-89	1335.364
02-02-87	748.386	23-11-89	970.940
05-03-87	1214.276	10-02-90	674.794
08-04-87	1638.746	11-03-90	101.388
03-05-87	1455.766	11-04-90	0.000
01-06-87	1488.686	09-05-90	45.269
05-07-87	1370.206	09-06-90	1168.056
27-07-87	1502.806	05-07-90	1110.356
19-08-87	1488.166	06-08-90	1251.745
30-09-87	1336.446	27-09-90	1142.467
04-11-87	1035.046	04-10-90	1459.836
26-11-87	1071.196	04-11-90	1367.511
23-12-87	716.026	02-12-90	1146.804
21-01-88	1098.536	06-01-91	1255.238
26-02-88	1239.240	02-02-91	1235.620
26-03-88	1447.796	15-02-91	1390.212
03-05-88	1389.580	23-02-91	1106.068
03-06-88	1260.811	02-03-91	1239.246
30-06-88	1325.422	12-03-91	2901.097
28-07-88	1378.178	28-04-91	1344.827
28-08-88	1477.847	30-05-91	2609.969
28-09-88	1798.032	31-07-91	2221.106
27-10-88	1394.161	29-08-91	1285.079
04-12-88	1373.070		

En tales modelos, la variación instantánea, en el volumen sedimentario de las playas arenosas, obedece a una ecuación de equilibrio entre las ganancias instantáneas, que vendrían expresadas como:

$$G(t) = rv(t) \left(1 - \frac{v(t)}{K} \right) \quad (3)$$

y las pérdidas instantáneas, que se representa mediante:

$$P(t) = - \frac{\beta v(t)}{A + v(t)} \quad (4)$$

donde:

K = Volumen máximo que admite la playa.

A = volumen umbral (mínimo) de la playa.

r = parámetro de tiempo (inverso de la cantidad de tiempo necesaria para pasar de un volumen 1 a un volumen 2).

β = tasa de pérdidas (volumen perdido por unidad de tiempo). Depende del tiempo, la energía del temporal y la disponibilidad sedimentaria. Con objeto de simplificar el modelo, se asume que, en intervalos de tiempo correspondientes a episodios concretos de erosión o acreción, β se mantiene aproximadamente constante.

La ecuación (4) expresa el hecho de que la pérdida instantánea es proporcional a la parte que, dentro del volumen total de la playa, representa el volumen sedimentario en exceso, sobre el volumen umbral. Sin embargo (4) da lugar a una expresión muy brusca para las pérdidas, y para suavizarla, se corrige de la siguiente manera:

$$P(t) = - \frac{\beta v^2(t)}{A^2 + v^2(t)} \quad (5)$$

que conserva la característica de implicar la estabilización del proceso de pérdidas, toda vez que (5) alcanza una tendencia asintótica $P(t) = \beta$.

De esta forma, la variación del volumen de arena en un momento dado, se expresaría:

$$\frac{dv}{dt} = rv \left(1 - \frac{v}{K} \right) - \frac{\beta v^2}{A^2 + v^2} \quad (6)$$

Para simplificar la notación, se llama $v = v(t)$.

La cuestión de principal interés está en determinar si, en estas condiciones, existe algún volumen de equilibrio para la playa: un volumen tal que, si se alcanza, la playa se mantiene en él sin variación. Para responder a esta cuestión, se impone en (6) la condición de que el volumen de la playa no varíe, esto es, $dv/dt = 0$. Ello implica que, una vez alcanzado el volumen de equilibrio, las pérdidas deben ser iguales a las ganancias:

$$rv \left(1 - \frac{v}{K} \right) - \frac{\beta v^2}{A^2 + v^2} = 0 \quad (7)$$

Si se opera en (7) se obtiene:

$$v \left[v^3 - Kv^2 + \left(\frac{\beta}{r} K + A^2 \right) v - A^2 K \right] = 0 \quad (8)$$

Esta ecuación tiene, como máximo, cuatro soluciones reales, que corresponderían a otros tantos volúmenes de equilibrio. Obviamente $v=0$ es una de estas soluciones. Para encontrar las otras tres debemos resolver:

$$v^3 - Kv^2 + \left(\frac{\beta}{r} K + A^2 \right) v - A^2 K = 0 \quad (9)$$

Unos sencillos cálculos algebraicos permiten comprobar que (9) puede escribirse también de la forma:

$$\left(v - \frac{K}{3} \right)^3 + \left(\frac{\beta}{r} K + A^2 - \frac{K^2}{3} \right) \left(v - \frac{K}{3} \right) + \frac{K}{3} \left(\frac{\beta}{r} K + A^2 - \frac{K^2}{3} \right) + \left(\frac{K}{3} \right)^3 - A^2 K = 0 \quad (10)$$

$$\text{Si se llama } x = \left(v - \frac{K}{3}\right) \quad (11); \quad p = \left(\frac{\beta}{r}K + A^2 - \frac{K^2}{3}\right) \quad (12)$$

$$q = \frac{K}{3} \left(\frac{\beta}{r}K + A^2 - \frac{K^2}{3}\right) + \left(\frac{K}{3}\right)^3 - A^2K = \frac{K}{3}p + \left(\frac{K}{3}\right)^3 - A^2K \quad (13)$$

Se puede expresar (10) de la siguiente forma más simple:

$$x^3 + px + q = 0 \quad (14)$$

Se prueba fácilmente que el número de soluciones reales de esta ecuación depende del signo de su función discriminante:

$$\Delta(p, q) = 4\left(\frac{p}{3}\right)^3 + q^2$$

de tal forma que:

- $\Delta(p, q) > 0 \Rightarrow$ (14) tiene una única solución real.
- $\Delta(p, q) = 0 \Rightarrow$ (14) tiene dos soluciones reales.
- $\Delta(p, q) < 0 \Rightarrow$ (14) tiene tres soluciones reales.

Este resultado queda representado gráficamente en la figura 2. En esta, se muestra como la curva $\Delta(p, q)=0$ permite clasificar el plano pq en tres regiones, en cada una de las cuales se verifica una de las condiciones anteriores. De esta forma, la posición de cada punto (p, q) sobre este plano determina el número de soluciones reales de la ecuación (14) y, por tanto, también de la ecuación (10), que da lugar a esos valores de p y de q .

Se observa ahora que si $x < -\frac{K}{3}$, entonces:

$$x^3 + px + q < \left(-\frac{K}{3}\right)^3 + p\left(-\frac{K}{3}\right) + q = -A^2K < 0 \quad (15)$$

De aquí se sigue que si x es solución de (14), entonces necesariamente $x \geq -K/3$. Ahora bien, de acuerdo con (11), $v = x + K/3$, y como $x \geq -K/3$, resulta que $v \geq 0$. Ello significa que, en cualquiera de los tres casos anteriores, los volúmenes de equilibrio de la playa, en caso de alcanzarse, no serán nunca negativos, lo cual tiene perfecto sentido físico.

Asimismo, (13) indica que para cada par de valores de K y A fijos, los valores de p y q se hallan, en el plano pq , sobre la recta de pendiente positiva:

$$q = \frac{K}{3}p + \left(\frac{K}{3}\right)^3 - A^2K \quad (16)$$

Tal como se ha definido p en (12), cuando K y A son fijos, el valor de p aumenta o disminuye según lo haga el cociente β/r . Dado que el mínimo valor que puede tomar este cociente es $\beta/r=0$, el mínimo valor de p será:

$$p = A^2 - \frac{K^2}{3}$$

al que corresponde:

$$q = \frac{K}{3}p + \left(\frac{K}{3}\right)^3 - A^2K = -\frac{2}{3}K\left(A^2 + \frac{K}{3}\right)$$

Para este punto (p, q) , se puede comprobar que $D(p, q) > 0$, lo que significa que se encuentra en la región de una única solución real. En la figura 2, se muestran las cuatro

posibles situaciones relativas, en que puede encontrarse la recta (16). La ocurrencia de una u otra de tales situaciones depende del valor de la ordenada en el origen de esta recta que, como puede apreciarse, vale $(K/3)^3 - A^2K$.

Así, se está en la:

- Situación 1 $\Leftrightarrow (K/3)^3 - A^2K > 0 \Leftrightarrow K/A > \sqrt[3]{27}$

- Situación 2 $\Leftrightarrow (K/3)^3 - A^2K = 0 \Leftrightarrow K/A = \sqrt[3]{27}$

- Situaciones 3 y 4 $\Leftrightarrow (K/3)^3 - A^2K < 0 \Leftrightarrow 0 \leq K/A < \sqrt[3]{27}$

Se concreta estos resultados y su interpretación de la siguiente forma:

1. Si una playa verifica $0 \leq K/A < \sqrt[3]{27}$, existe siempre un único volumen de equilibrio. Este depende no sólo de K y de A, también de β y de r, que determinan la posición del punto (p, q). Si estos dos últimos parámetros se mantienen constantes el tiempo suficiente, la playa podrá llegar a alcanzar su volumen de equilibrio. Si se produce un temporal, el valor

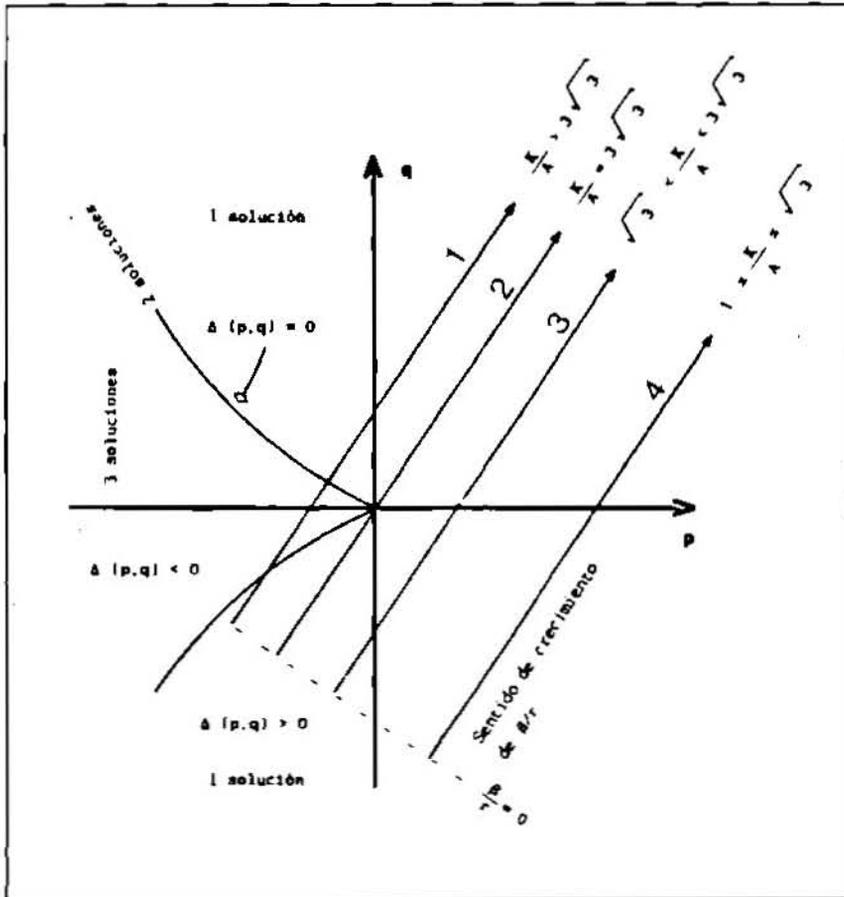


Fig. 2. Condiciones de equilibrio en el plano pq.
Fig. 2. Equilibrium conditions in pq plane.

de β experimenta un cambio brusco, que le hace aumentar. Si este valor de β se mantiene durante un cierto tiempo, la playa podrá alcanzar, nuevamente, un nuevo volumen de equilibrio, que no tiene por qué coincidir con el que tenía antes.

