

## LISTADO DE LAS FIGURAS

1. Mapa de ubicación de las playas interiores inventariadas.
2. Mapa de distribución de los tipos genéticos-composicionales de las playas interiores.
3. Efecto de las olas en la playa. Juanes (1995).
4. Diferentes patrones de la evolución de la morfología de la playa durante el ascenso del nivel del mar. Kaplin (1989).
5. Distribución en el tiempo de la varianza mensual de los valores medios diarios del nivel del mar en la estación mareográfica de Siboney. Hernández y Díaz (2000).
6. Retroceso de la línea de costa en la playa La Pepilla.
7. Distribución de los perfiles de playa en El Salto-Ganuja.
8. Esquema de los levantamientos de la línea de costa en la playa El Salto-Ganuja.
9. Primera, Segunda, Tercera y Cuarta Componente Principal Espacial.
10. Primera, Segunda y Tercera Componente Principal Temporal.
11. Resultado del ajuste de los modelos de Dean y Bodge.
12. Gráfico de dispersión del parámetro **A** con respecto al diámetro medio del sedimento **D**.
13. Ubicación de las zonas de préstamo de arena evaluadas para la etapa de mantenimiento de la playa artificial El Salto-Ganuja.
14. Perfil real y de diseño para diferentes tipos de arena a introducir.
15. Retroceso del perfil de equilibrio.
16. Esquema batimétrico de la playa El Salto-Ganuja.
17. Perfiles topográficos de la playa El Salto-Ganuja.
18. Resultados de los experimentos de deriva litoral en la playa El Salto-Ganuja.
19. Evolución de la costa a ambos lados de los espigones experimentales en la playa El Salto-Ganuja.
20. Distribución de los grupos texturales del sedimento en la playa El Salto-Ganuja.
21. Oscilaciones erosión-acumulación del perfil al norte de Punta Molas, Playa de Varadero.
22. Perfiles de diseño para la conformación de la playa El Salto-Ganuja.
23. Ubicación de la playa de Caibarién.
24. Estado actual de la playa de Caibarién.
25. Esquema batimétrico de la playa de Caibarién.
26. Perfiles costeros. Playa de Caibarién.
27. Esquema cualitativo de tipos de fondo. Playa de Caibarién.
- 28a. Resultados de los experimentos de deriva litoral. Playa de Caibarién.
- 28b. Resultados de los experimentos de deriva litoral. Playa de Caibarién.
29. Perfiles de diseño para el relleno de arena. Playa de Caibarién.
30. Diseño del espigón. Playa de Caibarién.
31. Perfil experimental y de equilibrio de Vellinga (1983), tomados de referencia para el diseño de la playa artificial de Caibarién.
32. Forma en planta de la playa regenerada. Playa de Caibarién.

## **LISTADO DE LAS TABLAS**

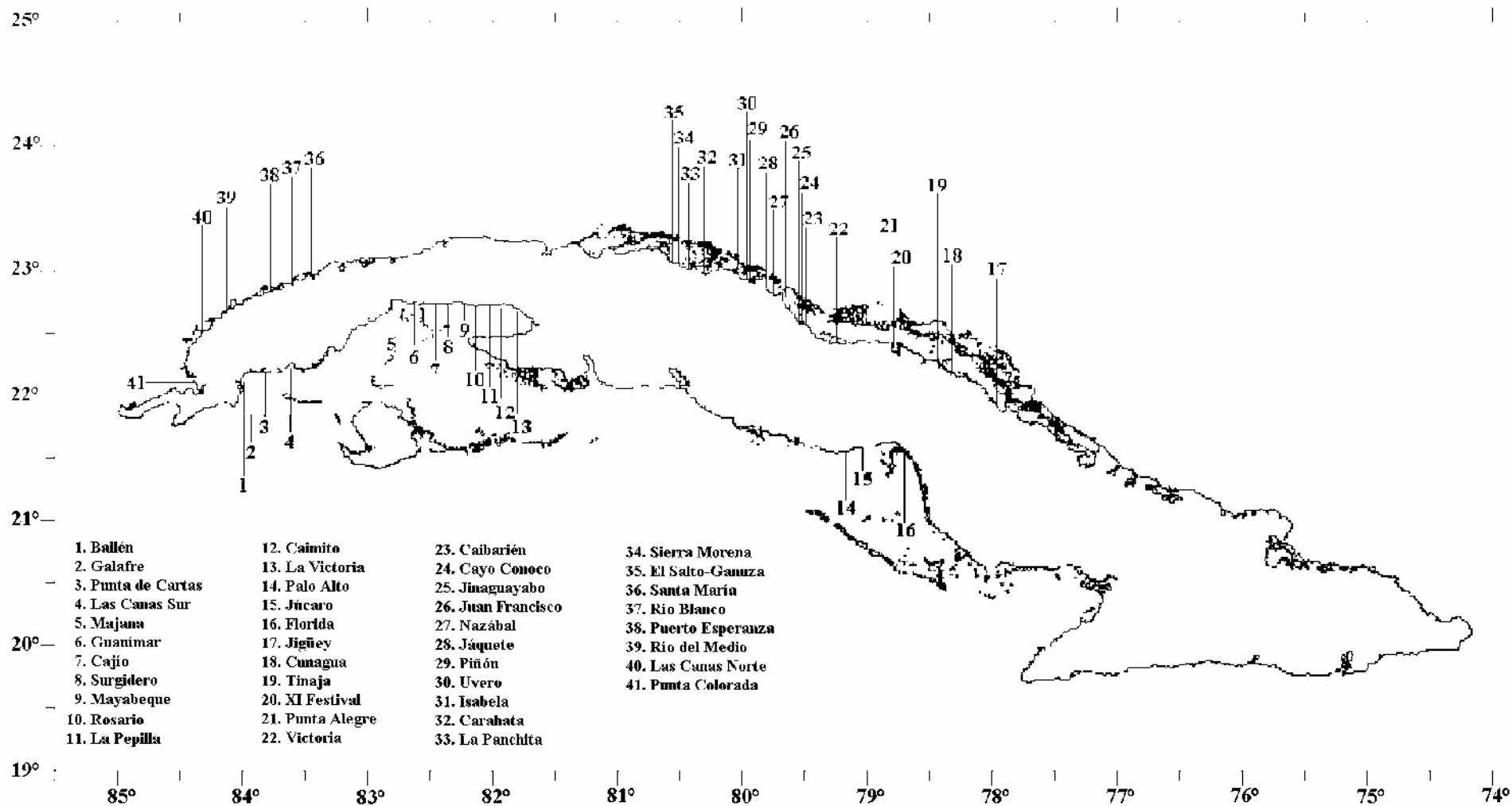
1. Coordenadas de ubicación de las playas interiores inventariadas.
2. Cálculo de las pendientes de los perfiles de las playas interiores.
3. Variabilidad de las pendientes del perfil del terreno y el perfil de playa.
4. Clasificación granulométrica de las muestras de sedimentos de 24 playas interiores.
5. Composición y génesis de los sedimentos de las playas interiores.
6. Causas y magnitud de los procesos de erosión en las playas interiores de Cuba.
7. Inundaciones más intensas ocurridas en el siglo XX en el tramo costero del Golfo de Batabanó. Mitrani (2000).
8. Cálculo del volumen de arena para los perfiles de playa El Salto-Ganuza.
9. Valores de las pendientes de los perfiles de la playa El Salto-Ganuza.
10. Resumen estadístico de la variación de la distancia a la inflexión de la playa El Salto-Ganuza, en un período de 5 años.
11. Resumen de los valores propios y el Porcentaje de varianza de cada componente principal.
12. Parámetros y calidad del ajuste de las expresiones de Dean y de Bodge.
13. Datos estadísticos de los parámetros.
14. Resumen de las características del relleno de playa para dos zonas de préstamo con diferentes diámetros de sedimento.
15. Tipos de actuaciones costeras aplicadas en las playas interiores de Cuba.
16. Resultados del análisis textural de las muestras de sedimento.
17. Resultado del análisis de restos orgánicos para algunas muestras de sedimento.
18. Parámetros técnicos de los sectores de vertimiento.
19. Etapas y actividades del proyecto para la creación de la playa artificial El Salto-Ganuza.

## **LISTADO DE LAS FOTOS**

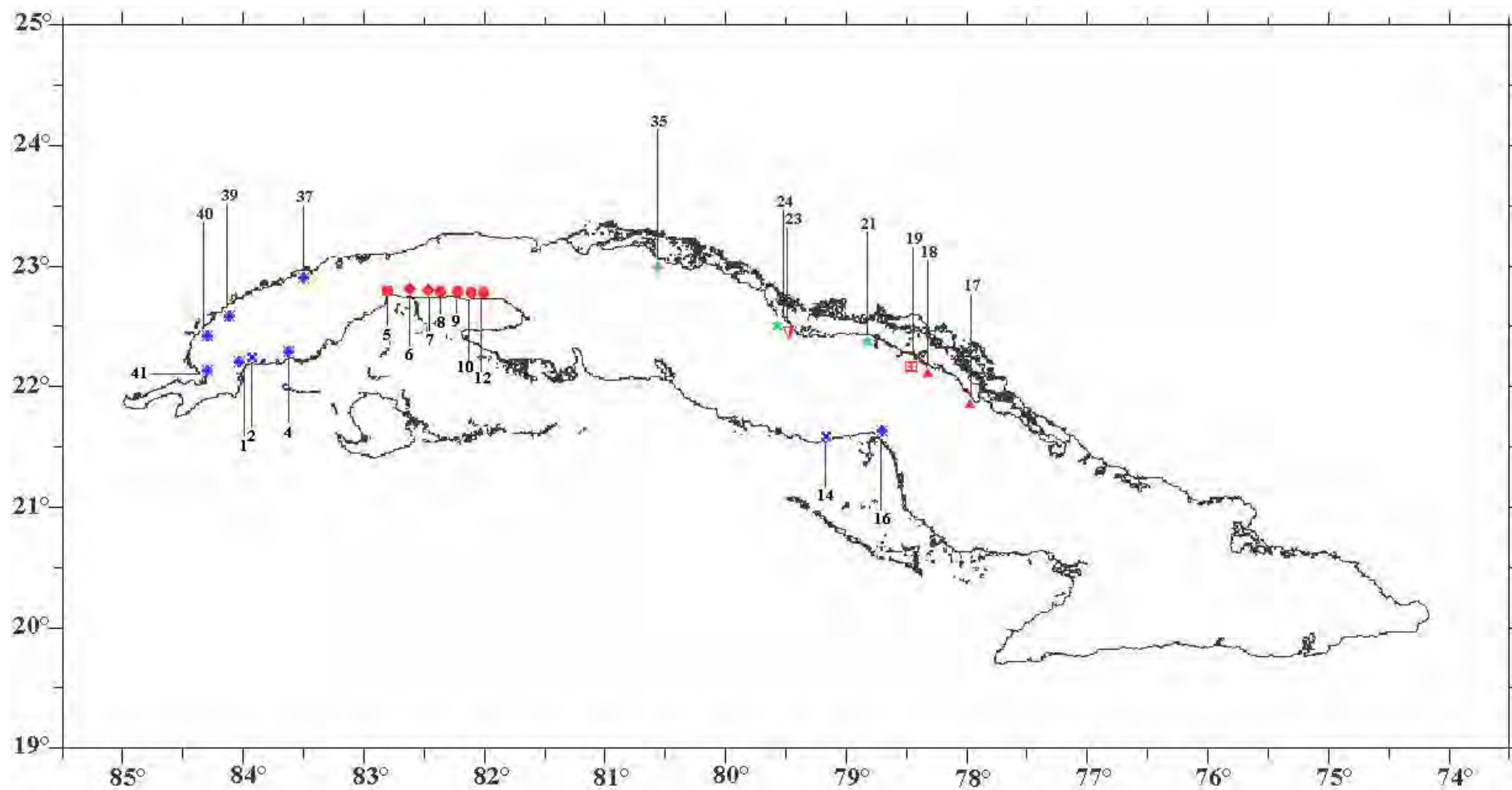
1. Playa Punta de Carta, Provincia Pinar del Río, donde prácticamente ha desaparecido la franja de arena por efecto de las construcciones costeras.
2. Playa Galafre, Provincia Pinar del Río, donde se observa la ocupación de la duna por construcciones costeras.
3. Playa Mayabeque, Provincia La Habana. Se muestra la construcción de múltiples espigones y muros, provocando una intensa erosión además de la mala estética del lugar.
4. Playa La Pepilla, Provincia La Habana, donde se observa la pérdida casi total de la arena.
5. Playa La Pepilla, Provincia La Habana. Instalaciones costeras parcialmente sumergidas en el mar.
6. Playa Las Canas Norte, Provincia Pinar del Río. Presencia de procesos erosivos donde no existen actuaciones directas del hombre.
7. Playa Nazabal, Provincia Villa Clara, donde se observa la ausencia de playa frente al muro de protección.
8. Playa El Salto-Ganuza, Provincia Villa Clara. Precarias condiciones del litoral al paso del ciclón Kate. Noviembre de 1985.
9. Playa El Salto-Ganuza, Provincia Villa Clara. Playa conformada después de la ejecutado el proyecto de alimentación artificial de arena.
10. Vista panorámica de las estructuras de hormigón construidas en la zona costera.
11. Afloramiento rocoso frente al muro de protección y junto al espigón.
12. Sector costero frente al hotel Brisas del Mar, antes de los trabajos de mejoramiento temporal.
13. Sector costero frente al hotel Brisas del Mar, después de ejecutados los trabajos de mejoramiento temporal.

## **ANEXOS**

- I. Registro de campo para el inventario de las playas interiores.
- II. Base de datos e implementación de un SIG
- III. Modelos matemáticos del perfil de equilibrio
- IV. Comparación del perfil real con los perfiles de equilibrio ajustados.
- V. Indicios, Causas y Magnitud de los Procesos de Erosión en las Playas Interiores de Cuba.
- VI. Actuaciones costeras aplicadas en las Playas Interiores de Cuba.



**Fig. 1. Mapa de ubicación de las playas interiores inventariadas**



**Fig. 2. Mapa de distribución de los patrones sedimentarios de las playas interiores**

# SIMBOLOGIA

## Génesis

- Biogénica
- Terrigena
- Biogénica-Terrigena

## Composición

- Arena gruesa, bien clasificada, carbonatada con abundante contenido de moluscos
- ▲ Arena gruesa, medianamente clasificada, carbonatada con abundante contenido de moluscos
- ▼ Arena gruesa, bien clasificada, carbonatada con abundante contenido de algas calcáreas
- Arena gruesa, bien clasificada, medianamente carbonatada con abundante contenido de moluscos y foraminíferos, incluido el cuarzo
- ★ Arena gruesa, bien clasificada, carbonatada con abundante contenido de moluscos y litoclastos calcáreos
- ✕ Arena gruesa, mal clasificada, terrigena con abundante contenido de cuarzo y minerales pesados del grupo circón, epidota y leucoceno
- Arena media, bien clasificada, carbonatada con abundante contenido de foraminíferos
- ✱ Arena fina y media, bien clasificada, terrigena con abundante contenido de cuarzo y algunos minerales del grupo circón y epidota
- Limo arenoso aleurítico, mal clasificado, carbonatado con abundante contenido de moluscos y foraminíferos
- Limo aleurítico, bien clasificado, carbonatado con abundante contenido de foraminíferos

## Playas donde se tomaron muestras de sedimento

- 1 Bailén
- 2 Galafre
- 4 Las Canas Sur
- 5 Majana
- 6 Guanímar
- 7 Cajío
- 8 Surgidero
- 9 Mayabeque
- 10 Rosario
- 11 La Pepilla
- 12 Caimito
- 14 Palo Alto
- 16 Florida
- 17 Jigüey
- 18 Cubagua
- 19 Tinaja
- 21 Punta Alegre
- 23 Caibarién
- 24 Cayo Comuco
- 35 Salto-Ganuzá
- 36 Santa María
- 37 Río Blanco
- 39 Río del Medio
- 40 Las Canas Norte
- 41 Punta Colorada

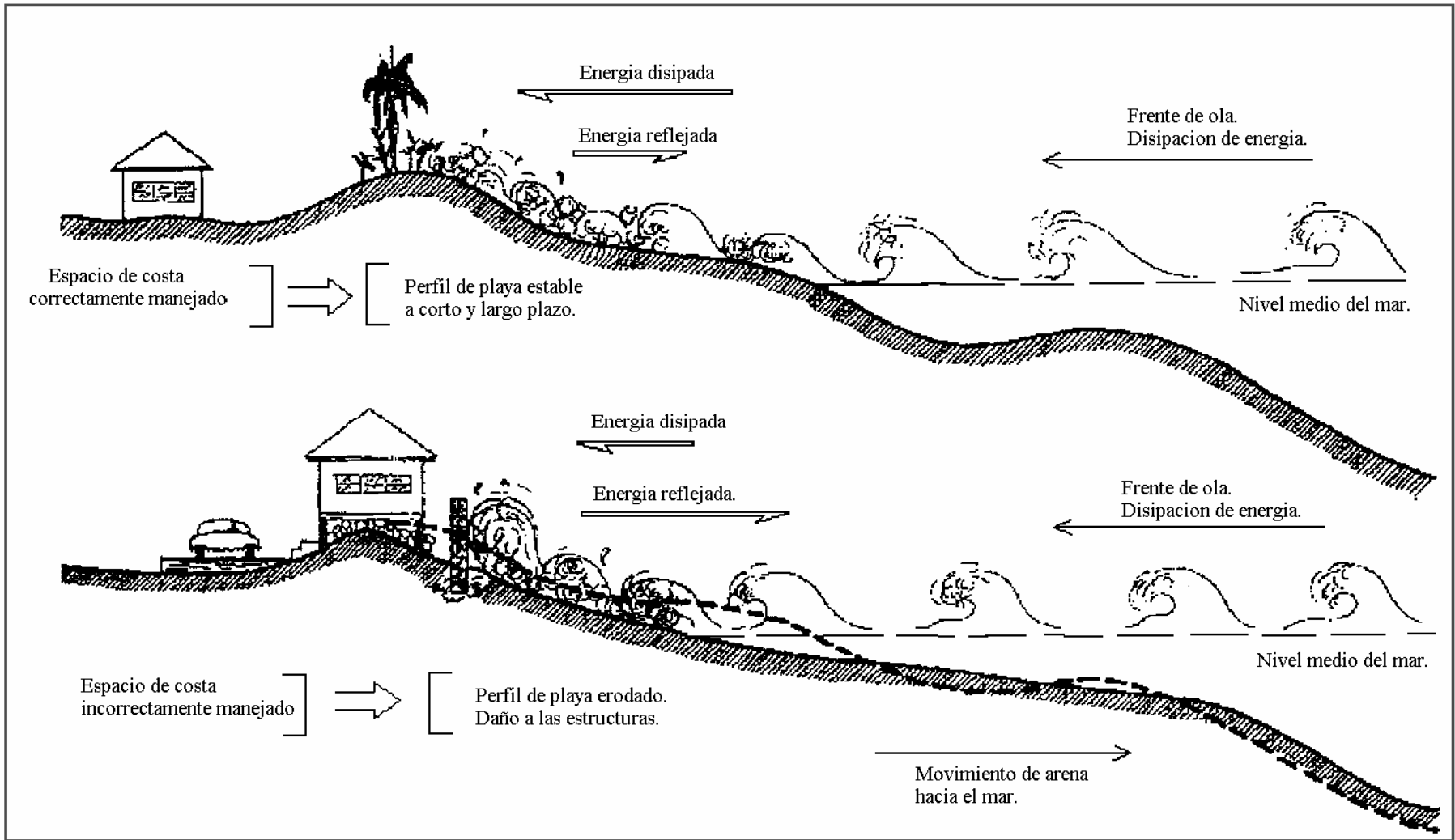


Fig. 3. Efecto de las olas en la playa. García et al. (1995)

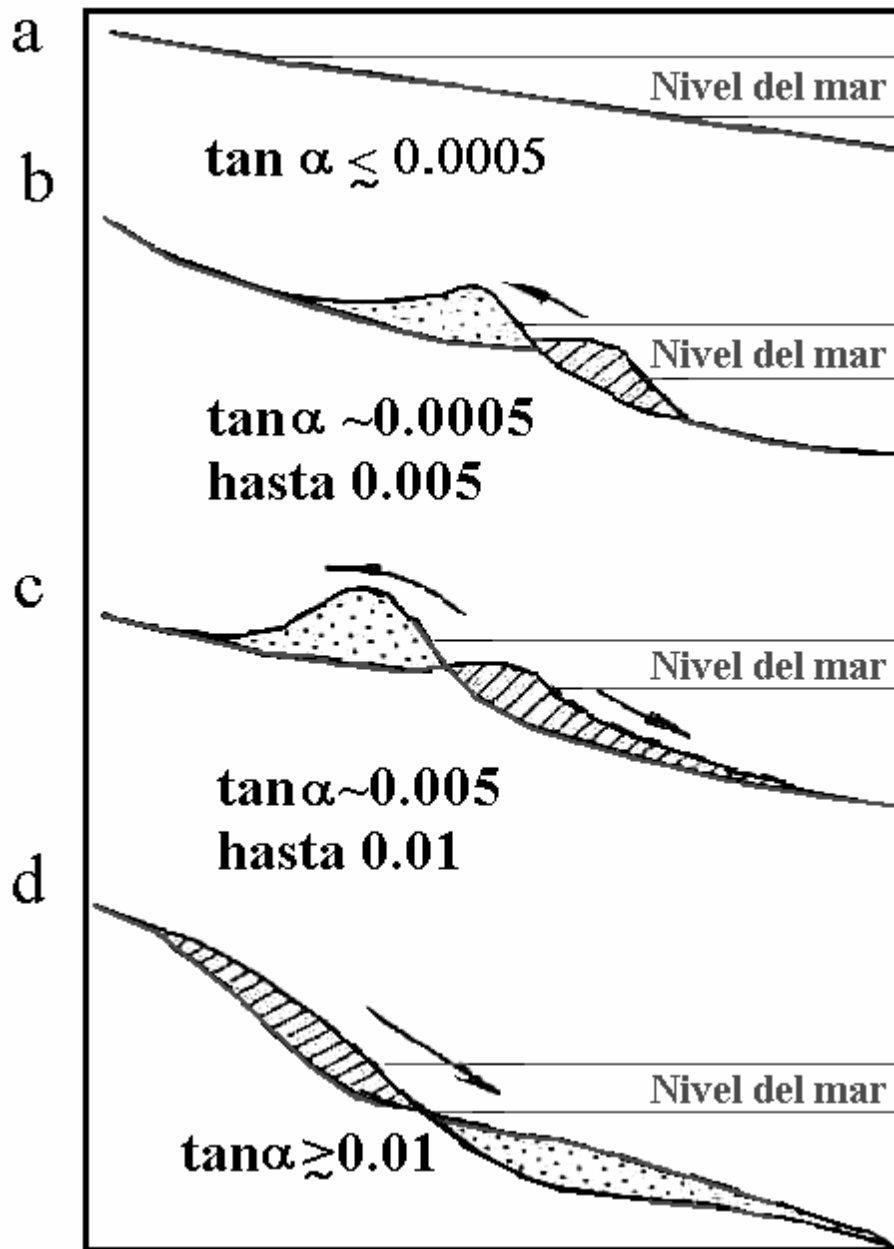


Fig. 4. Diferentes patrones de la evolución de la morfología de la playa durante el ascenso del nivel del mar. Kaplan (1989)



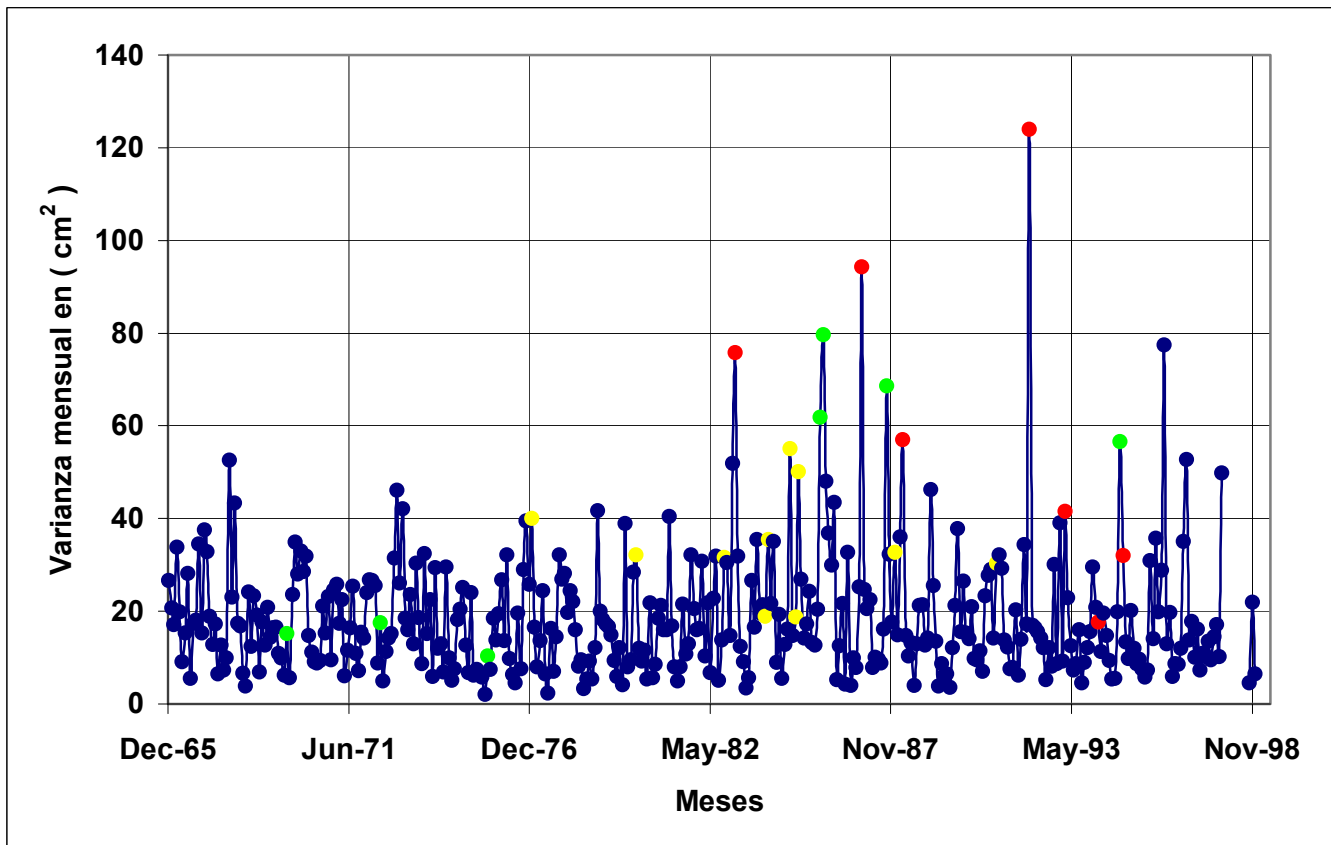


Fig. 5. Distribución en el tiempo de la varianza mensual de los valores medios diarios del nivel del mar en la estación mareográfica de Siboney. Hernández y Díaz (2000)

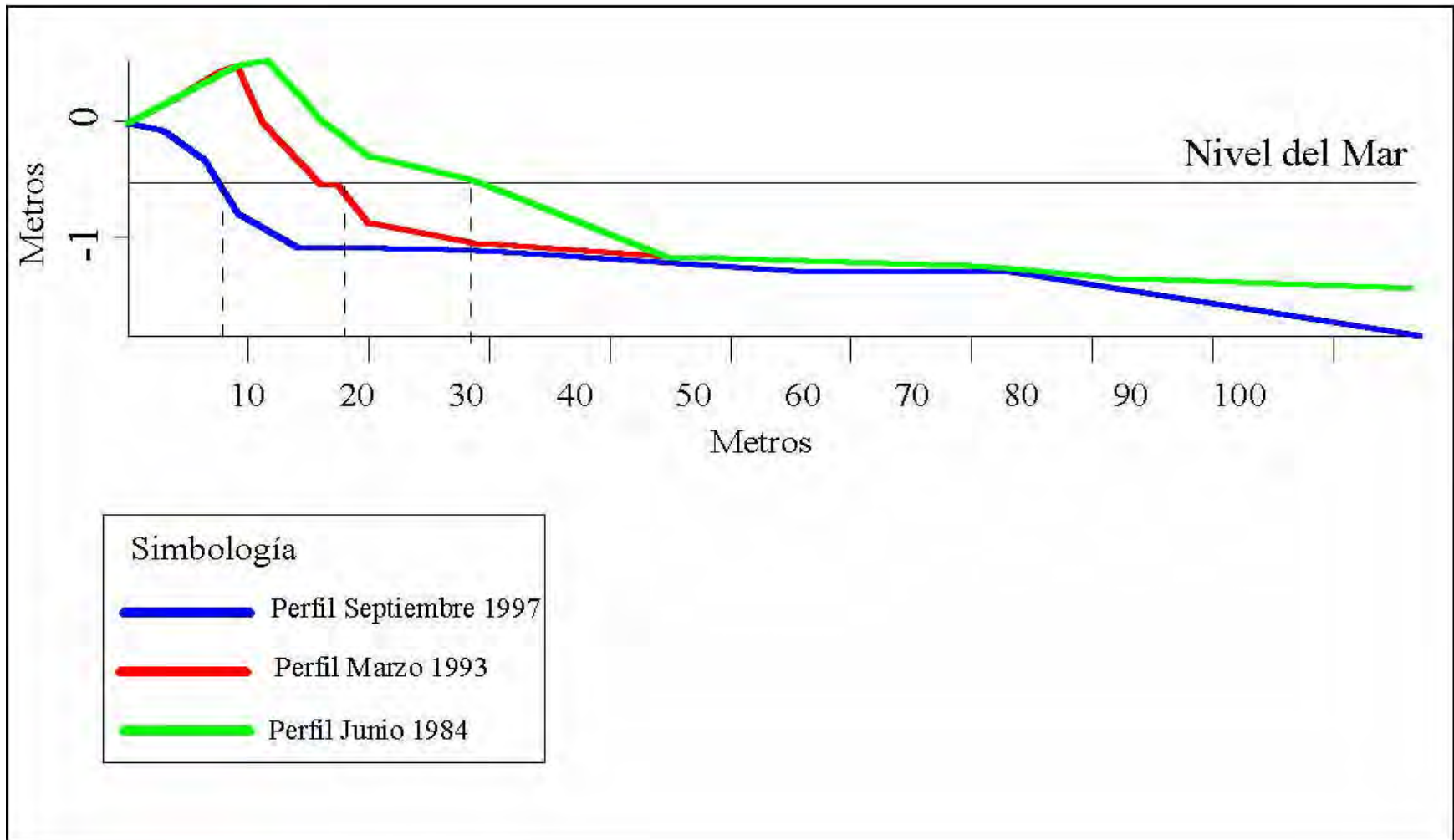


Fig. 6. Retroceso de la línea de costa en la playa La Pepilla, costa sur de La Habana

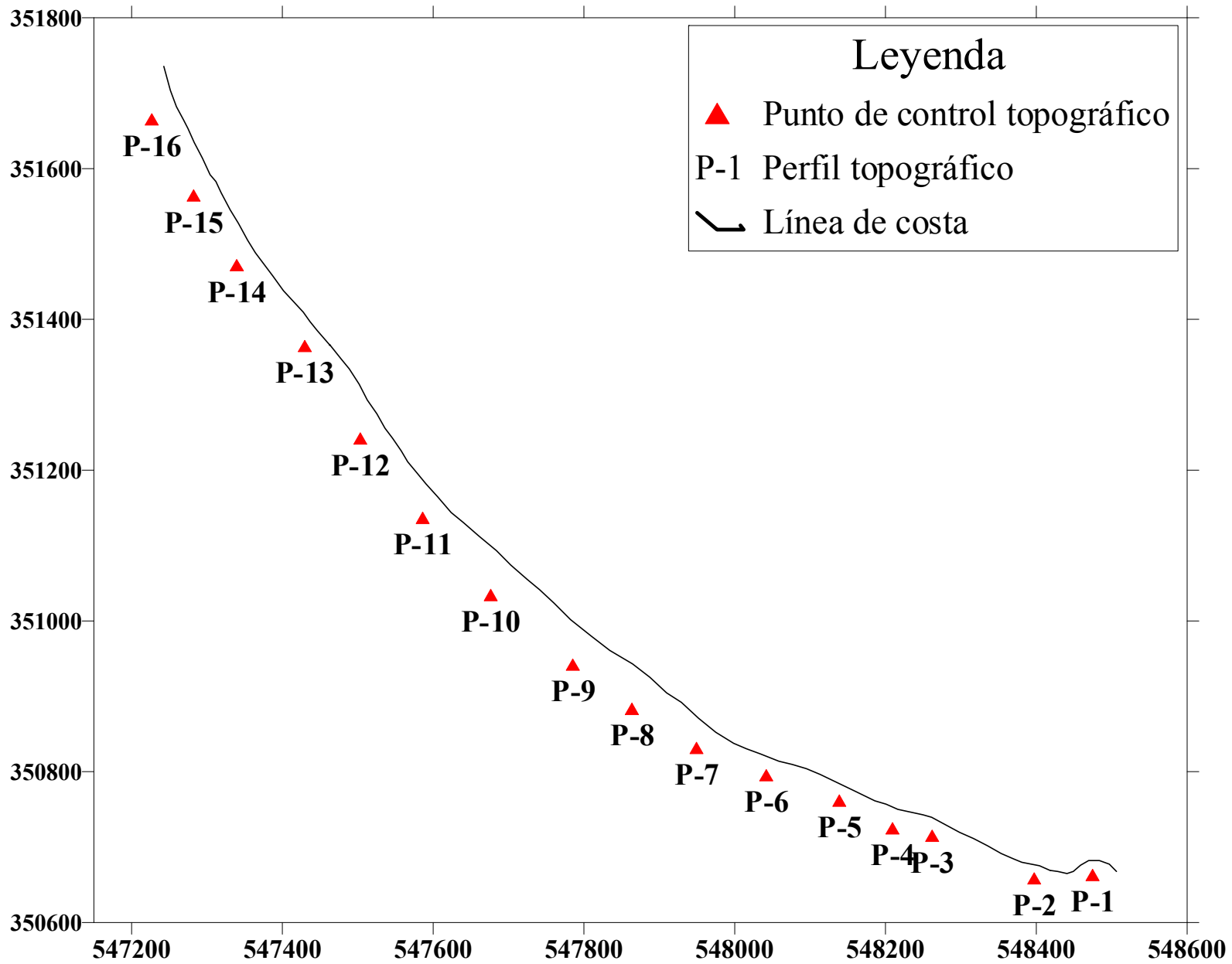


Fig. 7. Ubicación de los puntos de control topográfico de la playa El Salto-Ganuzza.

