

Elías Ramírez Cruz
Carlos García Hernández
Raúl Martell Dubois

GEOMORFOLOGÍA COSTERA Y REGENERACIÓN DE PLAYAS EN REPÚBLICA DOMINICANA



MINISTERIO DE CULTURA
ARCHIVO GENERAL DE LA NACION
DEPTO. DE BIBLIOTECA



Donado por el Instituto
Dominicano de Geografía e
Historia

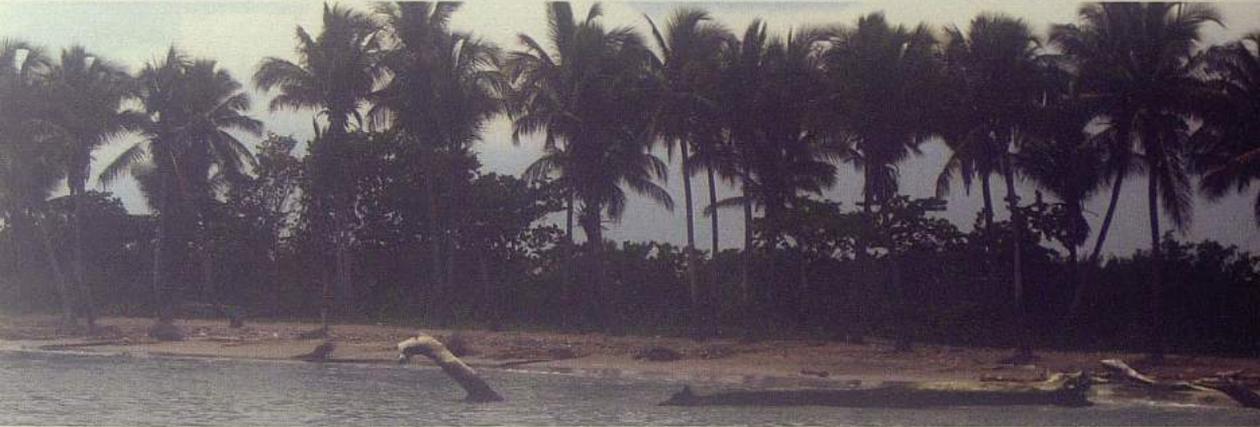
27/03/15

GEOMORFOLOGÍA COSTERA Y REGENERACIÓN
DE PLAYAS EN REPÚBLICA DOMINICANA

Cortesía
SECCION NACIONAL DOMINICANA
IPGH

Elías Ramírez Cruz
Carlos García Hernández
Raúl Martell Dubois

GEOMORFOLOGÍA COSTERA Y REGENERACIÓN DE PLAYAS EN REPÚBLICA DOMINICANA



Instituto Panamericano de Geografía e Historia
Sección Nacional de República Dominicana
2014

MINISTERIO DE CULTURA
ARCHIVO GENERAL DE LA NACION
DEPTO. DE BIBLIOTECA

Sección Nacional
de República Dominicana
I P G H

Consejo Directivo

Bolívar Troncoso Morales
Presidente

Héctor Luis Martínez
Vicepresidente

Comisión de Geografía
Jorge Quezada

Comisión de Historia
Fernando Pérez Memén

Comisión de Cartografía
Rosanna L. Pons Peguero

Comisión de Geofísica
Eugenio Leopoldo Rivera

Elías Ramírez
Carlos García Hernández
Raúl Martell Dubois
GEOMORFOLOGÍA COSTERA
Y REGENERACIÓN DE PLAYAS
EN REPÚBLICA DOMINICANA

Edición al cuidado de
Héctor Luis Martínez

Diseño
Amado Alexis Santana Chalas

Corrección
León Félix Batista

ISBN: 978-9945-475-27-2

Impresión
Editora Búho



AGRADECIMIENTOS:

*A los directivos y especialistas de las empresas CADIC, SA, CESIGMA, S.A.
y EMPACA, SCxA. y del MITRER de la República Dominicana.*

*A los especialistas de los institutos del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio
Ambiente (CITMA) de la República de Cuba que participaron en los proyectos costeros
de la República Dominicana y en sus Estudios de Impactos Ambientales.*

*Por su revisión y ayuda a:
MSc. María del Carmen Martínez Hernández
Lic. Miriam Isabel Arcia Rodríguez*

*Y especialmente, por su interés, entusiasmo y aportes
para la concepción de esta obra a los especialistas siguientes:
MSc. Bolívar Troncoso Morales
Dr. Rolando Pereira Pérez
Dr. Luis Rafael Díaz Cisneros*

Índice

<i>Presentación</i>	13
BOLÍVAR TRONCOSO MORALES	
<i>Introducción</i>	19
Capítulo I. Conceptos generales	23
Capítulo II. Tramo costero río Pedernales-río Nizao	39
Playa Bahía de las Águilas	41
Playa San Rafael	44
Playa El Quemáito	58
Playa Trujillo	64
Playa Saladilla	66
Playa Barahona	67
Bahías de Neiba y de Ocoa	71
Playa Los Corbanitos	72
Capítulo III. Tramo costero río Nizao-río Chavón	85
Playa Palenque	86
Playa Najayo	95
Distrito Nacional	102
Playa Boca Chica	106
Playa Juan Dolio	114
Río Soco	120
Playa La Caleta	121
Capítulo IV. Tramo costero río Chavón-río Nisibón	129
Playa Bayahibe	130
Río Yuma	135
Playa Altabella-Juanillo	142

Punta Cana	148
Cabo Engaño	158
Playa Macao	164
Capítulo V. Tramo Costero río Nisibón-río Boba	173
La Bahía y Península de Samaná	174
Arroyo Barril	178
Oeste de La Pascuala	181
Playa Carenero	189
Playa Los Cacaos	198
Bahía de Rincón	213
Costa norte de la península de Samaná	215
Playa Nagua	222
Capítulo VI. Tramo costero río Boba-río Dajabón (Masacre)	223
Bahía Príncipe	225
Playa Cabarete	226
Playa Sosúa	230
Playa Dorada	232
Playa Long Beach	234
Playas de Montecristi: Costa Verde y Juan de Bolaños	244
Capítulo VII. Restauración de la playa Cabarete	253
Estimación del oleaje oceánico	261
Propagación del oleaje en la zona costera	263
Pendiente submarina	269
Dinámica del perfil de playa	273
Perfil de equilibrio de la playa	278
Perfil de equilibrio en condiciones de tormenta	280
Funcionamiento del sistema costero	282
Caracterización de los bancos de préstamo de arena	288
Diseño de las actuaciones	291
Obras de apoyo para la regeneración de la playa	292
Alimentación artificial de arena	294
Definición del perfil y la forma en planta de la playa	295
Cálculo del volumen de arena y ajuste de los perfiles de diseño	298
Ejecución	300
Efectividad del proyecto	307

Capítulo VIII. Restauración de la playa Juan Dolio	317
Levantamiento topográfico	318
Levantamiento batimétrico	326
Caracterización sedimentológica	330
Dinámica litoral	334
Transformación del oleaje	335
Teoría lineal del oleaje	336
Ecuación de Berkhoff	342
Transporte de sedimentos	344
Funcionamiento del perfil de equilibrio	348
Forma en planta de la playa	351
Morfología y Dinámica	355
Propuesta de solución	363
Zona de préstamo de arena	368
Batimetría	369
Cálculo de reserva	369
Parámetros de diseño. Alimentación artificial de arena	373
Diseño del perfil a conformar	373
Forma en planta de la playa regenerada	390
Compatibilidad de la arena	391
Obras de apoyo	395
Efectividad	395
 <i>Bibliografía</i>	 411

Presentación

La Sección Nacional Dominicana del Instituto Panamericano de Geografía e Historia se complace al poner la obra *Geomorfología Costera y Regeneración de Playas en República Dominicana*, escrita por el doctor Elías Ramírez Cruz, a disposición de especialistas y público en general, la que de seguro será muy bien valorada por sus alcances y aportes en esta sensible temática.

En la primera parte de la obra destaca el análisis de la geomorfología costera dominicana, mientras que en la segunda se detallan los casos de regeneración de las playas Cabarete, en la provincia Puerto Plata, y Juan Dolio en San Pedro de Macorís, como ejemplos de cuatro playas regeneradas en el país en 2006 (Long Beach, Playa Dorada, Cabarete y Juan Dolio).

Este interesante estudio sobre regeneración de playas inició su proceso en el decenio 1990, cuando fungíamos como asesor del hoy Ministerio de Turismo en materia ambiental y ecoturística, al proponerle al Secretario de ese momento buscar ayuda técnica para enfrentar la problemática del acelerado deterioro que afectaba a varias playas de las más relevantes en el turismo de sol y playa del país, y que tenían serios problemas de erosión. Primero se recurrió a la cooperación de expertos españoles, luego de cubanos, con el envío a Varadero, Cuba, de una delegación integrada por el Secretario de Turismo, representantes de la Asociación Nacional de Hoteles y Restaurantes (ASONAHORES) y un servidor, para conocer la experiencia de la regeneración de la playa en dicha zona.

A partir de esta experiencia fueron contratadas las empresas CADIC, S.A, española, y la cubano-española CESIGMA, S.A., expertas en el tema, iniciándose un proceso de estudios de las costas donde existen playas con niveles de erosión en las regiones norte, suroeste y sureste, por técnicos geógrafos cubanos con especialidad en geomorfología de costa, biología marina, hidrología, bioquímica marina, entre otras áreas, en su mayoría con grados de maestría y doctorado en Rusia y Cuba.

Nunca se había contado en el país con tantos expertos extranjeros en Geografía, llegando a tener hasta doce de ellos, los que fueron utilizados, además de los estudios señalados, para impartir conferencias en la Escuela de Geografía de

la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), donde explicaron lo que estaban realizando en el país, además de otras experiencias en Cuba y otros países de la cuenca del Caribe como México.

Realizaron estudios de batimetría con su respectiva cartografía submarina o isobatas, de oleaje marino, de corrientes marinas, de los vientos y su incidencia en las arenas de las playas, de la topografía litoral, de hidrología litoral, análisis bioquímico de las aguas litorales, análisis de laboratorios para determinar la composición (origen) y granulometría de las arenas de las playas estudiadas, estudio del transporte longitudinal de las arenas para determinar las causas de la erosión de las playas, los efectos antrópicos en los niveles de erosión y deterioro de las playas, ubicación de los bancos de arena para la alimentación de las playas a regenerar, entre otros estudios.

Los estudios de impactos ambientales fueron realizados por la empresa consultora dominicana Consorcio EMPACA-Redes, requisito para la obtención de las licencias ambientales que permitirían realizar los procesos de regeneración.

Los estudios dieron excelentes resultados, además de confirmar las causas del deterioro de las playas, generado tanto por los seres humanos (antrópicas) como por cambios en el comportamiento de la naturaleza, especialmente por el cambio climático global, esto es el aumento del nivel del mar por el derretimiento de los cascos polares.