2. Si la playa verifica es tal que $K/A = \sqrt{27}$, cabe la posibilidad de que un cambio en los valores de β y de r haga que $(p,q) = (0,0)$. El ambiente sedimentario se situaría en la zona donde $\Delta(p, q) = 0$ y, por tanto, existirían dos posibles volúmenes de equilibrio. Un estudio más detallado, de las ecuaciones diferenciales envueltas en este proceso, permitiría decidir si la playa llega a estabilizarse realmente en alguno de ellos, lo que dependería fundamentalmente de las condiciones iniciales antes del cambio de β y de r .

3. Si la playa es tal que $K/A > \sqrt{27}$, los cambios en los parámetros β y r podrían conducir a la playa a situaciones en que son posibles uno, dos o tres volúmenes de equilibrio. Al igual que en el caso anterior, son las condiciones iniciales de la playa, antes del cambio, las que determinarían en cuál de esos posibles volúmenes se produce efectivamente la estabilización, si ésta llega a tener lugar.

Sobre la referida recta, β disminuye progresivamente, pero en realidad funciona a saltos, cuando interviene los temporales y, de esta manera, se puede pasar a situaciones de equilibrio muy distanciadas.

Las pérdidas sedimentarias bruscas, por temporales erosivos, se verifican en los seguimientos de las playas, y están recogidos por diversos autores (SUÁREZ BORES, 1981, y otros). Los intervalos bruscos pueden durar desde unas cuantas horas a varios días.

Para que se mantengan las situaciones de equilibrio, el decrecimiento de β no conlleva unas ganancias sedimentarias.

Los temporales previos y posteriores a los significativos se localizarían, en principio, dentro de los comportamientos asintóticos de los procesos de acreción y erosión efectiva, respectivamente. Sin embargo, conviene hacer las siguientes matizaciones:

1. Los temporales previos podrían determinar basculaciones topográficas intermareales, sin cambios volumétricos significativos, en la totalidad de esta franja. Actuarían a modo de "tampón" en el balance sedimentario y, por lo tanto, tienden a estabilizar la acreción máxima. No obstante, las ligeras pérdidas sedimentarias tendrían entidad adecuada para iniciar, en muchos casos, la curva exponencial de la erosión, en su tramo más suave.

2. Los temporales posteriores serían responsables, en gran medida, de la pendiente en las curvas logísticas de acreción.

Para la Playa de Sardina del Norte (Gran Canaria), el conjunto de procesos intermareales, de acreción u erosión de una serie temporal de seis años, describe una especie de oscilación periódica, de geometría peculiar, que, de entrada, haría recordar una función tipo cuasi senoidal.

Estos procesos de acreción y erosión de arenas son respuestas de los cambios energéticos de las playas. En efecto, tales ambientes sedimentarios se pueden definir como un sistema tendente a un equilibrio entre energía cinética del oleaje, valores granulométricos del árido y pendiente topográfica.

La anterior definición en parte ha sido recogida por BASCOM (1951). Su curva relaciona valores granulométricos de los áridos y pendientes topográficas. No obstante, quien ha considerado conjuntamente, de forma explícita, los tres componentes del sistema

es KOMAR (1976), en una gráfica que ha servido para diseñar otra adaptada a las características de las arenas del entorno canario (Figura 3). En esta última, la curva envolvente superior representa situaciones de alta energía del oleaje, mientras que la inferior corresponde a las situaciones de baja energía. Sobre estas tienen lugar los procesos de erosión y acreción, según las pautas que se describen en la figura 4.

Las expresiones de SUNAMURA (1984), entre otras, hacen admisibles las relaciones gráficas antes reseñadas.

Para la cornisa septentrional de la Isla de Gran Canaria, en donde se encuentra la Playa de Sardina del Norte, el enmarque energético se muestra en la figura 5. En ella, se representa la energía del oleaje, en la zona de rompeçientes, y en relación con alturas máximas, significantes y medias, de datos del clima marítimo, registrados por la Boya de Las Palmas, para una serie temporal de cuatro años (entre 1986 - 1989).

Para las estimaciones de energía en la zona de rompientes, se aplica una aproximación de las formulaciones de la teoría lineal de las ondas. Se acepta esta metodología, de acuerdo con autores tales como MICHE (1944), HORIKAWA & KUO (1966) COLLINS & WIER (1969) y KOMAR & GAUGHAN (1972), aunque según algunos autores, se introduciría un cierto error (véase, por ejemplo, SÁNCHEZ ARCILLA, 1984).

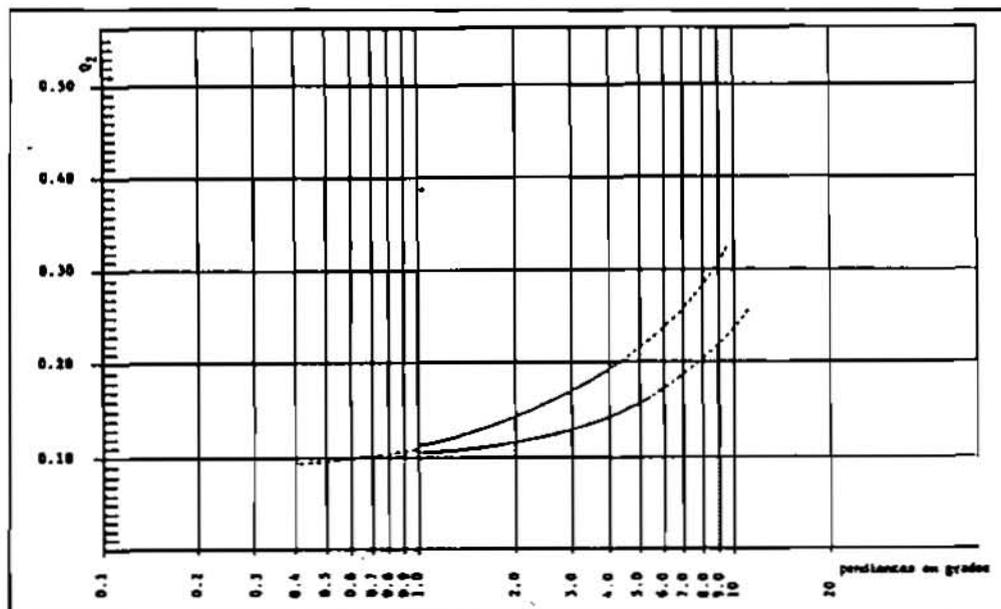


Fig. 3. Relaciones entre pendientes, energías del oleaje y valores granuométricos de las arenas, en franjas intermareales de las playas canarias.

Fig. 3. Relationship between beach-face, angle and grain size for Canarian beaches.

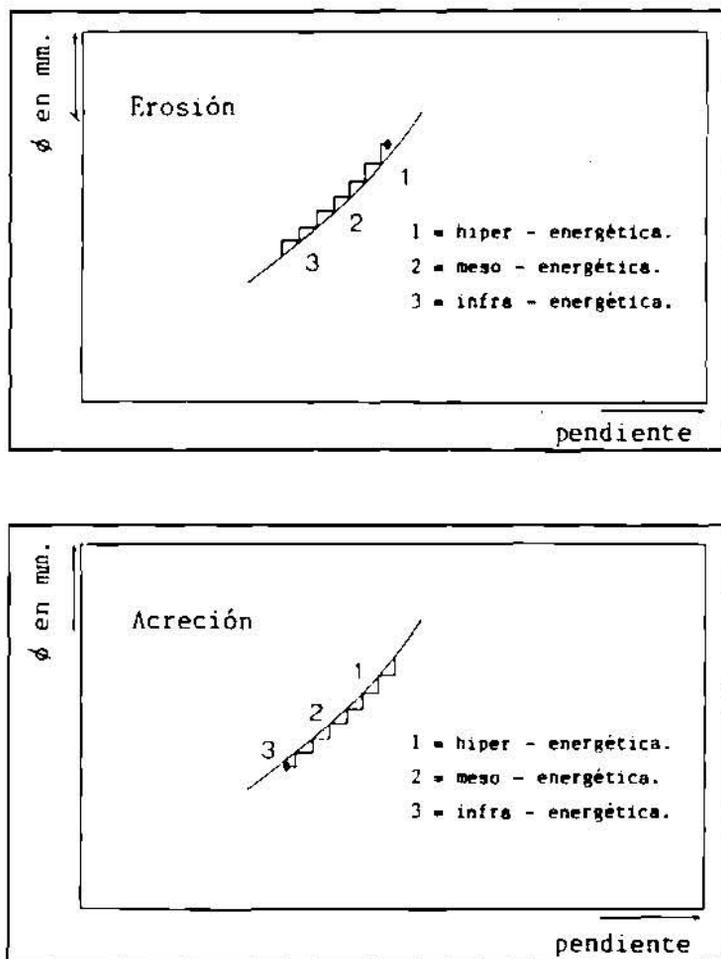


Fig. 4. Procesos de erosión y acreción, respecto a las curvas de equilibrio, de la figura 3.

Fig. 4. Erosión and accretion processes, with respect to the equilibrium curves in the figure 3.

4. CONCLUSIONES

1. El comportamiento global de ganancias y pérdidas de arenas, en la franja intermareal, se puede medir mediante un modelo logístico.

2. Los términos referentes a los procesos de ganancias y pérdidas se verifican, muy aceptablemente, con los comportamientos empíricos.

3. Se llegan a estimar las correlaciones entre los anteriores procesos sedimentarios y sus condicionantes oceanológicos, entre los que se encuentran, entre otros, los temporales significativos de la erosión y las bonanzas de la acreción.

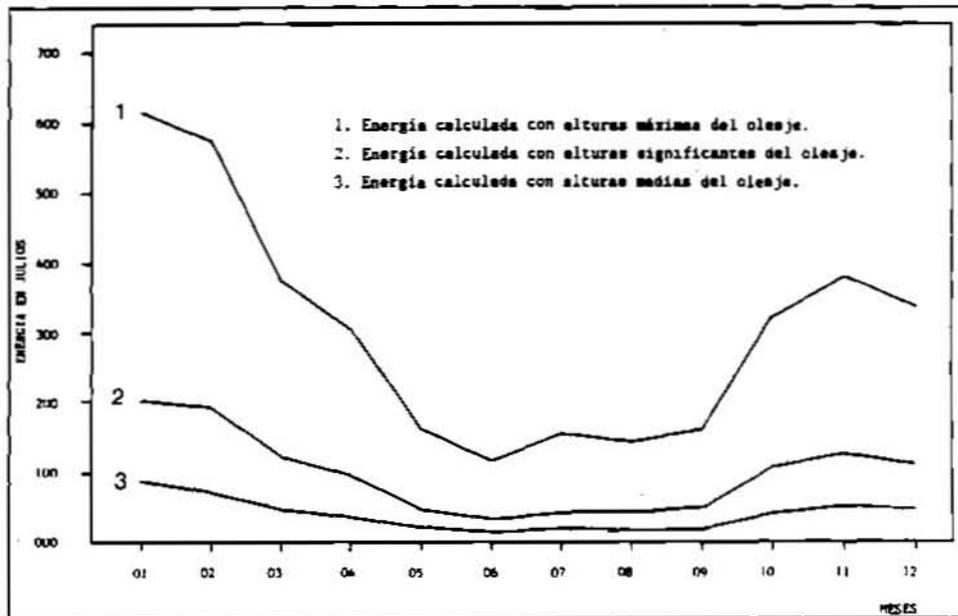


Fig. 5. Enmarque energético del oleaje en la cornisa Norte de Gran Canaria. Estimaciones para la zona de rompientes, con medidas de cuatro años (entre 1986-1989) de la boya de Las Palmas.

Fig. 5. Energetic framework of the waves at the north coast of Gran Canaria. Estimations for the broken zone, with four years of measurements (1986-1989) at the buoy of Las Palmas.