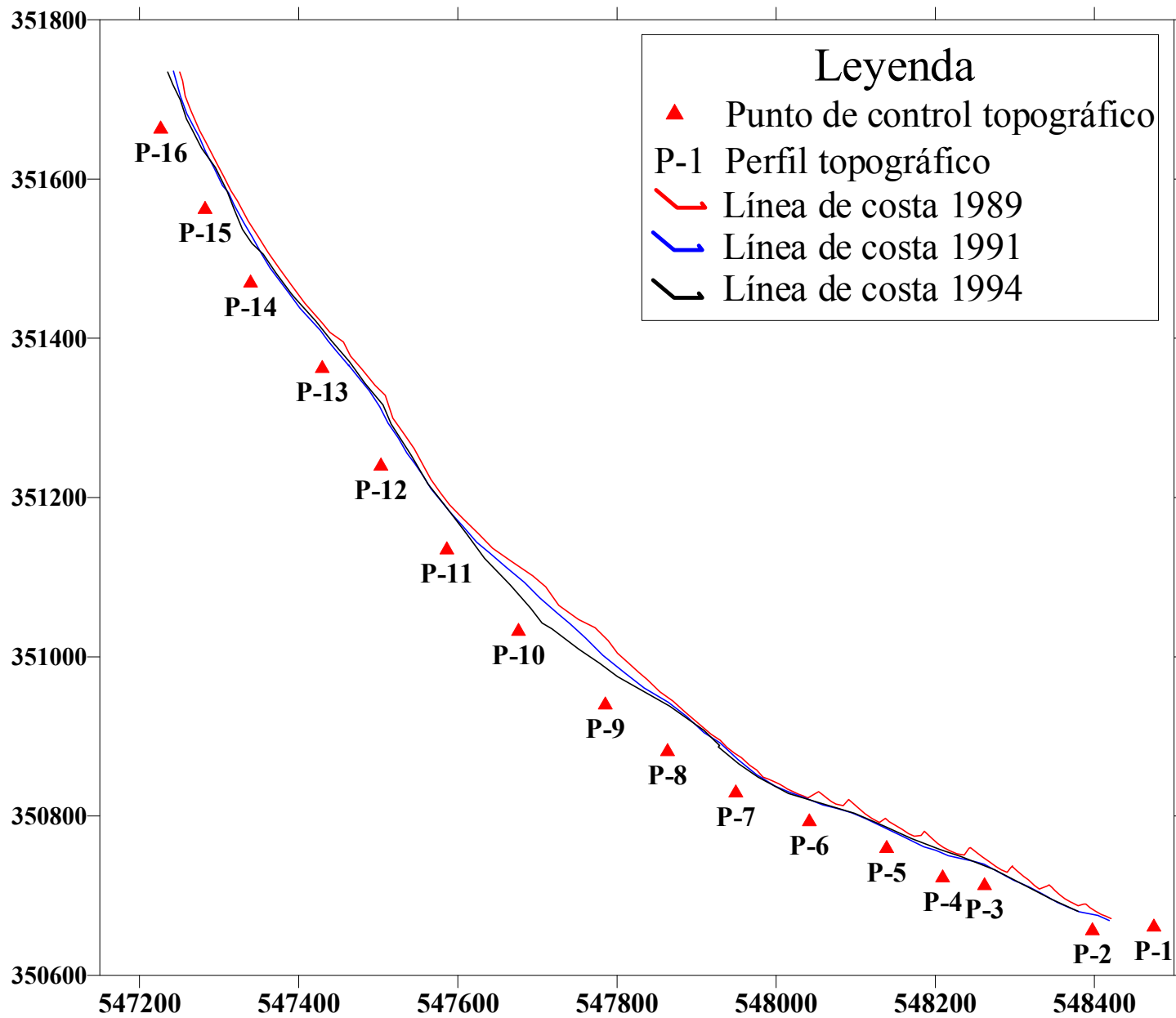


Fig. 8. Levantamientos topográficos de la línea de costa en la playa El Salto-Ganuzá.

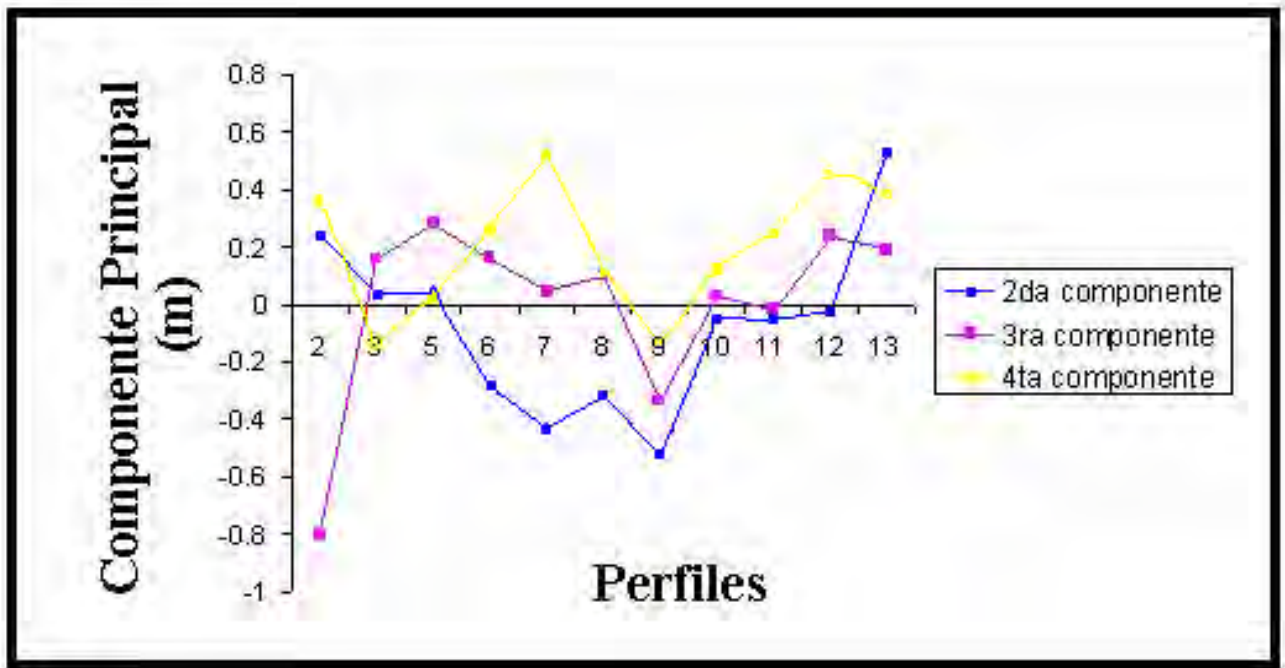
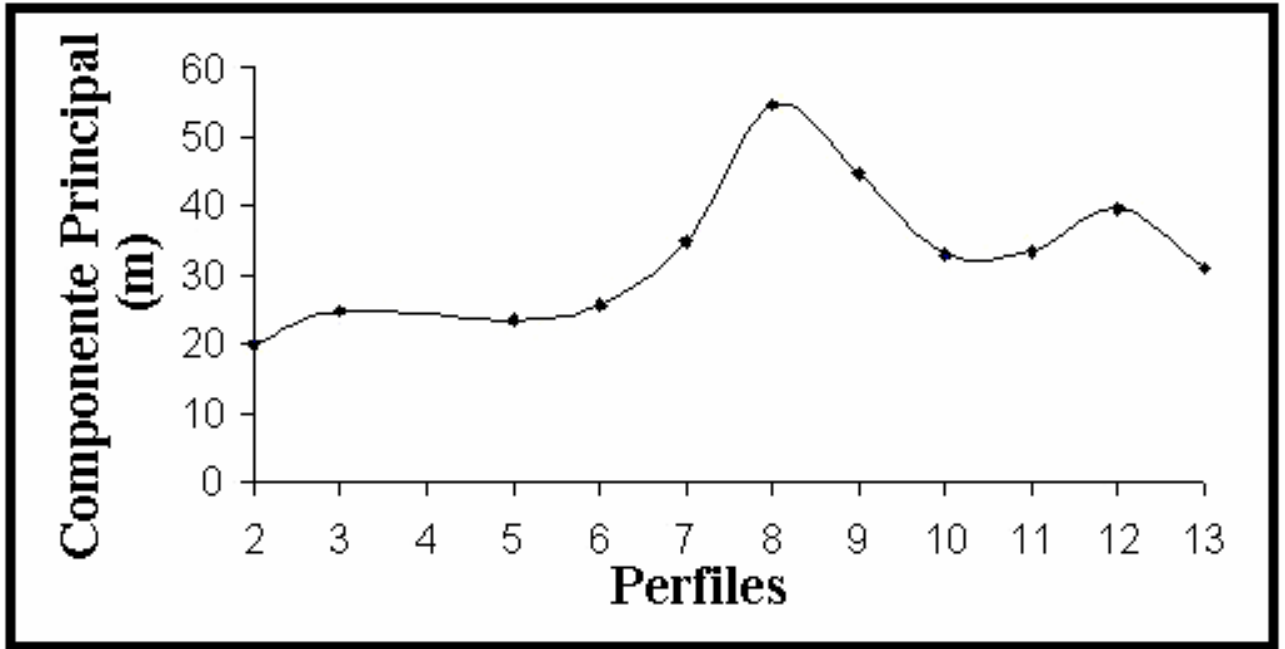


Fig. 9. Primera, Segunda, Tercera y Cuarta Componente Principal Espacial

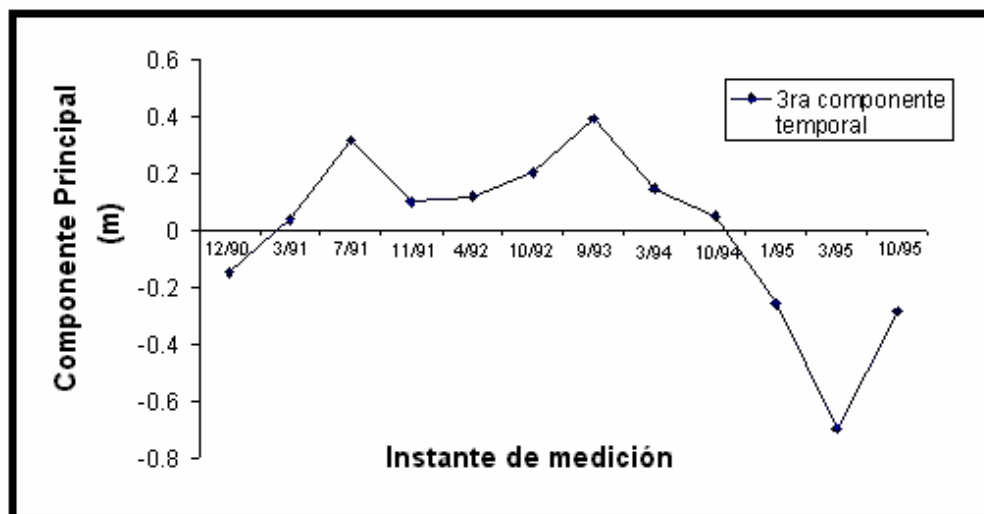
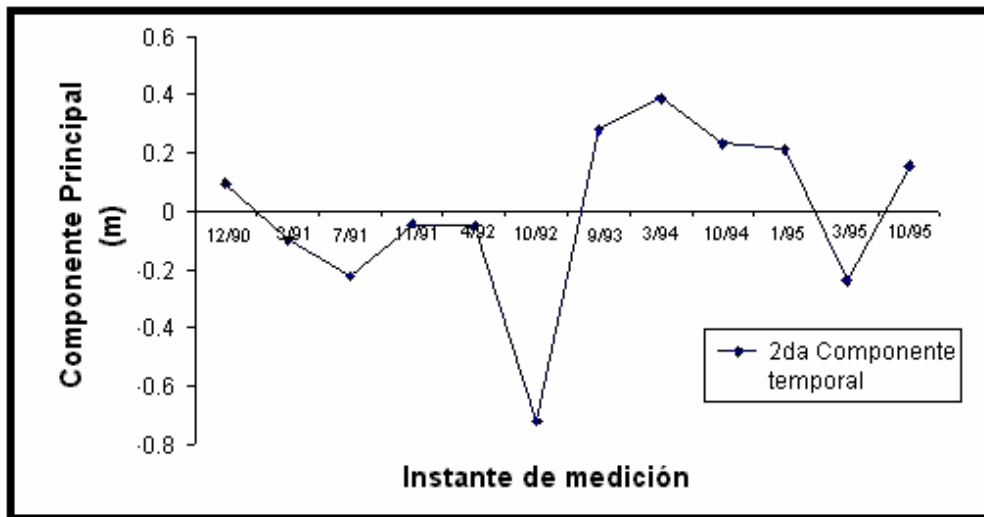
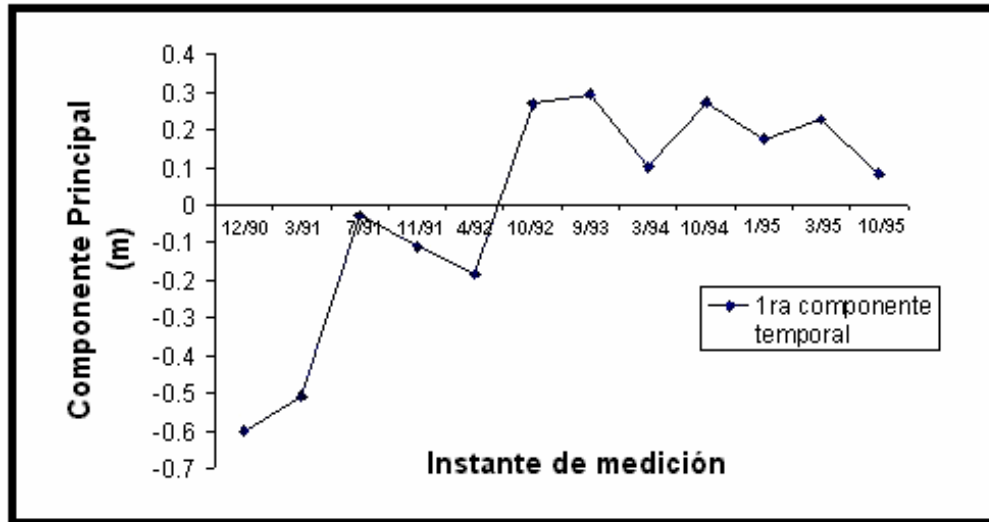


Fig. 10. Primera, Segunda y Tercera Componente Principal Temporal

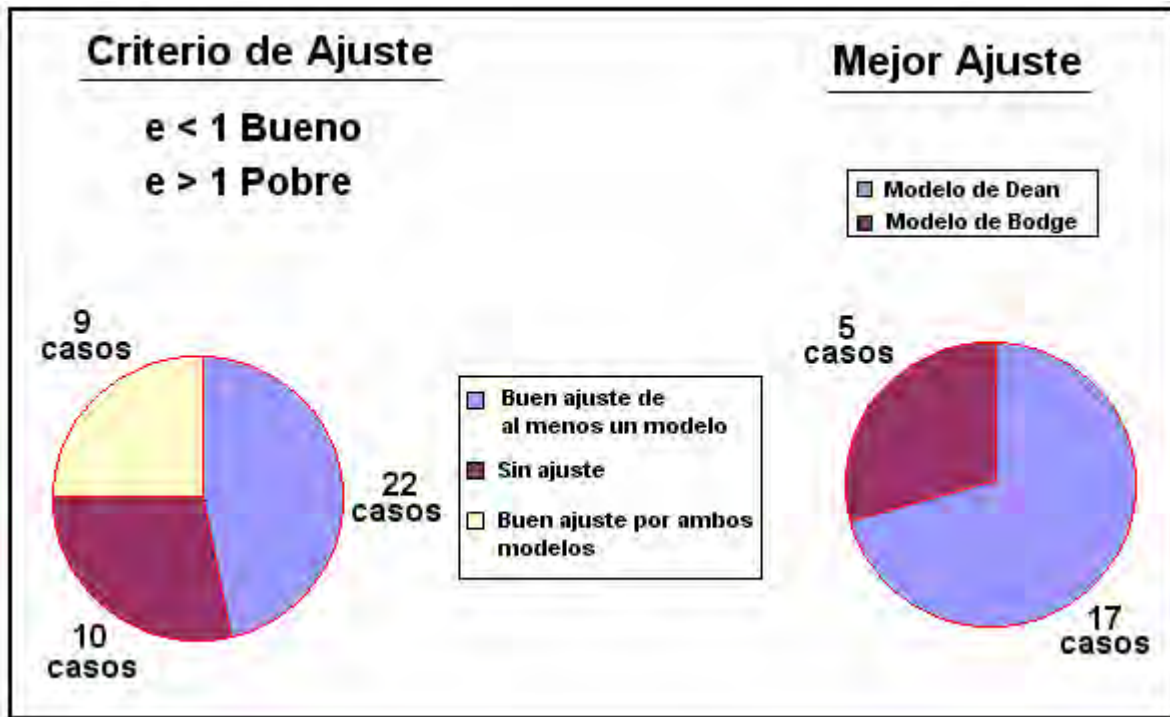


Fig. 11. Resultado del análisis de ajuste de los modelos de Dean y Bodge

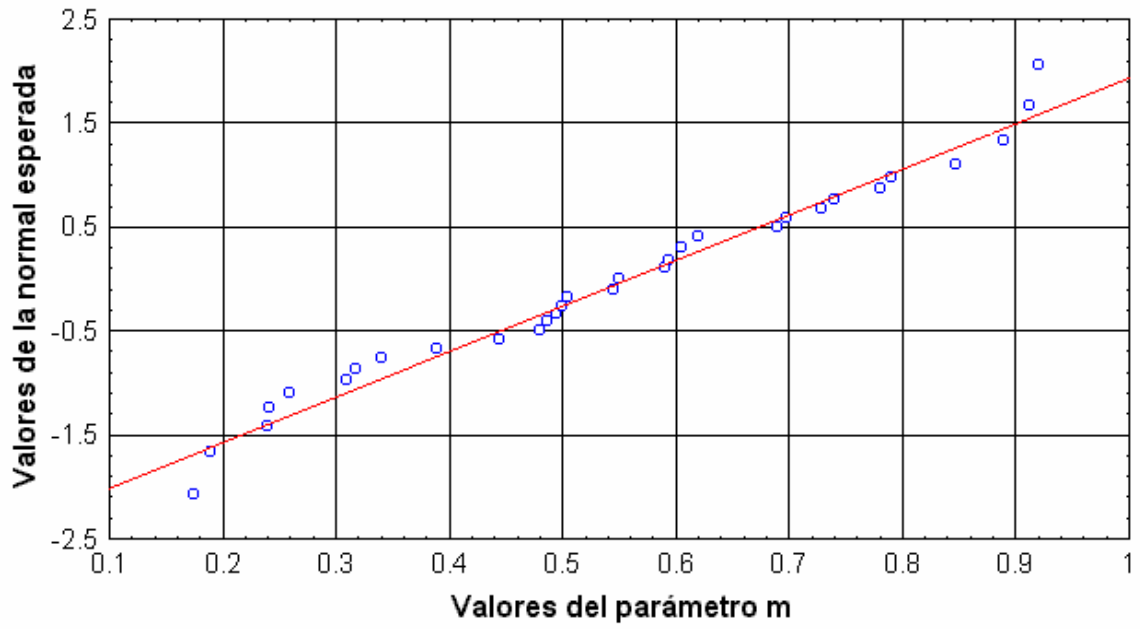


Fig. 12A. Distribución de los valores de  $m$  respecto a los de la normal esperada

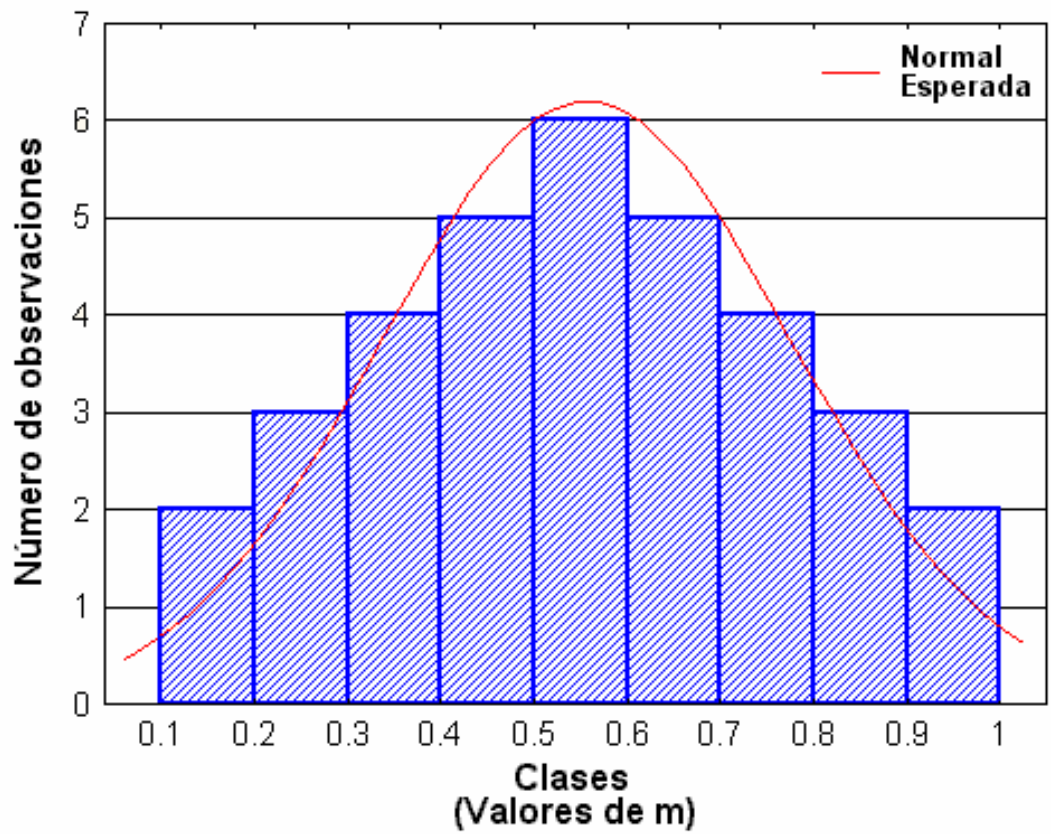


Fig. 12B. Distribución de los valores de  $m$  agrupados en clases respecto a la curva normal esperada



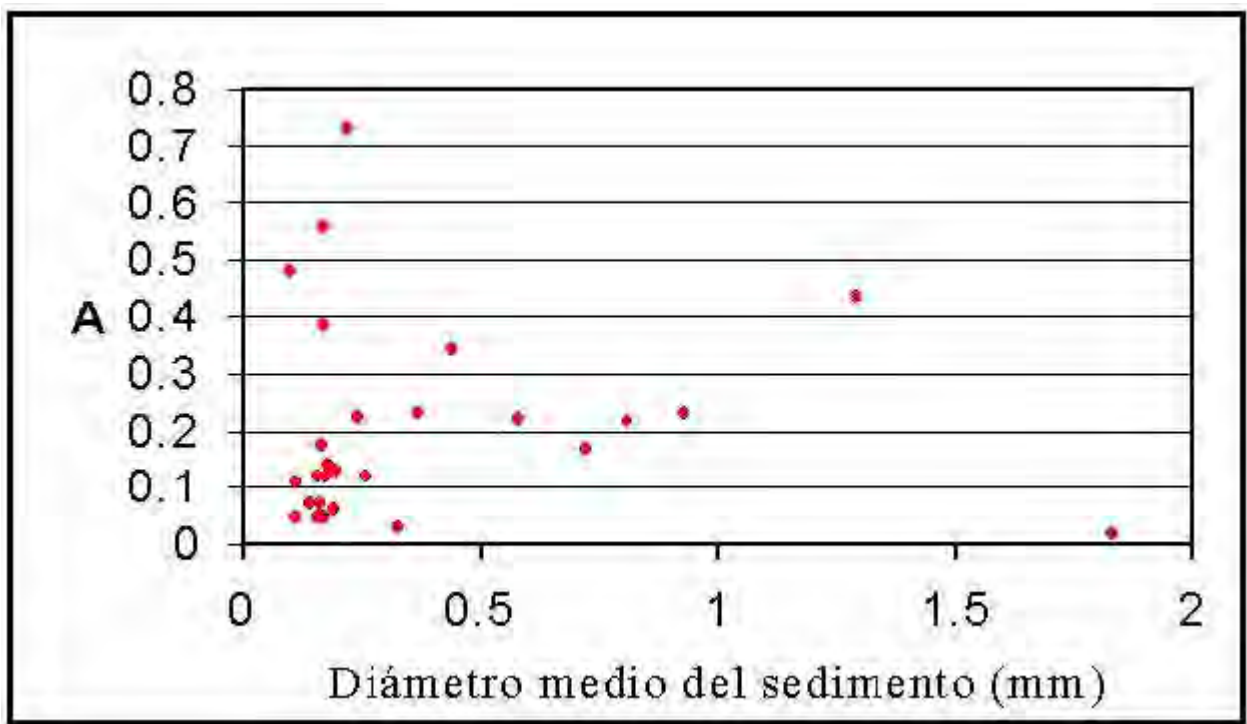


Fig. 13. Gráfico de dispersión del parámetro A respecto al diámetro medio del sedimento Md

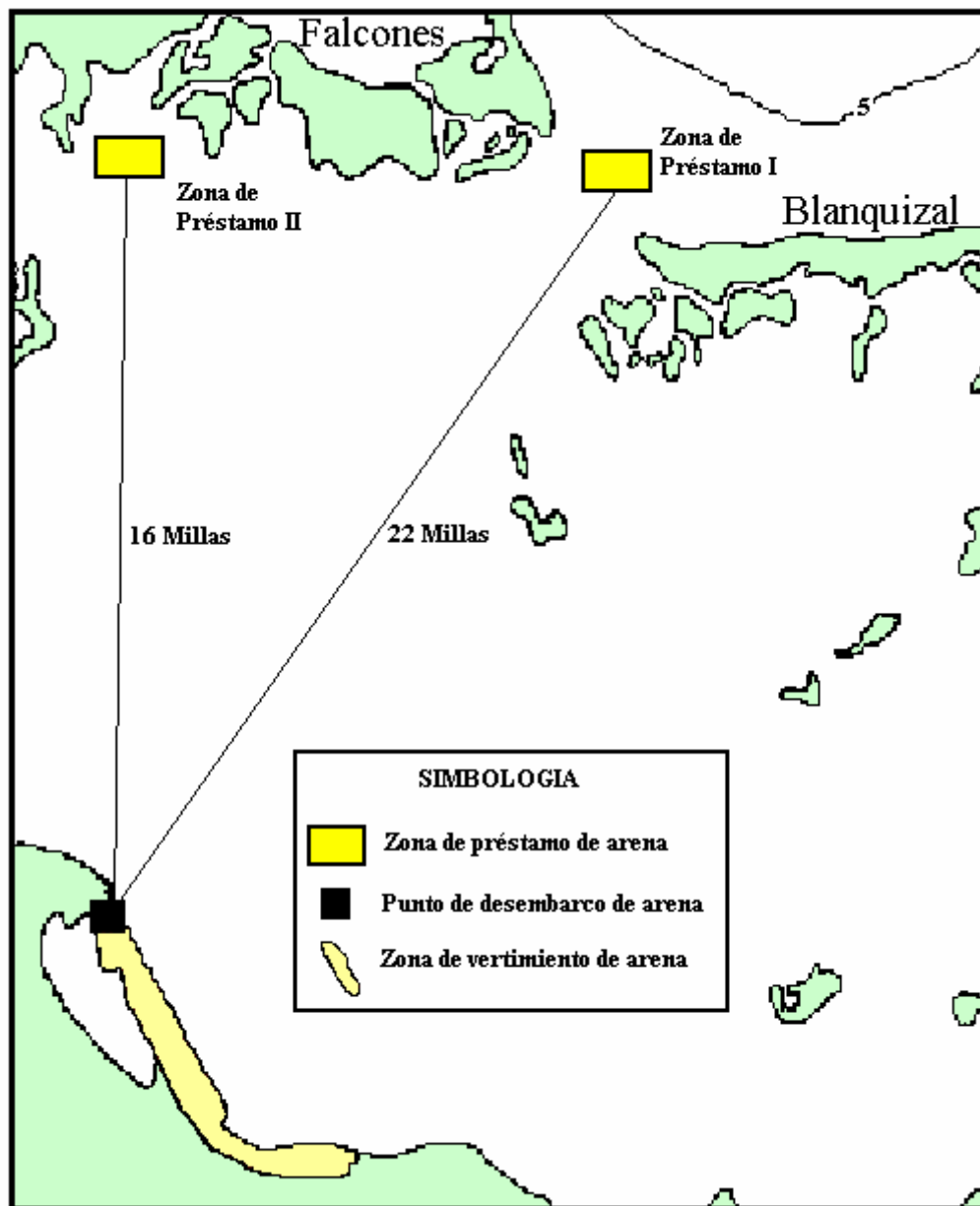


Fig. 14. Ubicación de las zonas de préstamo evaluadas para los vertimiento de arena en la playa El Salto-Ganuja.