Por ejemplo, la playa de Juan Dolio fue deteriorada por la construcción de espigones y rompeolas sin estudios previos, y por la construcción de infraestructuras arquitectónicas sobre las dunas; Long Beach fue erosionada por la construcción de espigones; Playa Dorada fue erosionada por dinamitar los corales para permitir el ingreso de las embarcaciones a la zona de arena de las playas, así como la construcción de estructuras duras (concreto) supuestamente para corregir los niveles de erosión generados por la destrucción de los corales con la dinamita; las playas de Monte Cristi por la construcción sobre la duna del hotel Monte Bonito, construcción de la carretera Monte Cristi-El Morro sobre la duna, construcción de las salinas sobre las dunas, el desvío del río Yaque del Norte a finales del siglo XIX, aportando grandes cantidades de material aluvional en la costa próxima a las playas, entre otras medidas; las playas del pueblo de Barahona y el cayo con la construcción del puerto por Trujillo en el decenio 1950; la playa de Cabarete por la construcción de espigones y la construcción de planta turística sobre las dunas.

Otras causas determinadas fueron los niveles de deforestación, afectando corales con los excesos de materiales producto de la erosión generada por la deforestación y el consecuente arrastre de los ríos y su deposición sobre los corales; la extracción indiscriminada de arena del cause de los ríos, reduciendo el aporte de arena terrígena a las playas; extracción de arena de las dunas y las playas; la

destrucción de manglares y humedales asociados para la construcción de hoteles y otras infraestructuras turísticas.

Estos excelentes estudios fueron lo suficientemente convincentes para que los sectores turísticos oficial y privado unieran esfuerzos para financiar la regeneración de las playas de Long Beach, Playa Dorada y Cabarete en Puerto Plata, así como también Juan Dolio en San Pedro de Macorís, con una inversión de alrededor de dieciocho millones de dólares, con el auxilio de los técnicos cubanos, dominicanos y un barco holandés (son grandes expertos en obras de ingeniería de costas), responsable de extraer la arena de los bancos donde no vuelve a ingresar a las playas para la alimentación con su consecuente regeneración, magistral obra llevada a efecto en 2006.

Para el diagnóstico, estudio y regeneración de las cuatro playas, el equipo de expertos, dentro de los cuales el autor de esta obra formaba parte, fue necesario:

1. Realizar los levantamientos topográficos de las mismas
2. Efectuar las caracterizaciones de la hidrodinámica
3. Estudiar la geomorfología de sus costas
4. Estudiar la sedimentología de las costas de cada playa
5. Analizar las pendientes submarinas de cada playa
6. Analizar el funcionamiento de los sistemas costeros
7. Estudiar las cuencas sedimentarias marinas para determinar cuáles podían aportar a la regeneración de las playas
8. Realizar el diseño de las soluciones para el mejoramiento de las mismas.

Es relevante destacar la importancia de las obras de apoyo o ejecutivas en las playas regeneradas, como garantía para retener la arena, lograr el equilibrio y la estabilidad de las mismas, entre otras razones que garantizarán su manejo sostenible. En este sentido se mencionan las que le faltaron a dos de las playas regeneradas, como fueron la construcción de la duna a la playa Juan Dolio y las obras de fábrica para los desagües de Long Beach, así como también el monitoreo semestral a cada playa regenerada. Lamentablemente la playa Long Beach tiene un acelerado proceso de erosión, y si no se controla la inversión se perderá.

Con la publicación de esta obra la Sección Nacional Dominicana del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) pretende aportar los primeros estudios de las costas dominicanas, así como también la regeneración de playas como instrumentos fundamentales y esenciales que demuestran su importancia para dar respuesta a la problemática de la erosión de las playas por la acción antrópica y natural, mismo que se está acelerando con el cambio climático global, como respuesta a la adaptación del turismo al mismo, única manera de garantizar un desarrollo turístico sostenible de sol y playa, tomando en cuenta

que este es el principal sector de la economía del país. También pretende llamar la atención sobre la acción de los seres humanos sobre el recurso playa, de manera que se entienda la importancia de las mismas en la economía del país, así como la necesidad de legislar para su protección y manejo sostenible.

El IPGH ha contratado al doctor Elías Ramírez Cruz, graduado en Geografía en la Universidad de La Habana, Cuba, doctorado en Ciencias Geográficas con especialidad en Geomorfología de Costas en Rusia, para que, como miembro de los expertos cubanos, y dada su especialidad y gran experiencia en la regeneración de playas en Cuba, recopilara la información fundamental para hacer realidad la publicación de esta obra, cuya lectura detenida identificará al lector con las siguientes consideraciones.

1. Es importante entender las costas como unidades físico-geográficas complejas, donde interactúan varios factores como son las corrientes marinas, el oleaje, el aporte y transporte de la arena, entre otros, así como también los efectos de los fenómenos naturales y los impactos de las acciones antrópicas, lo que nos permitirá lograr un manejo sostenible de las playas, recurso por excelencia del turismo del país.
2. Es prioritario completar las obras de apoyo o ejecutivas como garantía de evitar la pérdida de arena y con ella la gran inversión realizada en las playas regeneradas.
3. Es imprescindible realizar el monitoreo semestral a las playas regeneradas, como vía expedita para determinar a tiempo las causas de posible deterioro, así como también actuar a tiempo para corregir las posibles causas.
4. La creación de la Ley de Costa de la República Dominicana es impostergable, como garantía para la conservación de las playas del país en el tiempo y el espacio.

Finalmente, es justo reconocer la imposibilidad de concebir esta obra sin tomar en cuenta las atenciones dispensadas por el pasado ministro de Turismo, Lic. Félix Jiménez, a los ejes temáticos que la conforman. En ese sentido, destaca su agudeza al asumir una obra de gran envergadura y extraordinaria importancia para el presente y el futuro del más importante sector de la economía nacional, el turismo, con una visión que provoca se le reconozca como gestor y estrategia de gran valor del desarrollo del turismo dominicano.

BOLÍVAR TRONCOSO MORALES
 Presidente Sección Nacional Dominicana
 IPGH

GEOMORFOLOGÍA COSTERA Y REGENERACIÓN DE PLAYAS EN REPÚBLICA DOMINICANA



Introducción

El Caribe es uno de los principales destinos que los turistas escogen, esto es debido, en particular, por la calidad de sus playas, el clima cálido y la acogida de sus pobladores. Esto ha conllevado a que para muchas islas del Caribe, el turismo de playa es un renglón importante de la economía. Por lo que cobra mayor valor el hecho de que actualmente las playas están pasando por un marcado proceso erosivo, estimándose sus niveles de erosión entre 0.5 y 2.2 m/s al año (Cambers, 1985).

La acelerada erosión que se observa en las playas del Caribe es el resultado de la combinación de complejos fenómenos naturales y acciones antrópicas. Los naturales, están relacionados con los cambios climáticos que conllevan a la elevación del nivel del mar, la posible intensificación y aumento de frecuencia de las tormentas tropicales, la elevación de la temperatura que favorece la aparición del blanqueamiento masivo de corales y de enfermedades de origen microbiano, el incremento de la acidez del mar, que también propicia el blanqueamiento de los corales y disminuye la capacidad de los corales de formar su esqueleto, el déficit en la producción natural de arenas a partir de restos esqueléticos de algas calcáreas, foraminíferos, moluscos y corales por lo anteriormente dicho y los ajustes tectónicos actuales de la corteza terrestre.

Por otra parte, la erosión de una playa se intensifica cuando sobre ella inciden de manera directa acciones antrópicas, como son la extracción de áridos para la industria de la construcción de sus cuencas naturales de abastecimiento, la construcción de viales y hoteles sobre las dunas, el represamiento o desvío de ríos y la instalación de marinas y puertos que rompen el intercambio natural de la dinámica litoral de los sedimentos cuando no se tienen en cuenta en los estudios previos. De manera que el borde costero es modificado no sólo por mareas, oleajes y corrientes como se concibió en los inicios de los estudios de la morfodinámica litoral.

Atendiendo a los diferentes factores que inciden en la erosión de una playa, las acciones para mitigarla requieren no sólo de investigaciones científicas, que expliquen adecuadamente el fenómeno, sino, además, de la implementación de regulaciones y leyes que aseguren el correcto manejo de la zona costera y de las técnicas ingenieras apropiadas para recuperar y proteger los entornos costeros dañados.

Las manifestaciones de erosión de las playas del Caribe son comunes también a las playas de República Dominicana, al igual que las soluciones realizadas en diferentes playas del país para mitigar su erosión, son factibles de aplicar en otras playas de la región caribeña.

De particular interés resulta conocer la evolución de las costas abrasivas tan difundidas en los litorales, como las costas acumulativas, por su rol como aportadoras naturales de sedimentos a la pendiente submarina y a las propias playas, además de que en muchos entornos naturales constituyen una defensa a la erosión como apoyos naturales al movimiento de los sedimentos a lo largo del litoral.

El libro *Geomorfología Costera y Regeneración de Playas en República Dominicana* ha sido el resultado de la compilación y el análisis de numerosos proyectos ejecutados en el país con el objetivo de mejorar las playas y construir marinas, y de Estudios de Impacto Ambiental realizados para proyectos de diferentes tipos en la zona costera. En esos estudios han participado investigadores de diferentes perfiles profesionales (geólogos, geofísicos, geógrafos, geomorfólogos, biólogos y ambientalistas, entre otros). La mayoría de los proyectos citados, en particular los de las playas, contaron desde sus inicios con el financiamiento de la Secretaria de Estado de Turismo (SECTUR), actual Ministerio de Turismo y de los hoteleros de algunas playas.

Los estudios compilados de las playas abarcan desde 1999 hasta el 2006, siendo este último año en el que se realizaron los mayores vertimientos de arena para el mejoramiento de las playas de República Dominicana y posiblemente del Caribe. Las playas regeneradas en el país en ese año fueron Playa Dorada, Long Beach, Cabarete y Juan Dolio, de un total de 6 playas con Proyectos Ejecutivos para acometer su restauración. Las empresas que participaron en su ejecución fueron CADIC, S.A. de España, con personal técnico cubano, EMPACA REDES de República Dominicana y la de dragado Holandesa BOSKALIS.

El proceso actual de los cambios climáticos globales y sus efectos adversos en los sistemas costeros, resaltan la importancia del conocimiento detallado del comportamiento de la dinámica de las costas y su vulnerabilidad, para la búsqueda de soluciones sostenibles. Basado en esta premisa, el objetivo fundamental de este trabajo es transmitir muy modestamente los conocimientos acumulados sobre

Geomorfología costera de República Dominicana, poner de manifiesto la belleza de sus costas, así como, la capacidad de los diferentes sectores costeros para afrontar los efectos de tormentas severas en aquellos entornos correctamente manejados y finalmente poner en manos de la población, las autoridades ambientales y tomadores de decisiones, las herramientas apropiadas para el uso y aprovechamiento de este valioso recurso. En síntesis, para que el trabajo recopilado a lo largo de estos 10 años quede registrado y de alguna manera pueda ser útil a los que lo necesiten.