4. Para casos concretos, las caracterizaciones de la energía del oleaje, en zonas de rompientes, según datos estadísticos del clima marítimo, explican satisfactoriamente la localización, en el tiempo, de los procesos intermareales de acreción y erosión.

BIBLIOGRAFIA

- BASCOM, W. N., 1951. The relationship between sand size and beach - face slope. *Am. Geophys. Union Trans.*, 32 (6), 866 - 874.
- BELTRAMI, E., 1987. *Mathematics for dynamic modelling*. Academic Press. Boston. 277 pp.
- COLLINS, J. & WIER, W., 1969. Probabilities of wave characteristics in the surf zone. *Tetra Tech Report TC - 149*.
- HORIKAWA, K. & KUO, C., 1966, A study on wave transformation inside surf zone. in: *Proceeding of the 10 th Conference on Coastal Engineering (Tokyo)*, vol. 1, 217 - 233.
- KOMAR, P. D. and GAUGHAN, M.K., 1972. Airy wave theory and breaker height prediction. in: *13 th Coastal Engineering Conference Proceeding*, vol. 1, 405 -417.
- KOMAR, P. D., 1976. *Beach processes and sedimentation*. Prentice - Hall, N. J. 429 pp.
- MARTINEZ, J., SASTRE, J., ALEMAN, G., CASTRO, J. J., MARTIN, A. & TOBAYNA, D., 1987. Los movimientos de las superficies topográficas en las playas de arenas: métodos de investigación e interpretación. *Revista de Obras Públicas*. Julio - Agosto, 469 -483.

- MARTINEZ, J., MELIAN, E., REYES, F., RUA - FIGUEROA, C., SILVELA, P. & DEL TORO, D., 1990. La predicción de la erosión intermareal por temporales en playas arenosas del entorno canario. *I Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- MICHE, R., 1944. Mouvements ondulatoires des mers en profondeur constante on décroissant. *Annals des Points et Chaussées*. pp 25 - 78, 131 -164, 270 -292 y 369 -406.
- SANCHEZ ARCILLA, A., 1984. Configuración de la línea de costa, pp 309 - 350, in: Sánchez Arcilla, A. Director. *Curso intensivo de Ingeniería de Costas*. Servicio de Publicaciones del MOPU. Madrid. 570 pp.
- SUAREZ BORES, P., 1881. Génesis y morfología de las formas costeras de la erosión Ibérica. *Actualidad Científica*, 5 - 8.
- SUNAMURA, T., 1984. Quantitative predictions of beach - faces slopes. *Geological Society of America Bulletin*, **95**, 242 -245.

7. Modelos de ecuación diferencial, con un término logístico, otro de impulsos energéticos y un tercero de ruidos.

SIMULACION NUMERICA DE LOS PROCESOS SEDIMENTARIOS INTERMAREALES EN LA PLAYA DE SARDINA DEL NORTE (GRAN CANARIA, ESPAÑA).

Jesús Martínez, Angelo Santana, Miguel Pacheco, Elena Melián y Diego Casas.

Facultad de Ciencias del Mar. Campus Universitario de Tafira. Código Postal 35017. Las Plamas de Gran Canaria.

RESUMEN

Los balances sedimentarios de la Playa arenosa de Sardina del Norte han sido modelizados, en trabajos anteriores, mediante una ecuación diferencial, con un término logístico y otro de saturación. El modelo permitió un ajuste aceptable del comportamiento empírico de la Playa.

En el actual trabajo, se propone mejorar el ajuste, con la sustitución del término de saturación por otro, que represente una función de impulsos, correspondientes a las ocurrencias de temporales erosivos en la playa.

ESCENARIO GEOGRAFICO DE LA PLAYA EN ESTUDIO E INTERES DE LA SIMULACION.

La Playa de Sardina del Norte está situada al NW de la Isla de Gran Canaria (figura 1). Define un ambiente sedimentario arenoso en bolsillo, de acuerdo con la Clasificación Genética de Suárez Bores (1978). Las dimensiones de la playa seca - intermareal son reducidas : de unos 100 metros de longitud por 60 metros de ancho.

El interés que tiene la simulación de los procesos sedimentarios, en una playa arenosa, se sintetiza como sigue :

La información que da los parámetros de un oleaje se pueden utilizar como "input", en el mecanismo de simulación, para predecir la evolución, al menos a corto plazo, de cubicajes de áridos.

Estas predicciones son necesarias para la redacción de proyectos de optimización de playas, sobre todo si son turísticas o soportan, en gran medida, el esparcimiento de los lugareños.

Todo esto se deberá considerar en la toma de decisiones, respecto a la ordenación, planificación y manejo de un entorno litoral.

METODOLOGIA

Para el desarrollo del trabajo, se han seguido las siguientes técnicas :

- Cálculo y análisis estadístico de cubicajes mensuales de arena, en el estrán. Se emplea el procedimiento descrito por Martínez et al. (1987).
- Análisis estadístico del clima marítimo, con datos de la boya de Las Palmas y de mapas de oleajes.
- Simulación de variables aleatorias.

RESULTADOS Y DISCUSION

De la tabla 1, se deduce las premisas de partida, a tener en cuenta en la simulación. Varias de estas están condicionadas por la localización y orientación geográfica de la Playa.

El conjunto de premisas se enuncian como siguen :

1. En la evolución de los procesos sedimentarios, las pérdidas importantes de arena, en la franja intermareal, se identifican con "impulsos". Estos dependen :

- de la dirección del oleaje incidente,
- y de la energía (altura) del mismo.

En general, las pérdidas se asocian a oleajes del SW - W - NW, con alturas que suelen superar los dos metros (temporales).

La figura 2 recoge la evolución de las ganancias y pérdidas sedimentarias, en relación con sus respectivas campañas precedentes, y a consecuencia de la serie de estos impulsos.

2. Los temporales erosivos se identifican entre los meses de octubre a febrero (meses de erosión). Con series temporales de datos, más significativas, se delimitarían, en el tiempo, de forma más precisa, la probabilidad de presentación de estas situaciones.
3. Se observa que el número de temporales erosivos es pequeño : 1 ó 2 por año.
4. Se aprecia que si la Playa tiene poca arena, el temporal, por fuerte que sea, erosiona poco. En cambio, si en el ambiente hay buenas disponibilidades de arena, aumentan las tendencias a las pérdidas sedimentarias, aún con temporales débiles.

La figura 3 muestra estas tendencias en los balances sedimentarios.

5. Tras las pérdidas de arenas, vienen las recuperaciones (acreciones sedimentarias). Estas son relativamente rápidas y

se ajustan a evoluciones logísticas (Martínez et al., 1992).

6. Por lo general, oleajes del N - NE facilitan la recuperación sedimentaria.

Cuando estos oleajes no son muy fuertes, pero sí prolongados en el tiempo, se puede llegar, incluso, a la hiper - estabilidad sedimentaria.

Olas grandes del NE no determinan, practicamente, erosión en la Playa.

En la simulación de la evolución del cubicaje, se considera la ecuación completa :

$$V (t) = V_{eq} (1 - e^{-a (t - t_u) }) + \delta (t) + \epsilon (t)$$

donde :

V_{eq} = Volumen de equilibrio.

$V (t)$ = Volumen en el instante t .

t_u = Instante del último temporal, anterior a t , que implique pérdidas significativas de arenas.

a = Parámetro que depende de la velocidad de recuperación de la Playa, después de haber perdido su arena.

A partir de los datos de campo, se ha estimado que :

$$V_{eq} = 1\,332.230 \text{ m}^3.$$

$$a = 1.086 \text{ m}^3.$$

El primer término de la ecuación adquiere una configuración geométrica propia de un rápido crecimiento del volumen, para luego tender a estabilizarse, en torno a la ganancia máxima. Este comportamiento se podría admitir como logístico, o próximo a él.

El término $\delta (t)$ corresponde a una función de "impulso", que representa a los temporales erosivos fuertes. Estos impulsos describen unas drásticas caídas de los valores de los cubicajes sedimentarios. Desde sus mínimos se inician las recuperaciones "logísticas".

Los valores de $\delta (t)$ siguen una distribución normal. Para esta Playa en concreto, y a partir de las observaciones disponibles, se estima que el valor medio es de -340 m^3 , con una desviación típica de 112 m^3 .

Los días en los que se producen los temporales, que dan lugar a los impulsos, se eligen aleatoriamente, con una distribución uniforme, entre los meses de erosión potencial.

El término $\epsilon (t)$:

- Representa a las pérdidas y ganancias de arenas, en dependencia con otras variables oceanológicas, distintas a las de la dirección de aproximación de las olas y a las de sus energías. Aquí quedan incluidos los efectos de la marea astronómica en los depósitos de arenas.
- Y traduce oscilaciones aleatorias, sobre la ecuación de equilibrio, que se encuentra definida por el primer

término, de la ecuación completa.

Del análisis estadístico de la serie disponible, se ha llegado a deducir que las pérdidas y ganancias de arenas, en relación con el término $\varepsilon(t)$, siguen, aproximadamente, una distribución normal, de media 0 m^3 , con una desviación típica de 143.6 m^2 .

Si se contrastan las gráficas de las simulaciones y el comportamiento que definen las medidas de campo, se obtiene la figura 4. Esta permite formular que existe una similitud general aceptable, entre las predicciones y lo que sucede realmente, en un sub-ambiente intermareal de arenas.

La simulación se mejoraría cuando :

- Se discrimine como inciden los oleajes Sea y Swell, y la marea astronómica, en los procesos intermareales de erosión y acreción, dentro de las playas arenosas.
- Y se opte por otro calendario de muestreo, para las medidas de cubicajes intermareales. Sea, por ejemplo, la previsión de campañas de campo, para cuando hayan cambios significativos en los parámetros del oleaje incidente.

La limitación la impone, básicamente, el tamaño de las series temporales de datos, que se utilizan en estos tipos de procesos, marcados, fuertemente, por una meteorología de superficie. Optimamente, se debería disponer de series temporales de 11 años, periodo de tiempo que coincide con el de las manchas solares. Sin embargo, con series de 7 años, se obtienen aproximaciones aceptables. En efecto : ya estarían recogidos los procesos meteorológicos y, en consecuencia los sedimentarios, en ambientes

de playa, influenciados por las actividades crecientes y decrecientes de las manchas solares.

CONCLUSIONES

La evolución de cubicajes sedimentarios intermareales, en una playa arenosa, se puede simular con una ecuación que comprenda:

- Un término "logístico", para los procesos de acreción.
- Y otro que representene "impulsos", para los procesos de erosión.

Las funciones de crecimientos logísticos y de impulsos se estiman a partir de una serie temporal de cubicajes de arena.

En la simulación, se consideran, además, la localización y orientación geográfica de la Playa que se estudia, y el clima marítimo al que se encuentra sometida

Se verifica que los parámetros estadísticos, de las series simuladas, concuerdan bastante bien con los de la serie original.

BIBLIOGRAFIA

MARTINEZ, J., SASTRE, J., ALEMAN, G., CASTRO, J.J., MARTIN, A., y ROBAYNA, D. Los movimientos de las superficies topográficas en las playas arenosas : Métodos de investigación e interpretación. Revista de Obras Públicas. Julio - Agosto. pp 469 - 483. 1987.

SUAREZ BORES, P. Shore Classification - Simple forms with prevailing wind action. III Congres Inter IAEG, Madrid. pp 150 - 169. 1978.