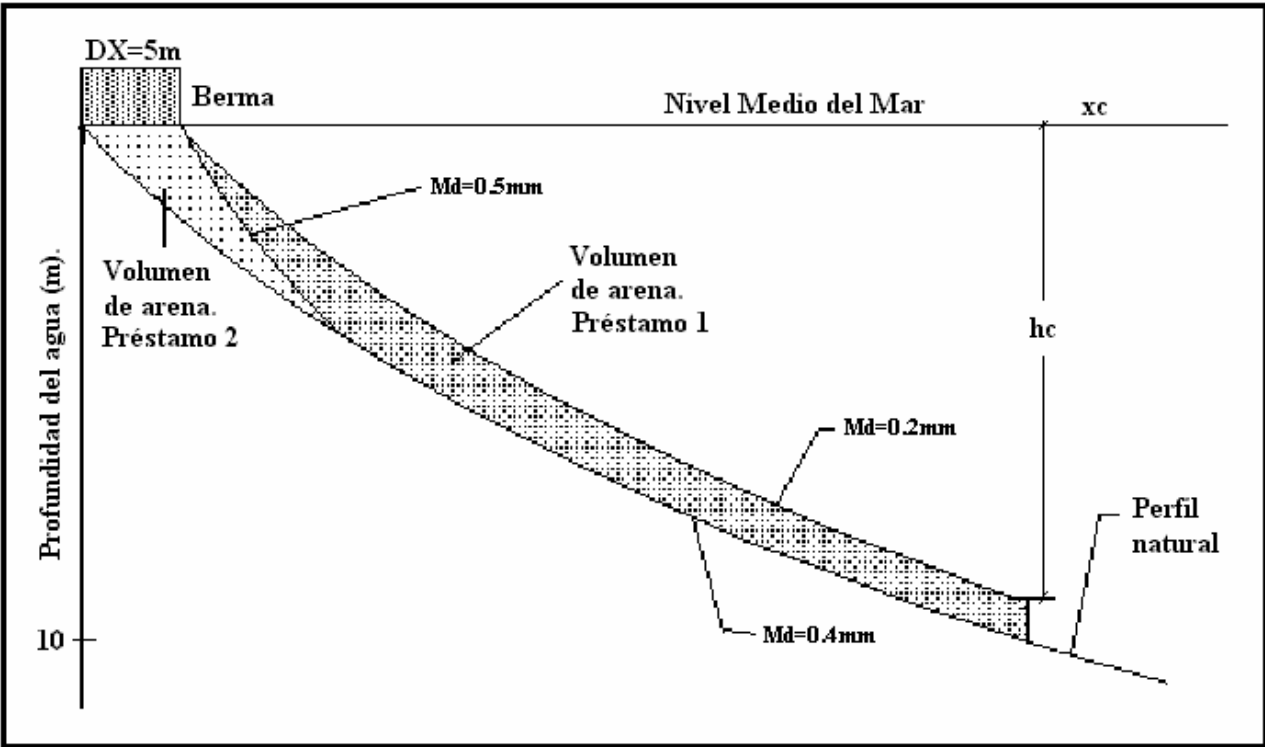


Fig. 15. Perfiles de diseño de acuerdo al diámetro medio de la arena a introducir.

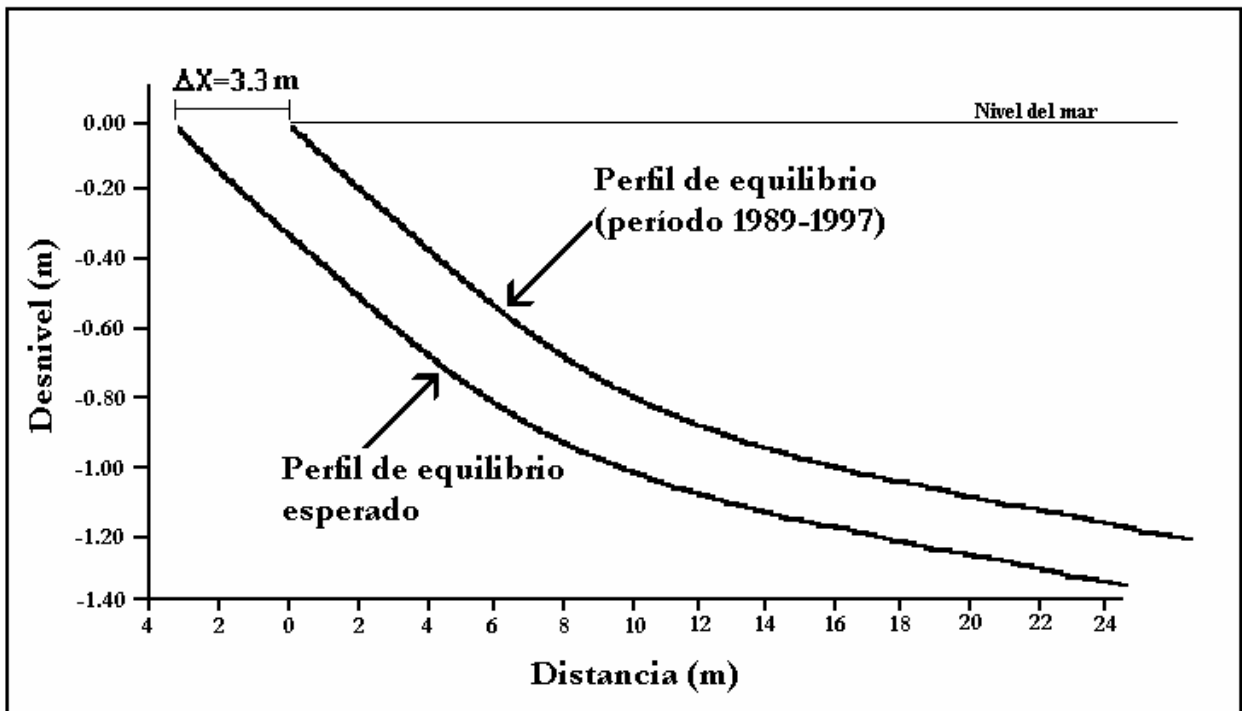


Fig. 16. Retroceso esperado del perfil de equilibrio.

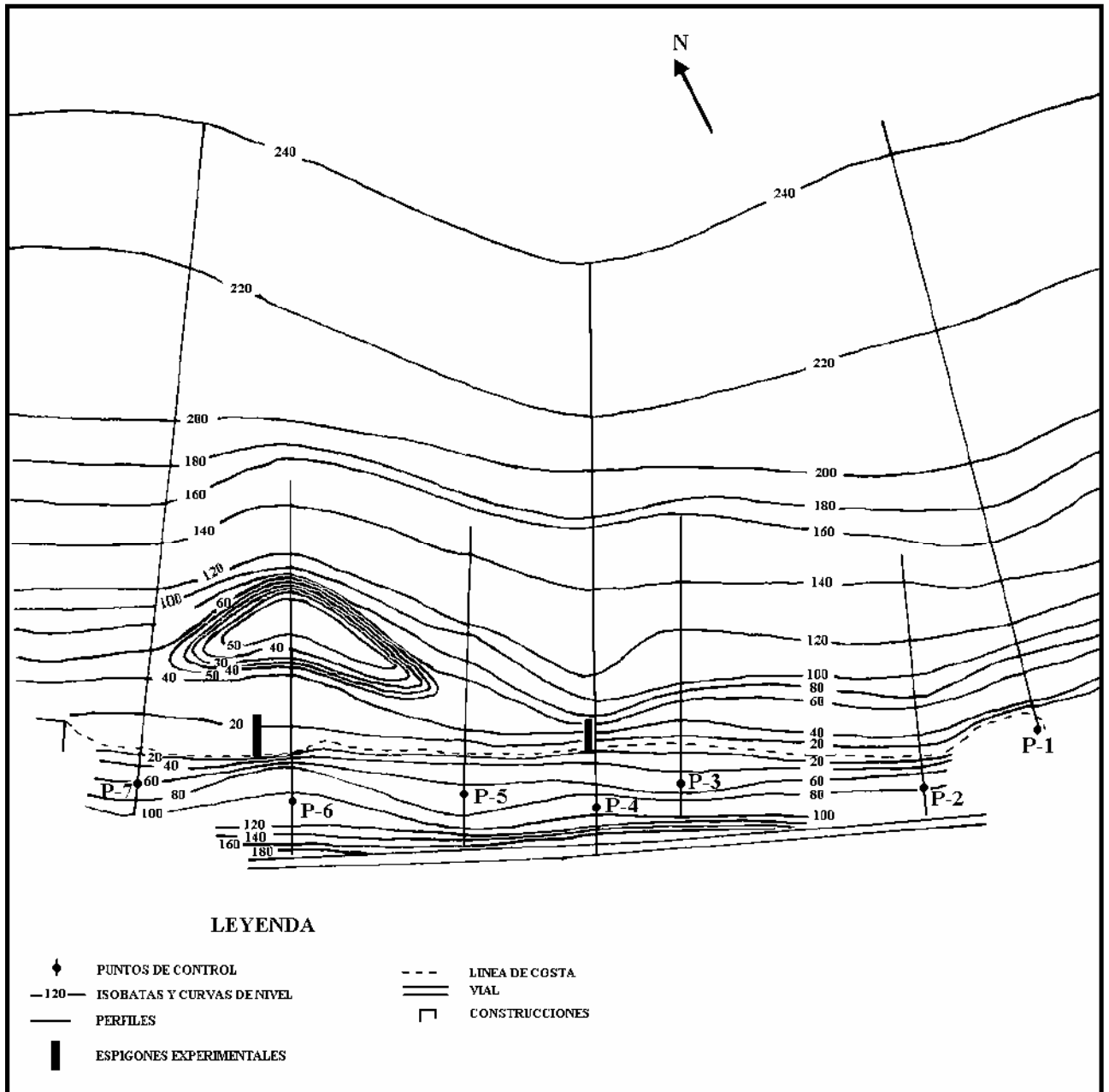
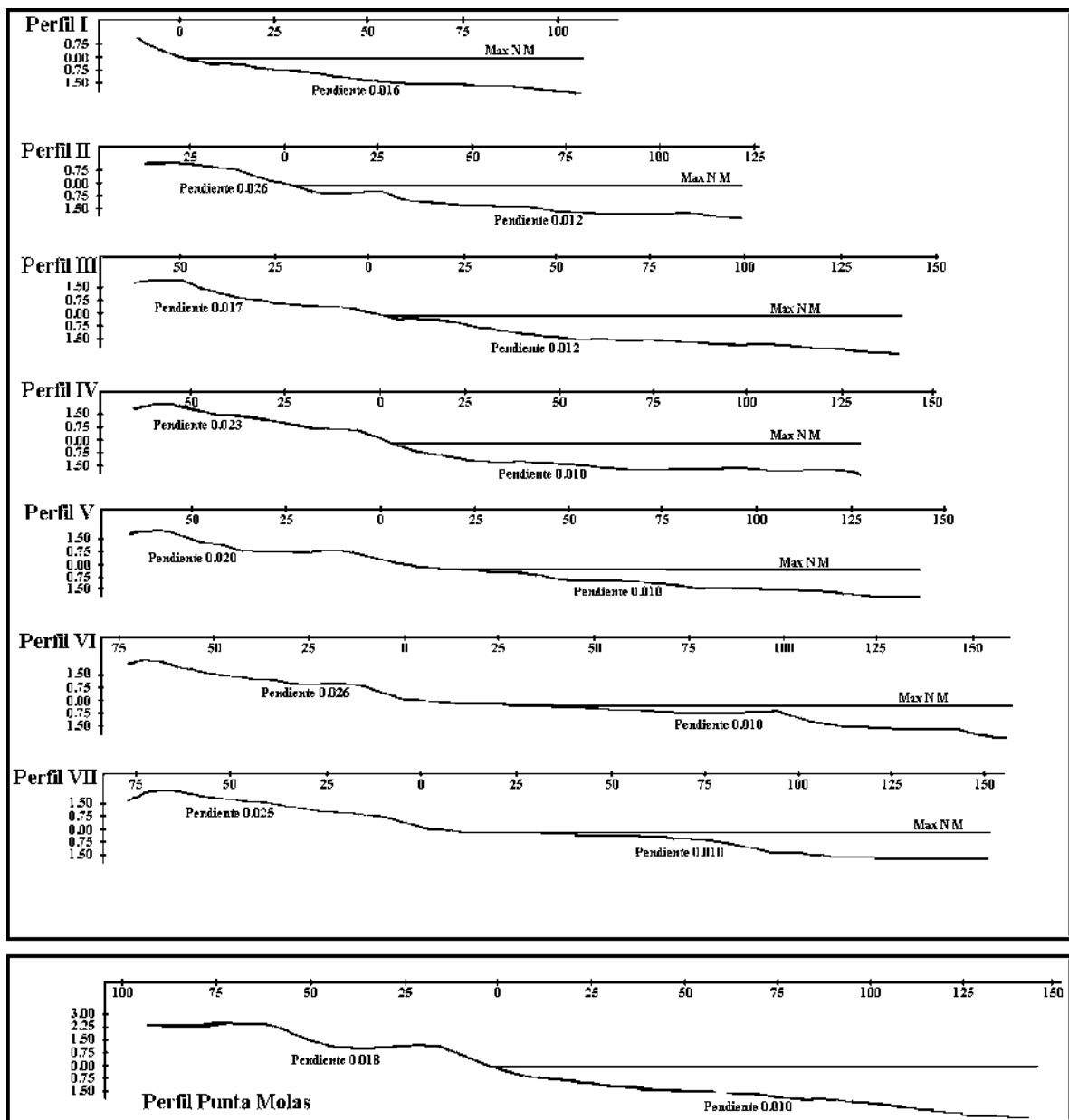


Fig. 17. Esquema batimétrico de la playa El Salto-Ganuja.



**Fig. 18. Perfiles topográficos de la playa El Salto-Ganuzá y el perfil de Punta Molas de la playa de Varadero.**



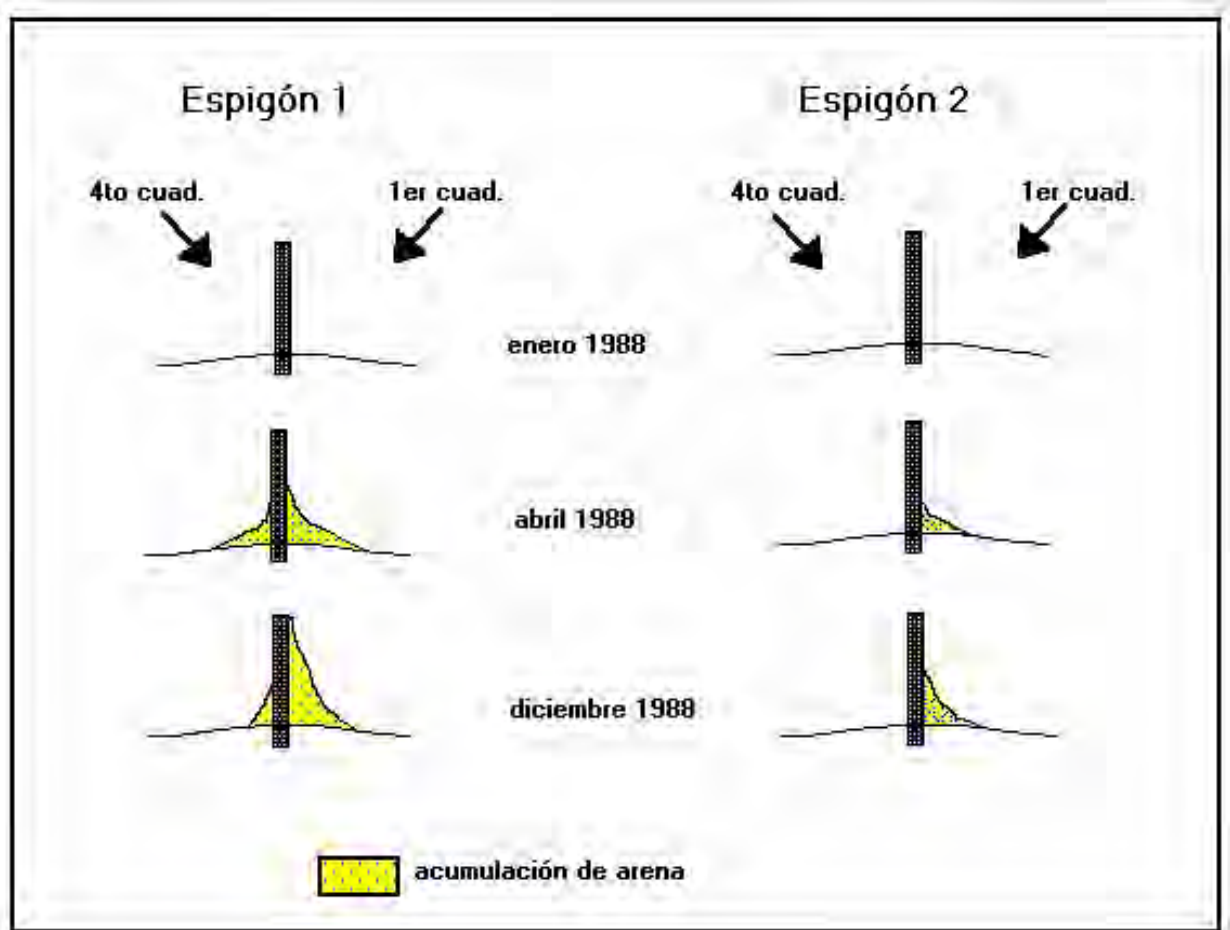


Fig. 20. Evolución de la costa a ambos lados de los espigones experimentales en la playa El Salto-Ganuzo.



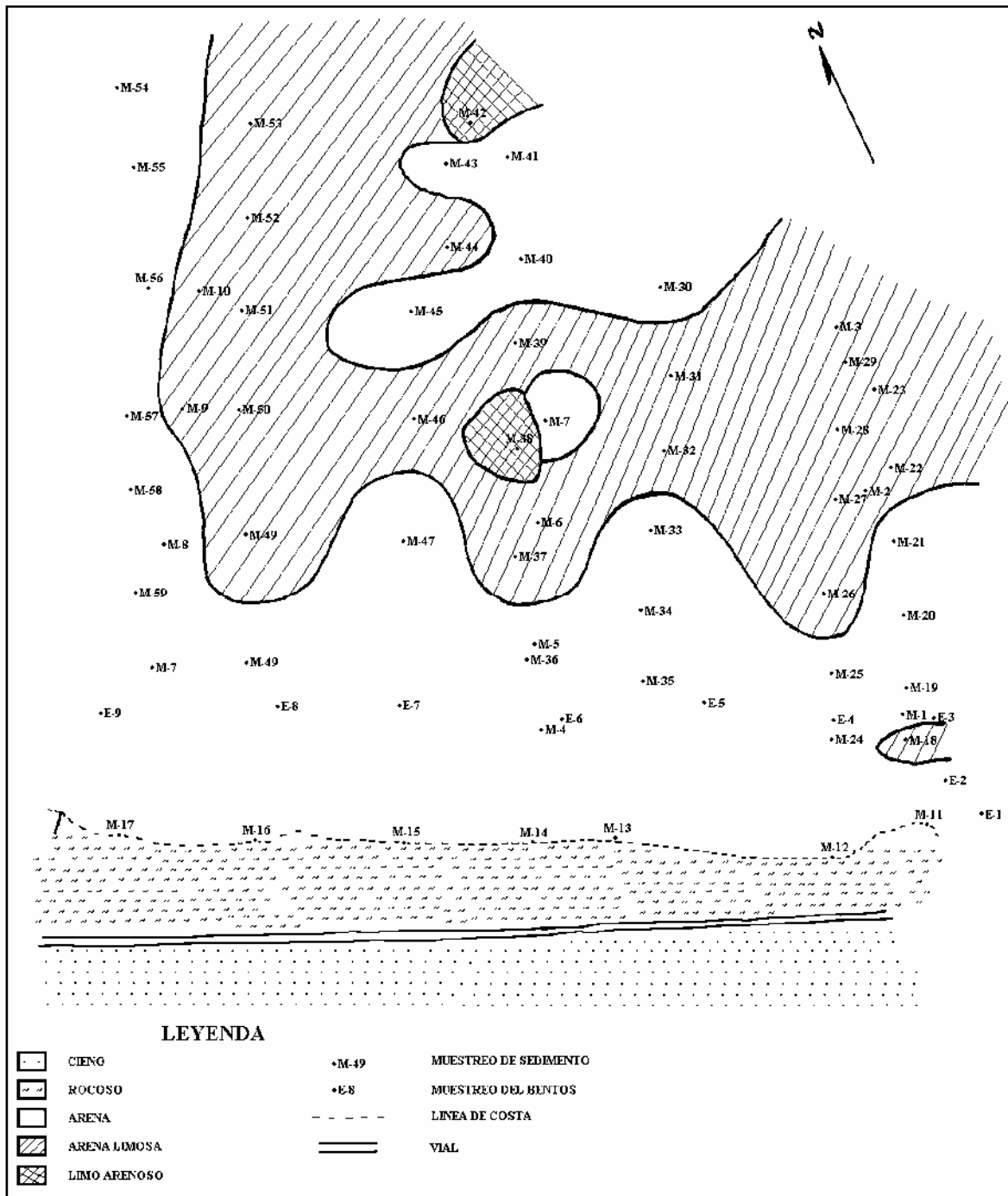


Fig. 21. Distribución de los grupos texturales del sedimento en la playa El Salto-Ganuja.

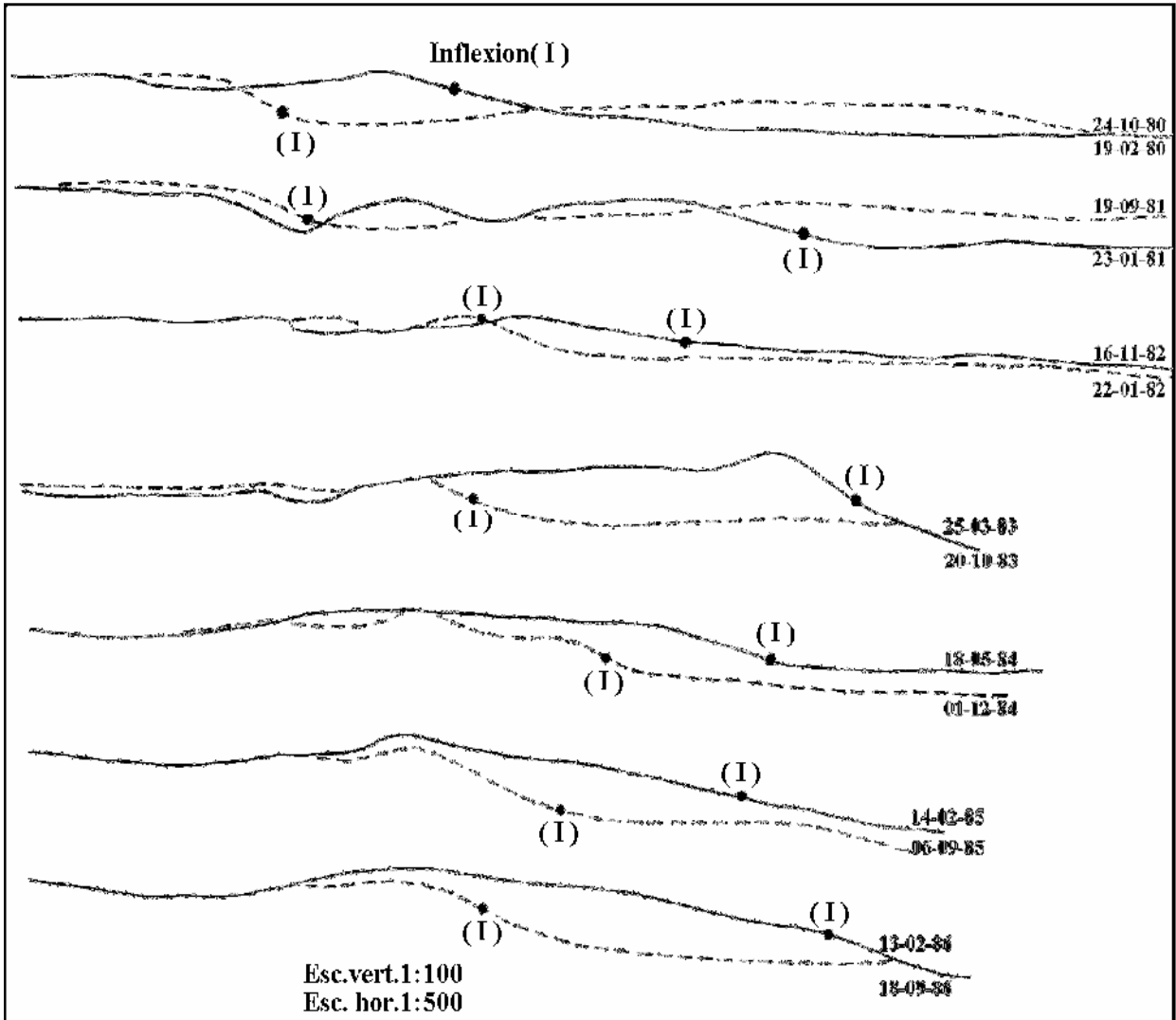


Fig. 22. Oscilaciones erosión-acumulación del perfil al norte de Punta Molas, Playa de Varadero.

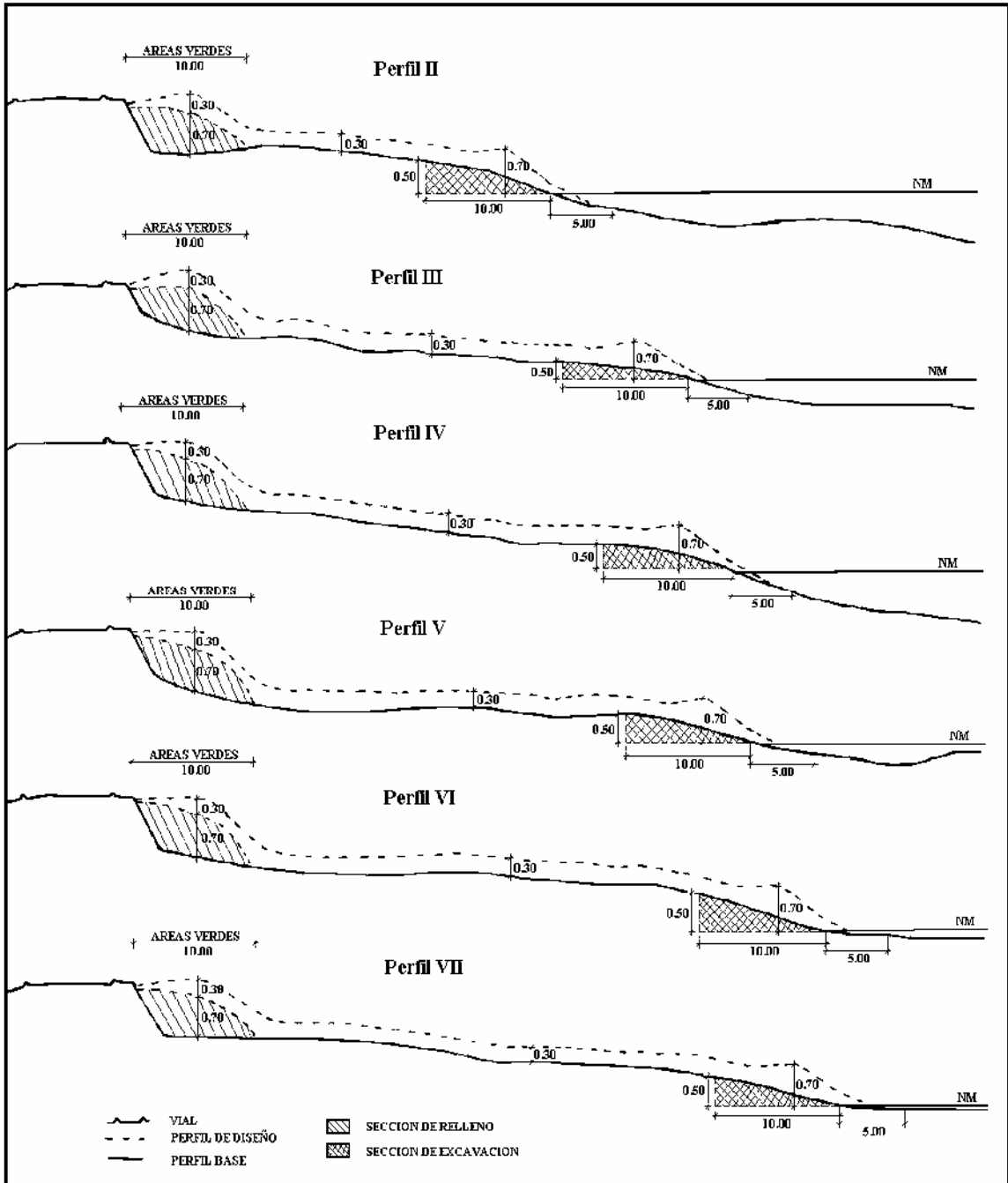
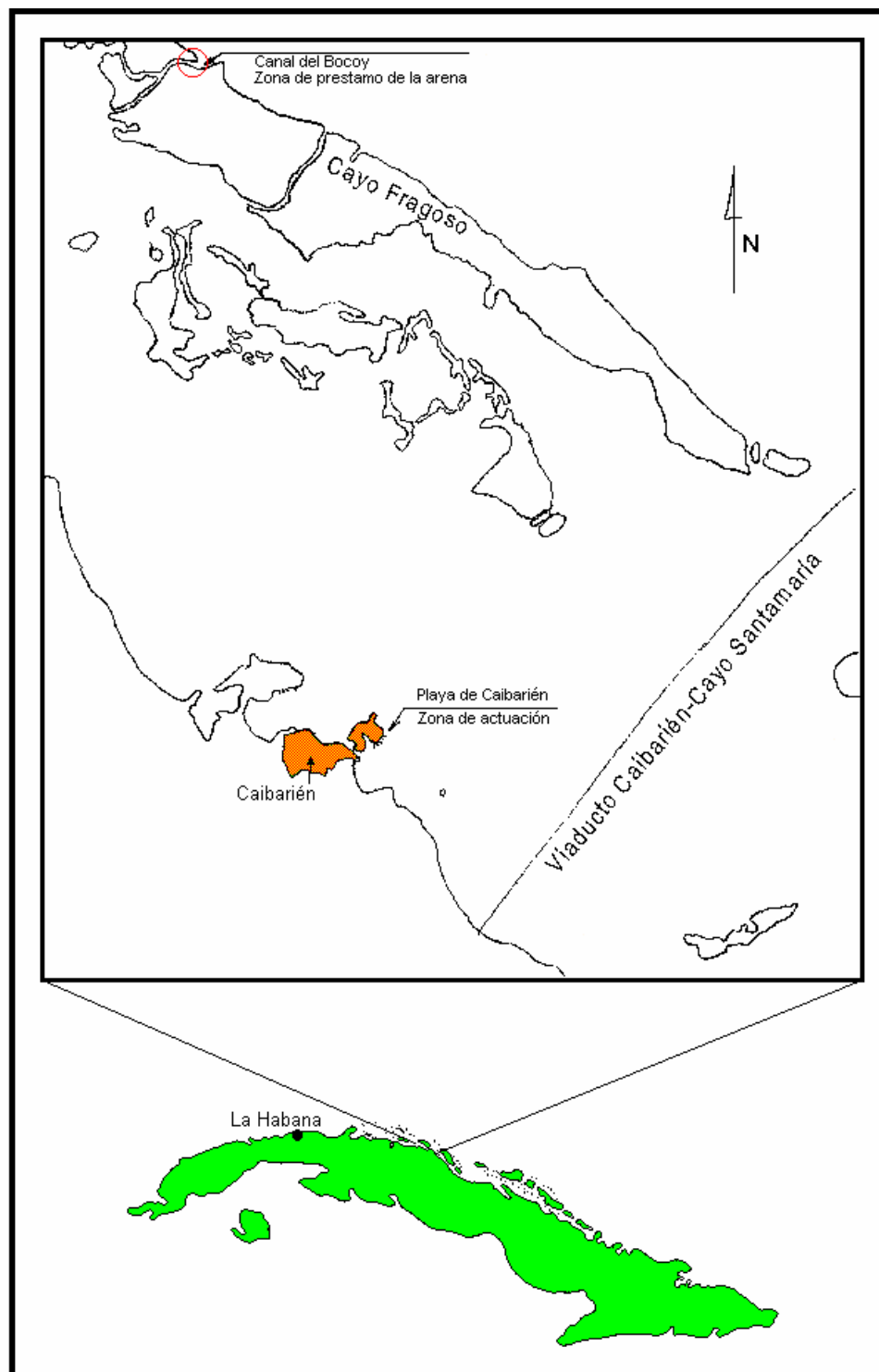


Fig. 23. Perfiles de diseño para el vertimiento de arena en la playa El Salto-Ganuja.