Aunque el objetivo de este libro no está dirigido a explicar detalladamente los proyectos desarrollados para restaurar las playas de República Dominicana, al describir el sector costero donde se encuentran enclavadas las playas regeneradas, se expone muy sucintamente, el avance del perfil costero y las mejoras aportadas al Sistema playa. Este análisis se realiza en los capítulos II, III, IV, V y VI referidos a la morfología costera; mientras que los capítulos VII y VIII abordan como casos de estudio, dos playas regeneradas con vertimiento artificial de arena, una en la costa sur, donde se expone como modelo la playa Juan Dolio y otra en la costa norte, donde se expone el trabajo desarrollado en la playa Cabarete. En ambas playas se pone de manifiesto el resultado alcanzado en la recuperación del litoral costero, con incidencia ambiental favorable, que de hecho, repercute en mejoras económicas en el uso racional de este valioso recurso.

Este libro fue concebido para reflejar las particularidades geomorfológicas más generales de las costas de República Dominicana, aun cuando quedan sectores por investigar, se aborda la temática por tramos costeros en 5 capítulos, sobre todo teniendo en cuenta, más que la continuidad de la unidad Fisiográfica o morfodinámica como tal, los elementos modeladores del relieve en particular; numerosos ríos bien conocidos son utilizados para acotar sectores litorales, donde se analizan con mayor profundidad aquellos entornos costeros que aportan mayor información al conocimiento general del comportamiento morfológico costero del país.

Los tramos de costa estudiados en los Proyectos de Regeneración de Playas y Estudios de Impacto Ambiental consultados están localizados a lo largo de la costa norte y sur, y como se ha dicho en párrafos precedentes, fueron agrupados en tramos costeros para su análisis en el presente libro (Fig. 1).

Las experiencias alcanzadas con los resultados del vertimiento artificial de arena en las playas Juan Dolio y Cabarete, con la restauración del sector costero, al igual que Long Beach y Dorada restauradas por el mismo sistema, son representativas de resultados prácticos en el cambio experimentado en favor del medio ambiente litoral

y exponentes claros de la necesidad de abordar soluciones a la erosión actual para prepararnos para escenarios futuros, por la influencia del Cambio Climático Global en las costas.



Fig.1 Ubicación de los sectores costeros con sus límites geográficos.

Capítulo I

Conceptos generales

Con la intención de hacer comprensibles algunas explicaciones de las características morfológicas de las costas, se acudió a la cita conceptual de diversas fuentes, entre las que sobresalen, el Seminario Hispano- Cubano de Costas (1996), Curso de Dinámica litoral (1994), curso de geomorfología litoral (Universidad de La Habana 1983) y material bibliográfico de geomorfología clásica costera, entre otros, Shepard (1973), Leontiev (1985), con la fertilización de algunas ideas expuestas en los mismos, así como la ilustración en la medida de lo posible, para ayudar al lector, en lo que va a encontrar más adelante.

LITORAL. Implica espacio en las costas y orillas, o zona marítimo-terrestre donde no sólo son sensibles las mareas y el oleaje, sino que su morfología está estrechamente ligada y modelada a las acciones y procesos marinos. Se extiende por los márgenes de las desembocaduras de los ríos hasta aquellos parajes que son muchas veces navegables y se hacen sensibles a las mareas. Por tanto, comprende la pendiente emergida, y a su vez, la pendiente submarina, como una prolongación morfológica de la anterior. Como sinónimos de litoral se pueden emplear los términos: ribera, estran, margen, borde y orilla.

INTEMPERISMO. Comprende los efectos de los agentes atmosféricos, como la lluvia, los rayos solares, los cambios de temperatura, el escurrimiento de las aguas y su infiltración, la ausencia de vegetación, los hielos y otros.

ABRACION. Es la destrucción de las costas por los procesos mecánicos y químicos del oleaje, tanto de la franja litoral, como de las pendientes submarinas costeras. Los productos de la acción abrasiva son acarreados, a su vez, por el oleaje y las corrientes litorales y de marea y otros parajes donde se acumulan y depositan.

COSTAS ACUMULATIVAS. Conceptualmente, la formación de una playa (costa acumulativa) (Imagen 1.1) depende de que exista una fuente estable de aporte de

sedimentos, que las condiciones del relieve sean apropiadas para su acumulación, y que una vez depositados los materiales, el perfil y la forma en planta de la costa, se establecen en armonía con las condiciones hidrodinámicas del lugar (Corbanitos, 2003). Entre las fuerzas destructivas más importantes se encuentran: la gravedad y las altas turbulencias caóticas debido a las fluctuaciones de la ola en la zona de rompiente. Algunas de las fuerzas constructivas son: el tensor de fuerzas de rozamientos netos por el fondo hacia la costa, la velocidad de la corriente por el fondo (disipación de energía) y la suspensión intermitente y transporte selectivo bajo la cresta de la ola hacia la costa. La forma del perfil de equilibrio es función de los parámetros del oleaje y de las características físicas de los granos del sedimento.

Ocasionalmente la playa está sometida a eventos extremos, durante los cuales la playa se erosiona, produciéndose intensas transformaciones en el perfil de la playa en cortos intervalos de tiempo, cuya predicción resulta de gran interés práctico.



Imagen I.1. Típica costa acumulativa al norte del país en la península de Samaná.

La importancia de conocer la morfología de la pendiente submarina frente a la playa radica en que permite conocer, mediante modelación, los posibles cambios a los que se va a someter el perfil de la playa en el transcurso del tiempo, producto de los cambios hidrometeorológicos, y a la vez, proporciona el conocimiento de los parámetros del relieve submarino que no deben ser alterados bajo ninguna circunstancia, para evitar males superiores en la playa.

COSTAS ABRASIVAS. En las costas también sobresalen por su amplia extensión, las costas abrasivas (Imagen I.2) y acantiladas, que si bien juegan un rol importante en la dinámica y morfología de los entornos acumulativos, en especial en las playas, ellas por sí solas presentan un comportamiento morfológico y dinámico mucho más espaciado en el tiempo, pero de gran valor en la evolución y morfología actual, de este tipo de litoral.



Imagen I.2. Costa abrasiva baja bañada por el oleaje en la costa norte de la provincia Samaná.

La elaboración del perfil de la costa abrasiva comienza en presencia de una costa de pendiente escarpada, formada por rocas homogéneas que forma masas considerables de sedimentos (arcilla, marga), con una pendiente homogénea en toda su extensión, sujeta a la acción constante de la marejada con cierta intensidad a lo largo del tiempo.

Las olas, trabajando sobre esta pendiente abrupta, están en condiciones de llevar hacia la línea de costa, una considerable cantidad de energía que va a emplear en el derrubio de la roca. La influencia máxima de las olas en esa pendiente se produce en una zona muy estrecha la cual es adyacente a la línea costera.

Como resultado de la acción combinada de las marejadas y las olas se produce la excavación de la pendiente y se forma el Nicho de la ola rompiente (Imagen I.3), según aumenta la profundidad de ese nicho se forma el voladizo, que es la cornisa que cubre el nicho, la cual debe desplomarse y entonces se forma una pared vertical, que se somete a la destrucción no sólo del agua, sino a otros agentes de intemperismo, como el viento, dando origen al acantilado, el cual se aleja cada vez más de su posición inicial hacia tierra, y detrás de él queda como vestigio de su retirada, la superficie elaborada por las olas y las mareas.

Esa superficie que queda en la base del acantilado recibe el nombre de Bench, cuyo perfil debe tener una forma regular como resultado de que el gasto máximo de la energía se produce en la base del acantilado. Precisamente es aquí, donde debe ocurrir la transformación de la pendiente que se diferencia sustancialmente de la pendiente inicial. El perfil de esa superficie debe adquirir un aspecto curvo hacia arriba y aplonado hacia la base del acantilado.



Imagen I.3. Desembocadura del río Cumayasa donde aparece una superficie abrasiva con huellas antiguas de la abrasión marina (nichos profundos) en sus costas.

Mientras más ancha sea la franja del Bench más energía se gasta en el recorrido de las olas sobre esa superficie abrasiva y queda menos para el trabajo abrasivo sobre ella. De este modo, la abrasión, a medida que se desarrolla, crea ella misma las condiciones que marcan el límite de su futuro desarrollo. Finalmente, el proceso abrasivo se extingue, el acantilado como forma del relieve que se desarrolla activamente desaparece y es transformado por los procesos subaéreos.

Ambos fenómenos geomorfológicos, erosión- deposición, junto con el transporte sólido litoral, constituyen los procesos litorales responsabilizados con la evolución temporal de las costas. Cuando el movimiento de las partículas se produce a lo largo de la orilla cabe pensar en la estabilidad, únicamente, desde un punto de vista dinámico. Los caudales sólidos que entran en el tramo, que puede comprender la totalidad de una playa o unidad fisiográfica, han de ser iguales a los que salen de él.

ZONA COSTERA. Constituye un escenario complejo, donde se produce una continua interacción entre los elementos de la hidrosfera, la litosfera, la biosfera y la atmósfera (Zenkovich, 1967). Al conjunto de procesos y fenómenos que condicionan la evolución de la Zona Costera se les conoce como Procesos Costeros, y son los responsables de modelar el relieve a corto, mediano y largo plazo.

La Zona Costera puede subdividirse en tres grandes partes (Zenkovich, 1967): La pendiente submarina, la costa y la zona de lavado. La pendiente submarina comprende toda el área de aguas someras, donde las formas del relieve se desarrollan con el efecto de las olas y las variaciones del nivel del mar. La costa se refiere a la tierra emergida, cuyo relieve ha sido construido y modelado por el mar, mientras que a la franja de transición entre la costa y la pendiente submarina, se le conoce como zona de lavado (Fig. I.1).

Desde hace varias décadas se desarrollan modelos matemáticos, con el objetivo de realizar predicciones confiables de la evolución de la costa y determinar las consecuencias de las tormentas y la elevación del nivel del mar. Idealmente, esos modelos permiten, con un oleaje y batimetría iniciales apropiados, simular el comportamiento de la línea de costa y del relieve del fondo marino en un período de tiempo dado. Además, pueden ser utilizados para el diseño de estructuras costeras y vertimientos de arenas, como evaluadores de su efectividad y funcionalidad en un período de tiempo determinado.

En esencia el transporte de sedimentos, en una u otra dirección, es el responsable de las variaciones morfológicas y sedimentológicas del perfil de playa (Fig. I.2), por lo que constituye uno de los principales procesos que intervienen en el funcionamiento de un Sistema Costero.