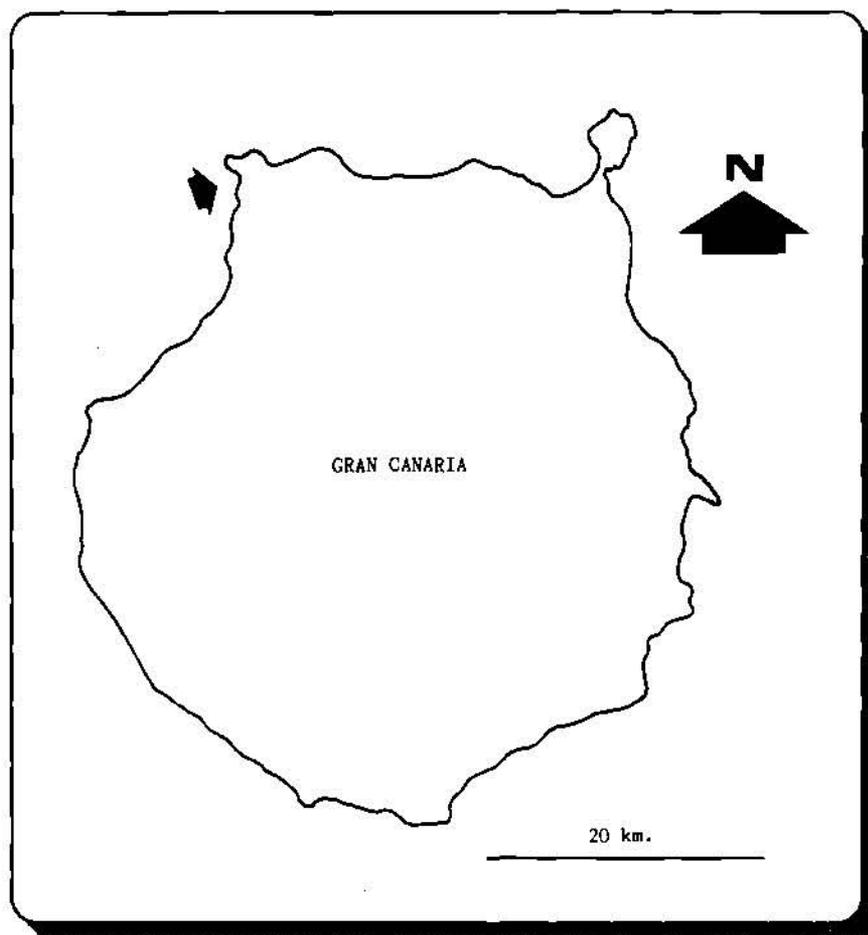


Figura 1

Localización de la Playa de Sardina del Norte
(Isla de Gran Canaria).

	1	2	3	4	6	9	10	11	12		
	ID	CUBIC	TD	ALT_SIGN	DU	ME	INC_C	SEA	SWEL		
1	26	1255	0	168.28	10	3	0				
2	40	1219	0	169.11	7	4	-36				
3	65	1155	6	179.14	8	5	-64				
4	94	1255	17	166.60	4	5	100				
5	123	1406	26	175.19	4	6	151				
6	151	1570		0	0	7	164				
7	188	1583		0	0	8	13				
8	221	1442		0	0	10	-141				
9	247	1541	8	156.99	11	10	99				
10	275	1467	7	227.64	10	11	-74				
11	304	1546	8	184.78	9	12	79				
12	337	853	12	259.20	4	1	-693	NW			
13	342	748	0	213.86	6	2	-105	NW			
14	373	1214	20	194.52	4	3	466	N	NW		
15	407	1639	2	187.53	12	4	425	NE	NW		
16	432	1456	20	180.73	3	5	-183	NE	NE		
17	461	1489	27	166.17	3	6	33	NE	NE		
18	491	1384	12	166.56	5	7	-105	NE	NW		
19	495	1370	2	155.24	3	7	-14	NE	N		
20	517	1503		0	0	7	133				
21	540	1488	18	166.71	3	8	-15	NE	N		
22	578	1350	19	186.45	3	9	-138	NE	NE		
23	582	1336	1	182.66	4	10	-14	NW	NW		
24	617	1035	88	198.10	44	11	-301	NE	NW		
25	639	1071	0	187.30	7	11	36	NE	N		
26	666	716	14	276.32	8	12	-355	W	W		
27	679	888	5	186.90	7	1	172	NE	NE		
28	695	1099	0	266.61	17	1	211	N	NW		
	1	2	3	4	6	9	10	11	12		
	ID	CUBIC	TD	ALT_SIGN	DU	ME	INC_C	SEA	SWEL		
29	731	1239		0	0	2	140				
30	760	1448	0	184.01	5	3	209	NE	NE		
31	797	1392	4	175.67	10	5	-56	NE	NE		
32	798	1390	0	218.67	2	5	-2	NW	NE		
33	829	1261	0	177.37	4	6	-129	NE	NE		
34	856	1325		0	0	6	64				
35	884	1378	0	170.94	24	7	53	NE	N		
36	915	1478	3	177.48	10	8	100	NE	N		
37	946	1798	27	160.32	4	9	320	NE	N		
38	961	1589	10	191.36	3	10	-209	NE	N		
39	975	1394	2	164.36	13	10	-195	N	NW		
40	1013	1373		0	0	12	-21				
41	1043	1412		0	0	1	39				
42	1063	1411	7	208.93	6	1	-1	NE	NW		
43	1073	1411	3	162.66	8	2	0	NE	NW		
44	1092	1362	7	294.36	4	2	-49	NE	NE		
45	1100	1342	0	191.27	9	3	-20	NE	NW		
46	1124	1271		0	0	3	-71				
47	1151	1226	15	205.77	11	4	-45	NE	N		
48	1182	1356	24	227.37	6	5	130	NE	NW		
49	1213	1380		0	0	6	24				
50	1242	1435		0	0	7	55				
51	1271	1276		0	0	8	-159				
52	1284	1096	7	157.10	3	9	-180	NE	N		
53	1298	902	10	161.52	5	9	-194	NE	N		
54	1334	1429		0	0	10	527				
55	1367	971	0	217.04	23	11	-458	NE	NW		
56	1404	1283	8	205.31	8	12	312	SW	NW		

01 = Espaciado, en el tiempo, de los muestreos, desde el 23-3-1986.

02 = Cubicajes, en metros cúbicos, en relación con el de una campaña determinada de referencia (de cubicaje mínimo).

03 = Días que transcurrieron entre una campaña de muestreo y su oleaje previo, relativamente más energético.

04 = Medias de alturas significativas previas, en centímetros, de valores más altos.

06 = Duración, en días, de las alturas significativas previas, más energéticas.

09 = Mes de muestreo.

10 = Ganancias o pérdidas de arenas, en relación con la campaña precedente.

11 = Dirección del oleaje Sea.

12 = Dirección del oleaje Swell.

Tabla 1

Banco de datos para la simulación de los procesos sedimentarios, en la Playa de Sardina del Norte (Gran Canaria).

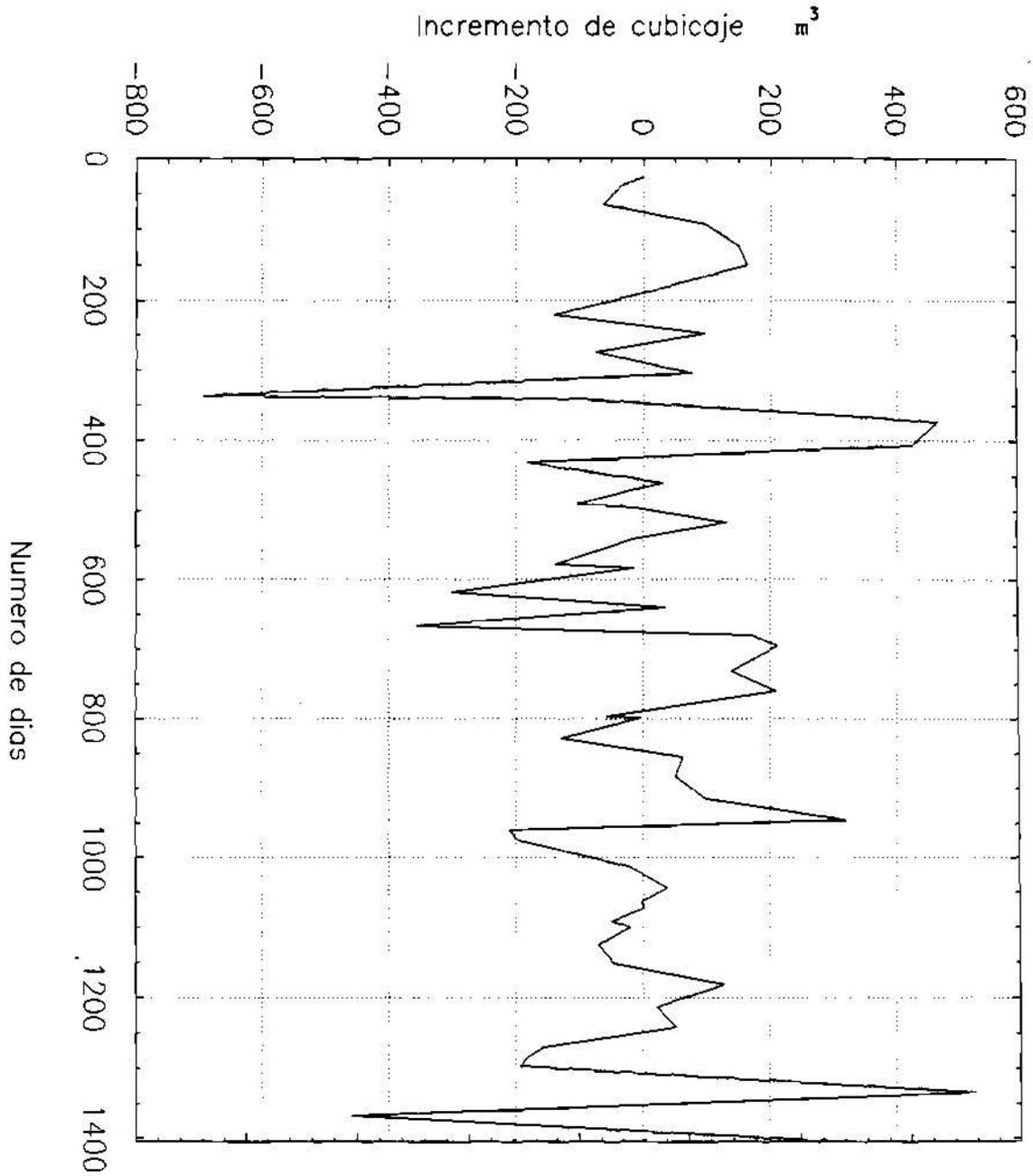


Figura 2

Serie temporal de ganancias y pérdidas sedimentarias intermareales, en la Playa de Sardina del Norte (Gran Canaria).