**Fig. 24. Esquema de ubicación de la playa de Caibarién.**



**Fig. 25. Estado actual de la playa de Caibarién.**

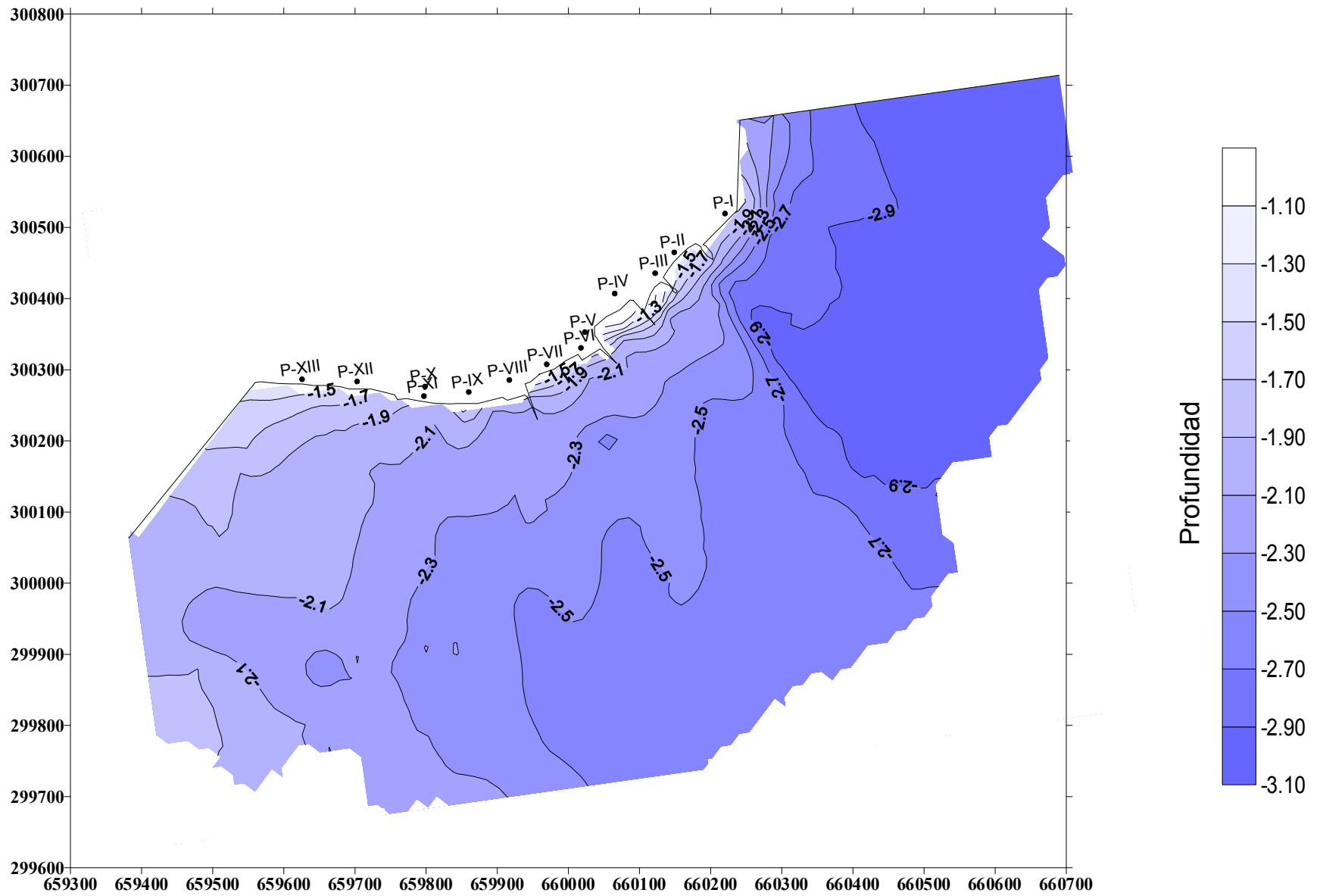


Fig. 26. Esquema batimétrico de la playa de Caibarién

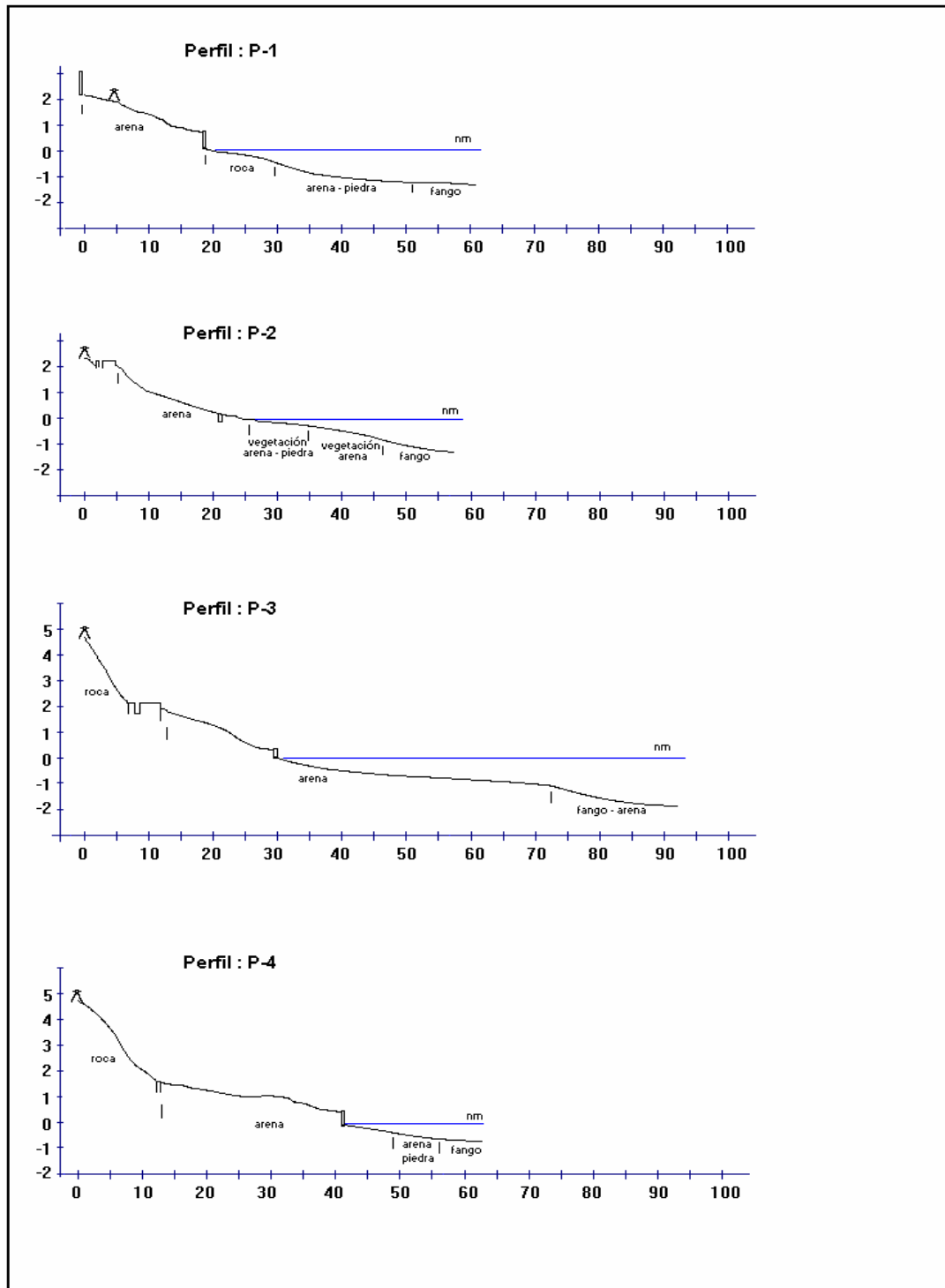
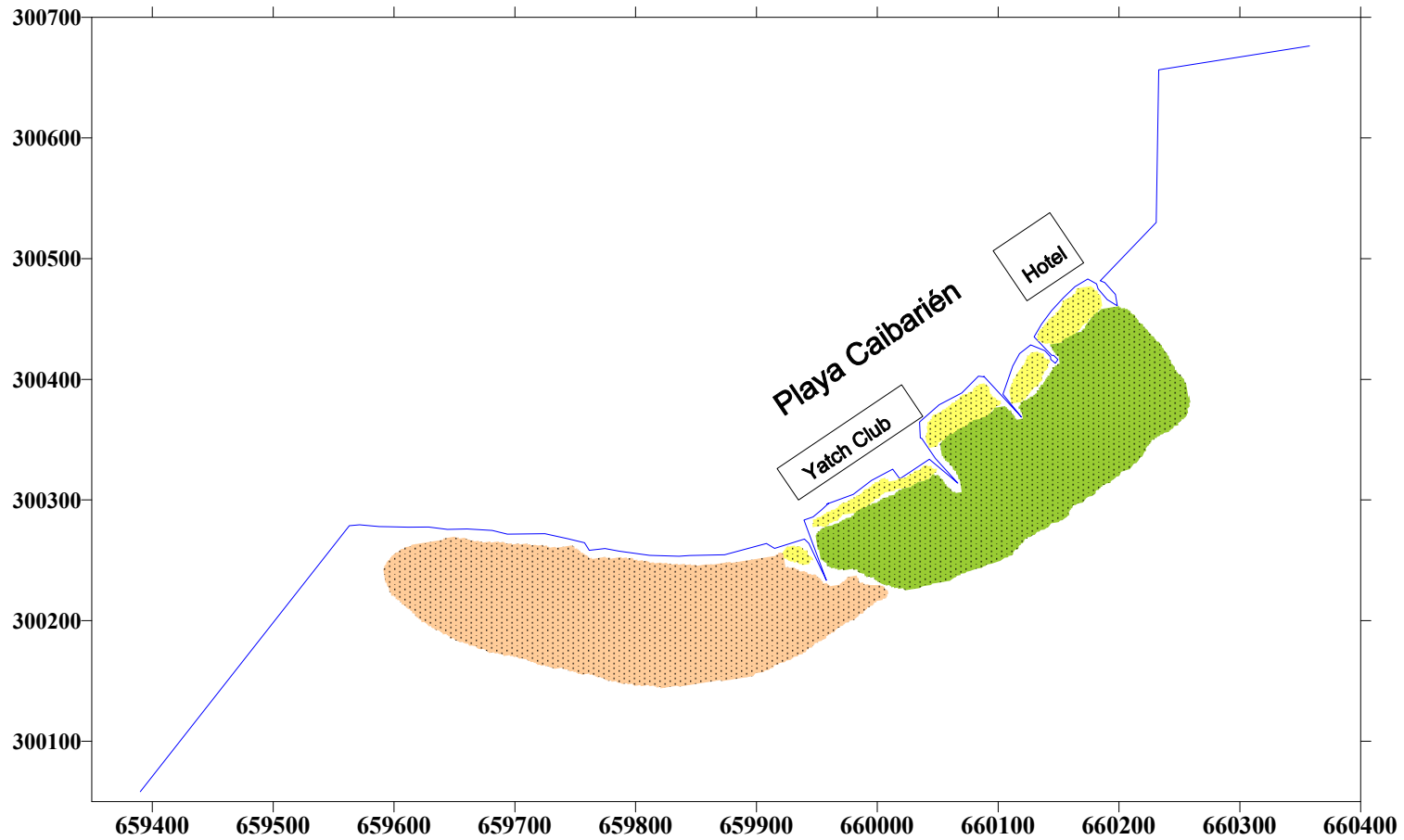
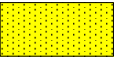
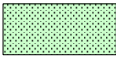
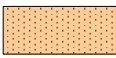


Fig. 27. Perfiles Costeros. Playa de Caibarién.



**Simbología**

-  Fondo arenoso
-  Fondo areno-fangoso
-  Fondo fangoso

**Fig. 28. Esquema cualitativo de tipos de fondo. Playa de Caibarién**

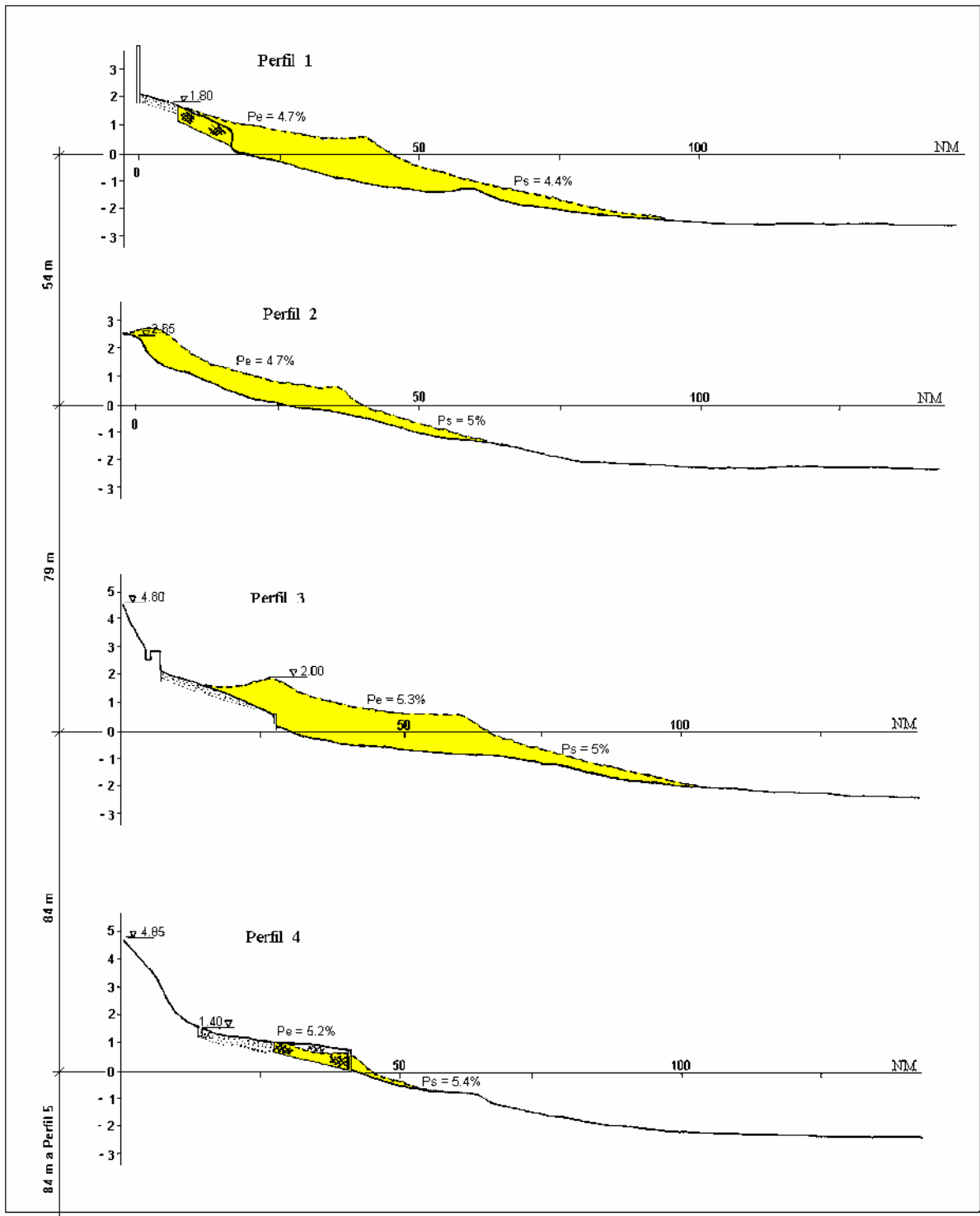




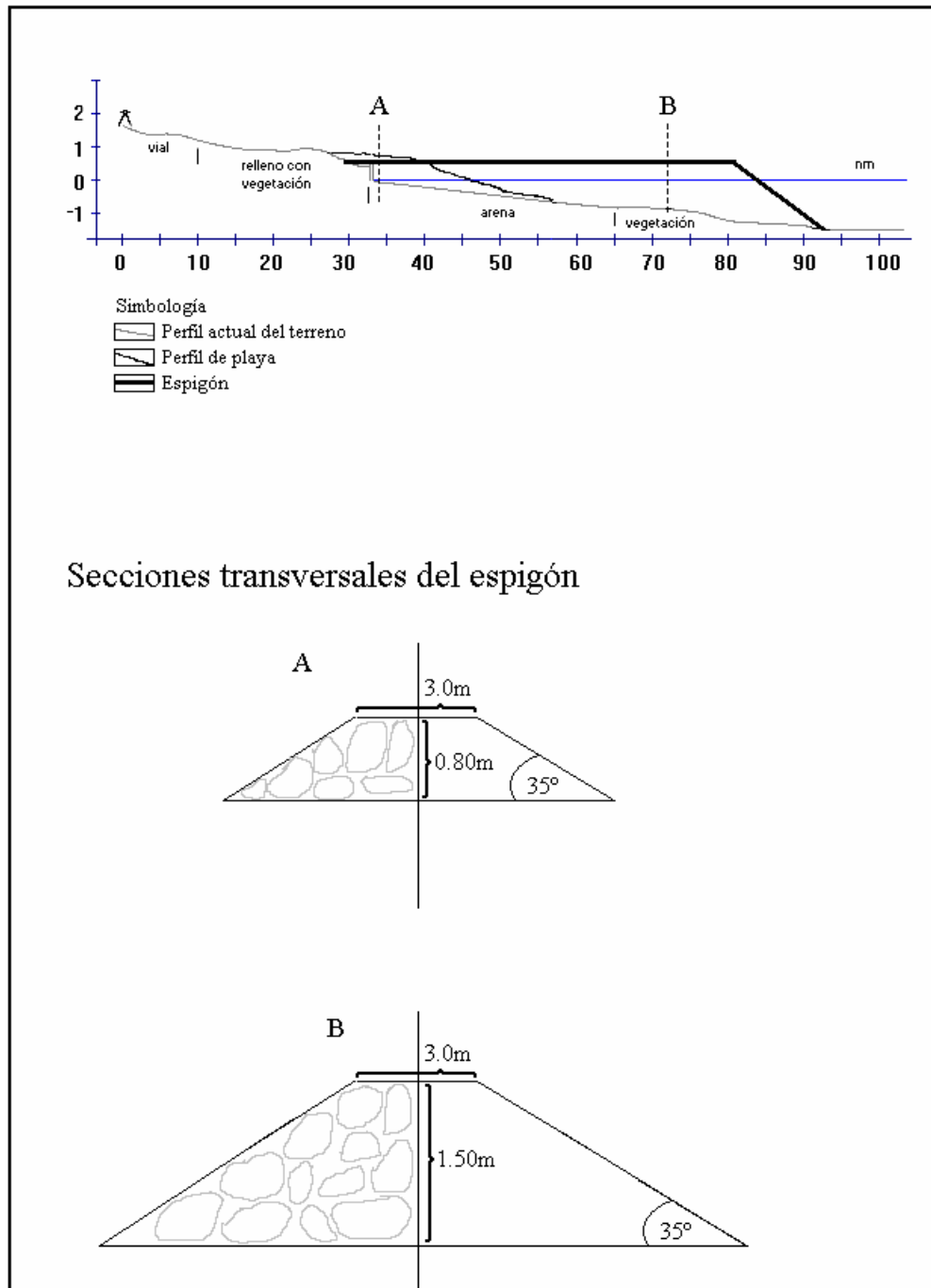
**Fig. 29b. Resultados de los experimentos de deriva litoral. Playa de Caibarién**



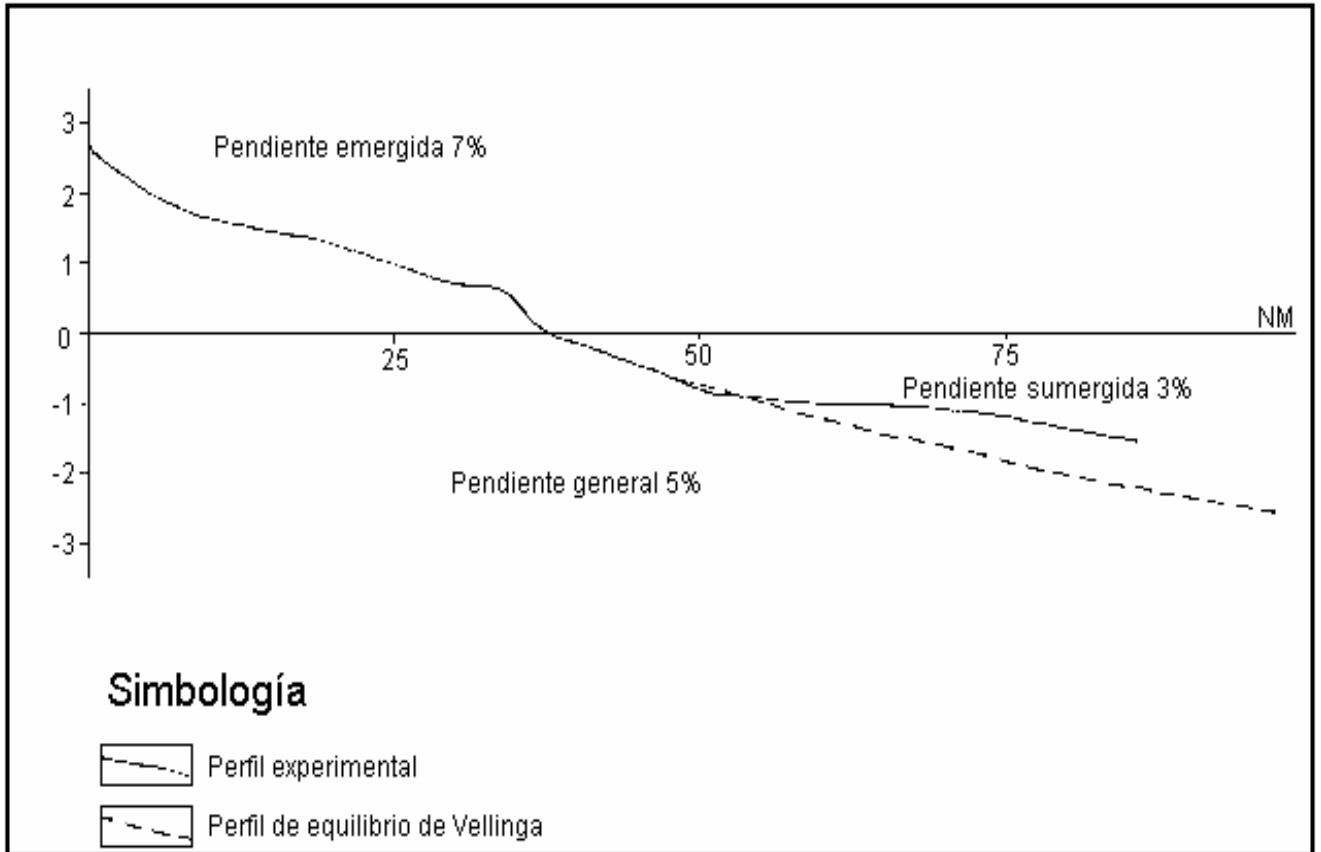
**Fig. 29a. Resultados de los experimentos de deriva litoral. Playa de Caibarién**



**Fig. 30. Perfiles de diseño para el vertimiento de arena en la playa de Caibarién.**



**Fig. 31. Diseño del espigón. Playa de Caibarién.**



**Fig. 32. Representación del perfil experimental y el perfil de equilibrio de la playa de Caibarién.**

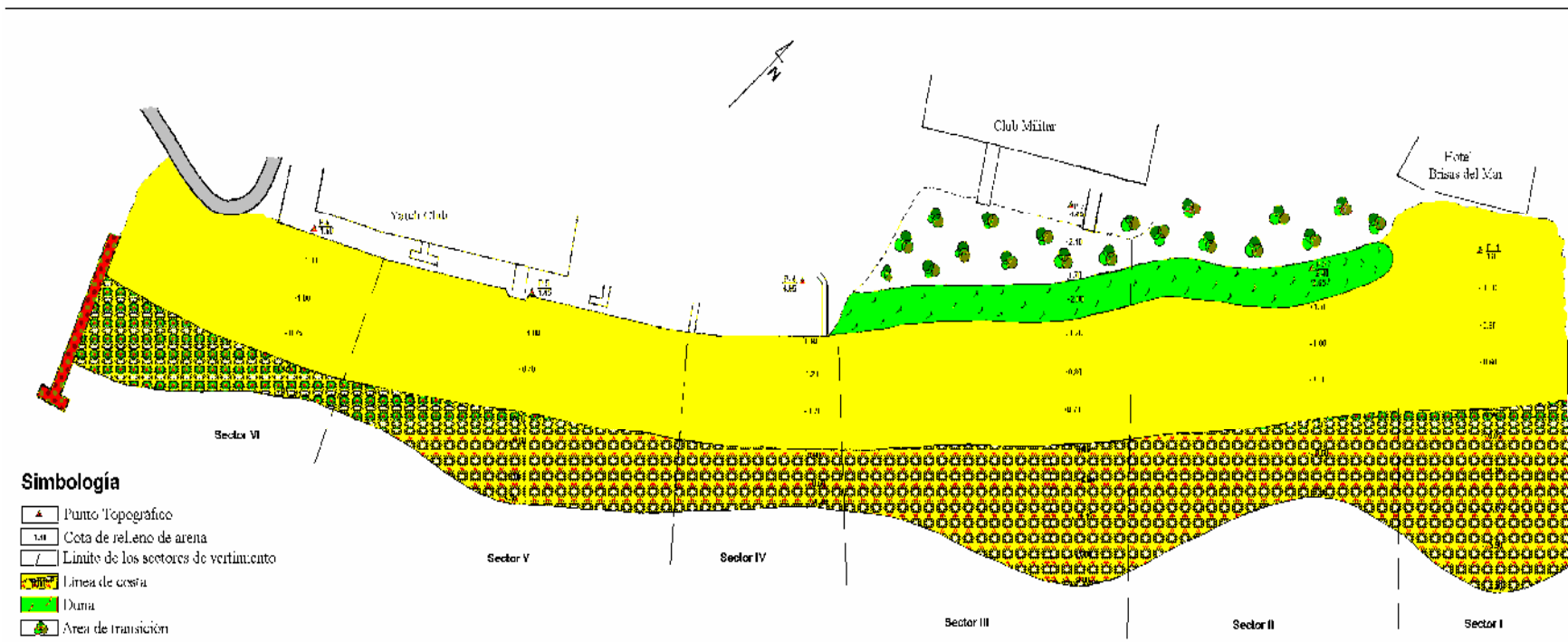


Fig. 33. Forma en planta de la playa regenerada. Playa de Caibarién.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las playas interiores inventariadas.

No.	Nombre de la playa	Provincia	Municipio	Costa	Coordenadas Geográficas	
					(Lat. Norte)	(Long. Oeste)
1	Bailén	P, del Río	Guane	S	22.114843	83.973212
2	Galafre	P. del Río	San Juan y M.	S	22.169525	83.905318
3	Pta de Cartas	P. del Río	San Luis	S	22.167962	83.826678
4	Las Canas	P. del Río	Pinar del Río	S	22.210130	83.598365
5	Majana	La Habana	Artemisa	S	22.691695	82.774866
6	Guanímar	La Habana	Alquizar	S	22.685439	82.651648
7	Cajío	La Habana	Güira de M.	S	22.681846	82.463866
8	Surgidero	La Habana	Batabanó	S	22.682938	82.295497
9	Mayabeque	La Habana	Melena del S	S	22.674413	82.152191
10	Rosario	La Habana	Güines	S	22.666619	82.038467
11	La Pepilla	La Habana	San Nicolás	S	22.674573	81.900148
12	Caimito	La Habana	San Nicolás	S	22.678547	81.877279
13	La Victoria	La Habana	Nueva Paz	S	22.632329	81.745725
14	Palo Alto	C. de Avila	Venezuela	S	21.597944	78.965155
15	Júcaro	C. de Avila	Venezuela	S	21.620172	78.850390
16	Florida	Camagüey	Florida	S	21.408309	78.569187
17	Jigüey	Camagüey	Esmeralda	N	21.912111	77.931101
18	Cunagua	C. de Avila	Bolivia	N	22.173682	78.307032
19	La Tinaja	C. de Avila	Morón	N	22.253564	78.474729
20	XI Festival	C. de Avila	Chambas	N	22.354988	78.768516
21	Punta Alegre	C. de Avila	Chambas	N	22.389582	78.776276
22	Victoria	S. Spíritus	Yaguajay	N	22.377544	79.199205
23	Caibarién	Villa Clara	Caibarién	N	22.520320	79.446684
24	Cayo Conuco	Villa Clara	Caibarién	N	22.540537	79.481909
25	Jinaguayabo	Villa Clara	Remedio	N	22.553509	79.528832
26	Juan Fco.	Villa Clara	Camajuaní	N	22.718071	79.637691
27	Nazabal	Villa Clara	Encrucijada	N	22.771496	79.748160
28	Jáquete	Villa Clara	Encrucijada	N	22.790626	79.797017
29	Piñón	Villa Clara	Encrucijada	N	22.842371	79.908699
30	Uvero	Villa Clara	S. la Grande	N	22.867422	79.934975
31	Isabela	Villa Clara	S. la Grande	N	22.940838	80.007713
32	Carahata	Villa Clara	Q. de Güines	N	22.915315	80.295231
33	La Panchita	Villa Clara	Corralillo	N	22.943823	80.414231
34	Sierra Morena	Villa Clara	Corralillo	N	22.908814	80.478675
35	Salto-Ganuza	Villa Clara	Corralillo	N	22.995206	80.538911
36	Santa María	P. del Río	La Palma	N	22.880747	83.424116
37	Río Blanco	P. del Río	La Palma	N	22.823618	83.584260
38	Pto Esperanza	P. del Río	Viñales	N	22.774416	83.732474
39	Río del Medio	P. del Río	Minas de M.	N	22.611255	84.080727
40	Las Canas	P. del Río	Pinar del Río	N	22.459255	84.280502
41	Pta Colorada	P. del Río	Sandino	N	22.086777	84.351344

Tabla 2. Valores de las pendientes calculadas en los perfiles de las playas interiores

<b>Playa</b>	<b>Perfil</b>	<b>Pendiente Emergida (tan)</b>	<b>Pendiente Sumergida (tan)</b>	<b>Pendiente General (tan)</b>
Bailén	1	0.012	0.013	0.013
Galafre	1	0.058	0.011	0.017
Las Canas Sur	1	0.044	0.016	0.026
	2	0.033	0.017	0.023
	3	0.011	0.017	0.013
	4	0.003	0.019	0.007
Majana	1	0.022	0.032	0.028
	2	0.021	0.028	0.018
Guanímar	1	0.002	0.023	0.018
Cajío	1	0.007	0.019	0.019
Surgidero	1	0.005	0.012	0.008
Mayabeque	1	0.019	0.015	0.021
Rosario	1	0.055	0.013	0.024
La Pepilla	1	0.055	0.011	0.017
Caimito	1	0.023	0.005	0.009
Palo Alto	1	0.014	0.014	0.014
Cunagua	1	0.056	0.006	0.010
La Tinaja	1	0.011	0.003	0.006
XI Festival	1	0.025	0.056	0.031
	2	0.023	0.046	0.027
	3	0.006	0.060	0.028
Pta Alegre	1	0.088	0.032	0.044
	2	0.081	0.035	0.048
	3	0.057	0.041	0.047
	4	0.118	0.028	0.058
	5	0.084	0.030	0.066
	6	0.058	0.029	0.043
	7	0.102	0.020	0.032
	8	0.042	0.025	0.032
	9	0.041	0.042	0.042
	11	0.057	0.064	0.062
	12	0.097	0.020	0.040
	13	0.146	0.010	0.027



Tabla 2. Continuación

<b>Playa</b>	<b>Perfil</b>	<b>Pendiente Emergida (tan)</b>	<b>Pendiente Sumergida (tan)</b>	<b>Pendiente General (tan)</b>
Cayo Conuco	1	0.070	0.031	0.044
Nazabal	1	0.084	0.015	0.019
Sierra Morena	2	0.036	0.014	0.019
	3	0.020	0.014	0.016
	4	0.008	0.016	0.014
Salto-Ganuza	2	0.053	0.021	0.027
	4	0.026	0.019	0.022
	5	0.028	0.021	0.024
	7	0.019	0.015	0.016
	9	0.015	0.012	0.013
	10	0.042	0.023	0.032
	12	0.028	0.020	0.016
	15	0.024	0.012	0.015
Santa Maria	1	0.037	0.010	0.014
Río Blanco	1	0.035	0.017	0.021
Canas Norte	1	0.046	0.004	0.008
Pta Colorada	1	0.066	0.015	0.022

	<b>Pendiente Emergida</b>	<b>Pendiente Sumergida</b>	<b>Pendiente General</b>
<b>Pendiente Máxima</b>	0.146	0.064	0.066
<b>Pendiente Mínima</b>	0.002	0.003	0.006
<b>Pendiente Media</b>	0.042	0.022	0.025
<b>Desviación standard</b>	0.032	0.014	0.014

Tabla 3. Variabilidad de las pendientes del perfil del terreno y el perfil de playa, En El Salto-Ganuzo, Las Canas y Punta Alegre.