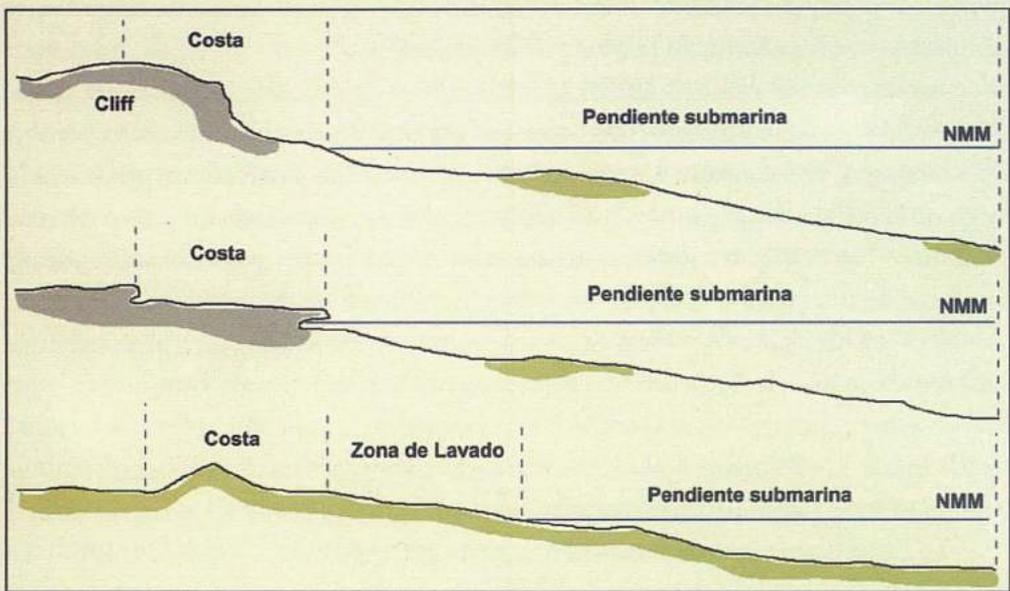


Fig. I.1. Elementos de la zona costera, según Zenkovich (1967).

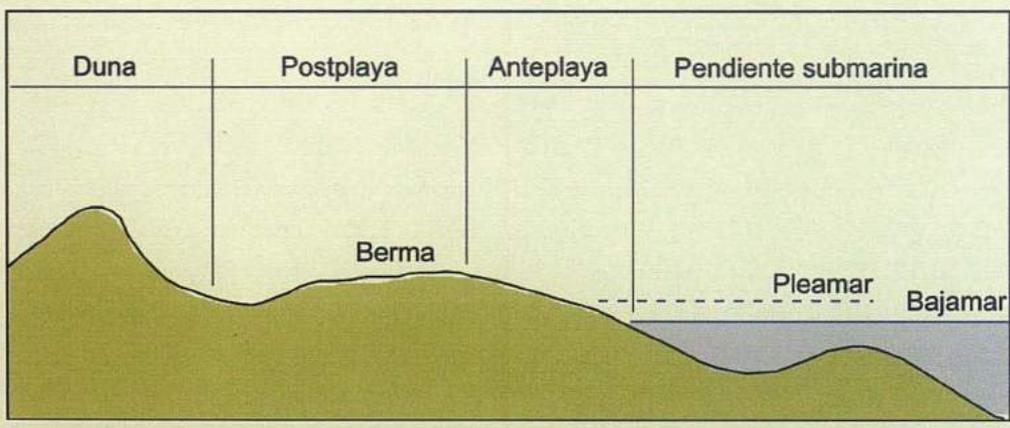


Fig. I.2. Terminología del perfil de playa. Shepard (1973).

Leontiev (1985) describe una de las posibles formas en que se alcanza el perfil de equilibrio: En el proceso de interacción entre el oleaje y el fondo de arena, la pendiente del perfil de playa tiende a adquirir una forma estacionaria correspondiente a un régimen de oleaje determinado. Con la acción de las olas, en un tiempo relativamente largo, se establece un perfil de equilibrio que permanece sin presentar cambios significativos, hasta que el régimen de oleaje varíe.

SISTEMA COSTERO. Se refiere a la compleja interacción que se establece entre un conjunto de procesos y elementos presentes en una unidad morfodinámica enmarcada en la zona costera y que da lugar al equilibrio permanente de la masa de sedimentos (Balance sedimentario). Los elementos que más influyen en el funcionamiento del sistema costero acumulativo son: el relieve, los sedimentos y la hidrodinámica.

TÓMBOLOS Y HEMITÓMBOLOS. Cuando cerca de la costa existe un promontorio aislado (isla, isleta, etc.) que crea una zona de amortiguamiento del oleaje, y por tanto un área de menor energía, lo que implica que en dicha zona de oleaje el transporte sólido litoral disminuya considerablemente, sedimentando el material transportado a lo largo de la costa. Consecuencia de todo esto es la formación de un saliente de material sedimentario (arena, grava o gravilla), creciendo su punta en dirección del promontorio que lo ha originado. Cuando el saliente logra alcanzar el promontorio y unirse físicamente con él se dice que se ha creado un tómbolo, y cuando el saliente no alcanza el promontorio se dice que se ha creado un hemitómbolo (Fig. I.3).

Realmente su formación depende del grado de sombra al oleaje que ejerza el promontorio a la costa y por tanto las variables a las que está sujeto son principalmente, la longitud del promontorio paralela a la costa (L) y la distancia de este a la costa (D). Cuando la relación D/L 1,5 el tómbolo se forma, mientras que cuando la relación se encuentra comprendida entre 1,5 y 3,5 se forma un hemitómbolo y cuando es mayor que 3,5 el promontorio apenas tiene influencia en la evolución de la costa.

DUNAS. Las dunas o médanos, son acumulaciones de arena producidas por el viento de dirección constante (Imagen I.4). Los granos de arena sacados por el viento son transportados desde las playas en dirección hacia tierra, caen al suelo y se acumulan formando un pequeño montículo. Así se forma una pequeña acumulación de arena, en dirección perpendicular al viento, que con el tiempo irá creciendo y aumentando progresivamente hasta cierto límite.

Las dunas costeras son generalmente dunas transversales, o sea, que se desarrollan perpendicularmente a la dirección del viento casi constante. No obstante, en aquellos

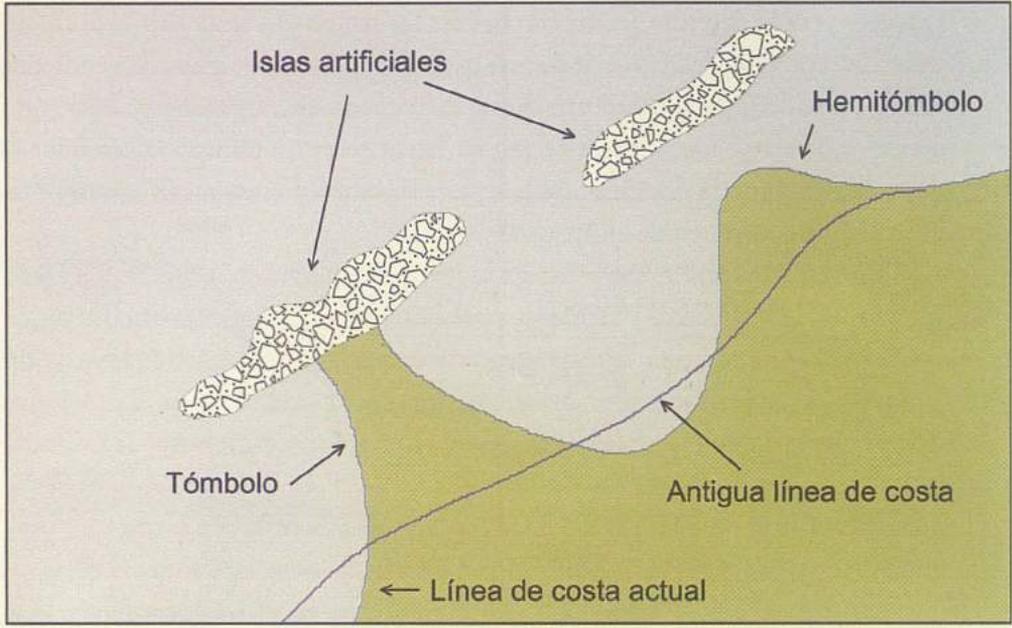


Fig. I.3. Esquema de representación del tómbolo y el hemitómbolo.



Imagen I.4. Típicas dunas de Bantí con una altura superior a los 3 metros, formadas por arena fina seleccionada de manera natural por el viento.

lugares donde no existen unos vientos reinantes claros, pueden producirse dunas tipo barjan, que son peculiares por su forma de cuernos, o más comúnmente dunas longitudinales, un intermedio entre ambas.

En general, tienen una pendiente suave del lado de barlovento, en torno a los 10 grados, y algo más escarpada del lado de sotavento, unos 30 grados. Las dunas costeras pueden tener una ligera variante, al poder ser los vientos perpendiculares a la costa, tanto de tierra como de mar, los que tienden a regularizar más las pendientes, de uno u otro lado.

Los campos de dunas litorales tienen una importancia especial en la protección costera, pues sirven de reserva de material para la recuperación de las playas y de contención para los grandes temporales (Imagen 1.5).



Imagen 1.5. Cadenas de dunas en la península La Salina

Para que se formen las dunas en los entornos costeros se tiene que cumplir, según la literatura especializada, cuatro condiciones, primero, que haya suficiente producción de arena, segundo, que exista una fuerza del viento capaz de transportar ese sedimento, tercero, que haya un espacio desprovisto de obstáculos que impida su traslado, y cuarto, que finalmente se deposite la arena favorecida por algún elemento morfológico del terreno, vegetación u obstáculo artificial que facilite el crecimiento de la duna y su estabilidad posterior.

PLAYAS. Son todas las acumulaciones de material sedimentario en el borde costero. Se pueden distinguir playas abiertas (Imagen I.6), playas apoyadas (en uno de sus extremos) y playas encajadas (apoyadas en sus dos extremos).

Desde el punto de vista de su perfil pueden distinguirse entre playa completa, playa sustentada (cuando se apoya en un pie sumergido, sea natural o artificial) y playa sumergida (cuando no existe zona seca de playa). La propia playa completa puede subdividirse desde tierra a mar, en playa seca y playa sumergida.

Desde el punto de vista de la actividad sedimentaria pueden distinguirse entre playas estables e inestables, pudiendo estar estas últimas en acumulación o erosión.

Las playas pueden distinguirse por el tipo de material que principalmente la forman, así existen playas de arena, de gravilla o de grava, calcáreas, silíceas, etc.

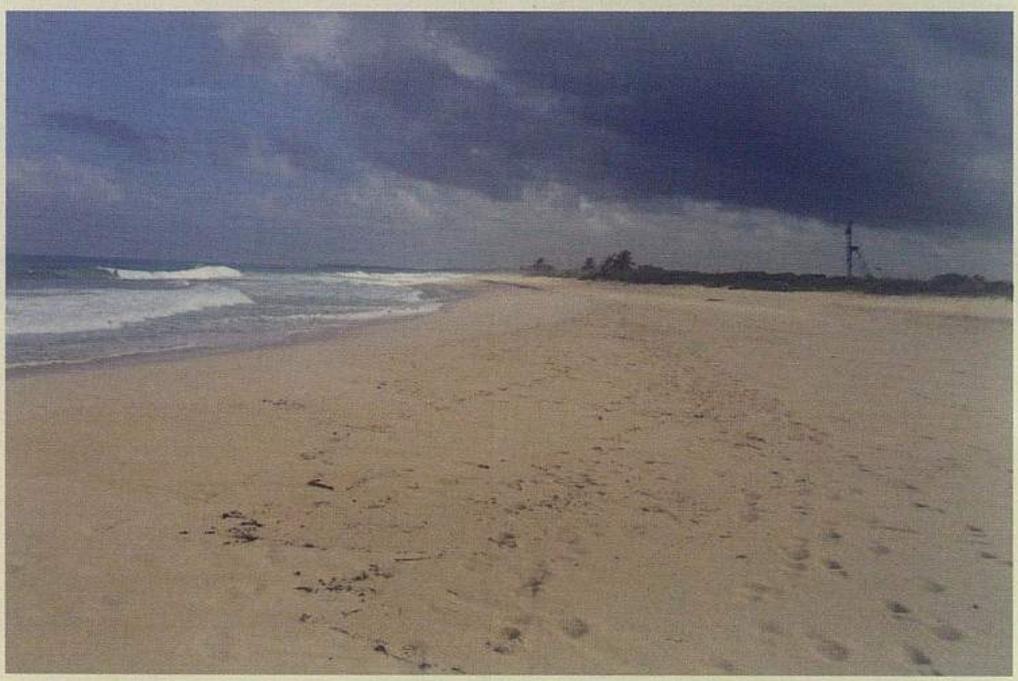


Imagen I.6. Playa abierta con poco desarrollo de dunas y pendiente submarina suave.