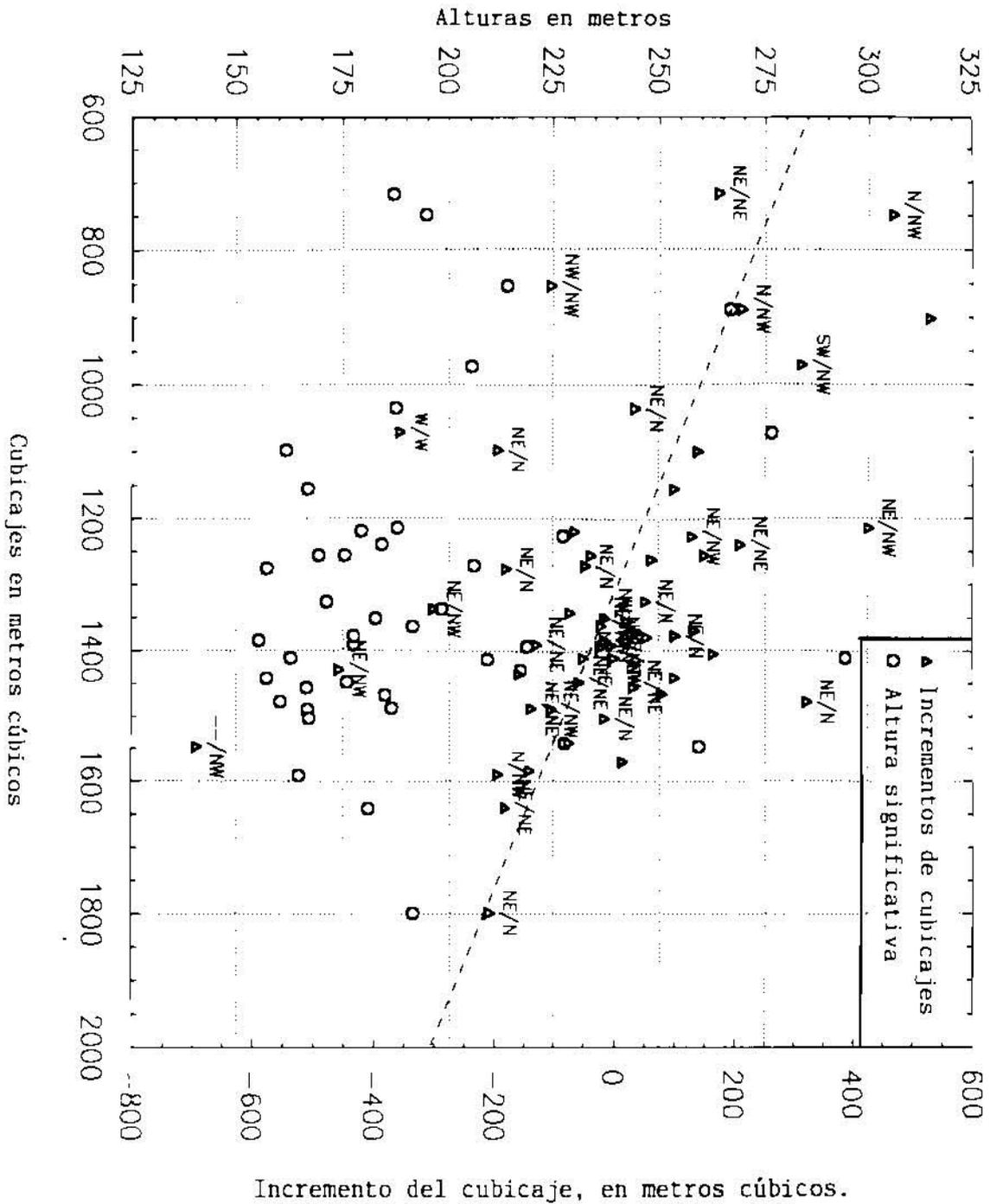


Figura 3

Relaciones entre algunas observaciones del clima marítimo (Boya de Las Palmas) y los balances sedimentarios intermareales, en la Playa de Sardina del Norte (Gran Canaria).

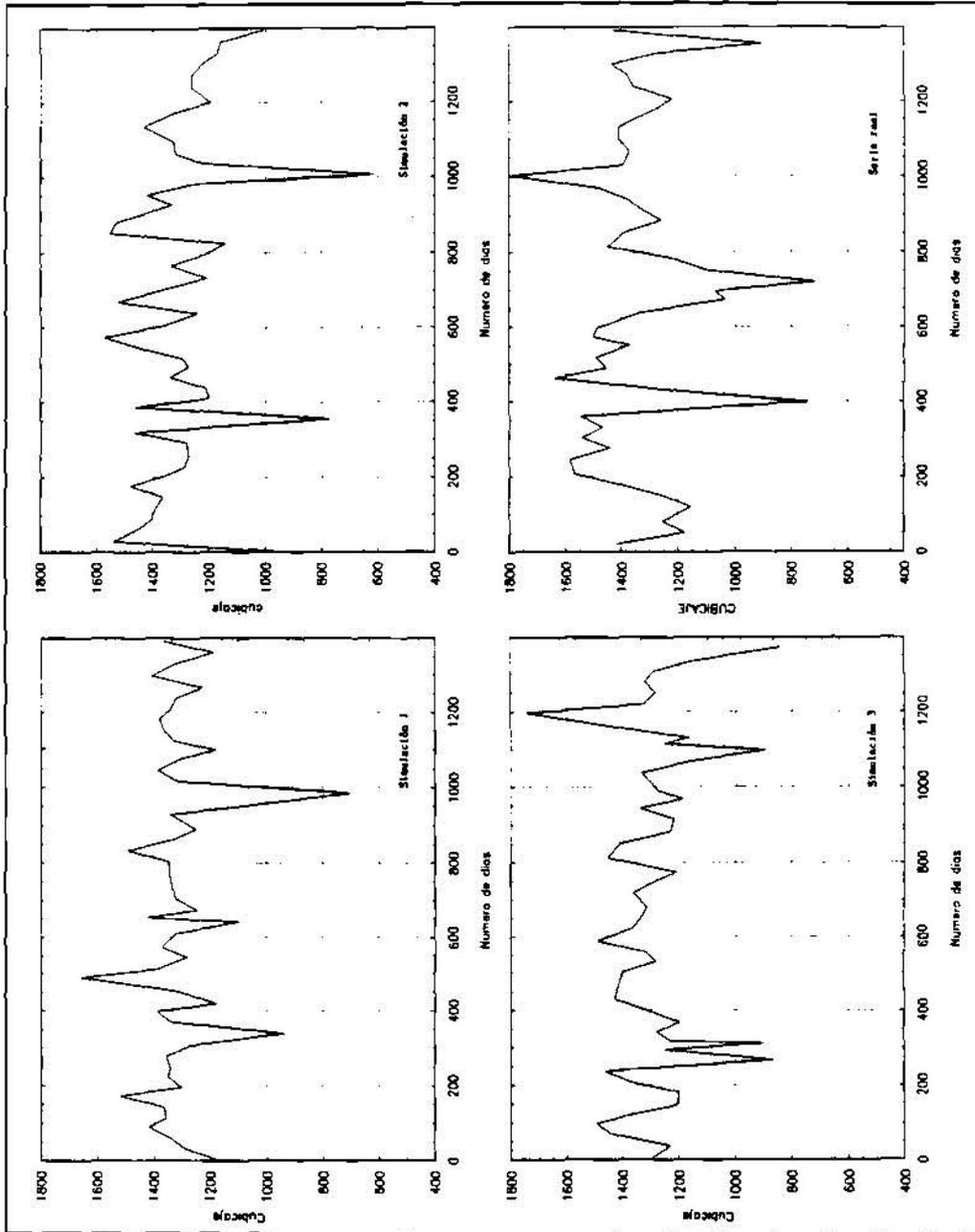


Figura 4
Ejemplos de simulaciones.

8. Modelos deterministas, para evaluar los impulsos energéticos.

LA PREDICCIÓN DE LA EROSIÓN INTERMAREAL POR TEMPORALES EN PLAYAS ARENOSAS DEL ENTORNO CANARIO

Jesús Martínez Martínez, M^a Elena Melián, Frella Reyes, Cristina Rua-Figueroa, M^a del Pilar Silvela y Carmen del Toro

Laboratorio de Geología - Facultad de Ciencias del Mar

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Apartado de Correos 550 - LAS PALMAS

RESUMEN: Se modelizan las pérdidas sedimentarias intermareales, de una playa (arenosa, equilibrada y en bolsillo), abierta a temporales, cuyos efectos erosivos se quieren predecir. El modelo será válido siempre que las corrientes aseguren la evacuación, mar adentro, de las potenciales pérdidas, y no produzcan, de por sí, una erosión significativa. Para formular el modelo matemático propuesto, se consideran los parámetros de los temporales, las características de las arenas, la topografía del depósito y la situación morfodinámica más interna. Las pérdidas ocasionadas por el conjunto de temporales siguen una función exponencial, aunque, en cada temporal, se comportan, prácticamente, como lineales con pendientes positivas.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de acreción-erosión intermareal, en playas arenosas, representan los efectos ante unas causas determinadas. Conocida y comprendida la dualidad "efectos-causas", se puede predecir "causas-efectos", mediante un modelo numérico.

La modelización de estos procesos desarrolla diversas etapas conceptuales. Estas se ordenan, jerárquicamente, según su mayor nivel de abstracción y generalidad:

a) En una primera fase, las campañas de campo llevan a la identificación de un modelo físico, en que predomina la selección de características básicas cualitativas.

b) La traducción de datos cualitativos a cuantitativos constituye un proceso complejo, que pasa por etapas intermedias de modelización parcial. La representación de los parámetros descriptivos seleccionados, en las escalas adecuadas, culmina con el establecimiento de una fase cuantitativa.

c) En la fase cuantitativa, se aplica, esencialmente, el aparato matemático. Se establece un problema abstracto, que sirve, con preferencia, para el análisis de cuestiones generales.

Respecto a la predicción de los efectos erosivos, en la franja intermareal significativa de una playa, a causa de temporales, en este trabajo se pretende diseñar un modelo determinista, aunque en una primera aproximación (por ahora sólo válido para estimar el orden de magnitud de los resultados).

HIPÓTESIS DE PARTIDA

1. Se admite que los procesos de acreción-erosión tienen lugar preferentemente entre la zona de rompiente y la orilla, de acuerdo con Sánchez Arcilla (1984).

2. Se aplica el modelo a una franja intermareal, con una amplitud suficiente para que esté significativamente representado el sector más activo de la playa.

Con un acarreo (o rango) de marea astronómica de hasta 2.82 m. (sea el caso de Canarias), los tramos intermareales tienen amplitudes suficientes para soportar investigaciones ciertamente válidas, en relación con los procesos de acreción-erosión.

3. El modelo sería válido para playas simples. Esto es, cuando el índice de capacidad de sustentación sedimentaria (ICSS) oscila en torno al valor cero y define a una playa como equilibrada.

En efecto, el anterior índice, definido por Martínez (1988), clasifica a una playa en simple o compleja, según que coincidan, o no, los cubicajes real y potencial. Esto, a su vez, traduce:

- si la playa está sometida, o no, a las variables normalmente consideradas,
- y si se cumple, o no, el equilibrio, dentro del sistema pendiente intermareal, valores granulométricos y energía del oleaje, en la deposición y pérdidas sedimentarias significativas.

4. En el contorno canario y dentro de la franja intermareal, las pérdidas de arenas, de acreción máxima a erosión significativa, siguen una función exponencial del tipo :

$$y = a e^{bx}$$

en donde :

- y = pérdidas en m³,
- x = tiempo en días, en un intervalo finito, que representa al periodo erosivo,
- a = ordenada en el origen. Representaría a los parámetros estáticos,
- b = pendiente. Representaría a los parámetros dinámicos.

A esta deducción se llega con el seguimiento de los balances sedimentarios (cuadro 1), en una serie de playas arenosas de Gran Canaria en estudio, que representan a los distintos grupos propuestos por Martínez (1988). Las figuras 1b, 2b, 3b, 4b y 5b traducen que las pérdidas significativas se ajustan, en todas estas playas, a una función exponencial, respecto al tiempo.

5. Por la naturaleza del proceso físico, las pérdidas serán cero para una duración también cero. Para ello, la expresión :

$$y = a e^{bx}$$

pasa a :

$$y = a (e^{bx} - 1)$$

6. Se admite que las pérdidas por temporales siguen la misma pauta que la anterior función global, (figura 6), con los adecuados cambios de parámetros.

7. Sin embargo, como durante los episodios de un temporal, las pérdidas (figura 7) :

- tienen una fuerte tendencia a comportarse como una función lineal, concretamente creciente,
- y corresponden a periodos cortos de tiempo,

éstas se ajustan a funciones que consideren sólo los términos de orden uno, en el desarrollo de Mac Laurin respecto de la expresión :

$$y = a (e^{bx} - 1)$$

Dicho de otro modo, para los temporales :

$$y = a (1 + bx - 1) \quad (I)$$

y en definitiva, se acepta que :

$$y = a (bx) \quad (II)$$

8. Se considerarán únicamente aquellos temporales que inciden abiertamente en la playa. En estas circunstancias, se desprecia la influencia que pudiera tener, en la erosión, las distintas direcciones de aproximación del oleaje, siempre que sus diagramas de corrientes en la playa aseguren un transporte, hacia el exterior de la franja intermareal, del volumen de arenas, que representaría a las potenciales pérdidas por la erosión.