Pp- postplaya, Ap- anteplaya, S- sumergida, G- general.

Playa Artificial El Salto-Ganuzo						Playa Artificial Las Canas					
	perfil	Pp (%)	Ap (%)	S (%)	G (%)		Perfil	Pp (%)	Ap (%)	S (%)	G (%)
Perfil Del Terreno	P-1	0.4	7.0	2.0	1.2	Perfil del Terreno	P-1	5.0	10.	2.0	3.0
	P-2	1.4	8.8	2.5	2.5		P-2	2.5	5.0	1.5	1.9
	P-3	0.9	10.0	1.7	2.3		P-3	2.5	3.3	2.0	2.2
	P-4	1.1	5.0	1.0	1.7		P-4	1.1	5.0	2.0	1.9
	P-5	0.7	10.0	1.0	2.4	Perfil de Playa	P-1	1.6	20.0	2.0	2.1
	P-6	1.8	4.4	1.2	1.4		P-2	1.1	16.0	1.5	2.7
	P-7	0.7	10.0	1.0	1.2		P-3	0.7	12.0	2.2	1.6
Perfil de Playa	P-1	0.4	16.0	2.52	2.6	P-4	0.8	15.0	5.0	2.2	
	P-2	1.0	14.2	2.0	4.5	<b>Playa Artificial Punta Alegre</b>					
	P-3	1.7	9.0	2.0	3.1	Perfil Del Terreno	P-1	2.5	6.0	5.6	3.6
	P-4	1.4	15.0	1.0	2.2		P-2	2.3	8.0	4.6	3.2
	P-5	0.8	10.0	1.0	1.9		P-3	0.6	3.6	6.0	2.9
	P-6	1.1	11.0	1.0	2.1	Perfil De Playa	P-1	1.0	15.0	7.0	3.0
	P-7	0.7	11.2	1.0	2.1		P-2	2.0	10.0	5.0	3.0
						P-3	3.0	12.0	6.0	4.0	

Intervalos de variabilidad de las pendientes del perfil de playa				
	Pp (%)	Ap (%)	S (%)	G (%)
Min.	0.4	9.0	1.0	1.6
Max.	3.0	20.0	7.0	4.5
Med.	1.4	10.1	2.6	2.4
Rango de correspondencia				
Perfil Del Terreno	Emergida (E) Sumergida (S)			
	4 %	3 %	<b>E=1S</b>	
Perfil De Playa	Emergida (E) Sumergida (S)			
	7 %	3 %	<b>E=4S</b>	

Tabla 4. Clasificación granulométrica de las muestras de sedimentos de 25 playas interiores.

<b>Playa</b>	<b>Md (mm)</b>	<b>So</b>	<b>Clasificación</b>
Bailén	0.23	1.41	Arena fina bien clasificada
Galafre	0.52	3.9	Arena gruesa mal clasificada
Las Canas Sur	0.33	1.52	Arena media bien clasificada
Majana	0.11	3.25	Limo areno aleurítico mal clasificada
Guanímar	0.05	1.36	Limo aleurítico bien clasificado
Cajío	0.05	1.25	Limo aleurítico bien clasificado
Surgidero	0.76	1.49	Arena gruesa bien clasificada
Mayabeque	1.29	1.35	Arena gruesa bien clasificada
Rosario	0.51	1.8	Arena gruesa bien clasificada
La Pepilla	1.35	1.49	Arena gruesa bien clasificada
Caimito	0.81	1.63	Arena gruesa bien clasificada
Palo Alto	0.5	3.3	Arena gruesa mal clasificada
Florida	0.52	3.53	Arena gruesa mal clasificada
Jigüey	0.7	2.1	Arena gruesa medianamente clasificada
Cunagua	0.72	2.8	Arena gruesa medianamente clasificada
La Tinaja	0.44	1.19	Arena media bien clasificada
Pta. Alegre	0.62	1.55	Arena gruesa bien clasificada
Caibarién	0.58	1.63	Arena gruesa bien clasificada
Cayo Conuco	0.69	1.52	Arena gruesa bien clasificada
El Salto-Ganuzá	0.8	1.32	Arena gruesa bien clasificada
Santa María	0.22	1.42	Arena fina bien clasificada
Río Blanco	0.16	1.39	Arena fina bien clasificada
Río del Medio	0.21	1.5	Arena fina bien clasificada
Las Canas Norte	0.34	1.24	Arena media bien clasificada
Pta. Colorada	0.38	1.44	Arena media bien clasificada

Tabla 5. Composición y génesis de los sedimentos de 25 playas interiores

<b>Playa</b>	<b>Biocomponentes</b>	<b>Elementos Terrígenos</b>	<b>Génesis</b>
Bailen	No existen	Leucoceno, circón, epidota y cuarzo	Terrígena
Galafre	No existen	Cuarzo, Leucoceno, circón y algunos litoclastos calcáreos	Terrígena
Las Canas Sur	No existen	Cuarzo, litoclastos calcáreos, circón y epidota	Terrígena
Majana	Abundantes moluscos y foraminíferos	No existen	Biogénica
Guanímar	Abundantes foraminíferos	No existen	Biogénica
Cajío	Abundantes foraminíferos	No existen	Biogénica
Surgidero	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
Mayabeque	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
Rosario	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
La Pepilla	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
Caimito	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
Palo Alto	No existen	Cuarzo, Leucoceno, circón y algunos litoclastos calcáreos	Terrígena
Florida	Muy escasos	Cuarzo, epidota y circón	Terrígena
Jigüey	Abundantes moluscos	Muy escasos	Biogénica
Cunagua	Abundantes moluscos y algunos foraminíferos	No existen	Biogénica
La Tinaja	Abundantes foraminíferos	No existen	Biogénica
Pta. Alegre	Abundantes Moluscos	Litoclastos calcáreos y cuarzo	Biogénica y Terrígena
Caibarién	Abundantes algas calcáreas	No existen	Biogénica
Cayo Conuco	Abundantes Moluscos	Litoclastos calcáreos	Biogénica y Terrígena
El Salto-Ganuja	Abundantes moluscos y foraminíferos	Cuarzo	Biogénica y Terrígena
Santa María	Muy escasos	Cuarzo, epidota y otros silicatos	Terrígena
Río Blanco	Muy escasos	Cuarzo, circón , epidota y litoclasto calcáreos	Terrígena
Río del Medio	No existen	Cuarzo, epidota y otros silicatos	Terrígena
Las Canas Norte	No existen	Abundante cuarzo	Terrígena
Pta. Colorada	No existen	Cuarzo Circón y Epidota	Terrígena

Tabla 6. Causas y Magnitud de los Procesos de Erosión en las Playas Interiores de Cuba.

Playas inventariadas		Causas de la erosión				Magnitud de la erosión					
41		Natural		Natural-Antrópica		Débil		Moderada		Intensa	
		3		38		4		24		13	
Costa N	Costa S	Costa N	Costa S	Costa N	Costa S	Costa N	Costa S	Costa N	Costa S	Costa N	Costa S
25	16	3	0	22	16	2	2	17	7	6	7

Tabla 7. Eventos meteorológicos que provocaron las inundaciones más intensas en el siglo XX en el tramo costero del Golfo de Batabanó. Mitrani *et al.* (2000).

<b>Fecha</b>	<b>Evento Meteorológico</b>
10-11/10/1909	Huracán
20/10/1926	Huracán
17-18/10/1944	Huracán
08/08/1979	Huracán "Frederic"
12/03/1993	Sur (tormenta del siglo)
07-08/10/1996	Sur
02/02/1998	Sur
04/11/1998	Huracán "Mitch"
14/10/1999	Huracán "Irene"

Tabla 8. Resumen estadístico del volumen de arena de los perfiles de la playa El Salto-Ganuja.  
(m<sup>3</sup> / longitud de playa asociada al perfil)

<b>Perfil Fecha</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
12/88	50.1	-----	82.3	58.3	79.8	86.0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3/89	51.9	62.3	80.5	56.6	-----	83.9	133.8	117.2	87.2	90.7	99.6	83.8	95.9	107.8	114.5
6/89	54.3	66.0	85.6	59.9	82.6	84.0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
10/89	57.8	65.9	87.0	63.0	84.3	86.3	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
4/90	48.9	65.6	84.9	59.3	83.4	85.7	-----	121.7	89.1	-----	104.2	-----	-----	-----	-----
9/90	50.2	63.4	86.9	55.7	86.9	85.4	152.9	128.1	91.2	-----	108.3	72.4	-----	-----	-----
12/90	48.9	63.0	97.7	58.4	79.9	86.0	153.4	120.8	85.0	100.4	110.2	81.6	-----	-----	-----
3/91	50.4	63.9	83.7	57.8	78.2	84.3	144.3	106.0	83.5	98.5	101.4	77.8	89.5	105.8	113.1
7/91	51.6	66.6	81.0	57.7	76.0	83.6	142.9	106.0	83.6	98.4	100.6	74.2	88.2	103.7	118.5
11/91	51.5	64.0	82.6	57.0	74.9	84.9	141.4	107.4	86.4	99.0	-----	79.6	88.7	105.4	113.8
4/92	51.9	64.3	81.3	60.0	80.4	85.8	145.4	107.2	86.3	99.2	103.6	76.6	89.7	103.6	119.8
10/92	49.0	63.1	82.4	56.7	74.4	82.8	141.3	106.6	86.4	99.6	102.2	79.5	89.4	106.8	117.5
9/93	47.5	63.4	80.0	56.9	75.4	82.8	147.1	104.8	85.2	93.4	102.8	79.7	91.3	105.4	118.6
3/94	45.1	63.4	-----	56.9	76.1	83.8	144.0	106.6	97.3	-----	101.4	79.2	89.2	104.8	118.4
10/94	45.2	63.0	85.1	61.1	76.8	86.6	141.9	105.9	86.8	98.2	99.9	82.4	93.0	106.4	118.4
1/95	43.5	63.9	-----	63.2	79.0	86.1	143.4	106.2	86.4	100.0	100.8	79.3	90.7	106.6	115.1
3/95	46.0	63.8	-----	61.0	78.2	85.7	144.5	105.7	85.3	100.2	101.6	85.5	91.9	106.9	-----
10/95	45.2	64.3	-----	59.4	-----	88.8	147.1	106.8	87.2	100.1	105.4	81.3	-----	106.9	-----
09/00	46.3	61.4	79.6	59.8	84.4	85.4	142.9	99.9	82.4	98.2	105.0	77.4	90.9	107.5	119.9

Tabla 9. Valores de las pendientes de los perfiles de la playa El Salto-Ganuzá.  
 Pe- Pendiente emergida (tan), Ps- Pendiente sumergida (tan)

<b>Perfil</b>	<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		<b>5</b>		<b>6</b>	
<b>Mes/Año</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>
12/87	0.045	0.012	0.017	0.014	0.021	0.018	0.020	0.012	0.023	0.011
12/88	0.052	-	-	-	0.030	-	0.026	-	0.038	-
3/89	0.039	-	0.031	-	0.033	-	0.036	-	0.033	-
6/89	0.034	0.017	0.020	0.027	0.019	0.033	0.036	0.016	0.029	0.009
10/89	0.040	0.028	0.026	0.026	0.019	0.045	0.017	0.011	0.025	0.011
4/90	0.056	0.012	0.026	0.021	0.019	0.022	0.029	0.013	0.031	0.006
9/90	0.050	0.022	0.029	0.025	0.022	0.028	0.044	-	0.019	0.000
12/90	0.056	0.010	0.033	0.016	0.003	0.002	0.036	0.010	0.037	0.007
3/91	0.038	0.019	0.033	0.016	0.030	0.028	0.024	0.013	0.037	0.006
7/91	0.036	0.030	0.013	0.008	0.026	0.024	0.029	0.015	0.031	0.010
11/91	0.047	0.017	0.024	0.013	0.029	0.018	0.031	0.013	0.042	0.009
4/92	0.041	0.024	0.027	0.022	0.025	0.022	0.020	0.016	0.037	0.010
10/92	0.056	0.018	0.026	0.023	0.027	0.026	0.029	0.016	0.041	0.009
9/93	0.068	0.021	0.028	0.023	0.026	0.025	0.028	0.015	0.034	0.009
3/94	0.078	0.013	0.034	0.010	-	-	0.033	0.013	-	-
10/94	0.061	0.031	0.026	0.018	0.025	0.026	0.019	0.019	0.032	0.013
1/95	0.074	0.028	0.026	0.022	-	-	0.021	0.015	0.033	0.009
3/95	0.051	0.034	0.027	0.017	-	-	0.022	0.016	0.034	0.006
10/95	0.064	0.025	0.028	0.024	-	-	0.026	0.030	-	-

<b>Perfil</b>	<b>7</b>		<b>8</b>		<b>9</b>		<b>10</b>		<b>11</b>	
<b>Mes/Año</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>	<b>Pe</b>	<b>Ps</b>
12/87	0.022	0.011	-	-	-	-	-	-	-	-
12/88	0.021	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/89	0.022	-	0.014	0.007	0.024	0.011	0.012	0.020	0.014	0.023
6/89	0.024	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-
10/89	0.016	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-
4/90	0.020	0.009	0.015	0.004	0.015	0.005	0.020	0.018	-	-
9/90	0.015	0.022	0.005	0.008	0.012	0.002	0.016	0.025	-	-
12/90	0.020	0.013	0.011	0.010	0.020	0.010	0.032	0.020	0.006	0.018
3/91	0.020	0.015	0.014	0.018	0.025	0.013	0.035	0.015	0.013	0.010
7/91	0.025	0.011	0.014	0.012	0.024	0.008	0.031	0.024	0.013	0.028
11/91	0.030	0.012	0.017	0.014	0.030	0.015	0.025	0.017	0.015	0.015
4/92	0.018	0.011	0.013	0.005	0.022	0.006	0.023	0.015	0.010	0.011
10/92	0.021	0.011	0.012	0.012	0.023	0.011	0.024	0.020	0.010	0.020
9/93	0.024	0.012	0.014	0.014	0.024	0.012	0.027	0.022	0.016	0.018
3/94	0.029	0.012	0.019	0.012	0.030	0.004	0.033	0.019	0.016	0.018
10/94	0.020	0.010	0.015	0.013	0.026	0.009	0.026	0.017	0.012	0.015
1/95	0.019	0.012	0.015	0.006	0.038	0.010	0.033	0.008	0.017	0.020
3/95	0.019	0.014	0.015	0.013	0.031	0.013	0.034	0.018	0.021	0.019
10/95	0.018	0.008	0.013	0.013	0.027	0.012	0.027	0.023	0.011	0.018



Tabla 9. Continuación

<b>Perfil</b>	<b>12</b>		<b>13</b>		<b>14</b>		<b>15</b>		<b>16</b>	
<b>Mes/Año</b>	<b>P e</b>	<b>P s</b>	<b>P e</b>	<b>P s</b>	<b>P e</b>	<b>P s</b>	<b>P e</b>	<b>P s</b>	<b>P e</b>	<b>P s</b>
12/87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12/88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/89	0.026	0.013	0.030	0.014	0.027	0.015	0.018	0.013	0.018	0.013
6/89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10/89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4/90	0.019	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-
9/90	0.014	0.014	0.040	0.011	-	-	-	-	-	-
12/90	0.019	0.011	0.033	0.007	-	-	-	-	-	-
3/91	0.022	0.011	0.035	0.011	0.032	0.012	0.013	0.014	0.018	0.012
7/91	0.020	0.014	0.036	0.011	0.025	0.010	0.015	0.009	0.008	0.009
11/91	0.018	0.012	0.035	0.011	0.031	0.013	0.013	0.011	0.018	0.013
4/92	0.016	0.011	0.029	0.007	0.020	0.012	0.013	0.009	0.008	0.008
10/92	0.018	0.015	0.024	0.009	0.024	0.015	0.016	0.014	0.016	0.010
9/93	0.017	0.013	0.030	0.014	0.025	0.009	0.013	0.015	0.009	0.012
3/94	0.023	0.012	0.035	0.014	0.023	0.012	0.015	0.014	0.020	0.006
10/94	0.019	0.018	0.025	0.016	0.019	0.013	0.014	0.010	0.013	0.010
1/95	0.024	0.012	0.037	0.005	0.031	0.004	0.021	0.012	0.022	0.007
3/95	0.024	0.002	0.022	0.013	0.018	0.014	0.013	0.014	-	-
10/95	0.017	0.013	0.028	0.012	-	-	0.012	0.012	0.005	0.004

Tabla 10. Resumen estadístico de la distancia (m) y el desnivel (m) al punto de inflexión en la playa El Salto-Ganuja.

Perfil	2		3		4		5		6	
	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel
12/90	17.0	1.03	24.0	0.96	33.2	0.27	22.5	0.86	29.3	1.30
03/91	18.6	0.71	24.0	1.11	32.0	1.06	20.6	0.83	28.6	1.32
7/91	21.0	0.97	24.6	0.63	34.0	1.21	22.0	0.88	24.5	1.28
11/91	20.3	1.00	24.8	0.98	35.7	1.37	26.7	1.03	24.8	1.29
4/92	18.5	1.07	24.0	0.94	34.0	1.17	24.0	0.83	24.5	1.18
10/92	29.0	1.32	23.5	0.90	33.0	1.14	20.0	0.86	22.0	1.17
9/93	16.0	1.17	25.1	0.99	34.0	1.20	22.5	0.91	23.7	1.27
3/94	16.0	1.31	28.5	1.17	-----	-----	27.3	1.11	26.0	1.32
10/94	17.9	1.39	24.3	0.92	31.3	1.01	23.3	0.80	25.2	1.20
1/95	18.8	1.46	24.5	0.95	-----	-----	24.0	0.82	25.7	1.20
3/95	26.7	1.33	24.0	0.95	-----	-----	23.0	0.77	26.0	1.21
10/95	18.5	1.33	23.4	0.91	-----	-----	23.1	0.85	-----	-----
09/00	17.3	1.22	24.8	0.99	32.2	1.14	31.1	0.91	29.3	1.17

Perfil	7		8		9		10		11	
	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel
12/90	39.5	1.15	59.0	1.02	48.5	1.27	32.5	1.34	33.2	0.79
03/91	37.5	1.22	58.0	1.27	49.0	1.60	33.0	1.50	33.5	0.86
7/91	34.0	1.08	52.0	1.00	45.3	1.47	32.0	1.29	33.5	0.95
11/91	34.0	1.16	54.8	1.18	47.0	1.56	33.1	1.34	34.0	0.93
4/92	36.5	1.18	52.5	1.09	48.0	1.52	33.0	1.31	33.0	0.88
10/92	31.0	1.12	52.0	1.10	45.5	1.53	32.0	1.30	32.0	0.83
9/93	29.0	1.15	54.0	1.11	41.0	1.53	32.0	1.34	30.8	1.03
3/94	33.5	1.16	53.5	1.12	42.0	1.46	33.5	0.85	33.5	0.85
10/94	32.4	1.04	54.1	0.95	40.0	1.49	30.8	1.17	32.0	0.75
1/95	35.0	1.04	54.0	1.16	41.0	1.50	31.5	1.25	34.5	0.90
3/95	35.5	1.13	54.0	1.14	43.0	1.52	33.0	1.28	35.0	0.92
10/95	34.5	0.91	52.0	1.03	41.8	1.34	36.0	1.12	33.0	0.75
09/00	29.6	0.98	53.0	1.15	35.0	1.51	31.0	1.14	36.1	0.98

Perfil	12		13		14		15		16	
	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel	Dist.	Desnivel
12/90	41.20	1.04	25.7	1.11	----	-----	-----	-----	-----	-----
03/91	38.5	1.23	26.0	1.22	31.0	1.09	32.5	0.82	38.0	0.92
7/91	36.0	1.14	28.0	1.30	33.0	1.19	34.0	0.94	38.0	0.80
11/91	39.2	1.20	29.0	1.26	32.6	1.17	34.0	0.87	37.0	0.93
4/92	39.0	1.16	29.0	1.27	32.5	1.16	34.0	0.90	39.5	0.90
10/92	35.5	1.12	30.5	1.21	32.5	1.06	34.0	0.77	36.0	0.74
9/93	40.0	1.20	33.0	1.32	35.5	1.13	35.3	0.88	38.0	0.86
3/94	39.0	1.18	32.0	1.34	35.0	1.11	36.0	0.89	38.0	0.88
10/94	39.5	1.12	34.0	1.15	35.4	1.10	36.2	0.82	38.0	0.86
1/95	41.0	1.29	34.0	1.33	36.0	1.23	37.0	0.94	37.0	0.94
3/95	42.5	1.24	35.0	1.12	34.5	1.15	36.0	0.82	----	-----
10/95	40.0	1.11	33.0	1.14	-----	-----	35.0	0.86	----	-----
09/00	42.6	1.26	32.4	1.41	42.1	1.33	42.4	1.11	41.6	0.89

Tabla 11. Valores propios y porcentaje de la varianza de cada componente principal.

\* Componentes principales significativas.

<b>Componente Principal</b>	<b>Valor Propio</b>	<b>Porcentaje que representa de la variación total de los datos (%)</b>	<b>Varianza Acumulada %</b>
2*	2.28	40	40
3*	1.69	30	70
4*	0.78	14	84
5	0.40	7	91
6	0.28	4	95
7	0.11	2	97
8	0.07	1.2	98.2
9	0.03	0.5	98.7
10	0.02	0.3	99
11	0.01	0.2	99.2
12	0.002	0.03	99.32

Tabla 12. Parámetros y calidad de ajuste de las expresiones  $h(x) = Ax^m$  y  $h(x) = B(1 - e^{-kx})$  para un conjunto de 34 perfiles de las playas interiores

No.	Playa	Provincia	Md (mm)	Bodge			Dean		
				B	k	e (%)	A	m	e (%)
1	Bailén	P. Río	0.18	1.320	0.030	4.746	0.142	0.500	2.680
2**	Galafre	P. Río	0.17	1.090	0.13	0.464	0.395	0.260	1.175
4	Canas Sur	P. Río	0.33	7.797	0.002	2.086	0.038	0.847	2.737
5	Majana-E	S. Habana	0.11	10.055	0.004	0.334	0.047	0.921	0.455
5	Majana-W	S. Habana	0.11	1.608	0.027	0.440	0.112	0.605	0.275
8*	Surgidero	S. Habana	0.10	0.963	0.263	1.102	0.483	0.174	0.408
9**	Mayabeque	S. Habana	1.29	1.151	1.151	0.366	0.435	0.239	2.206
12*	Caimito	S. Habana	0.81	0.935	0.041	5.135	0.216	0.309	0.627
14	Palo Alto	C. Avila	0.17	26.920	0.0005	2.570	0.047	0.912	2.632
18**	Cunagua	C. Ávila	0.72	0.810	0.053	0.313	0.170	0.340	1.530
19*	Tinaja	C. Avila	0.44	0.966	0.097	1.370	0.341	0.242	0.111
20*	XI festival	C. Avila	0.93	1.460	0.06	0.709	0.230	0.480	0.163
21*	Punta Alegre	C. Avila	0.26	1.680	0.033	0.429	0.120	0.620	0.143
23	Caibarién	V. Clara	0.58	1.307	0.084	0.205	0.224	0.486	0.384
24*	Cayo Conuco	V. Clara	0.37	1.422	0.075	1.525	0.232	0.494	0.149
27	Nazabal	V. Clara	1.83	14.010	0.001	1.037	0.019	0.890	1.688
34	Sierra Morena	V. Clara	0.17	2.081	0.0129	0.786	0.559	0.729	0.630
35*	Salto P-2	V. Clara	0.16	1.492	0.039	0.147	0.174	0.564	0.004
35*	Salto P-3	V. Clara	0.16	1.513	0.037	1.033	0.736	0.590	0.032
35*	Salto P-4	V. Clara	0.19	1.345	0.036	0.621	0.132	0.575	0.034
35*	Salto P-5	V. Clara	0.18	1.463	0.025	1.152	0.049	0.790	0.466
35*	Salto P-6	V. Clara	0.17	2.724	0.016	1.098	0.023	0.890	0.853
35	Salto P-7	V. Clara	0.16	3.215	0.006	2.617	0.048	0.740	2.051
35*	Salto P-8	V. Clara	0.15	3.916	0.018	1.956	0.454	0.190	0.118
35	Salto P-9	V. Clara	0.17	1.081	0.021	5.080	0.122	0.444	2.596
35	Salto P-10	V. Clara	0.17	1.885	0.019	1.448	0.264	0.390	1.365
35	Salto P-12	V. Clara	0.16	2.131	0.009	4.772	0.072	0.690	3.614
35*	Salto P-13	V. Clara	0.16	2.198	0.008	1.076	0.056	0.780	0.637
35	Salto P-14	V. Clara	0.15	2.421	0.006	5.543	0.069	0.550	4.851
35	Salto P-15	V. Clara	0.14	2.303	0.007	5.400	0.072	0.605	4.120
36*	Santa María	P. Río	0.22	1.457	0.015	1.321	0.732	0.594	0.402
37*	Río Blanco	P. Río	0.16	1.420	0.031	0.485	0.125	0.580	0.129
40	Canas Norte	P. Río	0.24	0.955	0.535	2.496	0.224	0.317	3.021
41	Pta Colorada	P. Río	0.19	1.869	0.015	1.844	0.062	0.698	1.312

\* Expresión potencial significativamente superior

\*\* Expresión exponencial significativamente superior

Tabla 13. Datos estadísticos de los parámetros y la calidad de ajuste de las expresiones  $h(x) = Ax^m$  y  $h(x) = B(1 - e^{-kx})$

<b>Datos Estadísticos</b>	<b>B</b>	<b>k</b>	<b>A</b>	<b>m</b>	<b>e%(Dean)</b>	<b>e%(Bodge)</b>
<b>Media</b>	3.44	0.10	0.21	0.56	1.30	1.79
<b>Mínimo</b>	0.81	0.0005	0.02	0.17	0.004	1.15
<b>Máximo</b>	26.9	1.15	0.73	0.92	4.10	5.40
<b>Rango</b>	26.1	1.15	0.71	0.75	4.09	5.25
<b>Desviación Estándar</b>	5.62	0.24	0.18	0.21	1.24	1.73

Tabla 14. Parámetros técnicos para el vertimiento de arena en la playa El Salto-Ganuja.

<b>Arena</b>	<b>Diámetro medio (mm)</b>	<b>Distancia de cierre del perfil dinámico (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>/m lineal)</b>
Nativa	0.40	143	-
Introducida (I)	0.50	119	6
Introducida (II)	0.20	194	54

Tabla 15. Resumen de las actuaciones costeras aplicadas en las Playas Interiores de Cuba.

<b>Actuación costera</b>	<b>Numero de playas</b>
Muros de Protección	26
Alimentación Artificial de Playa	3
Ausencia de Actuación	12

Tabla 16. Resultados del análisis textural de las muestras de sedimento. Playa El Salto-Ganuja. A-Arena; AL-Arena Limosa; LA-Limo Arenoso.

<b>Muestra</b>	<b>Arenas (%)</b>	<b>Limos (%)</b>	<b>Arcillas (%)</b>	<b>Clasificación.</b>
1	86.20	11.62	2.18	A
2	54.88	44.32	0.80	AL
3	58.12	41.58	0.30	AL
4	77.48	20.52	2.00	A
5	80.44	19.26	0.30	A
6	72.16	23.64	4.20	AL
7	83.16	10.64	6.20	A
8	79.28	20.22	0.50	A
9	70.40	29.50	0.10	AL
10	60.68	39.22	0.10	AL
11	85.36	13.84	0.80	A
12	86.80	10.90	2.30	A
13	86.92	10.78	2.30	A
14	82.00	17.80	0.20	A
15	96.44	0.86	2.70	A
16	77.72	19.88	2.40	A
17	84.84	14.06	1.10	A
18	64.98	33.92	1.10	AL
19	84.71	14.19	1.10	A
20	72.82	26.98	0.20	A
21	77.31	20.89	1.80	A
22	62.89	35.31	1.80	AL
23	66.14	30.06	3.80	AL
24	79.91	19.89	0.20	A
25	71.64	28.26	0.10	A
26	65.01	34.09	0.90	AL
27	67.70	32.10	0.20	AL
28	65.70	33.40	0.90	AL
29	53.63	44.67	1.70	AL
30	78.25	21.65	0.10	A
31	65.37	33.73	0.90	AL
32	65.42	33.68	0.90	AL
33	73.23	25.17	1.60	A
34	80.33	19.17	0.50	A
35	82.43	17.37	0.20	A
36	85.21	13.99	0.80	A
37	69.58	30.32	0.10	AL
38	48.92	49.08	2.00	LA
39	70.45	29.45	0.10	AL
40	85.15	14.05	0.80	A
41	73.27	25.13	1.60	A
42	46.70	50.10	3.20	LA
43	71.52	28.38	0.10	A
44	68.51	31.29	0.20	AL
45	71.94	27.96	0.10	A
46	62.85	37.04	0.10	AL
47	74.16	23.73	2.10	A
48	89.57	10.32	0.10	A
49	70.15	29.74	0.10	AL
50	63.55	34.64	1.80	AL



Tabla 16. Continuación

<b>Muestra</b>	<b>Arenas (%)</b>	<b>Limos (%)</b>	<b>Arcillas (%)</b>	<b>Clasificación.</b>
51	54.81	44.38	0.80	AL
52	70.78	29.11	0.10	AL
53	65.56	33.53	0.90	AL
54	72.52	27.27	0.20	A
55	72.01	27.98	0.20	A
56	72.62	27.27	0.10	A
57	73.75	26.14	0.10	A
58	74.17	25.72	0.10	A
59	77.30	22.59	0.10	A
60	99.11	0.54	0.00	A

Tabla 17. Resultados del análisis de restos orgánicos para algunas muestras de sedimento. Playa El Salto-Ganuja. Fo-Foraminíferos; Mo-Moluscos; Al-Algas Calcáreas; O.G.-Otros grupos; R.O.-Restos Orgánicos; R.I.-Restos Inorgánicos.