BAHIAS. Las partes entrantes del mar denominadas bahías, reciben otras denominaciones dependiendo de las características físicas que las distinguen, un trozo de mar que se interna en el continente ocupando gran extensión, es según los casos, seno, golfo, o brazo de mar. Cuando el entrante de mar en la tierra es de menor cuantía, se llama ensenada, pudiendo distinguirse según su tamaño, en calas o ancones, si son de reducido tamaño, bahías (Fig. I.4), de mayor tamaño y se encuentra

abrigada, aunque no es completamente tranquila, rada, de tamaño similar a la bahía si está desabrigada, y concha, cuando se encuentra algo más abrigada que las dos anteriores y tiene una forma en planta que se asemeja a una concha marina.



Fig. I.4. Bahía de Ocoa ubicada en el suroeste del país.

CABOS. Los cabos o puntas son salientes rocosos de la línea de costa, que se denominan de una u otra forma según su relieve. Así, son puntas aquellos salientes de poca elevación y tamaño, y cabo, el resto de los salientes, aunque a veces, si un cabo es de gran altura, se llama promontorio o peñón. El que se muestra en la figura I.5 es cabo Beata en el suroeste del país.

Los cabos suelen ser el contacto con el medio marino de una estribación o cadena montañosa, o islotes rocosos aislados unidos a tierra por materiales aluviales o por sedimentos marinos. Tienen gran importancia en la configuración de otras estructuras costeras, dado que es un condicionante físico de la dinámica litoral.

ACANTILADOS. Un acantilado (Bold, Cliff) es un resalto o talud no cubierto de vegetación, de fuerte pendiente, entre 10 y 15 grados y la posición a pique, de altura variable, situado en la línea de costa, y que es debido a la actividad y presencia marina. Al estar expuestos a los avatares del mar, son formaciones costeras que se encuentran en continua erosión (Foto I.7), y por tanto una de las fuentes sedimentarias de las costas, dependiendo la velocidad de erosión, tanto de factores climáticos, como geológicos.



Imagen I.7. Litoral acantilado típico de la costa norte del Morro de Montecristi.

En el acantilado pueden distinguirse: el frente del acantilado, el pie del acantilado y la rasa o playa, que se forma con el material descompuesto y erosionado del acantilado, y que se encuentra, por tanto, parcialmente sumergida. Este es un punto de partida teórico, ya que suponemos que la costa permanece estable (sin movimientos tectónicos) al igual que el nivel marino.

En estas condiciones, el ciclo morfológico de la costa comienza con el golpe de ariete de las olas, en la parte baja del acantilado, de acuerdo con la altura de las olas y a su vez, de la amplitud de las mareas.

La labor de lima de la arena, el golpe de los cantos y fragmentos de rocas, la presión hidráulica del agua atacan las rocas del acantilado, el cual resiste con menor o mayor duración, según sea su constitución litológica, pero que cede poco a poco, formándose una oquedad, nicho o socavón, muy característicos de la abrasión.



Imagen I.8. Afloramiento de la formación típica de Beach-Rock en la playa San Rafael al suroeste del país.

CAÑONES SUBMARINOS. Estas formaciones no son propiamente formaciones costeras, pues se encuentran fuera de la línea de la orilla en la zona costera, pero por la gran importancia que tienen en los procesos costeros (barrera al paso de sedimentos, límite de unidades fisiográficas y sedimentarias, etc.) debe incluirse como tal. Son valles muy escarpados en los que la plataforma costera continental tiene un hundimiento brusco. Puede estar asociado a fallas o a antiguos valles formados en las regresiones marinas, por lo que en ciertos casos se encuentran asociados a un valle continental y a la desembocadura de un río.

BEACH-ROCK. El *beach-rock* es un conglomerado de arena consolidada en la playa que aflora al perder las capas de arena que yacían sobre ella (Imagen I.8). Por lo regular, esas capas eran de gran espesor y peso, por lo que la presencia del Beach-rock en el perfil de la playa o en las dunas, es un rasgo morfológico de un proceso de erosión acelerado en el litoral costero.

RIPPLE MARK. Ondulaciones que se producen debajo del agua en la superficie de la arena, cuyas ondulaciones responden en tamaño y distancia entre ellas, al trabajo de las corrientes y a la mayor o menor intensidad de las mismas. La orientación en que aparecen éstas, muestra la dirección de las corrientes en el fondo marino.



Imagen I.9. Restos de un alga Halimeda.

ALGA HALIMEDA (Imagen I.9). Alga calcárea que se desarrolla en la pendiente submarina de la playa o plataforma marina, y que junto a las barreras coralinas, constituyen fuentes de ingreso de arena a la playa. Tiene que contar con condiciones ambientales aceptables para su crecimiento y desarrollo, de lo contrario desaparecen cuando la contaminación invade los placeres marinos donde suelen desarrollarse.



Imagen 1.10. La Thalassia Testudinum

THALLASSIA TESTUDINUM. La *Thalassia Testudinum* (Imagen 1.10) en la pendiente submarina de las playas, además de su rol en la biodiversidad del fondo marino, es un elemento estabilizador de la arena, tanto en los momentos cíclicos de la playa, como en temporadas de afectación por fuertes turbonadas.



Capítulo II

Tramo costero río Pedernales-río Nizao

En este tramo costero se recorren los litorales de cuatro provincias suroccidentales, a saber: Pedernales, Barahona, Azua y Peravia, caracterizados por perfiles de playas muy limitados, regularmente con sedimentos terrígenos, en su mayoría de granulometría gruesa y cantos rodados, sobresalen las playas que se ubican en las bahías de Neiba y Ocoa por su morfología costera, por las dimensiones de los perfiles y las dunas, en particular, las formadas en la desembocadura del río Yaque del Sur y las hermosas dunas de Baní (Fig. II.1).

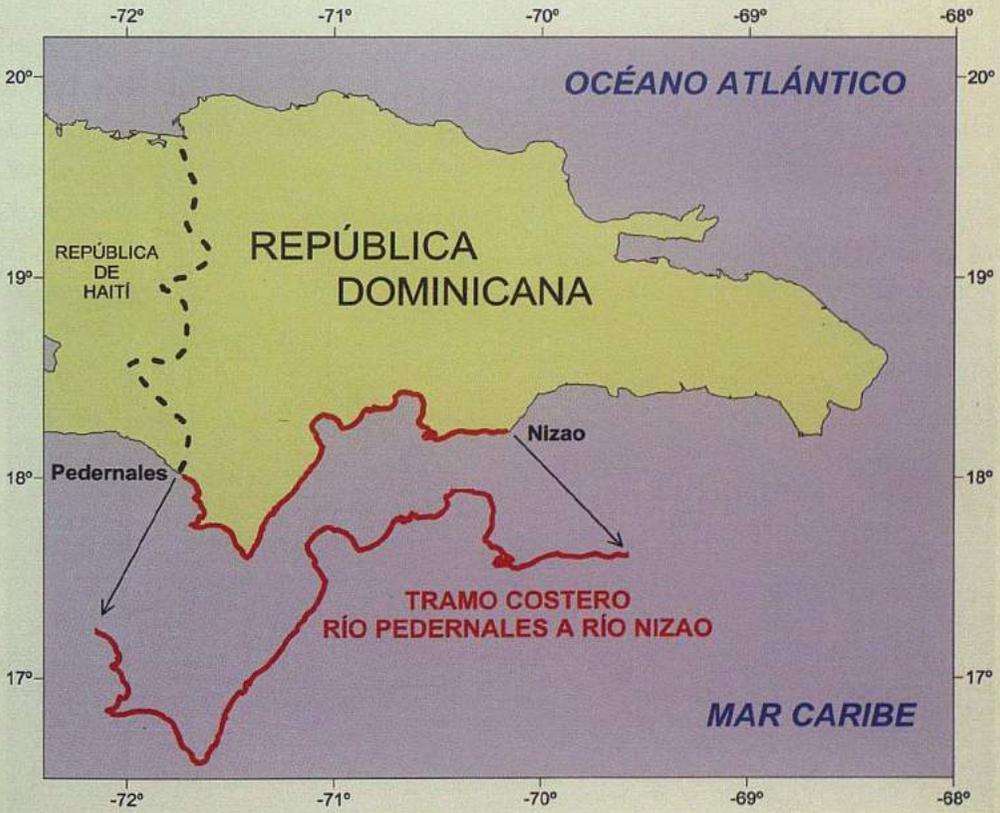


Fig. II.1. Tramo de costa río Pedernales-río Nizao.

Es significativo que la explotación turística de este tramo costero es baja a pesar de existir un gran potencial natural.

A partir del río Pedernales resalta en la morfología costera la configuración de amplias ensenadas acotadas hacia tierra por superficies aterrazadas, sobresaliendo entre ellas, en primer lugar, la playa Bahía de las Águilas con un perfil de pendiente submarina muy suave, mientras que en la parte terrestre, aparecen 4 niveles de terrazas abrasivas bien conformadas, limitadas por salientes acantilados al igual que en Playa Blanca, ensenada costera situada más al sur. De igual forma, en la playa Bahía de las Águilas, sobresale en el litoral, la presencia de una laguna costera.

En la costa opuesta, desde Cabo Beata, promontorio abrasivo aplanado por el oleaje, hasta Laguna de Oviedo, se destaca una costa acumulativa baja con pendiente más pronunciada en su parte marina, sometida directamente al fuerte embate del oleaje imperante en la zona. A continuación todo el litoral costero está caracterizado por una costa escarpada de acantilados (Foto II.1), entre los que se forman algunas playas, alimentadas principalmente del derrubio de éstos, hasta la misma inflexión en el cambio de orientación hacia la entrada en la bahía de Neiba.

En este capítulo se hace un análisis del sector, escogiendo para ello, las playas con mayor información, que son las de: Bahía de las Águilas, San Rafael y El Quemáto; las dos últimas son ejemplos típicos de la morfología del sector costero que por su orientación generalizada suroeste-noreste, recibe la acción directa del oleaje procedente del este y del sureste. Este mismo análisis se realiza con los demás sectores en los capítulos siguientes.



Imagen II.1. Costa acantilada, en playa Paraiso al sur de San Rafael.