9. Se supone que las pérdidas de arena por los temporales, ante los cuales la playa se comporta como abierta, depende de los siguientes parámetros:

- energía media del oleaje, expresada en función de su altura,
- periodo promediado del oleaje (nº de impactos energéticos por unidad de tiempo),
- duración del temporal,
- superficie intermareal afectada,
- y entorno morfológico de la playa.

Se excluyen aquellas playas en donde sus corrientes longitudinales representen un factor de erosión no despreciable.

10. Se admite que en las playas libres, el entorno morfológico no amortigua la potencial erosión. En cambio, en las playas de bolsillo, completamente sustentadas, la erosión se anula. En las playas encajadas y en concha, no sustentadas, la erosión potencial queda parcialmente limitada.

DESARROLLO DEL MODELO

1. A partir de hipótesis 9, se puede escribir la expresión :

$$V = f (t, E, T, s) \quad (1)$$

en donde :

V = pérdidas de arena, en m³, durante un temporal,

t = tiempo, en días, de la acción erosiva,

E = energía del oleaje,

T = periodo del oleaje en segundos,

s = superficie intermareal observada de la playa.

De acuerdo con Camfield y Seelig (1984) :

$$E = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2)$$

en donde :

\emptyset = densidad del agua,
 g = aceleración de la gravedad,
 H = altura de la ola,
 L = longitud de la ola.

Si se extrapola la ecuación (2) a la zona de rompientes :

$$E_b = \frac{\emptyset g H_b^2 L_b}{8} \quad (3)$$

en donde el subíndice b hace referencia a la zona en cuestión.

Al sustituir (3) en (1) :

$$V = f \left(t, \frac{\emptyset g H_b^2 L_b}{8}, T, s \right) \quad (4)$$

Para cada temporal, se trabaja con los valores fijos promediados de L_b , T y H_b . La superficie y los valores de \emptyset y g también se mantienen constantes. Luego :

- Todos los anteriores valores se consideran como parámetros. Se usan para estimar los valores de a y b en la expresión (II).
- De ellos, sólo la superficie representa a los parámetros estáticos. Los restantes son dinámicos.
- Y las predicciones dependerán sólo de la variable t .

A partir de la expresión (II), y conforme a lo indicado :

$$V = s \left(\frac{\emptyset g H_b^2 L_b}{8}, T \right) t \quad (5)$$

De esta manera, el parámetro b de la expresión (II) depende de los dos parámetros siguientes :

- de $\frac{\emptyset g H_b^2 L_b}{8}$

- y de T

que pueden combinarse entre ellos, con el objeto de obtener una función creciente.

El carácter creciente se deduce por el test de la derivada de la función, respecto a cada uno de los parámetros y variable (x_i). Para valores

de éstos mayores que cero, cosa que siempre ocurre, se satisface que :

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} > 0$$

Pero para que se cumpla la condición de homogeneidad de la expresión (5), se admite la opción producto, y así :

$$V = s \left(\frac{\emptyset g H_b^2 L_b}{8}, T \right) t \quad (6)$$

El dimensionamiento de esta expresión sería:

$$L^3 = \frac{L^2 M L}{L^3 T^2} L^2 L T T \implies L^3 = M L^3$$

si se considera energía por unidad de masa, M se desprecia y se cumple la homogeneidad.

La duración de la acción erosiva se tiene que escribir en segundos :

$$t_{\text{en segundos}} = 864 (10^3) n \quad (7)$$

en donde n = número de días del temporal. Al sustituir (7) en (6) :

$$V = s \frac{\emptyset g H_b^2 L_b}{8} T 864 (10^3) n \quad (8)$$

Si se simplifica :

$$V = 108 (10^3) s \emptyset g H_b^2 L_b T n \quad (9)$$

2. El volumen de arena que se pierde dependerá, por otra parte, de un coeficiente c del "grado de erosión". Este coeficiente estará condicionado por la configuración del entorno de la playa y aparecerá en el segundo miembro de la ecuación (9).

El coeficiente se aproximaría a 1 en las playas libres y a 0 en las de bolsillo completamente sustentadas. En las playas naturales equilibradas encajadas o en concha, pero no sustentadas, en principio tomaría el valor de 0.5.

Este último valor precisaría de un posterior análisis. Se debería llegar a un cuadro de valores reales, según las características de la playa y espaciados de los apoyos.

Al indicar "playas naturales equilibradas" se excluyen todas aquellas con contornos incorrectos de apoyos, que impliquen inestabilidad sedimentaria, en lugar de favorecer la conservación de la arena.

Además, toda la energía del oleaje no se emplea en la erosión, sino una parte de ella. Por lo tanto, el segundo miembro de la ecuación (9) irá afectado por un coeficiente P de "proporcionalidad energética". El valor 1, poco probable y válido para una playa ideal, implicaría que la erosión consumiría toda la energía disponible del oleaje. El coeficiente P dependerá, entre otras cosas, de la clasificación granulométrica, de la densidad media de las arenas y de la pendiente del estrán.

Pero también se debería tener presente un coeficiente "m" de susceptibilidad de pérdidas. Tal coeficiente se intuye cuando se describen playas, en donde pequeños temporales, inmediatamente posteriores a la máxima acreción, producen pérdidas relativamente importantes, respecto a otros de mayor poder erosivo, pero más próximos a la erosión significativa. La explicación, entre otras causas, está en que, a medida que transcurre el tiempo, disminuyen las arenas que tienen una mayor susceptibilidad a ser puestas en suspensión y/o arrastre y transportadas. Algo semejante cabe esperar en el transcurso de un mismo temporal.

En una playa que, durante el subciclo erosivo pasa de arenas finas a cantos y bloques, el coeficiente de susceptibilidad de pérdidas de arena evoluciona de 1 a 0, y sería función del nº de temporales significativos transcurridos. En cambio, en una playa de arena, que mantiene la clasificación granulométrica, el coeficiente de susceptibilidad permanece constante.

Este coeficiente se calcularía con funciones empíricas. No obstante, a priori, se estima con cuadros que consideren el valor granulométrico medio de las arenas y el estadio morfodinámico, previo a un temporal dado.

Con todo lo anterior, la referida ecuación (9) toma esta otra expresión:

$$V = c P m 108 (10^3) s \emptyset g H_b^2 L_b T n \quad (10)$$

3. Normalmente se dispone de los parámetros característicos del oleaje a profundidad indefinida. Sin embargo, se pueden estimar los correspondientes a la zona de rompientes, a partir de los anteriores.

Para Komar (1972):

$$H_b = K g^{1/5} (T H_0^2)^{2/5} \quad (11)$$

en donde:

H_b = altura de la ola en la rompiente,

H_0 = altura de la ola a profundidad indefinida,

T = periodo de la ola,

g = aceleración de la gravedad,

K = constante de Komar = 0.39.

Si se sustituye (11) en (10), se obtiene:

$$V = c P m 108 (10^3) s \emptyset g K^1 g^{2/5} T^{4/5} H_0^{8/5} L_b T n \quad (12)$$

que se reduce a:

$$V = 1642.68 c P m s \emptyset g^{7/5} T^{9/5} H_0^{8/5} L_b n \quad (13)$$

L_b se obtiene en base a una aproximación de las formulaciones de la teoría lineal de las ondas:

$$L_b = L_0 \operatorname{Th} \frac{2r}{L^*} d_b$$

en donde:

L_0 = longitud de onda a profundidad indefinida,

L^* = longitud de onda obtenida por la tabla de Wiegel y el criterio de Munk (1949),

r = número pi,

d_b = profundidad en la zona de rotura.

Se acepta esta metodología, de acuerdo con autores tales como Miche (1944), Horikawa (1966), Collins (1969) y Komar (1972), aunque según algunos autores, se introduciría un cierto error (véase, por ejemplo, Sánchez Arcilla, 1984).

El error se elimina con un calibrado empírico. Realmente sería más correcto emplear las hipótesis de la teoría de la onda solitaria, pero entonces el problema se haría mucho más complejo y el modelo desarrollado perdería parte de su operatividad.

Por otra parte, y también por la teoría lineal:

$$L_0 = \frac{g T^2}{2r}$$

El valor de d_b se estima, de nuevo, con la tabla de Wiegel (c-1 de Shore Protection Manual, Vol II, 1984) y con el criterio de Munk (1949).

La expresión (13) se debe calibrar con un coeficiente B, específico de cada playa. Este:

- Se calcula empíricamente.
- Recoge los parámetros no abordados.
- Y reajusta los otros coeficientes introducidos.

De aquí que se deba escribir:

$$V = B 1642.68 c P m s \emptyset g^{7/5} T^{9/5} H_0^{8/5} L_b n \quad (14)$$

Si en una playa determinada, y a lo largo de todo su periodo erosivo :

- el coeficiente "m" se mantiene prácticamente constante, cosa que ocurre cuando no cambian sensiblemente los valores granulométricos de las arenas y la pendiente intermareal,
- las observaciones se refieren siempre a la misma franja intermareal,
- y los cambios de ϕ carecen de importancia,

como los coeficientes "c" y "p" se mantienen, la expresión (14) pasa a :

$$V = B A T_i^{9/5} H_{oi}^{8/5} L_{bi} n_i \quad (15)$$

en donde :

- 1) V = predicción de pérdidas en el periodo erosivo de un ciclo sedimentario corto.
- 2) $A = 1642.68 c P m s \phi^{7/5}$
- 3) y T_i , H_{oi} , L_{bi} y n_i son valores medios de probabilidad estadística, en función del número N de temporales transcurridos en el periodo erosivo, ante los cuales la playa se comporta como abierta. Estas medidas se obtienen del análisis estadístico de series temporales significativas de situaciones meteorológicas de superficie y de parámetros oceanológicos. Para estos últimos se utilizaría la información recopilada y manipulada en el "Programa de Clima Marítimo" del MOPU.

IDENTIFICACIÓN DEL COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDAD ENERGÉTICA DEL OLEAJE (P), Y DE CALIBRADO (B), EN UN CASO REAL.

El modelo se ha desarrollado a partir del seguimiento de los procesos sedimentarios en la playa de Sardina del Norte, en Gran Canaria (figura 8). Esta playa se describe en el cuadro 2.

Para la estimación del coeficiente de proporcionalidad energética del oleaje (P), se consideró un doble temporal, dentro de un intervalo corto de tiempo : entre los días 2 y 8 de diciembre, y alrededor del día 14 de ese mismo mes, de 1987.

El primero de ellos es el más importante y duradero. Correspondía a una profunda borrasca atlántica, centrada en las Azores (temporal del W-NW), que determinó bajas barométricas de 1006 mb. en las Islas Canarias.

Respecto a este primer temporal, en una estación próxima a la playa en estudio (boya situada a 15° 27' 30'' Este y 28° 8' 30'' Norte), se registraron unas H_s máxima de 4.13 m. y una H_o máxima de 7.46 m. Por observaciones visuales, estas alturas

correspondían a un oleaje incidente del NW.

En cuanto al segundo temporal :

1. Se debió a una borrasca desplazada al S, que determinó oleajes del W.
2. Y originó una H_s máxima de 3.34 m. y una H_o máxima de 5.24 m.

Se analizaron las evoluciones :

- de las alturas de las olas significativas (H_s),
- y del periodo (T),

correspondientes a los dos temporales. El conjunto de datos oceanológicos, manipulados estadísticamente y/o extrapolados a la zona de rompientes, se recogen en el cuadro 2.