<b>No. de Muestra</b>	<b>Fo (%)</b>	<b>Mo (%)</b>	<b>Al (%)</b>	<b>OG (%)</b>	<b>RO (%)</b>	<b>RI (%)</b>
3	27.50	54.16	6.83	5.15	93.64	6.33
11	31.33	25.66	27.33	3.03	87.35	12.50
12	0.50	36.00	27.00	3.00	76.50	10.50
13	30.83	24.33	23.00	2.16	90.32	9.66
14	29.75	41.00	19.75	2.50	93.00	7.00
15	22.25	46.25	20.00	0.00	88.50	11.50
16	21.00	49.00	19.50	2.00	91.50	8.50
17	23.50	43.00	15.16	5.30	86.96	13.00
18	26.33	27.33	20.33	1.43	75.42	24.50
26	28.66	33.66	14.06	1.65	77.97	22.00
37	28.83	41.16	12.83	1.49	84.31	15.66
42	25.66	42.00	13.66	2.49	83.81	16.16
54	22.66	52.50	15.60	4.16	94.92	5.00
58	38.00	44.16	6.00	3.66	91.82	8.16
60	29.50	54.83	10.00	1.49	95.82	4.16

Tabla 18. Parámetros técnicos de los sectores de vertimiento de arena. Playa de Caibarién.

<b>Sectores</b>	<b>Longitud de costa (m)</b>	<b>Area de playa seca (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen total de arena (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen / m lineal de costa (m<sup>3</sup>)</b>
I	60	2 700	4 020	67.00
II	86	2 981	3 354	39.00
III	95	3 230	7 410	78.00
IV	48	1 440	446	9.30
V	104	3 120	3 993	38.40
VI	80	2 800	2 147	26.80
<b>Total</b>	<b>473</b>	<b>16 271</b>	<b>21 370</b>	-

Tabla 19. Etapas y actividades del proyecto para la creación de la playa artificial El Salto-Ganuja.

ETAPAS	PERIODOS	ACTIVIDADES
ETAPA INVESTIGATIVA	Junio 1987-Mayo 1988	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabajos topográficos para obtener el perfil base, la configuración de la línea de costa y la morfometría de la pendiente submarina.</li> <li>- Muestreo del sedimento superficial del fondo y muestreo cualitativo de los organismos bentónicos.</li> <li>- Experimentos de deriva litoral y transporte de sedimentos.</li> <li>- Definición del funcionamiento del sistema costero.</li> </ul>
ETAPA DE ELABORACION DEL PROYECTO	Dic. 1987-Mayo 1988	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definición del perfil base y del perfil de playa a conformar.</li> <li>- Definición de los volúmenes de arena a verter.</li> <li>- Definición del tipo de arena a verter.</li> <li>- Definición de las zonas de extracción de arena.</li> <li>- Elaboración del programa de vertimiento de arena.</li> </ul>
ETAPA DE EJECUCION DEL PROYECTO	Mayo 1988-Julio 1988	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se deprime una franja de 10 m de ancho en la zona intermareal, extrayendo el material nativo hasta 0.50 m de espesor, como parte de la preparación del perfil base para el vertimiento de arena.</li> </ul>
	Agosto 1988-Febrero 1989	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vertimiento de 60 000 m<sup>3</sup> de arena para la conformación de 1 800 m de playa.</li> <li>- Colocación de 9 espigones construidos con sacos rellenos de arena para retener el material transportado por la deriva litoral.</li> </ul>
	Marzo 1989-Junio 1989	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comienza a ser usada la playa como recurso turístico.</li> <li>- Se realizan los trabajos de forestación de la duna.</li> <li>- Se establece el programa de limpieza de la playa.</li> </ul>
ETAPA DE MONITOREO DEL PROYECTO	Junio 1989-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control del perfil de playa y la configuración de la línea de costa.</li> <li>- Control granulométrico.</li> <li>- Control del efecto de los espigones.</li> <li>- Control de los volúmenes de pérdida de arena.</li> <li>- Control fotográfico.</li> <li>- Evaluación de la efectividad del proyecto.</li> <li>- Elaboración del programa de mantenimiento de la playa.</li> </ul>



Foto 1. Playa Punta de Carta, Pinar del Río. Desaparición parcial de la franja de arena por efecto del oleaje sobre las construcciones costeras.



Foto 2. Playa Galafre, Pinar del Río. Instalaciones construidas sobre la duna y muy próximas a la línea de costa.



Foto 3. Playa Mayabeque, provincia La Habana. Construcción de espigones y muros que han acelerado los procesos de erosión y el deterioro de las condiciones estéticas de la playa.



Foto 4. Playa La Pepilla, Provincia La Habana. Pérdida casi total de la franja de arena emergida.



Foto 5. Playa La Pepilla. Instalaciones costeras invadidas por el mar.



Foto 6. Playa Las Canas, costa norte de Pinar del Río. Presencia de indicios de erosión donde no existen actuaciones directas del hombre.





Foto 7. Playa Nazabal, Provincia de Villa Clara. Ausencia de playa frente al muro de protección.



Foto 8. Playa El Salto-Ganuja, Provincia de Villa Clara. Precarias condiciones del litoral al paso del ciclón Kate. Noviembre de 1985.



Foto 9. Playa El Salto-Ganuja, después de ejecutado el proyecto de alimentación artificial de arena.



Foto 10. Playa de Caibarién, provincia de Villa Clara. Vista panorámica de las estructuras de hormigón construidas en el litoral.



Foto.11. Playa de Caibarién, Afloramiento rocoso frente al muro costero y al oeste de uno de los espigones.



Foto 12. Playa de Caibarién, provincia de Villa Clara. Sector costero frente al hotel Brisas del Mar, antes de los trabajos de mejoramiento temporal de la playa.



Foto 13. Playa de Caibarién. Sector costero frente al hotel Brisas del Mar, después de ejecutados los trabajos de mejoramiento temporal de la playa.

**INVENTARIO DE LAS PLAYAS INTERIORES DE CUBA**

1. Nombre de la playa : \_\_\_\_\_
2. Provincia : \_\_\_\_\_ Municipio : \_\_\_\_\_
3. Costa Norte \_\_\_\_\_ Costa Sur \_\_\_\_\_
4. Longitud de la playa : \_\_\_\_\_ Ancho de la playa : \_\_\_\_\_
5. Playa Emergida : \_\_\_\_\_
6. Playa Sumergida : Presencia de arena \_\_\_\_\_ Fangos \_\_\_\_\_ Vegetación submarina \_\_\_\_\_
7. Tipo de playa : Protegida \_\_\_\_\_ Encajada \_\_\_\_\_ Lineal \_\_\_\_\_ En concha \_\_\_\_\_ Apoyada \_\_\_\_\_  
 Discontinua \_\_\_\_\_ Con barrera coralina \_\_\_\_\_
8. Tipo de perfil de playa : Completo \_\_\_\_\_ Incompleto \_\_\_\_\_ Bien Desarrollado \_\_\_\_\_  
 Poco desarrollado \_\_\_\_\_ Con barras arenosas \_\_\_\_\_
9. Tomas de Fotografias : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

10. Registro del perfil de playa

Ptos	HI	HM	HS	i	ángulo vertical	prof. (m)	Dist. (m)	Desn. (m)	Descripciones

11. Croquis del perfil de playa

12. Croquis de la forma en planta de la playa

13. Pendiente de la playa : Emergida \_\_\_\_\_ Sumergida \_\_\_\_\_ General \_\_\_\_\_

14. Tipo de sedimento de la playa : \_\_\_\_\_

Granulometría : Md \_\_\_\_\_ So \_\_\_\_\_ Clasificación \_\_\_\_\_

Color de la arena : \_\_\_\_\_

Composición : Orgánica \_\_\_\_\_ % Moluscos \_\_\_\_\_ %

Inorgánica \_\_\_\_\_ % Algas calcáreas \_\_\_\_\_ %

Foraminíferos \_\_\_\_\_ %

Otros grupos \_\_\_\_\_ %

15. Antropización :

Ocupación de la costa : Asentamiento Urbano \_\_\_\_ Rural \_\_\_\_ Centro Turístico \_\_\_\_ Otra \_\_\_\_\_

Obras Costeras : Muros \_\_\_\_\_ Espigones \_\_\_\_\_ Muelles \_\_\_\_\_ Accesos \_\_\_\_\_

Construcciones sobre la duna \_\_\_\_\_ Otras \_\_\_\_\_

Porcentaje de ocupación de la costa : \_\_\_\_\_ %

Indicios de extracción de arena \_\_\_\_\_ Volumen estimado \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

Presencia de vegetación exótica \_\_\_\_\_

Daños : Moderado \_\_\_\_\_ Intenso \_\_\_\_\_

16. Indicios de erosión : Escarpe \_\_\_\_\_

Vegetación degradada \_\_\_\_\_

Afloramiento rocoso \_\_\_\_\_

Afectación a construcciones costeras \_\_\_\_\_

Otras \_\_\_\_\_

17. Tendencia : Erosiva : Moderada \_\_\_\_\_ Intensa \_\_\_\_\_

Acumulativa : Moderada \_\_\_\_\_ Intensa \_\_\_\_\_

18. Causas de la erosión : Natural \_\_\_\_\_ Antrópica \_\_\_\_\_

19. Estado de conservación: Conservada \_\_\_\_\_

Medianamente conservada \_\_\_\_\_

Degradada \_\_\_\_\_

20. Observaciones

21. Fecha : \_\_\_\_\_

22. Observador : \_\_\_\_\_

## **Base de datos e implementación de un Sistema de Información Geográfica**

La información recogida en el registro de campo (Anexo I) correspondiente al inventario de las playas interiores, constituye la base de datos a utilizar para la caracterización morfodinámica y sedimentológica de este grupo de playas del país.

El inventario actualizado de las playas interiores dispone de 41 registros de las características generales de cada playa, así como información científico técnica complementaria, recogida en los informes elaborados por especialistas del Departamento de Procesos Costeros del Instituto de Oceanología, CITMA (Juanes y Tristán, (1986), Tristán y Col. (1990, 1992), Salazar (1993). Estos resultados se sintetizan en una base de datos que permite la implementación de un Sistema de Información Geográfica, como herramienta necesaria para facilitar el acceso ordenado a la información referente a las playas interiores en el proceso de caracterización de las mismas.

Los Sistemas de Información Geográfica están habilitados para contener datos espaciales (base de datos digitales) y no espaciales (base de datos alfanuméricos), con una estructura tipológica, gestionada por un programa único, de ahí su gran utilización por las posibilidades que brindan de manejar grandes volúmenes de datos a diferentes escalas (Aronoff, 1989).

El concepto de Sistema de Información Geográfica (SIG) ha sido precisado por varios de los autores que han introducido en sus investigaciones el uso de esta técnica, a continuación se hace referencia a las definiciones más usuales:

- Bracken y Webster, (1990), exponen que un SIG es un tipo especializado de base de datos, que se caracteriza por su capacidad de manejar datos geográficos, es decir, espacialmente referenciados, los cuales se pueden representar gráficamente como imágenes.



- NCGIA, (1990), el SIG es un sistema de Hardware, Software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.
- Guimet, (1992), define el SIG como un conjunto de instrumentos y métodos espacialmente dispuestos para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar información territorial georeferenciada en el mundo real.

Todo SIG se compone de numerosos subsistemas, Burrough (1988) describe los siguientes:

**Adquisición y entrada de datos:** Involucra numerosos periféricos de entrada, desarrollándose diversos métodos para el proceso de adquisición de datos, los que incluyen imágenes aeroespaciales, observaciones de campo, mapas y otros materiales gráficos. El proceso de adquisición de los datos cubre los diferentes aspectos de la transformación de los mismos desde su forma existente, analógica, electrónica u otra, hasta una que pueda ser asimilada por el software del SIG. Este subsistema constituye la base fundamental del SIG, ya que de él depende la calidad de los resultados de su implementación.

**Manejo de datos:** Tiene como propósito almacenar, organizar y recuperar los datos requeridos para conformar una información útil, además de servir de enlace entre las bases de datos y los diferentes algoritmos y modelos utilizados durante el proceso de análisis.

**Análisis y modelamiento:** Se encarga de las operaciones necesarias para satisfacer los requerimientos de un problema específico, tales como mediciones aéreas, distancias, comparación de conjuntos de datos y otros.

**Salida de datos:** Es donde se presentan los resultados obtenidos en el análisis y modelamiento de los datos, los que pueden aparecer en forma de mapas, tablas o textos, impresos (analógicos), o en ficheros (digitales).

Los SIG brindan la posibilidad de manejar diferentes tipos de datos, tanto los espaciales como los no espaciales.

Los **datos espaciales** son aquellos que expresan la ubicación o la localización geométrica de una entidad u objeto. La selección del método de introducción de estos a la base de datos de un SIG esta en dependencia de la aplicación prevista, del presupuesto disponible y esencialmente de las fuentes de datos utilizables (mapas, fotos aéreas, etc.). La introducción a la base de datos es en forma manual en formato Raster o Vectorial (Colectivo de autores, 1996).

El **formato Raster** o por Celdas, es una estructura simple de datos que tiene como elemento básico una unidad de espacio grabada explícitamente. A cada una de las celdas en una fila Raster se le asigna solamente un valor donde diferentes atributos son almacenados con filas de datos separados. Este modelo es fácilmente interconectado con el Hardware creado comúnmente para el uso de la entrada y la salida de los datos espaciales (Valenzuela, 1992).

Por su parte el **formato vectorial**, es definido como la cantidad asociada al desplazamiento de un vector en una dirección, partiendo de una coordenada inicial, donde precisamente se especifica la posición de los puntos, líneas y polígonos, como representación de la realidad. Los objetos son creados por la conexión de puntos con líneas rectas y las áreas son definidas por un conjunto de líneas. La posición de cada objeto es definida por el lugar que ocupa en un espacio del mapa el cual esta organizado por un sistema referenciado de coordenadas. Este proceso se realiza mediante la digitalización (Valenzuela, 1992).

Para llevar a cabo este proceso, se transformó a formato digital la línea de costa de la isla de Cuba y sus cayos adyacentes, tomando como base el mapa escala 1: 300 000 del Atlas Nacional de Cuba (1978).

Los **datos no espaciales**, son aquellos que resultan invariables frente a distorsiones y cambios de escala. Los datos no espaciales son almacenados y procesados de forma independiente a los datos espaciales, con el que están relacionados mediante un identificador que se establece cuando se crea la base de datos. La manipulación de este tipo de dato es a través del acceso al Sistema de Manejo de Base de Datos (Bosque, 1992, 1997).

Entonces una base de datos puede definirse como una colección de uno o más ficheros de datos, almacenados con una estructura que contiene información no redundante, de modo que las relaciones que existen entre los diferentes ítems o conjuntos de datos puedan ser utilizados por el Sistema de Manejo de Base de Datos para manipular o recuperar los mismos (Bosque, 1992, 1997).

El acceso a la base de datos aumenta los beneficios que se puedan obtener de los SIG (Díaz, 1992), entre los que se encuentran:

- Reducción de la repetición de datos: el reparto de los datos va a ser compartido por muchos usuarios y cada uno podrá utilizarlo para diferentes propósitos.
- Mantenimiento de la integridad y calidad de los datos: controlando los procesos de redundancia y de actualización, puede implementarse más eficientemente el uso de la base de datos.
- Restricción de seguridad: la base de datos incluye herramientas de seguridad para controlar el acceso a los datos, particularmente en la inserción y el borrado de datos.

### **Manejo y análisis de los datos.**

El análisis de la información geográfica de las playas interiores es la fase más importante dentro del SIG, al mismo tiempo es la que reúne los más variados puntos de vista sobre las operaciones que se deben realizar. En este sentido se exponen a continuación los criterios de análisis tomados en cuenta para la implementación del SIG.

Como parte del análisis se hace necesario abrir la capa donde se encuentra la base cartográfica y la capa donde se ubican las playas interiores, es decir se cargan los ficheros costacub y ubplayas, cuyos campos adicionados aparecen en la Tabla 1, para que de este modo queden superpuestas ambas capas. El resultado de este proceso aparece en la Figura 1A.

**Análisis espacial:** Para realizar este análisis solamente basta con activar en el panel **Main** el cuadro con la letra **i** y señalar la ubicación exacta de cualquiera de las playas que aparecen en la ventana principal (Fig. 1A), obteniéndose la información que está referida a esta playa a través de la ventana de la Figura 1B.

Otro análisis espacial es la determinación de la distancia entre dos o más playas, el ejemplo que se ilustra en la Figura 2, muestra la distancia que existe entre las playas Punta Colorada y Santa María en la provincia de Pinar del Río. El valor de la distancia entre estas playas lo ofrece el panel **Ruler**, que aparece en el centro y parte inferior de la ventana principal del SIG MapInfo.

**Análisis Temático:** Este tipo de análisis es mucho más abarcador, ya que a través de él se puede realizar un conjunto de operaciones entre las diferentes capas de un mapa, obteniéndose resultados con un mayor grado de complejidad. En el caso objeto de estudio se cuenta con una única capa a la cual se le ha asociado una base de datos, por este motivo el análisis temático se enmarca en las siguientes operaciones:

**Búsqueda y Recuperación de playas por su nombre:** El objetivo de esta operación es localizar objetos a través de la búsqueda por su nombre.

Ante la interrogante de ¿Dónde se localiza la playa interior cuyo nombre es Bailén?, debe accederse al menú principal **Query** | **Find** y preparar la búsqueda por el atributo nombre de la playa: nom\_playa (Tabla 1). El resultado de este proceso es un mapa donde aparece la playa que se requiere localizar y a su vez, la tabla **Browser** de esta capa (Fig. 3), donde se podrá acceder a las características que presenta la playa Bailén, provincia de Pinar del Río.

**Búsqueda/Recuperación de objetos, a través del planteamiento de condiciones:** Mediante este tipo de operación se pueden localizar una, varias o todas las playas interiores, siempre que cumplan los requisitos exigidos en las condiciones previamente establecidas.

Para obtener la información de ¿Cuales de las playas interiores que se ubican en la provincia de Ciego de Avila no presentan un perfil de playa completo, tienen un bajo porcentaje de ocupación de la costa y los daños a la vegetación costera son moderados?, se debe seleccionar en el menú principal **Query** | **Select**, la tabla ubplayas y en esta ventana escoger **Assist**, para poder consignar las condiciones antes mencionadas.

De esta manera, las playas que cumplen con las condiciones establecidas, se señalan en el mapa con un círculo negro y además, se brinda una tabla con sus características generales. Las playas que responden a la interrogante planteada son: Palo Alto, XI Festival y Punta Alegre (Fig. 4). Siguiendo el mismo procedimiento se pueden llegar a obtener varios resultados en dependencia de las condiciones que se establezcan.

Ante el interés de precisar la existencia de alguna playa interior que no se considere degradada, tomando como referencia que en ella no existen indicios de extracción de arena que puedan alterar el equilibrio dinámico entre sus diferentes partes y que además, los

procesos de erosión sean moderados, se obtiene como resultado que la playa El Salto-Ganuja en la provincia de Villa Clara, es la que se encuentra menos degradada de todas las playas interiores estudiadas (Fig. 5).

La aplicación de un SIG para el manejo de la información relativa a las playas interiores, es sin dudas una herramienta de incuestionable valor en el campo teórico y práctico, en primer lugar porque a través de él se puede mantener actualizada la base de datos y en segundo lugar porque la accesibilidad a la información disponible se realiza de forma inmediata, agilizándose el proceso de obtención de resultados y toma de decisiones.

## Modelos matemáticos del perfil de equilibrio

### Modelo de Dean (1990)

En una primera aproximación, se analiza cual es la forma que alcanza el perfil de equilibrio bajo la suposición de que la disipación de energía por unidad de volumen es uniforme y que además, la turbulencia en la zona de rompientes creada por el proceso de rotura de la ola es la fuerza destructiva dominante. La cantidad de turbulencia es medida a través de la energía disipada por unidad de volumen durante el proceso de rompimiento de la ola.

En términos de la ecuación de conservación de la energía se obtiene:

$$\frac{dF}{dx} = -hD_* \quad (1)$$

donde:  $D_*$  es la razón de disipación de energía por unidad de volumen para un grano de sedimento dado y  $x'$  se toma normal a la costa y en dirección hacia tierra.

Esta ecuación establece que cualquier cambio en el flujo  $F$  a cierta distancia, dividida por la profundidad del agua  $h$ , es igual a la disipación de energía por unidad de volumen para la cual el sedimento es estable.

Sustituyendo en la ecuación (1) e integrando se llega a:

$$h(x) = \left( \frac{24D_*}{5\rho g \sqrt{gk^2}} \right)^{\frac{2}{3}} x^{\frac{2}{3}} = Ax^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

El parámetro  $A$  se denomina factor de escala del perfil y es función de la disipación de energía, el cual a su vez depende del tamaño del grano del sedimento de la playa.

De la ecuación (2) se deduce que la disipación de energía por unidad de volumen es proporcional al diámetro del sedimento, por tanto a mayores dimensiones de los granos del sedimento le corresponden perfiles con pendientes más fuertes, lo que esta en concordancia con lo que ocurre en perfiles reales.

La ley potencial obtenida anteriormente, tiene una forma cóncava hacia arriba, la que describe muy bien el comportamiento que presentan los perfiles reales. No obstante, esta representación tiene una desventaja y es que la pendiente desde la línea de costa es infinita, por lo que el perfil es monótono, siendo incapaz de describir las barras arenosas que se forman próximas a la costa.

Dean (1990), realizó una modificación a la formulación anterior, adicionando la fuerza de gravedad como una importante fuerza destructiva, resolviendo el problema de la pendiente infinita del perfil de equilibrio.

La ecuación que resulta en este caso es:

$$D_* = \frac{1}{h} \frac{d(ECg)}{dx} + Bg \frac{dh}{dx} \quad (3)$$

donde **B** es una constante desconocida.

Expresando el flujo **F** en términos de **h** e integrando la ecuación resultante, se obtiene:

$$h^{\frac{2}{3}} + \frac{Bg}{D_*} A^{\frac{3}{2}} h = A^{\frac{3}{2}} x \quad (4)$$

De esta ecuación se puede deducir que en zonas de aguas poco profundas el segundo término de la parte izquierda es el dominante, obteniéndose que la profundidad varía linealmente desde la línea de costa:

$$h(x) = \frac{D_*}{Bg} x \quad (5)$$



Esta aproximación se verifica en los perfiles reales. Como el valor de **B** se desconoce, este puede ser determinado a partir de los valores de la pendiente del perfil en la zona de lavado.

En la ecuación (4), no es posible obtener la profundidad explícitamente en función de la distancia, es más sencillo determinar la distancia para un determinado valor de la profundidad.

Dean (1990), le hizo posteriores refinamientos a su modelo, incluyendo fenómenos no considerados anteriormente como son: el tamaño del sedimento no uniforme a lo largo del perfil, el efecto del setup de las olas y la elevación del nivel del mar. Estas inclusiones han permitido ampliar el uso de su modelo en diversos problemas de la ingeniería de costas, como el cálculo del volumen óptimo en un proyecto de alimentación artificial de arena y la determinación del retroceso que experimenta la línea de costa debido a la elevación del nivel del mar y al setup de las olas.

Otra forma de obtener el perfil de equilibrio es asumir que este se alcanza cuando la energía de disipación por unidad de área es constante y las fuerzas de fricción por el fondo son también constantes a lo largo de la zona de rompientes. Ambas suposiciones nos llevan a la forma:

$$h(x) = Gx^{\frac{2}{5}}$$

donde **G** es una constante.

### **Modelo de Leontiev (1985)**

Leontiev (1985), parte de la suposición de que el grano del sedimento es uniforme y no existe otra fuente de ingreso al perfil, además que el perfil de equilibrio se obtiene cuando se equilibran en un tiempo medio, el transporte en dirección al mar (supone que es en suspensión) y el transporte en dirección a la costa (supone que es por el fondo).

En el modelo se utiliza el concepto energético de Bagnold (1966), para deducir las expresiones del transporte por el fondo y en suspensión respectivamente.

La ecuación que resulta es:

$$\frac{dh}{dx} + \frac{8}{\gamma^2} \frac{\omega}{C_0} \left( \frac{h_0}{h} \right)^{\frac{1}{2}} - B = 0 \quad (6)$$

se tiene que  $\gamma(h) = \frac{H}{h}$ , depende del tipo de ola, aquí  $\omega$  denota la velocidad de caída del sedimento,  $h_0$  la profundidad de rompiente y  $C_0$  la celeridad de la ola en la zona de rompiente.

$$B = K \frac{\epsilon_s}{\epsilon_b} \tan \phi$$

donde  $\phi$  es el ángulo de reposo del sedimento,  $\epsilon_s$  y  $\epsilon_b$  son la tasa del transporte en suspensión y por el fondo respectivamente, el cociente  $\frac{\epsilon_s}{\epsilon_b}$  es el factor de eficiencia del sedimento y  $K$  es una constante empírica del orden de 0.1.

El modelo que se describe considera el perfil de equilibrio fuera de la zona de rompiente, en ese caso partiendo de la conservación del flujo de energía se obtiene:

$$\gamma(h) = \left( \frac{h_0}{h} \right)^{\frac{5}{4}} \gamma_0$$

Resolviendo la ecuación resultante se obtiene que la forma del perfil de equilibrio fuera de la zona de rompiente es:

$$x = \frac{h - h_0}{B} + \frac{2A}{B} \left( h^{\frac{1}{2}} - h_0^{\frac{1}{2}} \right) + \frac{2A^2}{B^3} \ln \left( \frac{\left( A - B h^{\frac{1}{2}} \right)}{\left( A - B h_0^{\frac{1}{2}} \right)} \right)$$

donde  $A$  y  $B$ , son parámetros que dependen de las características del sedimento y del oleaje.

En la zona de rompiente donde  $\gamma$  es aproximadamente constante, la solución de la ecuación es:

$$h(x) = \left(\frac{B}{A'}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{\exp\left(2B(A'/B)^{\frac{1}{2}}x\right) - \left[\frac{(B/A')^{\frac{1}{2}} - h_0}{(B/A')^{\frac{1}{2}} + h_0}\right]}{\exp\left(2B(A'/B)^{\frac{1}{2}}x\right) + \left[\frac{(B/A')^{\frac{1}{2}} - h_0}{(B/A')^{\frac{1}{2}} + h_0}\right]}$$

Aquí  $B$  y  $A'$  son función del tamaño del sedimento y los parámetros de las olas consideradas monocromáticas.

Si se desprecia el valor de  $B$  en la ecuación (6) se obtiene:

$$-\frac{dh}{dx} + \frac{8}{\gamma^2 C_0} \omega \left(\frac{h_0}{h}\right)^{\frac{1}{2}} = 0 \quad (7)$$

$x' = -x$ , el origen se considera en la zona de rompientes.

simplificando la ecuación (7) se obtiene:

$$\frac{\omega}{\gamma_0^{\frac{1}{2}} C_0} h_0^{\frac{1}{2}} = h^{\frac{1}{2}} \frac{dh}{dx} \quad (8)$$

integrando esta ecuación se llega a:

$$h(x) = Qx^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{\omega h_0^{\frac{1}{2}}}{\gamma_0^{\frac{1}{2}} C_0}\right)^{\frac{2}{3}} x^{\frac{2}{3}} \quad (9)$$

que es análoga a la ecuación (2) obtenida por Dean (1977) bajo otras suposiciones, lo cual es razonable pues de los puntos de partida de Leontiev (1985), se puede llegar a que la disipación de energía por unidad de volumen es constante (suposición inicial de Dean, 1977).

### **Modelo de Larson (1988)**

Larson (1988), modificó la aproximación de Dean (1977), reemplazando la hipótesis de rotura en spilling por el modelo de Dally, Dean y Dalrymple (1985), que asume que la disipación de energía debido a la rotura en la zona de rompiente esta dado por la fórmula:

$$\frac{dF}{dx} = -\frac{K}{h}(F - F_s) \quad (10)$$

donde  $F = EC_g$  es el flujo de energía,  $K$  es una constante empírica tomada como 0.17 y  $F_s$  es el flujo de energía estable, basado en la altura de rompientes estables  $H_s = \gamma h$ , donde  $\gamma$  es del orden de 0.4 .

Utilizando la ecuación (1) e igualándola a la parte derecha de la ecuación (10) se obtiene:

$$hD_* = \frac{K}{h} \left( \frac{1}{8} \rho g \sqrt{gh} (H^2 - \gamma^2 h^2) \right) \quad (11)$$

Despejando  $H$  se llega a :

$$H = \sqrt{\frac{8h^2 D_*}{\rho g \sqrt{gh} K} + \gamma^2 h^2} \quad (12)$$

y se obtiene la altura de la ola en la zona de rompiente en función de la profundidad.

Introduciendo la ecuación (12) en (1) se obtiene la siguiente fórmula para el perfil de equilibrio:

$$\frac{2h}{K} + \frac{5}{24} \rho g^{\frac{2}{3}} \left( \frac{\gamma^2 h^{\frac{3}{2}}}{D_*} \right) = x \quad (13)$$

Esta ecuación tiene la misma forma que la ecuación (4). Para pequeños valores de  $y$ , se obtiene:

$$h(x) = \frac{K}{2} x$$

donde  $\frac{K}{2} = 0.085 = \frac{1}{12}$ , lo cual no es un valor razonable en casos reales.

### **Modelo de Bodge (1992)**

Guza y Bowen (1981), determinaron bajo que condiciones aparece el fenómeno de la topografía rítmica, considerada como aquellas oscilaciones armónicas de la línea de costa a lo largo de la playa. En la búsqueda de la solución de la ecuación que gobierna el movimiento de las olas en regiones cercanas a la costa, estos autores determinan que estas oscilaciones armónicas pueden aparecer si la profundidad respecto al nivel medio del mar tiene la expresión:

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}) = \mathbf{h}_0 + \mathbf{a}_t \exp(-\mathbf{p}\mathbf{k}\mathbf{x}) - \mathbf{b}_t \exp(-\mathbf{r}\mathbf{k}\mathbf{x}) \quad (14)$$

donde  $\mathbf{h}_0$  es la profundidad de rompiente y  $\mathbf{a}_t, \mathbf{b}_t, \mathbf{p}, \mathbf{k}, \mathbf{r}$ , son parámetros que dependen de las características de las olas.

Esta expresión sugiere que se busquen fórmulas para describir el perfil de equilibrio de las playas en la forma exponencial:

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}) = \mathbf{B}(1 - \exp(-\mathbf{K}\mathbf{x})) \quad (15)$$

Esta relación fue utilizada por Bodge (1992) para determinar el valor de los parámetros en el caso de los 504 perfiles analizados por Dean (1977) comparándolo con la expresión potencial utilizada anteriormente.