Playa Bahía de las Águilas

Bahía de las Águilas se localiza en la costa meridional de República Dominicana, muy próxima a la frontera con Haití. La costa se presenta en forma de una amplia ensenada que limita por el Sur con Punta Ceimanche y hacia el Norte con unos salientes rocosos (Cabo Rojo) que llegan a formar acantilados (Fig. II.2). Esta playa no escapa a los problemas de deterioro que afectan de forma generalizada a las playas del Caribe, y aunque cuenta con una extensa área para su explotación turística, requiere ineludiblemente de trabajos de mejoramiento que permitan adecuar las condiciones para el baño y el esparcimiento en general.

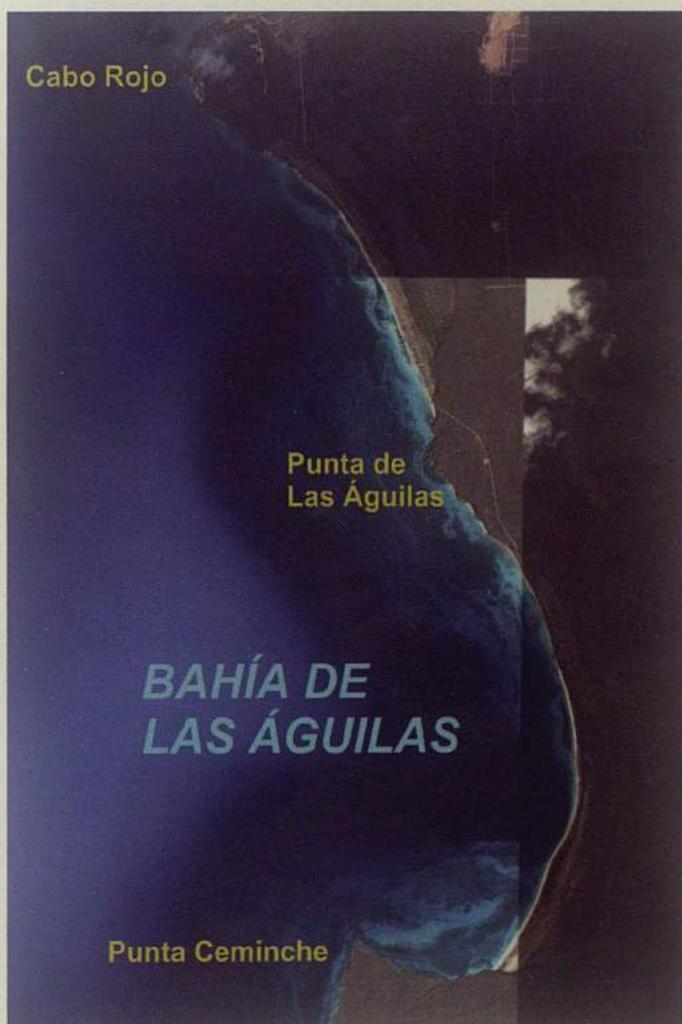


Fig. II.2. Límite de la playa Bahía de las Águilas con montículos rocosos.

De forma general, el litoral se caracteriza por presentar una extensa playa en forma de concha limitada por acantilados que le sirven de apoyo lateral. El ancho de la playa es variable y hacia tierra queda limitada por una duna de escasa altura en la que se desarrolla vegetación herbácea con predominio del guisazo de playa.

Como regularidad, a lo largo de la playa, se observa una diferenciación en el desarrollo del perfil. Hacia el sur la playa tiene un mayor ancho lo que posiblemente esté relacionado con una menor energía del oleaje y condiciones de relieve apropiadas para la estabilidad de la arena (Imagen II.2).



Imagen II.2. Playa Bahía de las Águilas con un perfil muy suave tanto en la zona emergida como en la sumergida (cortesía de Bolívar Troncoso).

Un elemento de interés en el sector litoral es la laguna costera (Imagen II.3) que se extiende paralela a la playa por detrás de las dunas de la porción septentrional. Dada la belleza natural de esta laguna y su cercanía a la playa, será un elemento que deberá integrarse a cualquier variante de desarrollo turístico de la región garantizando su funcionamiento, en particular, el intercambio subterráneo de agua, para evitar la aparición de fenómenos de eutrofización.

La proliferación del seibadal en la zona próxima a la orilla y el desarrollo de los pastos marinos está condicionada a zonas de baja energía y sedimentos ricos en nutrientes.

Hacia el interior en la playa Bahía de las Águilas se observa un nivel antiguo de terraza acantilada que posee una vegetación xerofítica típica costera (Imagen II.4).



Imagen II.3. Detrás de la playa Bahía de Las Águilas aparece una laguna que propicia la circulación del agua y la vida del manglar.

Entre la playa Bahía de las Águilas y Cabo Beata media una costa muy similar en su morfología a la observada en Bahía de las Águilas. Es significativa la presencia de la isla Beata como posible relicto erosivo del nivel que alcanzó la costa en este entorno costero en épocas pasadas.

Todo el sector litoral desde Punta Inglesa, al norte de Cabo Beata, hasta Punta San Luís lo ocupa en su generalidad, una zona acumulativa costera de arena, con un perfil de playa acotado para la parte marina por su fuerte pendiente y hacia tierra por la laguna de Oviedo, que cubre más del 50% de la zona litoral.



Imagen II.4. Nivel de terraza acantilada antigua de la playa Bahía de las Águilas.

A partir de punta San Luis el entorno costero está caracterizado por la presencia de fuertes acantilados (Imagen II.5) y playas encajadas formadas por sedimentos terrígenos con granulometría gruesa, lo que atestigua la fuerte hidrodinámica de la zona que influye de forma particular en el desarrollo y estabilidad de los sectores acumulativos y en el derrubio de la costa acantilada.



Imagen II.5. Costa contigua a la playa Bahía de las Águilas.

Playa San Rafael

La playa San Rafael, con una extensión de 1400 m, está ubicada en la ensenada homónima entre Punta Arenas y Punta Bonita (Fig. II.3). Se caracteriza por tener una pendiente submarina fuerte y un ancho variable de la parte emergida: los extremos septentrional y meridional son estrechos (entre 20 y 25 m) y la pendiente es abrupta mientras la parte central es ancha (45 m-60 m) y la pendiente suave (Imagen II.6).

La playa está formada por material no consolidado de cantos rodados, grava gruesa y arena que se distribuye a lo largo y ancho de la misma en correspondencia con la morfología y en dependencia de la intensidad de los factores dinámicos responsables de su transportación. Hacia los extremos, los sedimentos están compuestos por grava gruesa, guijarros y cantos rodados de pequeño tamaño, sobre los que se forman escarpas de erosión superiores al metro por la acción del oleaje (Imagen II.7). El sector meridional de la playa está formado por una barra alta y ancha, compuesta de material grueso de tipo guijarro con una granulometría promedio de 2 cm., de cantos redondeados y algunos angulosos. El perfil típico de este sector es incompleto (Foto II.8), pues no tiene duna ni postplaya (Imagen II.9).



Fig. II.3. Playa San Rafael, playa típica de este entorno por su perfil y granulometría.

En la anteplaya de este sector, el material es de gravilla fina redondeada. Su límite hacia tierra es la pendiente montañosa, y en que existen bloques de brechas y conglomerados. Más al sur la línea de playa está ocupada por bloques de rocas desprendidos de la ladera y otros de formación "in situ" que cubren todo el espacio de la playa. Hacia el norte la altura de la berma disminuye con una nueva berma en formación y la granulometría continúa siendo gruesa, pero su diámetro disminuye a 1cm-2cm.



Imagen II.6. Playa San Rafael, asentada en un área montañosa.



Imagen II.7. Vista que muestra el trabajo incessante del oleaje a todo lo largo de la Playa San Rafael.



Imagen II.8 Al norte de la playa San Rafael se observa un perfil incompleto de cantos rodados.



Imagen II.9. El oleaje trabaja directamente sobre la playa San Rafael al encontrarse desprovista de protección natural.



Foto II.10. Sector central de la playa aplanado por el oleaje, con predominio de arena de diferentes granulometrías y abundancia de gravilla.

En el sector central la playa es más ancha, con una berma en formación mejor definida que en el sector meridional. El material es arenoso y en la berma se observan granos angulosos. En la base de la pendiente montañosa hay un escalón acumulativo con arena gruesa suelta (Imagen II.10). Aquí disminuyen los bloques caídos y aparentemente los existentes son “in situ”.

En la parte posterior de la playa aparecen pequeños conos de deyección y no existen bloques caídos como en el sector anterior. Los bloques sólo alcanzan tamaños entre 40-60 cm de diámetro, la pendiente de la montaña es menor. El sedimento predominante en la berma es gravilla fina de color verdoso gris oscuro. La playa presenta características morfológicas y sedimentológicas muy similares a las descritas anteriormente, pero la altura de la duna es menor, con la presencia del boniato (batata de playa) de playa como cobertura. El material suelto de la berma está compuesto por arena media y guijarros aislados de 10-15 cm de diámetro. En la misma línea de costa aflora el beach rock (roca consolidada de playa) que ocupa una amplia zona que llega hasta el límite del sector central (Imagen II.11). Este afloramiento pone en evidencia la presencia de un proceso erosivo en la playa donde predomina la arena fina-media de color gris.

Los escarpes en la parte sur de la playa se deben a lo pronunciada de la pendiente submarina, que posibilita un trabajo más intenso de las olas, mientras que en la parte central se observa el desarrollo insipiente de dunas (Imagen II.12 y 13).



Imagen II.11. Afloramiento del beach rock en el centro de la playa San Rafael como un rasgo distintivo del marcado índice erosivo.



Imagen II.12. y13. Desarrollo incipiente de dunas de la parte central.



Imagen II.14. Perfil suave a ambos lados del río San Rafael.



Imagen II.15. El río San Rafael divide la playa en dos sectores.



Imagen II.16. Talud de la carretera que corta el perfil de playa en el sector septentrional.

A ambos lados del río San Rafael, el perfil se mantiene con pendiente suave sin escarpes, al igual que se observó en el sector anterior (Imagen II.14), de forma que todo el sector central de la playa, muestra una superficie de playa emergida ancha y con pendiente suave. Este río divide la playa en dos sectores y sus corrientes le aportan materiales (Imagen II.15).

En el sector septentrional disminuye el ancho de la playa a unos 40 m. En todo este sector es característica la presencia de fuertes escarpes en la berma antigua de la playa por la presencia del talud de la carretera, la playa disminuye hasta casi desaparecer alcanzando sólo los 25 m de ancho (Imagen II.16).

Se observa una berma alta formada por gravilla muy rodada de alrededor de 2 cm de diámetro. La granulometría aumenta hacia la anteplaya entre los 6 y 10cm (Imagen II.17). En este sector el ancho de la playa disminuye considerablemente por la falta de protección ante el oleaje a la que está sometida como consecuencia de una fuerte dinámica.

La arena de la playa está formada en un 90 % por partículas terrígenas. Entre los componentes no biogénicos se aprecian fragmentos de roca caliza y volcánica, provenientes de la destrucción mecánica de cantos y bloques depositados en el área por derrumbes de la pendiente de la montaña aledaña. El resto del material es biogénico e ingresa a la playa por abrasión de la formación coralina que aparece a unos 60 m de la línea de costa y a una profundidad de 9 m.