Mediante este seguimiento, se ha calculado que el coeficiente P toma el valor de $0.33 \cdot 10^{-12}$.

Una vez calculado este coeficiente P, la estimación del coeficiente B de calibrado, específico para la playa de Sardina del Norte, se va a obtener con los datos del temporal NW, que tuvo lugar entre los días 18 y 21 de noviembre de 1989. Actualmente se está manipulando la información.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado un modelo matemático, que permite una estimación, en orden de magnitud, de pérdidas de arena, en un ambiente intermareal de playa de bolsillo, abierta a temporales.

La predicción considera :

- el análisis estadístico del oleaje, a profundidad indefinida, de los temporales,
- la extrapolación de estos datos a la zona de rompientes,
- y las características topográficas y de las arenas del ambiente sedimentario.

BIBLIOGRAFIA

- Camfield, F. and Seelig, W. (1984). Mechanics of wavemotion, in : Shore Protection Manual, Vol. I. Department of the Army-US Army Corps of Engineers, Washington.
- Collins, J. and Wier, W. (1969). Probabilities of wave characteristics in the surf zone. Tetra Tech Report TC-149.
- Conde Aldemira, J. (director), (1988). Programa de Clima Marítimo: Base de datos. Inventario de información. Publicación nº 31. Dirección General de Puertos y Costas. MOPU. Madrid.

- Horikawa, K. and Kuo, C. (1966). A Study on wave transformation inside surf zone. Proceeding of the 10th Conference on Coastal Engineering (Tokyo). Vol. I, pp 217-233.
- Komar, P.D. and Gaughan, M.K. (1972). Airy wave theory and breaker height prediction, in: 13th Coastal Engineering Conference Proceedings, Vol. I, pp 405-417.
- Miche, R. (1944). Mouvements ondulatoires des mers en profondeur constante on décroissant. Annals des Points et Chaussées, pp 25-78, 131-164, 270-292 y 369-406. (Referencia tomada de: De la Peña, J.M. (1969). Criterios de rotura del oleaje. Ingeniería Civil, nº 69, pp 107-120. Cedex.
- Sánchez Arcilla, A. (1984). Configuración de la línea de costa, pp 309-350, en: Sánchez Arcilla, A. (Director). Curso intensivo de Ingeniería de Costas. Secretaría Técnica - Servicio de Publicaciones del MOPU. Madrid, pp 570.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Dr. D. José M. Pacheco Castelao, Prof. de la Facultad de Ciencias del Mar de las Palmas, las revisiones críticas y las aportaciones de sugerencias en el desarrollo de este trabajo. Su contribución es, por lo tanto, debidamente reconocida aquí. Además, ha sido muy valiosa la colaboración del Prof. D. Angelo Santana del Pino, del Dep. de Matemáticas de esta Universidad

SUMMARY

In this work the sedimentary intertidal losses in a sandy beach opened to storms are modelled. The proposed pattern will be right if currents account for the evacuation of sedimentary losses and if they do not produce by themselves significant erosive damage. The overall seasonal pattern of erosion due to storms follows an exponential function, although the effect of each particular storm can be modelled via a linear function with positive slope.

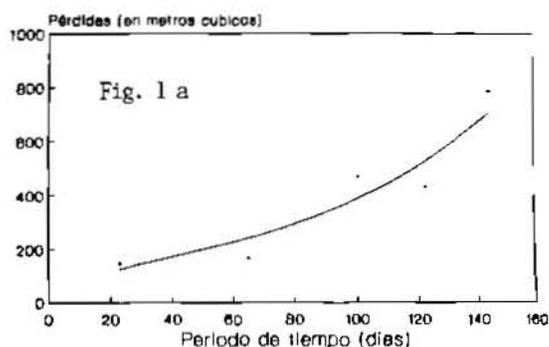
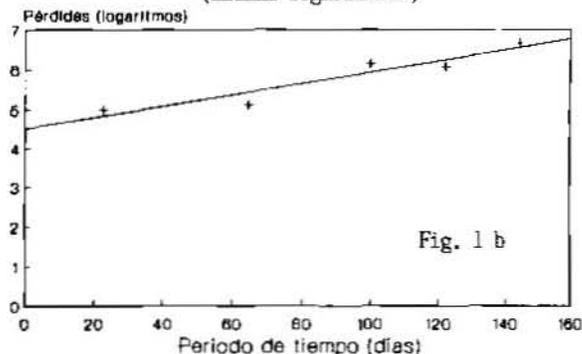
1	2	3	1	2	3
Playa de sardina del N. (Galdar) Periodo de seguimiento: 27-7-87/23-12-87			Playa de El Inglés (San Bartolomé) Periodo: 3-3-86/24-12-86		
27-07-87	000	0000.00	03-03-86	000	00000.00
19-08-87	023	00146.40	01-04-86	029	101896.95
30-09-87	045	0166.36	01-05-86	059	04864.90
04-11-87	100	0467.76	30-05-86	088	10842.96
26-11-87	122	0431.78	01-07-86	120	22934.85
23-12-87	149	0786.78	29-07-86	148	24224.07
Playa del Hombre (Telde). Periodo de seguimiento: 17-1-86/20-4-86			28-08-86	178	26195.47
17-01-86	000	0000.00	11-09-86	192	27612.87
14-02-86	028	0692.69	29-10-86	240	31470.12
07-03-86	049	3314.56	26-11-86	268	38928.05
30-04-86	103	3585.86	24-12-86	296	40266.28
Playa de El Burrero (Aguimes). Periodo de seguimiento: 3-12-85/21-10-86			Punta de Macpelomas, San Bartolomé Periodo de seguimiento: 1-4-86/24-12-86		
03-12-85	000	0000.00	01-04-86	000	00000.00
02-01-86	030	0354.79	01-05-86	030	01195.02
03-02-86	062	0375.63	30-05-86	059	02096.72
01-03-86	088	0388.56	01-07-86	091	03523.10
03-04-86	121	0523.18	29-07-86	119	07000.02
08-05-86	156	0396.69	28-08-86	149	09445.38
16-06-86	195	0437.67	11-09-86	163	08600.69
07-07-86	216	0462.86	29-10-86	211	09171.84
10-08-86	250	0556.98	26-11-86	239	11462.59
04-09-86	275	0647.78	24-12-86	267	13671.17
21-10-86	322	0689.49			

CUADRO 1

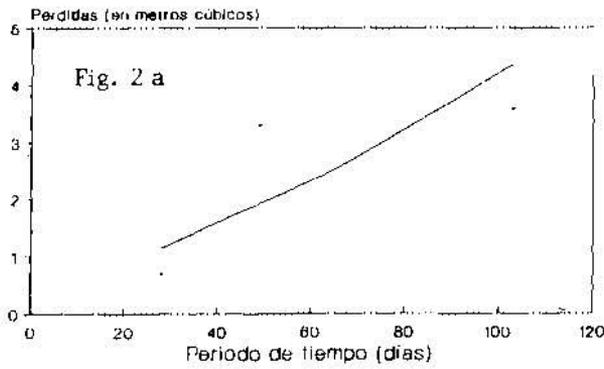
Pérdidas de arenas en m³, durante periodos erosivos, en franjas intermareales delimitadas, de una serie de playas en seguimiento.

1. Fecha de campaña, 2. Nº de días transcurridos del periodo erosivo (x), 3. Pérdidas en m³ (y).

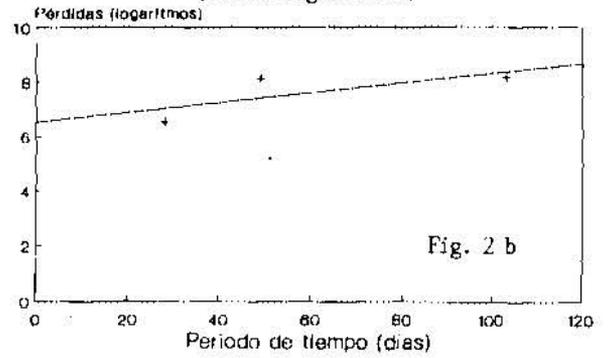
Playa de Sardina del Norte

Playa de Sardina del Norte
(Escala logarítmica)

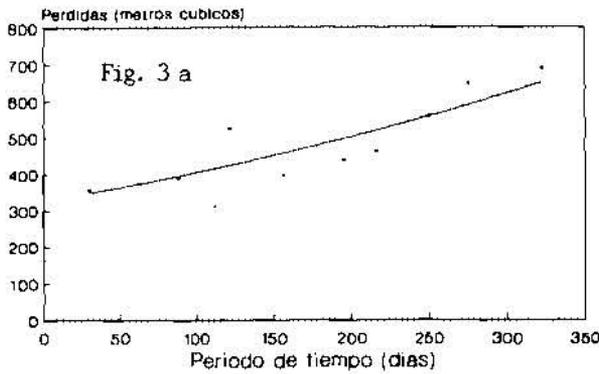
Playa de El Hombre



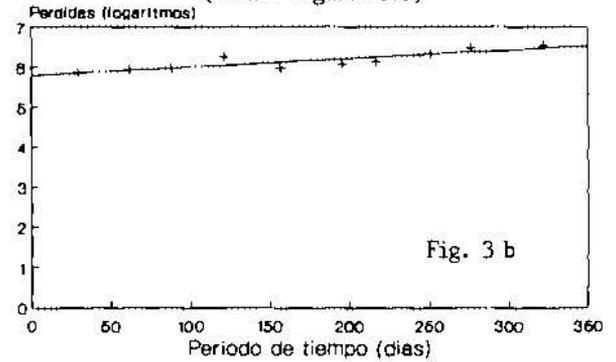
Playa de El Hombre
(Escala logarítmica)



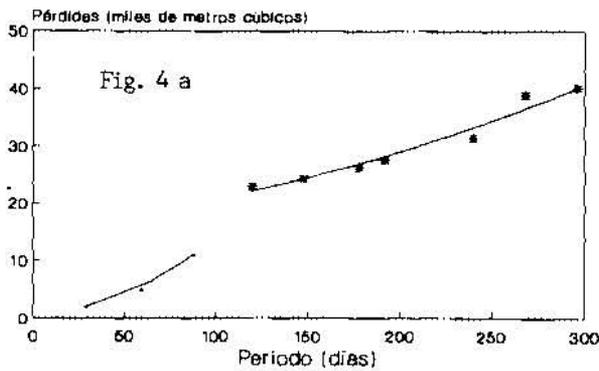
Playa de El Burrero



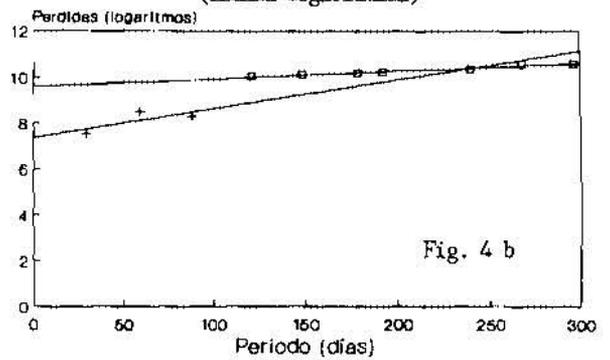
Playa de El Burrero
(Escala logarítmica)