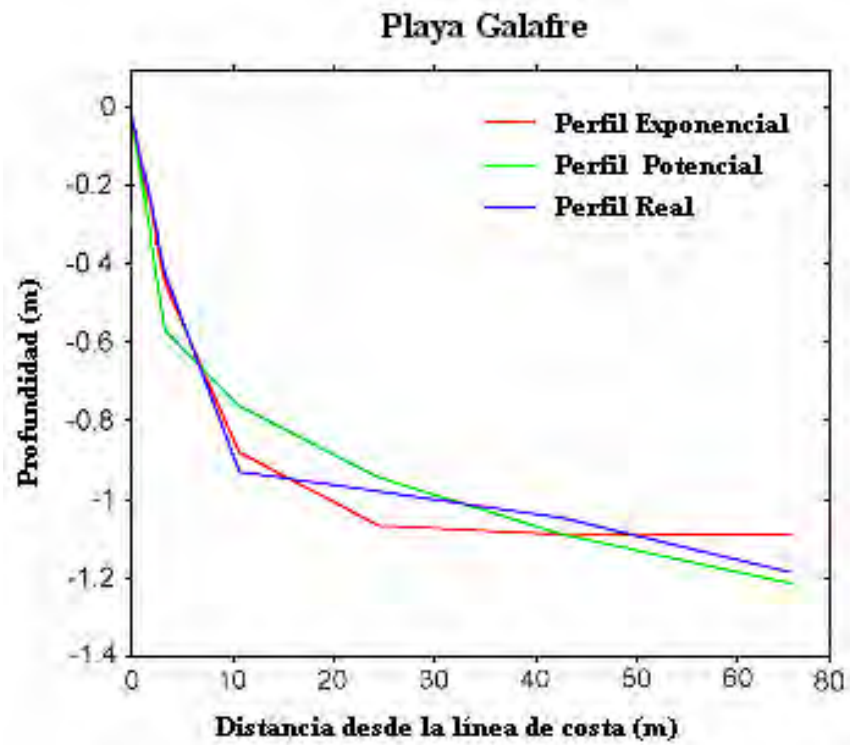
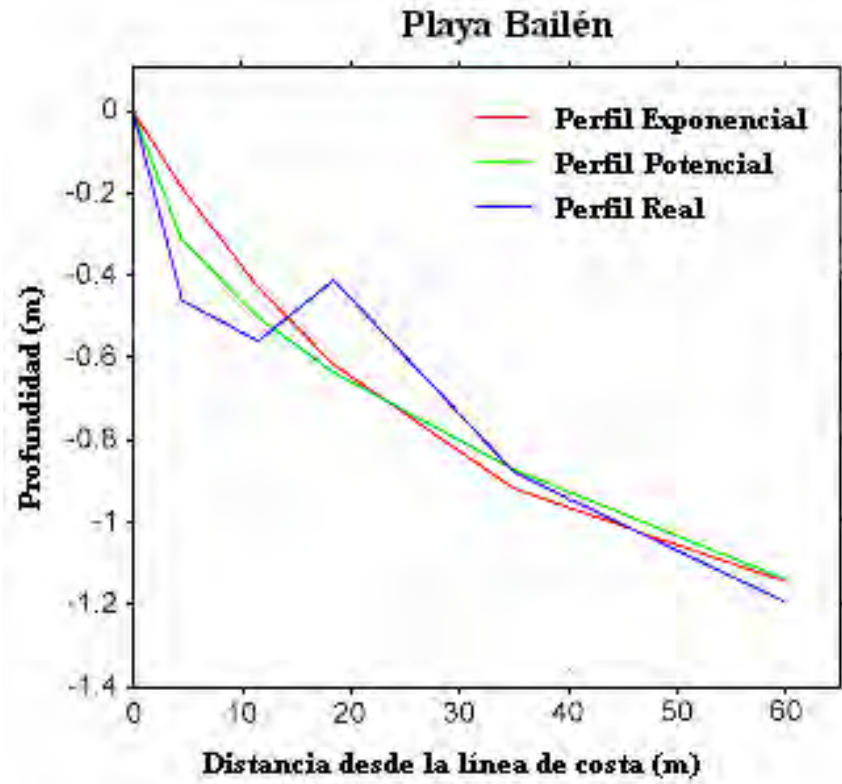


Fig. 1. Comparación del perfil real de las playas Bailén y Galafre con los perfiles de equilibrio ajustados

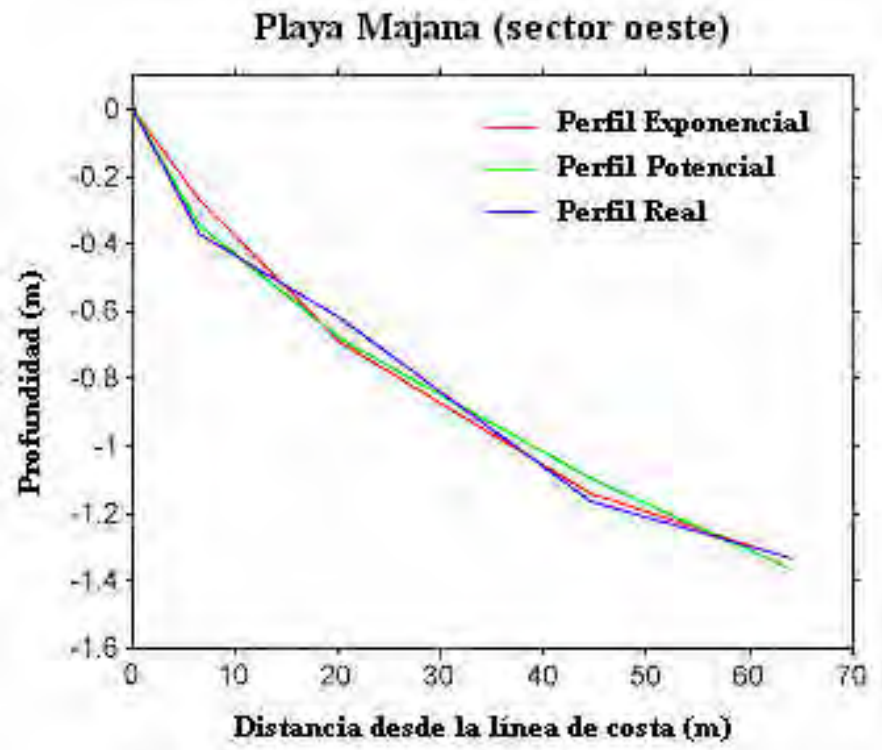
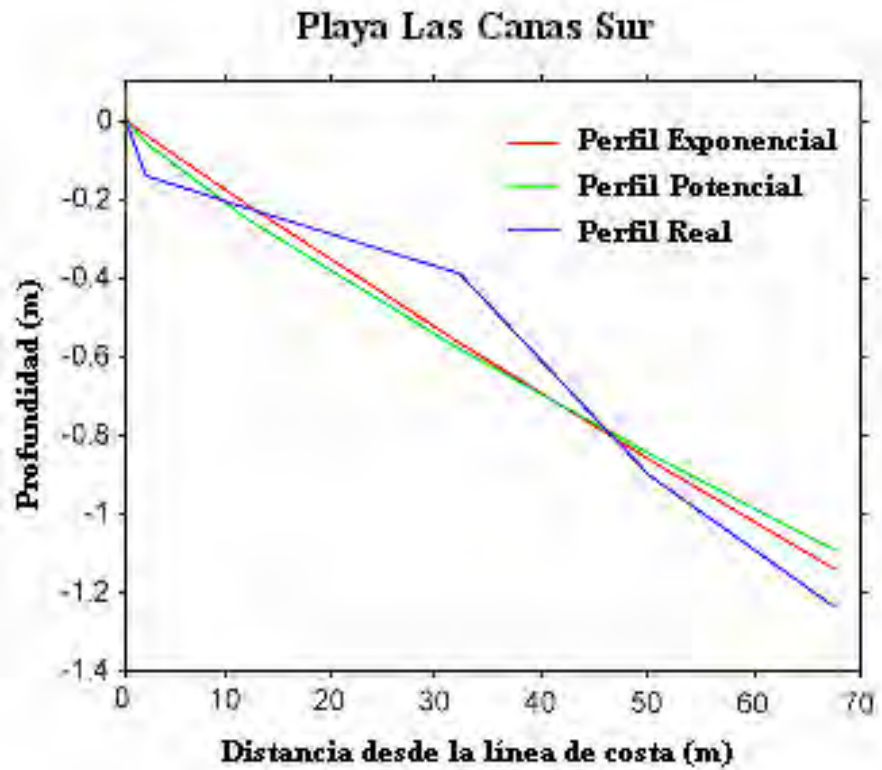


Fig. 2. Comparación del perfil real de las playas Las Canas Sur y Majana (sector oeste) con los perfiles de equilibrio ajustados

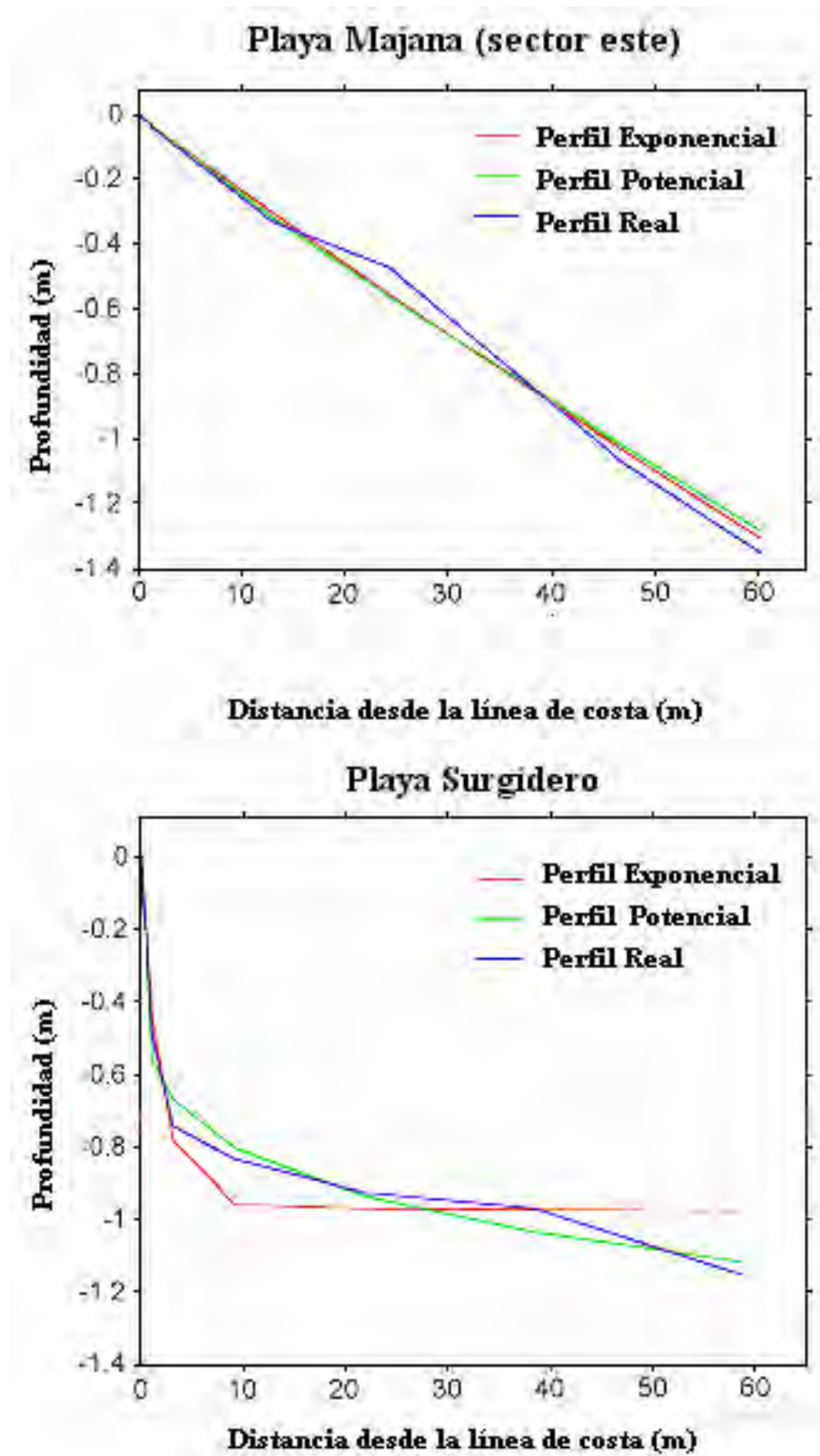


Fig. 3. Comparación del perfil real de las playas Majana (sector este) y Surgidero con los perfiles de equilibrio ajustados



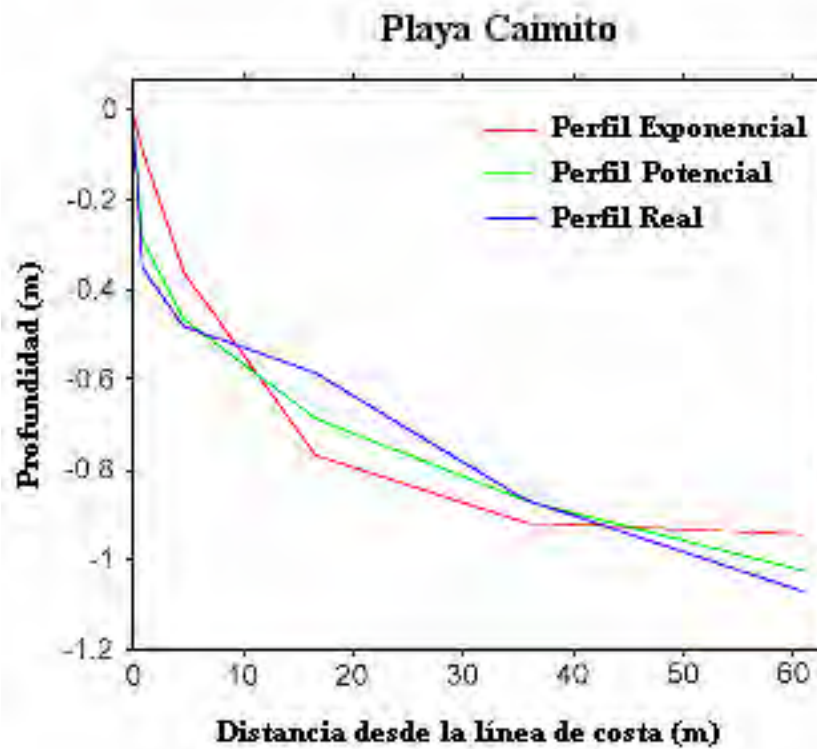
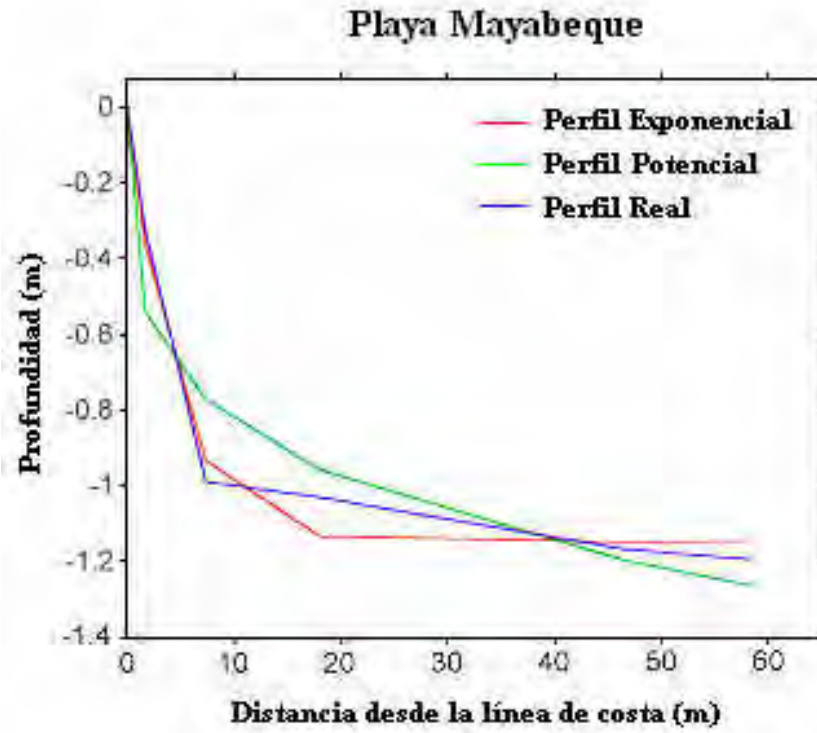


Fig. 4. Comparación del perfil real de las playas Mayabeque y Caimito con los perfiles de equilibrio ajustados

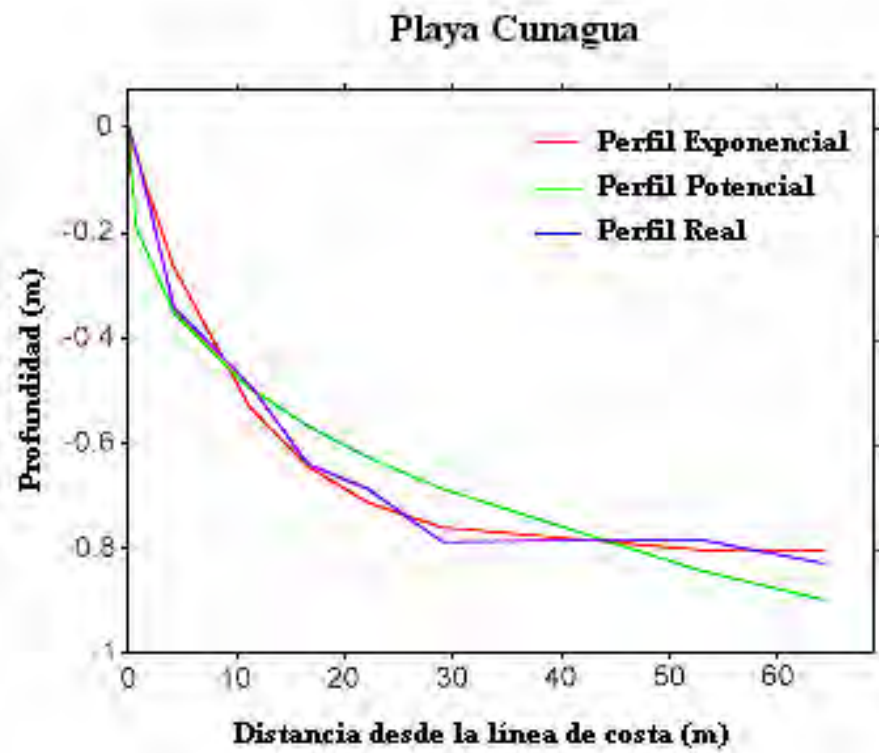
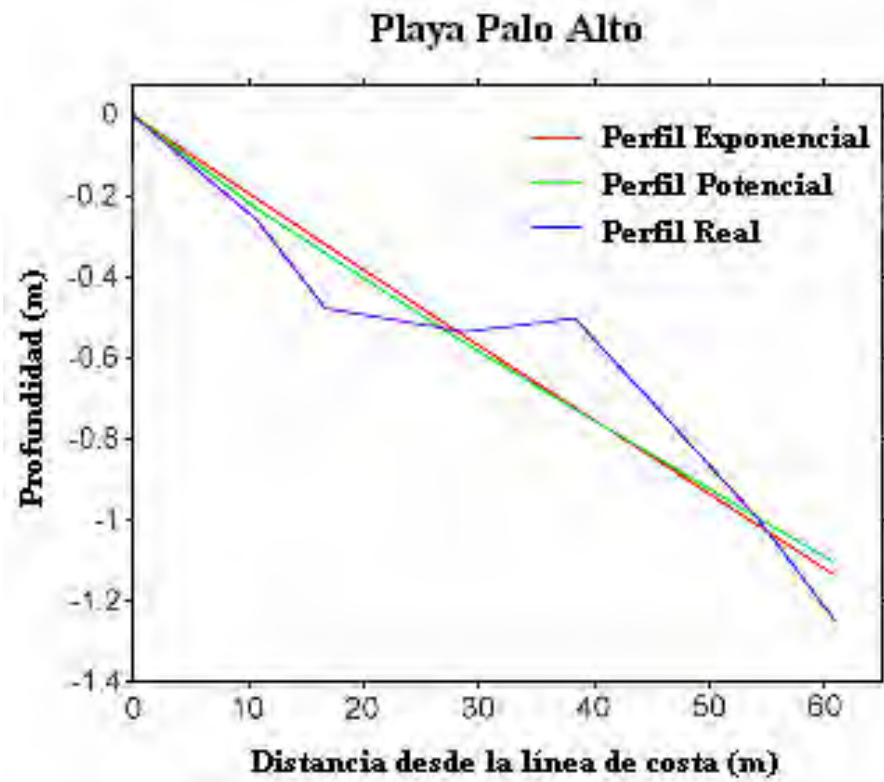


Fig. 5. Comparación del perfil real de las playas Palo Alto y Cunagua con los perfiles de equilibrio ajustados

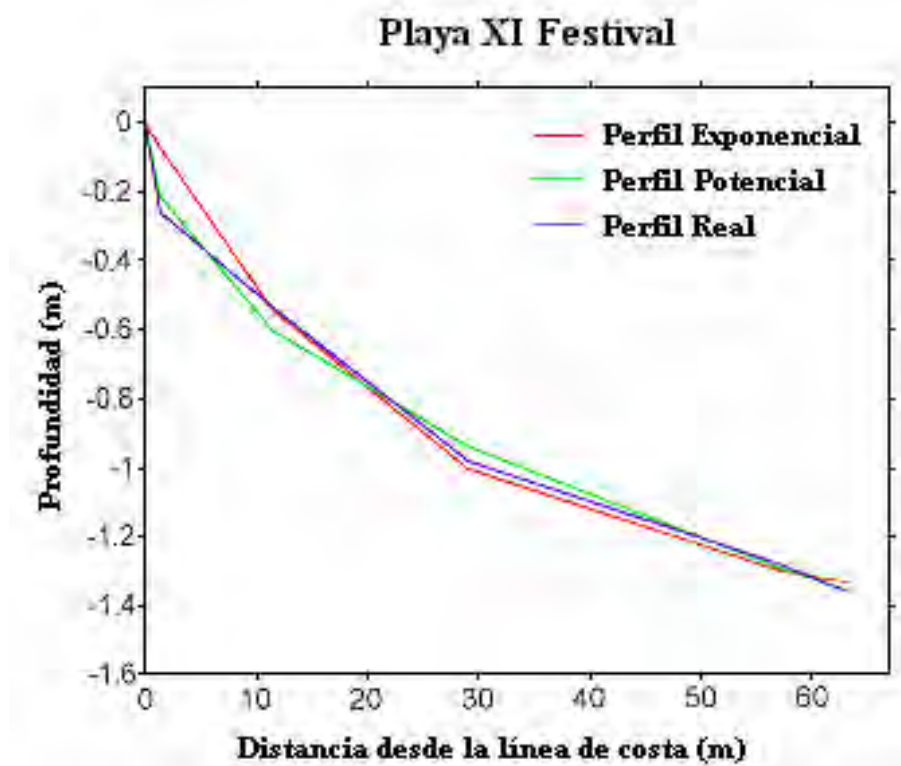
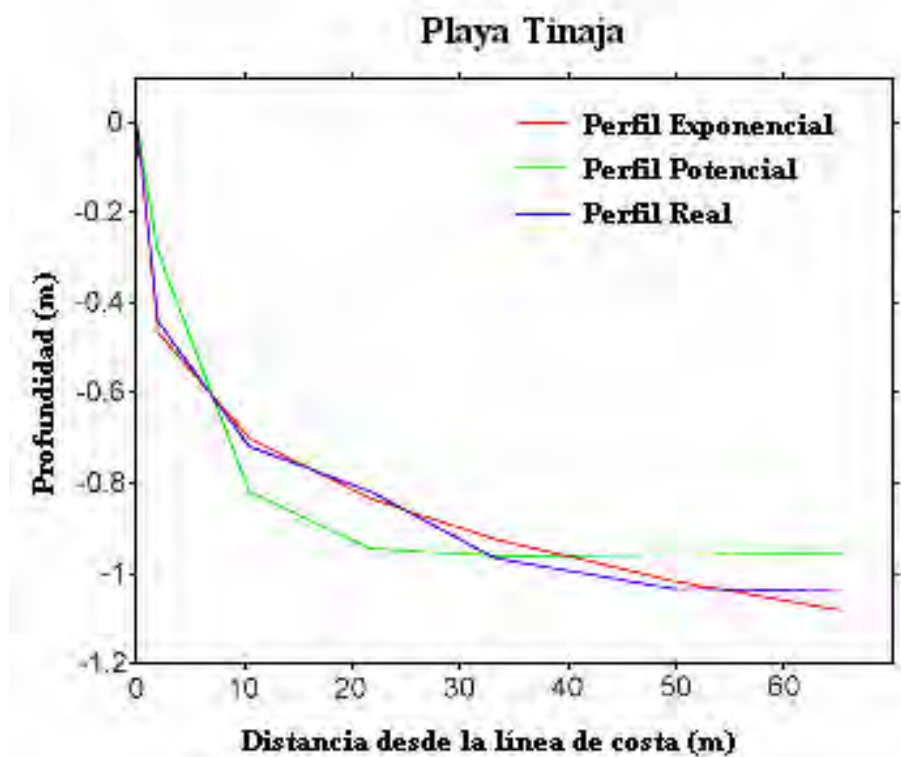


Fig. 6. Comparación del perfil real de las playas Tinaja y XI Festival con los perfiles de equilibrio ajustados

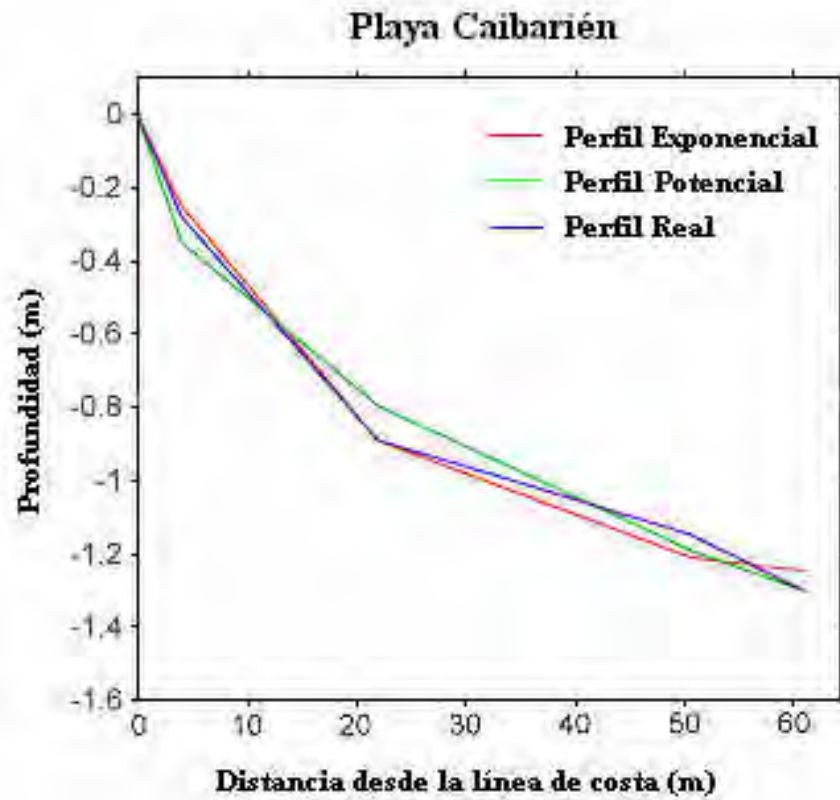
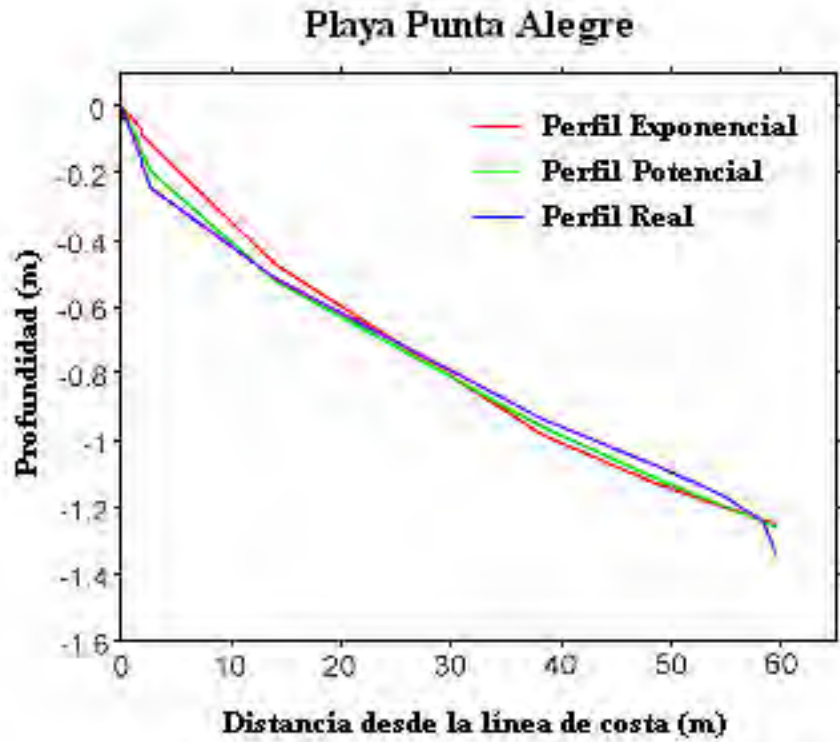


Fig. 7. Comparación del perfil real de las playas Punta Alegre y Caibarién con los perfiles de equilibrio ajustados

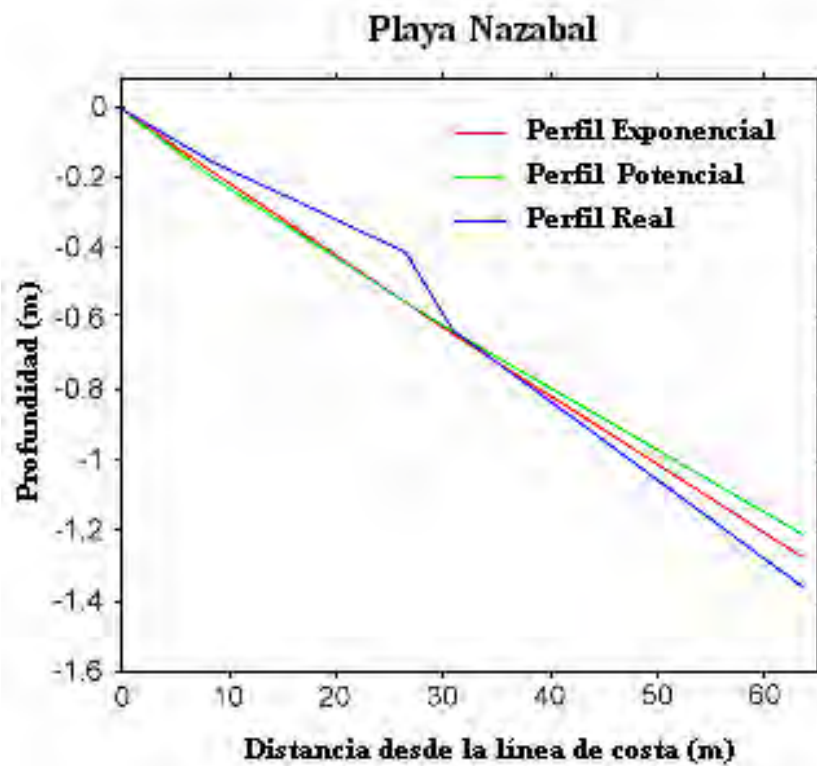
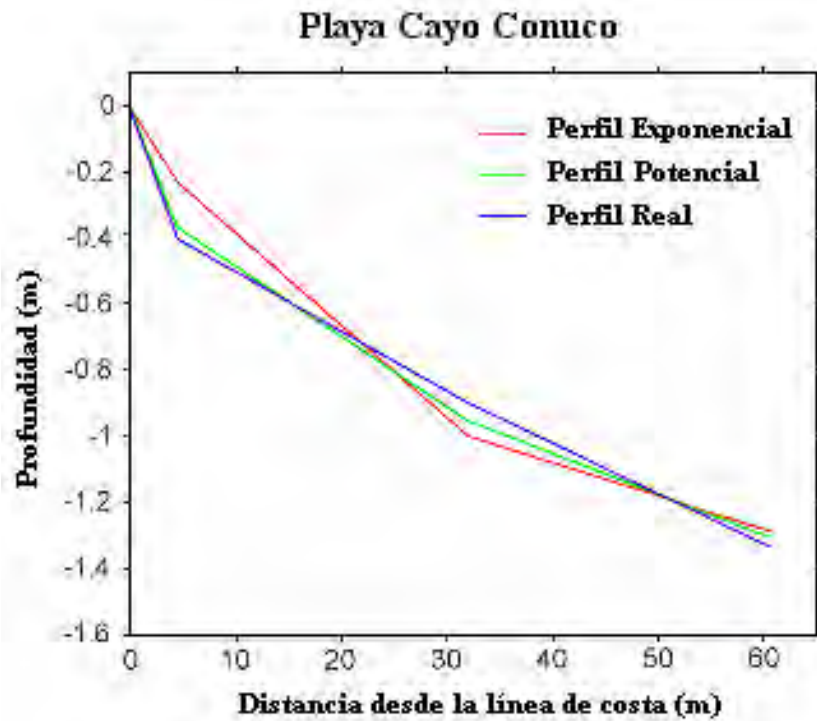