Imagen II.17. El predominio de sedimento de cantos rodados en la playa San Rafael responde a la fuerte hidrodinámica de la zona y al aporte de las colinas que borden el litoral.

Una evaluación del estado actual de la playa, pone de manifiesto que está afectada por factores antrópicos y naturales. Hacia tierra una parte de la playa está cortada por el talud de la carretera que provoca la disminución de la playa hacia su parte septentrional, mientras que en la otra, la limita la pendiente montañosa, la cual propicia el ingreso del material lavado o por desprendimiento. Hacia el mar existe un espacio abierto sin defensa natural ante el fuerte oleaje existente.

La parte submarina de la playa (Fig. II.4) se inicia con una pendiente pronunciada en la zona adosada a la línea de costa, que alcanza rápidamente la profundidad de 5m. La pendiente submarina próxima a la orilla se caracteriza por la presencia de material grueso y de cantos rodados que la energía del oleaje pone en movimiento y propicia su ingreso a la parte emergida de la playa. A continuación, hay una caída suave hasta la profundidad de 9 m. Entre los 9 y los 15 m de profundidad, el fondo cae bruscamente en forma de pared, con su superficie cubierta de formaciones coralinas y gorgonias.

El ancho de esta superficie varía en diferentes tramos hacia la porción sur. Esta franja se estrecha y otro tanto sucede hacia el norte donde la caída es menos pronunciada y las formaciones coralinas aparecen menos desarrolladas (Fig. II.5).

La parte central de la pendiente submarina es más ancha y en ella sobresale una superficie arenosa que se extiende desde los 15 m hasta alcanzar profundidades entre los 20 y 25m. La pendiente en esa superficie es suave y comienza a incrementarse ligeramente desde los 19 m, pero a partir de los 25 m, se produce una caída brusca del talud submarino tapizado por una gruesa capa de arena que se pierde del sistema playa. Aunque la superficie arenosa tiene su mayor amplitud en la parte central submarina,

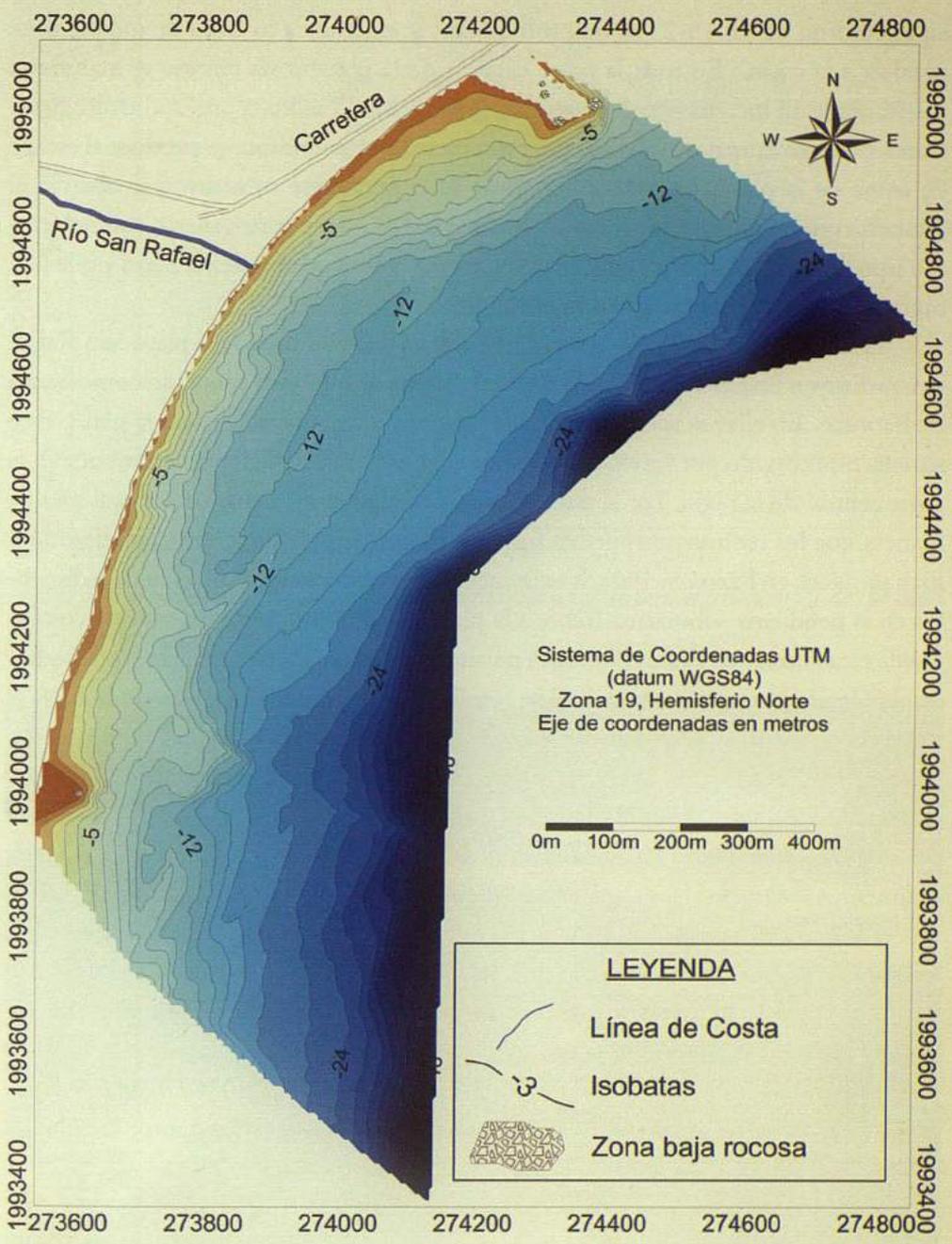


Fig. II.4. Mapa batimétrico de la playa San Rafael cuyo relieve evidencia la fuerte pendiente de la playa.

en el entorno de los 15-25 m de profundidad se extiende a lo largo de toda la zona paralela a la costa. En toda la parte exterior de la plataforma marina se manifiesta nuevamente un incremento de la pendiente desde los 25 m hasta profundidades superiores, precisamente por esta caída tan pronunciada, se asume que se produce el escape de arena de la playa. En ambos extremos de la pendiente submarina se observa el afloramiento de montículos rocosos (Imagen II.18) que, por su génesis, son del mismo tipo de roca que aparece en la pendiente montañosa que bordea la playa y que han ingresado al litoral costero por desprendimiento.

El límite occidental de la unidad fisiográfica que comprende la playa San Rafael lo constituyen las pendientes orientales del sistema montañoso conocido como Sierra de Baoruco. En ellas se apoya la estrecha llanura costera que sostiene a la playa. Este sistema está cortado por varios ríos, uno de ellos es el San Rafael que desemboca en la parte central de la playa. Por el este el sistema costero se encuentra abierto al mar de manera que los sedimentos pueden moverse libremente desde y hacia esa dirección. Esto propicia, en buena medida, la existencia de una extensa acumulación de sedimentos en la pendiente submarina frente a la playa. El extremo norte del sistema costero puede establecerse en Punta Bonita, a partir de ese punto, la costa se hace escarpada y cambia localmente su orientación. Esto implica que el sedimento transportado hacia el norte encuentra una vía de escape, mientras que por el sur el límite del sistema costero se ubica en Punta Arena, donde las pendientes montañosas alcanzan la costa y existe una acumulación de grandes bloques rocosos.

Al sur de este punto la costa continúa de forma escarpada y desaparece la franja de sedimentos emergida. Una exploración de buceo en dicha zona permitió determinar que el fondo está cubierto por una capa de rocas sueltas inmersas en una matriz de sedimento fangoso color oscuro, lo que indica que este sitio constituye un extremo de deriva de la playa. El hecho de que la arena que forma la playa está constituida mayoritariamente por detritos minerales, con un predominio de los sedimentos carbonatados y volcánicos bastante balanceados, con valores superiores al 80 % en cada muestra, pone de manifiesto su origen predominantemente terrígeno. Por tanto, la zona de producción se ubica básicamente en las laderas montañosas.

Antes de la construcción de la carretera, los sedimentos alcanzaban directamente la línea de costa por la erosión de los ríos y arroyos que cortan esas pendientes (Fig. II.6). Aunque de menor significación existe una segunda fuente de producción, que son los organismos marinos. Una vez en la costa, los sedimentos son distribuidos a lo largo del litoral por el régimen hidrodinámico. Una primera zona de deposición es la parte emergida de la playa, donde se acumula gran parte de los

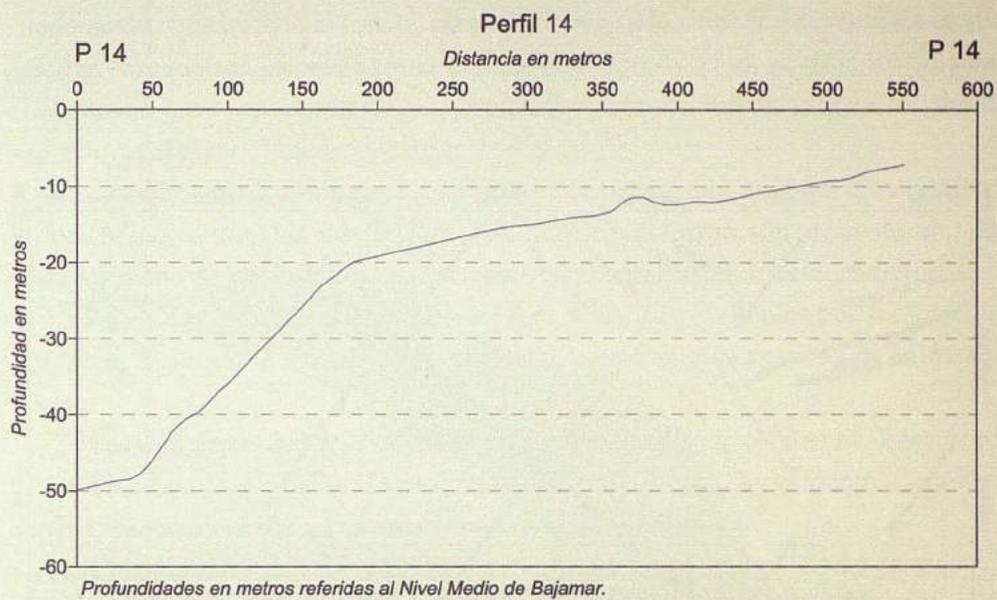


Fig. II.5. Perfil submarino de la playa a partir de una distancia prudencial de la costa por el fuerte oleaje.



Imagen II.18. Presencia de montículos de rocas que alcanzan hasta los 2 m de altura procedentes de los desprendimientos de la ladera de las montañas al norte de la playa San Rafael.