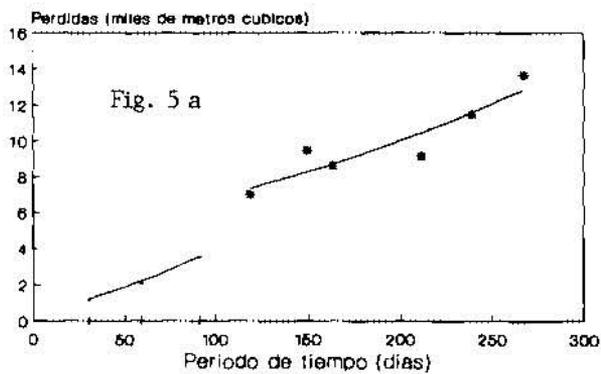
Playa de El Inglés



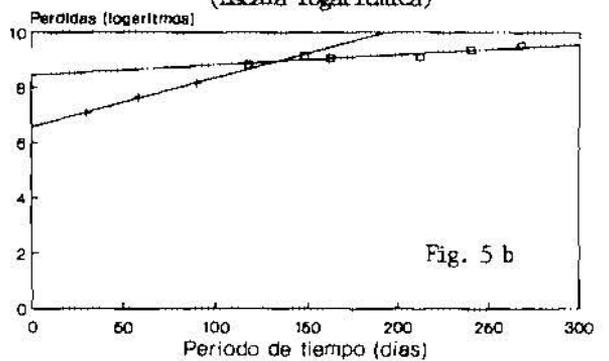
Playa de El Inglés
(Escala logarítmica)



Punta de Maspalomas



Punta de Maspalomas
(Escala logarítmica)



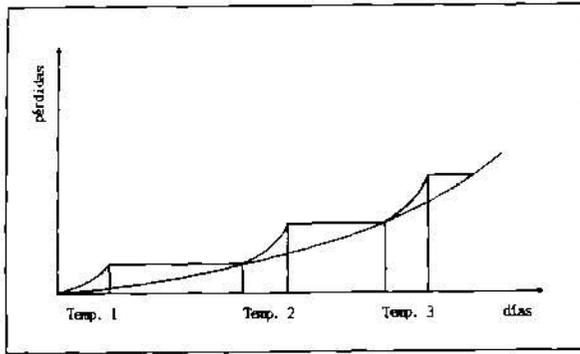


Figura 6

Pérdidas intermareales de arenas por temporales, en una playa, si se admite que siguen funciones del tipo: $y = a e^{bx}$

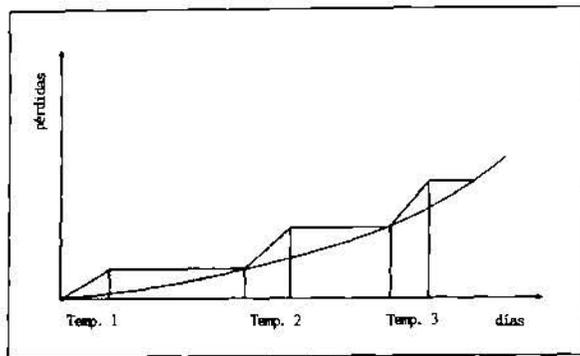


Figura 7

Pérdidas intermareales de arenas por temporales, en una playa, de acuerdo con la expresión: $y = a (bx)$

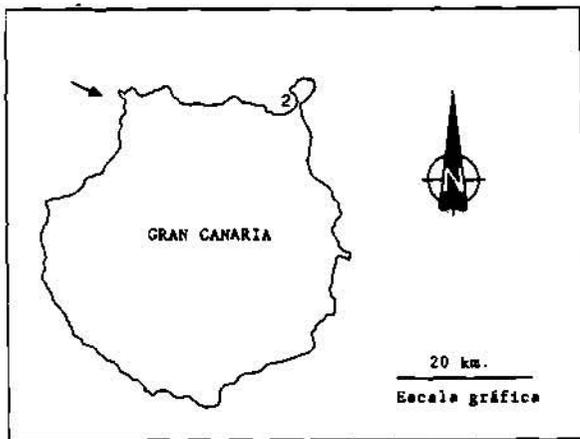


Figura 8

Localización geográfica de la Playa de Sardina del Norte (Gáldar).

Playa de Sardina del Norte (Gáldar) Datos de la playa y cambios producidos durante el temporal.	
Entorno	Fórmula de Suárez Bares (1978): 66°o.o.
morfológico.	Coefficiente del grado de erosión: 0.5
Clasificación	Q_s en mm.: 0.264
granulométrica.	Q_a en mm.: 0.180 Denominación: entre arenas finas y arenas medias con arenas finas.
Situación	Previa al temporal: Pendiente intermareal del 5.63% Denominación: Intermedia en sentido estricto.
	Inmediatamente posterior al temporal: Pendiente intermareal del 6.66% Denominación: Intermedia en sentido estricto.
morfológica.	Estimación del coeficiente m : 0.694
Dimensiones de la playa en metros.	En conjunto: Longitud: 66.8 Amplitud: 57
	Operativas: Longitud: 37.59 Amplitud intermareal: 9 Superficie: 338.31
Pérdidas en m^3	204.88
DATOS OCEANOLÓGICOS CORRESPONDIENTES AL TEMPORAL	
Fecha	Del 2/12/87 al 8/12/87 y Del 13/12/87 al 14/12/87.
Situación meteorológica en superficie	Borrasca del N.M
H en metros	H_s : 2.88
	H_m : 3.22
T_s en seg.	9.19
L en metros.	L_w : 131.73
	L^* : 56.82
	L_p : 56.51
d_b en metros	4.125
Coefficiente P	$0.33 \cdot 10^{-18}$
Duración (n) en días.	7.75
Densidad del agua del mar.	1.023106 (17/11/89)

CUADRO 2

Características de la Playa de Sardina del Norte (Gáldar) y seguimiento del temporal en estudio.

9. Modelos de la composición frecuencial del balance sedimentario, para determinar, en parte, el término de ruidos.

COMPOSICION PRECUENCIAL DEL BALANCE SEDIMENTARIO EN LA PLAYA ARENOSA DE SARDINA DEL NORTE (GALDAR, GRAN CANARIA)

J. Martínez, J.J. Alonso y E. Melián
Facultad de Ciencias del Mar
Campus Universitario de Tafira
Código Postal 35017
Las Palmas de Gran Canaria
 ESPAÑA

RESUMEN

Se pretende aplicar una metodología de análisis de series, con periodo de muestreo discontinuo, a los balances sedimentarios en playas arenosas. De esta manera, se puede obtener unos primeros resultados de la evolución temporal de los procesos de erosión y acreción. En realidad, la metodología es aplicable a cualquier serie de medidas, tomadas a intervalos no uniformes.

El modelo a construir requiere que se disponga de una serie temporal de datos, durante un periodo de tiempo suficientemente significativo, como ocurre en este caso : Se dispone de medidas mensuales de volúmenes intermareales de arena, a lo largo de 6 años.

ESCENARIO GEOGRAFICO DE LA PLAYA EN ESTUDIO Y OBJETIVOS

La Playa de Sardina del Norte está situada al NW de la Isla de Gran Canaria (figura 1). Define un ambiente sedimentario arenoso en bolsillo, dentro de la Clasificación Genética de Suárez Bores (1978). Las dimensiones de la playa seca - intermareal son reducidas : de unos 100 metros de longitud por unos 60 metros de amplitud.

Como en todo estudio de este tipo, los objetivos se pueden resumir en cinco apartados :

1. Construir un sistema simple, para describir en una forma concisa, los procesos de ganancias y pérdidas sedimentarias, en la playa arenosa en estudio.
2. Explicar la interacción entre las variables y procesos que ocurren en el ambiente sedimentario, para extraer reglas de comportamiento. Entre las variables, se considerarán
 - el clima marítimo,
 - las situaciones de solsticios y equinoccios
 - y los cambios mensuales de mareas.
3. Predecir el comportamiento de la serie en el futuro, a partir de las reglas deducidas.
4. Establecer el control de la evolución del balance sedimentario, mediante parámetros a determinar, y en función de las variables seleccionadas.
5. Construir un modelo matemático, que prediga los cambios sedimentarios en la playa en seguimiento.

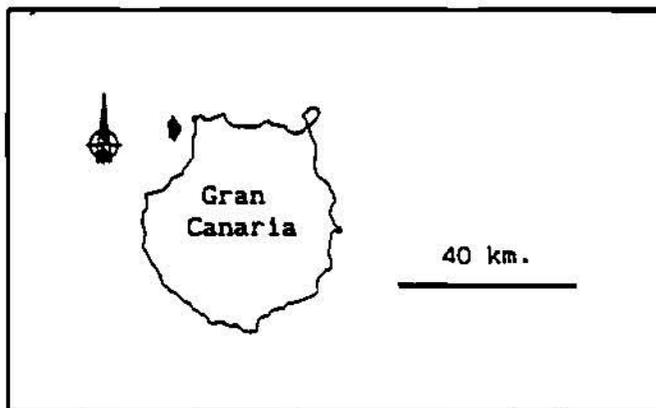


Figura 1

METODOLOGIA

Para el desarrollo del trabajo, se han seguido las siguientes técnicas :

- Cálculo de cubicajes de arena en el estrán. Se emplea el

b). Y se ha identificado oscilaciones de periodos :

- anuales / bianuales,
- semestrales,
- trimestrales, y
- mensuales,

como se muestra en la figura 3, correspondiente al espectro de energía.

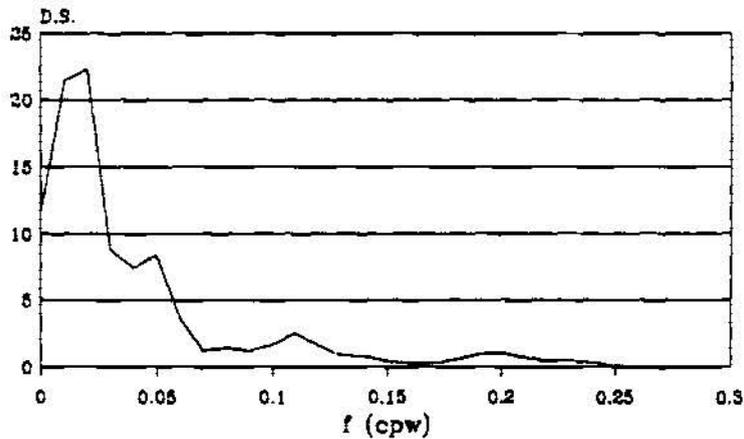


Figura 3

Si se exceptúa la componente bianual, las restantes coinciden con las de la marea astronómica.

El único sub-armónico podría corresponder a la oscilación de seis meses. Este :

1. Se generaría por la transferencia de energía, que es lo que caracteriza a un sub - armónico, desde la oscilación anual.
2. Y explicaría movimientos topográficos, de segunda generación, en la Playa.

Cabe la posibilidad que este efecto se encuentre imbuido por la

componente semi - anual de la marea astronómica. El discernimiento de ambas oscilaciones resulta difícil, precisamente por este hecho.

También hay solapamientos entre las oscilaciones de las marea astronómica y los efectos que producen las situaciones significativas oceanológicas estacionales (periodo de temporales erosivos, por ejemplo).

No se tiene, por ahora, argumentos para interpretar la oscilación bianual. Sin embargo, se puede afirmar que esta no genera a la oscilación anual, por tener una menor energía.

Otras oscilaciones muy significativas de la marea astronómica, de periodos inferiores a un mes, no se analizan en esta serie, ya que el espaciamiento temporal de los muestreos rebasan, normalmente, este intervalo de tiempo.

BIBLIOGRAFIA

BLACKMAN , R.B. y TUKEY, J. W., The Measurement of Power Spectra, Dover, Nueva York, 1959.

MARTINEZ, J., SASTRE, J., ALEMAN, G., CASTRO, J.J., MARTIN, A., y ROBAYNA, D.. Los movimientos de las superficies topográficas en las playas arenosas : Metodos de investigación e interpretación. Revista de Obras Públicas. Julio - Agosto. pp 469 - 483. 1987.

NEWLAND, D.E.. Vibraciones aleatorias y análisis espectral. Editorial AC, pp 276. 1975.

SUAREZ BORES, P.. Shore Classification - Simple forms with prevailing wind action. III Congres Inter IAEG, Madrid., pp 150 - 169.1978.