Fig. 8. Comparación del perfil real de las playas Cayo Conuco y Nazabal con los perfiles de equilibrio ajustados

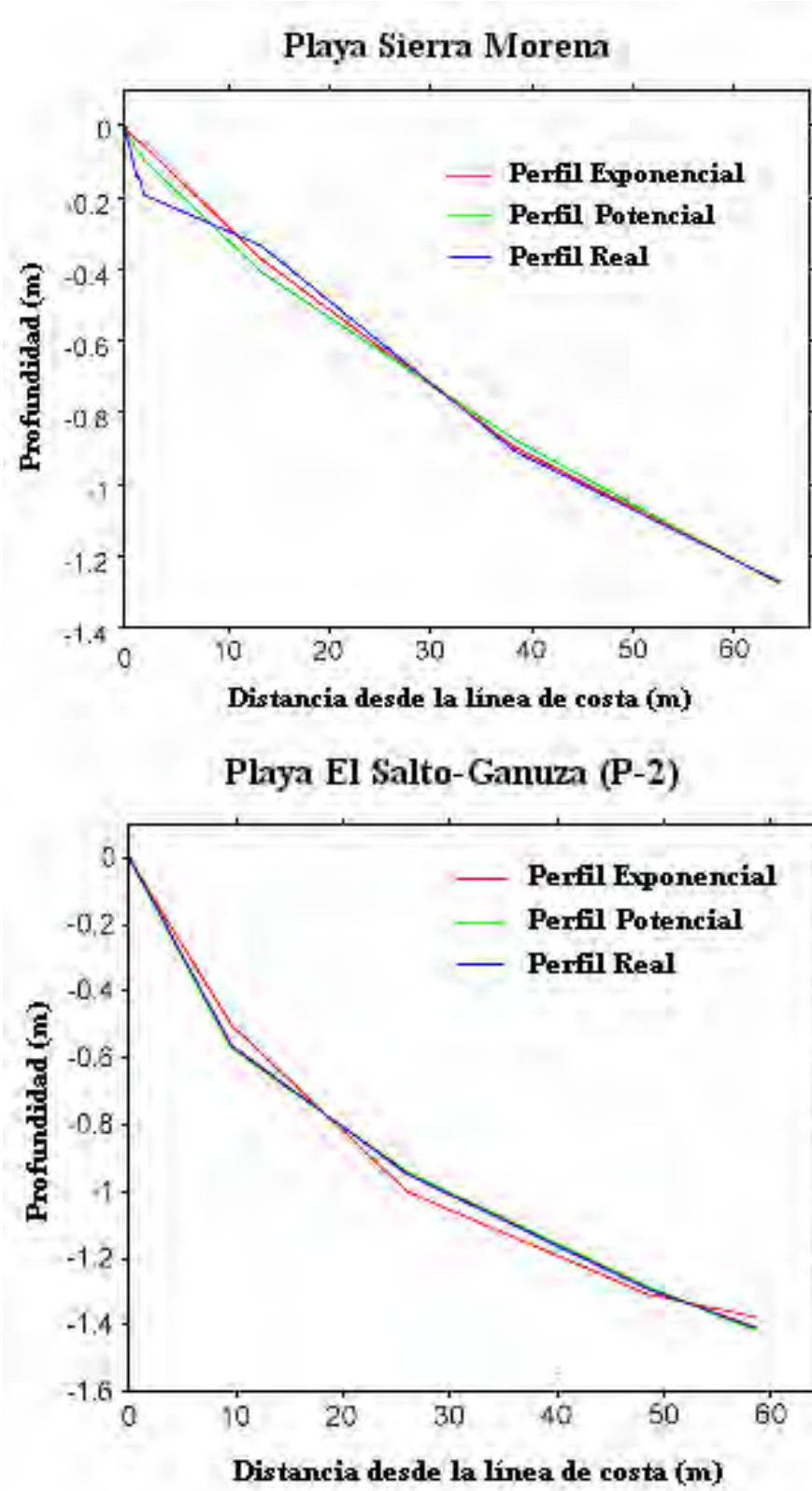


Fig. 9. Comparación del perfil real de las playas Sierra Morena y El Salto-Ganuzza (P-2) con los perfiles de equilibrio ajustados

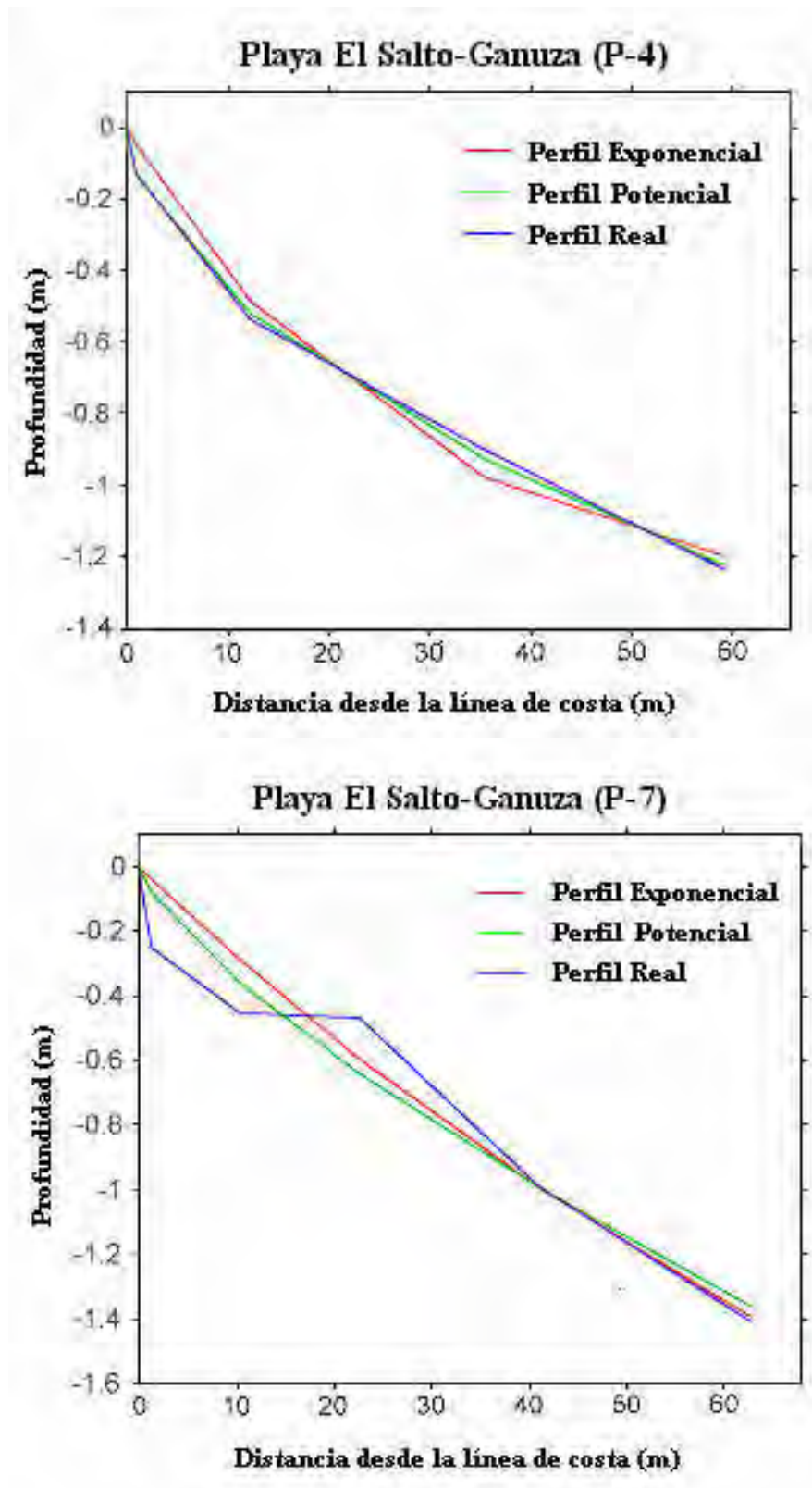


Fig. 10. Comparación del perfil real de la playa El Salto-Ganuza (P-4 y P-7) con los perfiles de equilibrio ajustados

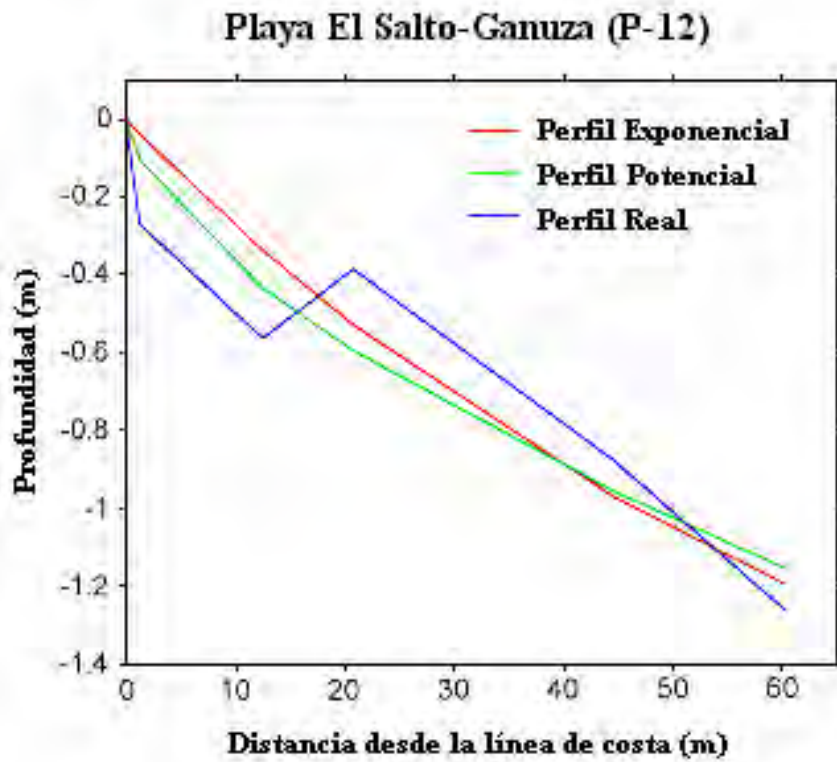
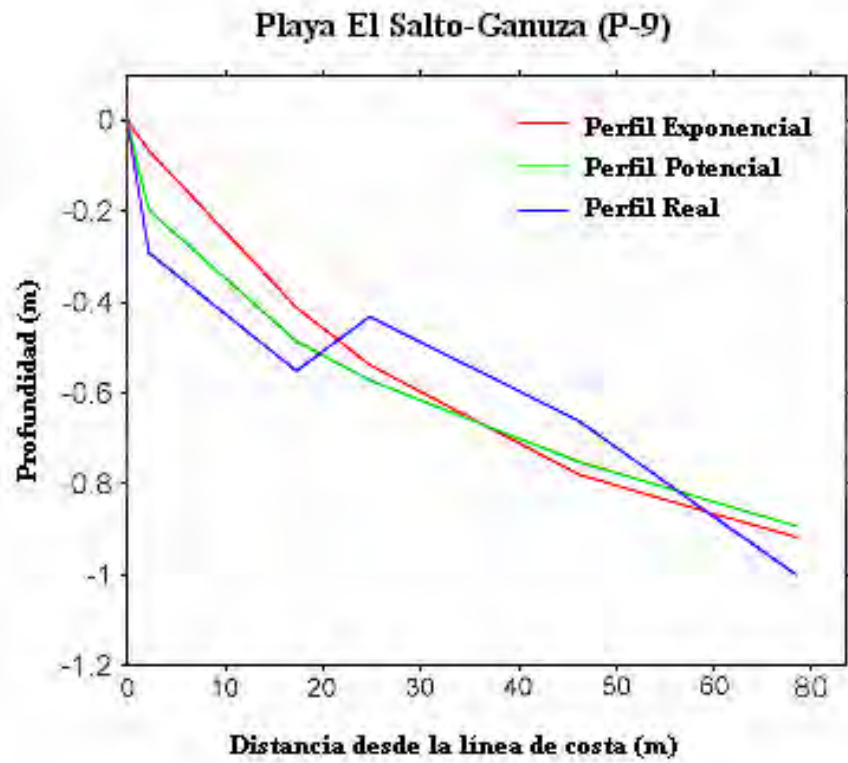


Fig. 11. Comparación del perfil real de la playa El Salto-Ganuza (P-9 y P-12) con los perfiles de equilibrio ajustados



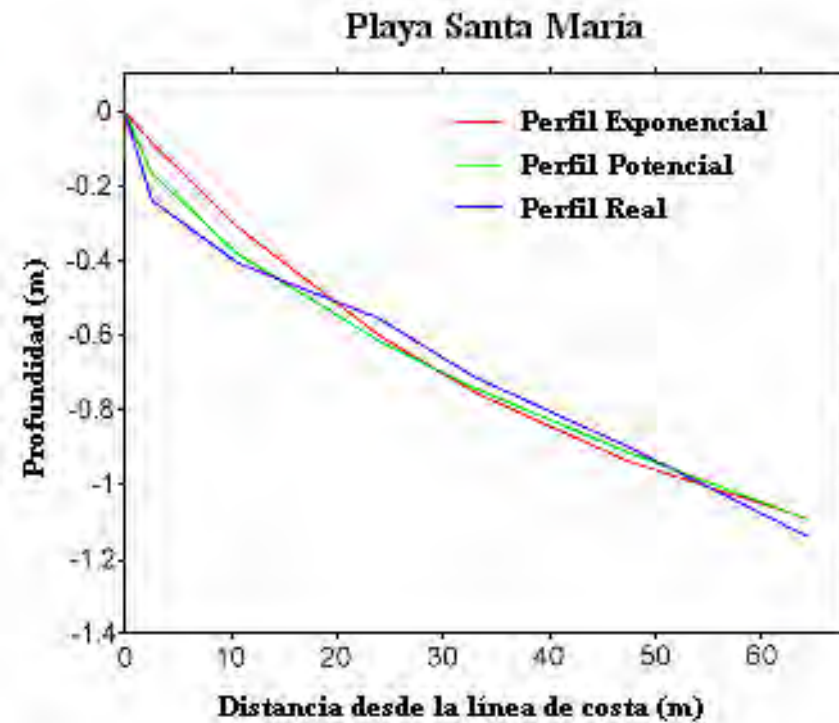
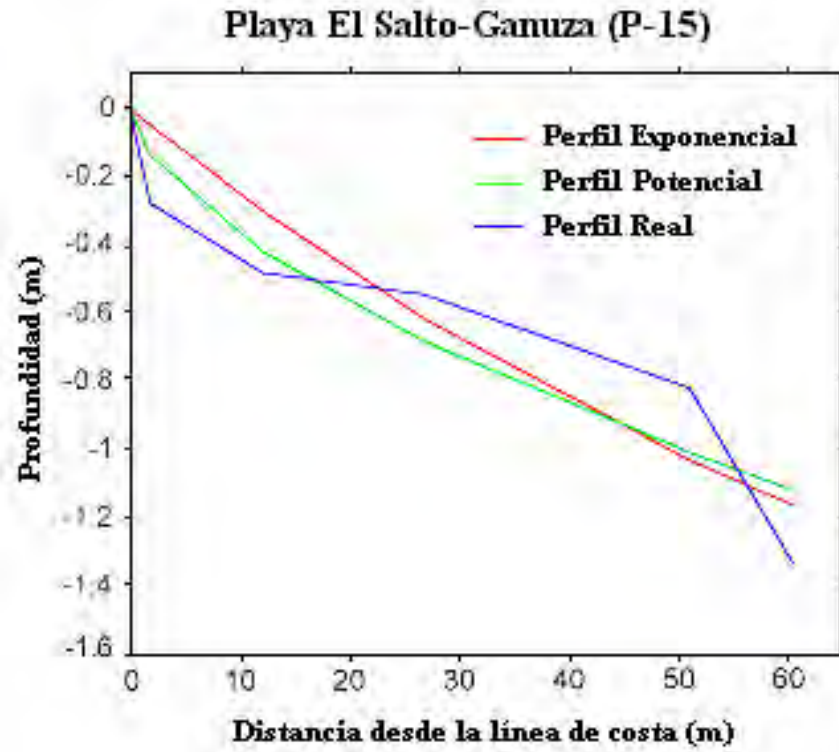


Fig. 12. Comparación del perfil real de las playas El Salto-Ganuza (P-15) y Santa María con los perfiles de equilibrio ajustados

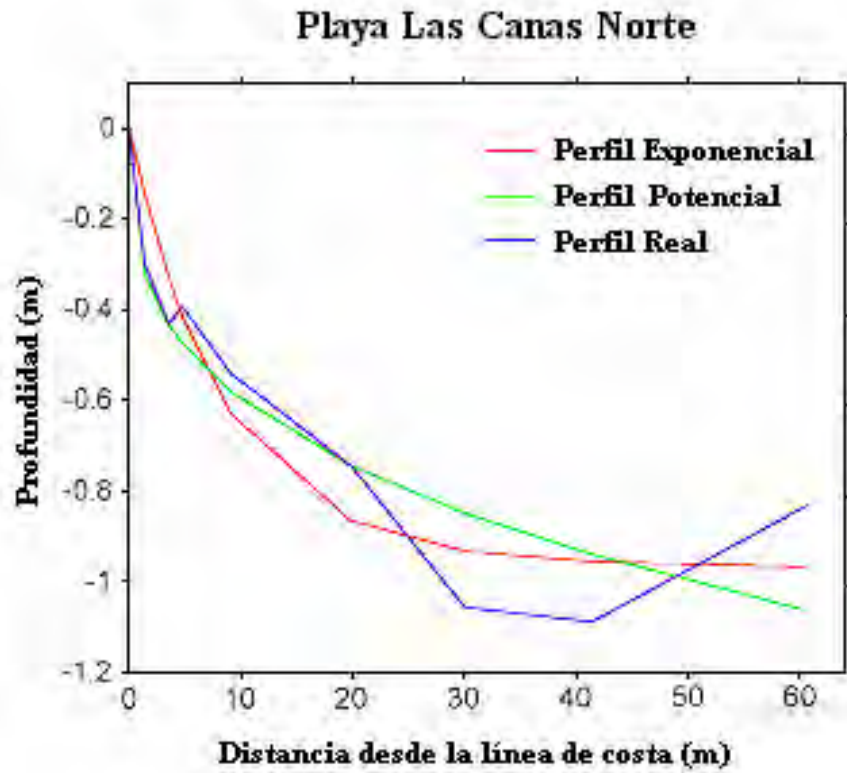
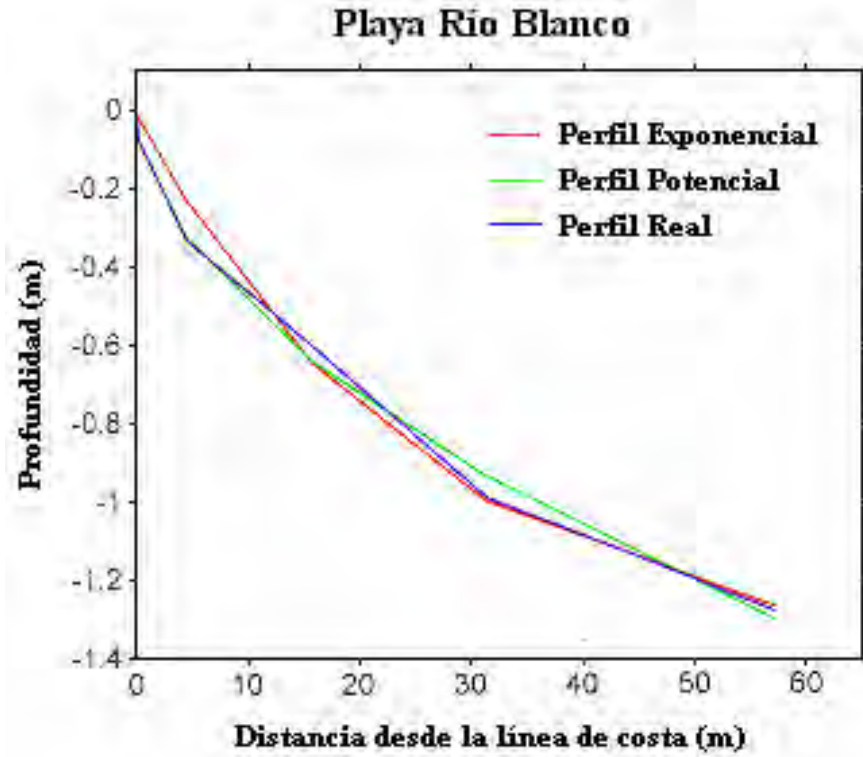


Fig. 13. Comparación del perfil real de las playas Río Blanco y Las Canas Norte con los perfiles de equilibrio ajustados

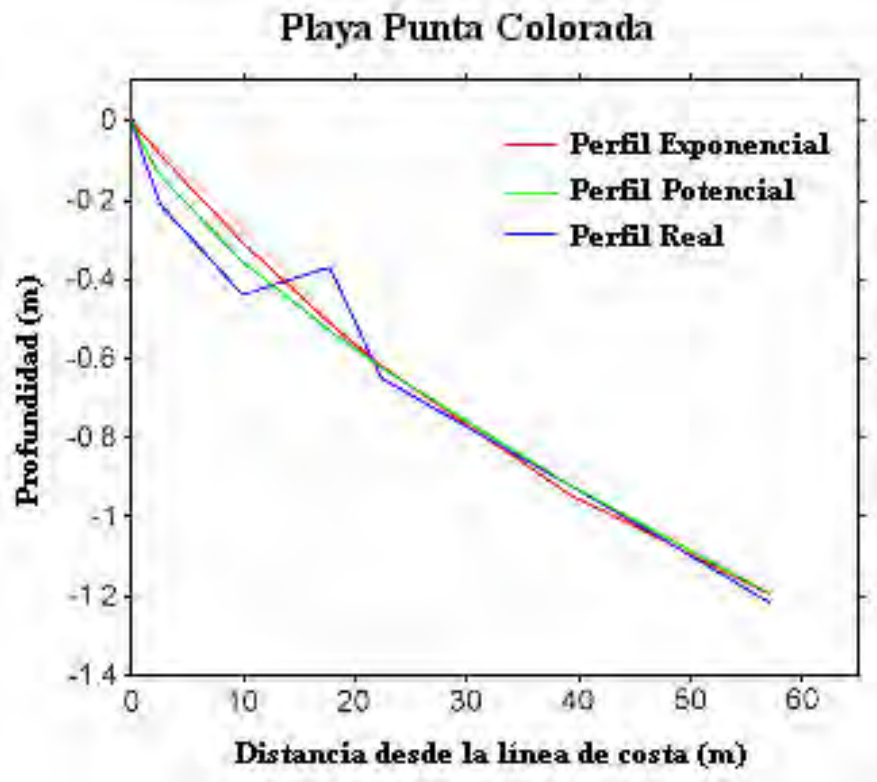


Fig. 14. Comparación del perfil real de la playa Punta Colorada con los perfiles de equilibrio ajustados

Tabla 6. Indicios, Causas y Magnitud de los Procesos de Erosión en las Playas Interiores de Cuba.

No	Playa	Prov.	Costa		Indicios de erosión	Causas de la erosión		Magnitud de la erosión		
			N	S		Natural	Antrópica	Debil	Moderada	Intensa
1	Bailén	Pinar del Río		X	Erosión inducida por el aplanamiento de la duna con equipos pesados	X	X	X		
2	Galafre	Pinar del Río		X	Reducido espacio de playa entre las construcciones sobre la duna y la línea de costa.	X	X		X	
3	Pta de Carta	Pinar del Río		X	Escarpe de 20 cm de altura. Reducido espacio de playa entre las construcciones sobre la duna y la línea de costa.	X	X			X
4	Las Canas	Pinar del Río		X	Surcos en la postplaya por escurrimiento superficial y penetraciones del mar. Afectaciones a instalaciones costeras.	X	X	X		
5	Majana	La Habana		X	Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X			X
6	Guanímar	La Habana		X	Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X			X
7	Cajío	La Habana		X	Socavación del muro costero por el oleaje. Vegetación degradada.	X	X			X
8	Surgidero	La Habana		X	Vegetación degradada. Retroceso de la línea de costa acelerado por rellenos artificiales.	X	X		X	
9	Mayabeque	La Habana		X	Construcciones afectadas por el oleaje. Retroceso de la línea de costa acelerado por la presencia de muros y espigones.	X	X			X

10	Rosario	La Habana		X	Construcciones afectadas por el oleaje. Vegetación degradada.	X	X		X	
11	La Pepilla	La Habana		X	Construcciones afectadas por el oleaje. Vegetación degradada. Desaparición parcial de la playa.	X	X			X
12	Caimito	La Habana		X	Escarpes de 20 cm de altura. Construcciones afectadas por el oleaje. Vegetación degradada.	X	X		X	
13	La Victoria	La Habana		X	Estructuras costeras parcialmente sumergidas.	X	X			X
14	Palo Alto	Ciego de Avila		X	Escarpes de 40 cm de altura labrado en el vial de acceso.	X	X		X	
15	Júcaro	Ciego de Avila		X	Escarpes de 20 cm de altura frente a estructuras de hormigón.	X	X		X	
16	Florida	Camagüey		X	Reducido espacio de playa entre las bases de sombrillas y la línea de costa.	X	X		X	
17	Jigüey	Camagüey	X		Reducido espacio de playa frente a muro costero.	X	X			X
18	Cunagua	Ciego de Avila	X		Muro costero parcialmente destruido por el oleaje	X	X		X	
19	La Tinaja	Ciego de Avila	X		Reducido espacio de playa entre el muro costero y la línea de costa.	X	X		X	
20	XI Festival	Ciego de Avila	X		Escarpe de 30 cm de altura. Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X			X
21	Pta Alegre	Ciego de Avila	X		Reducido espacio de playa entre el muro costero y la línea de costa.	X	X		X	

22	Victoria	Santi Spíriru	X		Socavación del muro costero por el oleaje. Afloramientos rocosos.	X	X		X	
23	Caibarién	Villa Clara	X		Socavación del muro costero por el oleaje. Afloramientos rocosos.	X	X		X	
24	Cayo Conuco	Villa Clara	X		Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X		X	
25	Jinaguayabo	Villa Clara	X		Escarpes de 20 cm de altura. Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X		X	
26	Juan Francisco	Villa Clara	X		Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X			X
27	Nazabal	Villa Clara	X		Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X		X	
28	Jáquete	Villa Clara	X		Relictos de mangle prieto a unos 20 m de la línea de costa. Afectación a construcciones costeras.	X	X			X
29	Piñón	Villa Clara	X		Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X			X
30	Uvero	Villa Clara	X		Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X			X
31	Isabela	Villa Clara	X		Escarpes de 20 cm de altura frente al muro costero.	X	X		X	
32	Carahata	Villa Clara	X		Escarpes de 20 cm de altura frente a muros y otras construcciones costeras.	X	X		X	
33	La Panchita	Villa Clara	X		Socavación del muro costero por el oleaje.	X	X		X	
34	Sierra Morena	Villa Clara	X		Escarpes de 10 cm de altura en el extremo este y retroceso de la línea de costa por construcción de espigón.	X	X	X		

35	Salto-Ganuza	Villa Clara	X		Ausencia de playa frente a construcciones costeras.	X	X	X		
36	Santa Maria	Pinar del Rio	X		Reducido espacio de playa entre el manglar y la línea de costa.	X			X	
37	Rio Blanco	Pinar del Rio	X		Construcciones costeras afectadas por el oleaje. Reducido espacio de playa.	X	X		X	
38	Puerto Esperanza	Pinar del Rio	X		Escarpes de 20 cm de altura. Afloramiento de raíces de casuarina.	X	X		X	
39	Rio del Medio	Pinar del Rio	X		Escarpes de 40 cm de altura frente a las bases de las sombrillas y junto a espigón.	X	X		X	
40	Las Canas	Pinar del Rio	X		Afloramiento de tocones de la vegetación costera en la anteplaya y la pendiente submarina.	X			X	
41	Pta Colorada	Pinar del Rio	X		Escarpes de 10-20 cm de altura.	X			X	

## TOTALES

Playas inventariadas		Causas de la erosión				Magnitud de la erosión					
41		Natural		Natural-Antrópica		Débil		Moderada		Intensa	
		3		38		4		24		13	
Costa N	Costa S	Costa N	Costa S	Costa N	Costa S	Costa N	Costa S	Costa N	Costa S	Costa N	Costa S
25	16	3	0	22	16	2	2	17	7	6	7

Tabla 15. Actuaciones costeras aplicadas en las Playas Interiores de Cuba.

No	Playa	Prov.	Costa		Tipo de actuación costera	Magnitud de la erosión
			N	S		
1	Bailén	Pinar del Río		X	Ausencia de Actuación	Débil
2	Galafre	Pinar del Río		X	Ausencia de Actuación	Moderada
3	Pta de Carta	Pinar del Río		X	Muros de Protección	Intensa
4	Las Canas	Pinar del Río		X	Alimentación Artificial de Playa	Débil
5	Majana	La Habana		X	Muros de Protección	Intensa
6	Guanímar	La Habana		X	Muros de Protección y espigones	Intensa
7	Cajío	La Habana		X	Muros de Protección	Intensa
8	Surgidero	La Habana		X	Ausencia de Actuación	Moderada
9	Mayabeque	La Habana		X	Muros de Protección y espigones	Moderada
10	Rosario	La Habana		X	Muros de Protección y espigones	Moderada
11	La Pepilla	La Habana		X	Muros de Protección	Intensa
12	Caimito	La Habana		X	Muros de Protección y espigones	Moderada
13	La Victoria	La Habana		X	Muros de Protección	Intensa
14	Palo Alto	Ciego de Avila		X	Ausencia de Actuación	Moderada
15	Júcaro	Ciego de Avila		X	Muros de Protección	Moderada



16	Florida	Camagüey		X	Ausencia de Actuación	Moderada
17	Jigüey	Camagüey	X		Muros de Protección y espigones	Intensa
18	Cunagua	Ciego de Avila	X		Muros de Protección	Moderada
19	La Tinaja	Ciego de Avila	X		Muros de Protección	Moderada
20	XI Festival	Ciego de Avila	X		Muros de Protección	Intensa
21	Pta Alegre	Ciego de Avila	X		Ausencia de Actuación	Moderada
22	Victoria	Santi Spíritu	X		Muros de Protección	Moderada
23	Caibarién	Villa Clara	X		Muros de Protección y espigones	Moderada
24	Cayo Conuco	Villa Clara	X		Muros de Protección	Moderada
25	Jinaguayabo	Villa Clara	X		Ausencia de Actuación	Moderada
26	Juan Francisco	Villa Clara	X		Muros de Protección	Intensa
27	Nazabal	Villa Clara	X		Muros de Protección	Moderada
28	Jáquete	Villa Clara	X		Muros de Protección	Intensa
29	Piñón	Villa Clara	X		Muros de Protección	Intensa
30	Uvero	Villa Clara	X		Muros de Protección	Intensa
31	Isabela	Villa Clara	X		Muros de Protección	Moderada
32	Carahata	Villa Clara	X		Muros de Protección	Moderada
33	La Panchita	Villa Clara	X		Muros de Protección	Moderada
34	Sierra Morena	Villa Clara	X		Alimentación Artificial de Playa	Débil

35	Salto-Ganuzá	Villa Clara	X		Alimentación Artificial de Playa	Débil
36	Santa María	Pinar del Río	X		Ausencia de Actuación	Moderada
37	Río Blanco	Pinar del Río	X		Ausencia de Actuación	Moderada
38	Puerto Esperanza	Pinar del Río	X		Muros de Protección	Moderada
39	Río del Medio	Pinar del Río	X		Ausencia de Actuación	Moderada
40	Las Canas	Pinar del Río	X		Ausencia de Actuación	Moderada
41	Pta Colorada	Pinar del Río	X		Ausencia de Actuación	Moderada