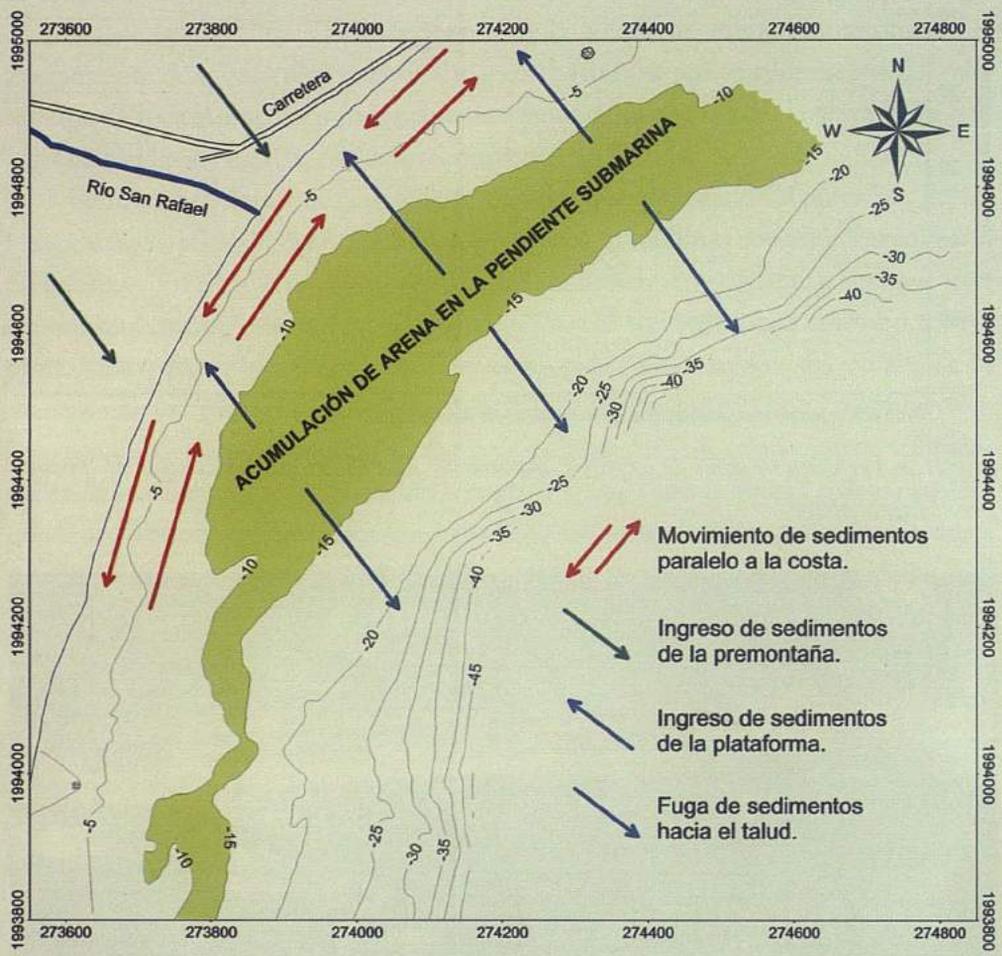


Fig. II.6. Esquema general de la dinámica de los sedimentos en la playa San Rafael.

sedimentos que arriban al sistema costero. Un segundo sitio, donde también se acumulan los sedimentos procedentes de la zona de producción, es el banco de arena submarino que se encuentra frente a la playa a una profundidad entre los 15 y los 25 m y cuyos espesores pueden alcanzar los 1.5 m.

El sedimento acumulado se mantiene en constante movimiento, transversales y longitudinales, por el efecto del fuerte oleaje. De esta forma, son redistribuidos a lo largo y ancho de la playa. Los movimientos transversales son caracterizados mediante los cambios locales en el perfil de playa y los longitudinales por los cambios relativos de un perfil a otro, así como por los cambios en la posición de la línea de costa.

Por otra parte, existen evidencias de que una pequeña cantidad de la arena que forma la playa emergida en el sector central es transportada por el viento hacia sitios más altos, conllevando a la formación de una duna incipiente.

Ejemplo claro de la ocurrencia del transporte transversal es la gran cantidad de sedimentos acumulada en el banco de arena sumergido citado anteriormente. El resto de los sedimentos continúa moviéndose hacia profundidades mayores, por donde escapan del sistema costero.

De manera que, parte del sedimento movido por el oleaje, en sentido transversal y longitudinal a la costa, es el encargado de imprimirle una dinámica al perfil, la cual hace variar la morfología con mucha rapidez, observándose la formación rápida de escarpes como indicios propios de erosión y en otros la formación de *cups* de playas o medias lunas, rasgos propios de acumulación en el perfil y del comportamiento en celdas en la dinámica costera.

Los ingresos masivos de sedimentos a la playa ocurrieron por aporte de los ríos y arroyos en una época anterior. En la actualidad las obras realizadas (piscinas, diques, tomas de agua y encauzamiento) han provocado una reducción importante de su caudal, con la casi anulación de su carga sedimentaria. Esto significa que en la actualidad los ingresos de sedimentos que tiene el sistema costero a partir de esta fuente son pobres y, por lo tanto, el transporte de sedimentos ocurre a expensas de las reservas de la playa.

La existencia de una fuga neta de sedimentos hacia el mar, combinado con la reducción del ingreso provoca un balance sedimentario negativo, lo cual conlleva a un proceso natural erosivo. Indicadores de este proceso erosivo son la estrechez de la playa, tanto en el extremo septentrional como hacia el sur y la granulometría de los sedimentos en esos sitios (cantos rodados). Otro indicador del proceso erosivo que tiene lugar es el afloramiento de superficies rocosas y de *beach rock* en el área de baño.

El funcionamiento del sistema costero demuestra que el banco de arena identificado constituye una cuenca receptora, la cual no interviene de manera activa en la dinámica litoral, pues la arena que llega a ella no reingresa naturalmente en el perfil de playa nuevamente.

Playa El Quemaíto

La playa El Quemaíto, enclavada en las costas de Barahona en el extremo suroccidental del país, se caracteriza por la presencia de fuertes pendientes tanto en su porción emergida como en la sumergida. Este relieve por lo general no es propenso a la formación de playas arenosas pues estas pendientes superan el ángulo de reposo de dichos sedimentos y por tanto los mismos no se estabilizan en sus costas.

Sin embargo, en este entorno tan desfavorable existe un pequeño sector acumulativo con una extensión de 780 m en el cual se localiza la playa El Quemaíto (Foto II.19). Dicha playa está formada por cuatro pequeñas ensenadas que presentan ligeras diferencias en cuanto a la orientación de la línea de costa.



Imagen II.19. Vista general de la playa El Quemaíto.

Por la parte marina la playa se encuentra protegida por una barrera arrecifal paralela a la costa (Imagen II.20) que aflora por encima del nivel del mar en diferentes sectores con unos 100 metros de ancho como promedio, la cual se estrecha un poco más en algunos sitios. El límite de la playa hacia tierra esta acotado por fuertes pendientes de un nivel de terraza que colinda con el sistema montañoso que la bordea.

Tanto por el norte como por el sur, la playa se encuentra limitada por peñones rocosos altos (Imagen II.21) que han quedado como relictos de un proceso de erosión diferencial que ha ocurrido a lo largo de toda la zona costera. La altura de dichos peñones está entre 8 y 10 m y se prolongan tanto hacia el norte como hacia el sur de la playa. Por tanto, el entorno natural de El Quemaito es la única zona con un relieve relativamente bajo, favorable para la acumulación de sedimentos en este sector costero.



Imagen II.20. Presencia de la barra arrecifal a lo largo de la costa de la playa El Quemaito.

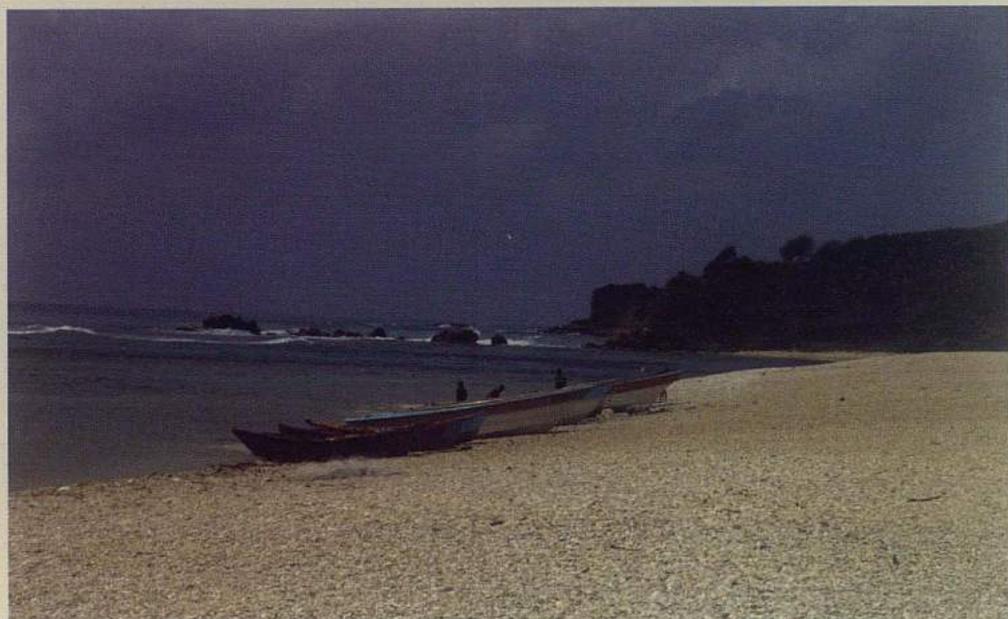


Imagen II.21. Peñones rocosos altos que limitan la playa El Quematto hacia el sur.

Los sedimentos que forman la playa son cantos rodados y guijarros de diferentes tamaños, de origen terrígeno, provenientes de la erosión de las laderas montañosas.

Estos sedimentos, mediante la combinación de diferentes procesos, son arrastrados hacia la zona costera y se depositan en la playa. Las montañas y las zonas rocosas próximas a la playa están formadas por dichos cantos y guijarros inmersos en una matriz carbonatada de formación reciente y por tanto fácilmente despreciable por los factores exógenos.

En la barra arrecifal que se adosa a la playa se encuentran ejemplares del coral *Acropora palmata* (típico formador de esas barrera coralinas) tanto en la parte interior, como exterior. Dichos arrecifes se encuentran en un pobre estado de salud. La abundancia de erizos negros constituye un claro indicador del daño ecológico que sufre el área. Resulta significativo que a pesar de existir una barra arrecifal tan extensa, prácticamente no se observa la presencia de sedimentos biogénicos en la playa. Casi siempre el área inmediata de la pendiente submarina desde la playa hacia el mar se encuentra tapizada por cantos rodados.

Desde el punto de vista morfológico, en la playa se destaca la presencia de un entrante o canal submarino, que llega desde el mar hasta la misma línea de costa. Este canal se ubica en la mitad sur de la playa y el mismo fue profundizado artificialmente por el hombre en un sitio donde existía una cañada natural. En el pasado, el canal se utilizó

como vía de acceso a la costa para el transporte marítimo de mercancías. En la actualidad dicho canal funciona como una vía para la fuga del sedimento de la playa durante la ocurrencia de los temporales y de posible ingreso en los momentos de bonanza.

Los principales elementos morfológicos presentes en la playa son la barrera arrecifal, los promontorios rocosos que como resultado de la erosión diferencial han quedado expuestos en sus extremos norte y sur y el canal submarino que alcanza la línea de costa en la parte sur de la playa (Fig. II.7).

Por otra parte, destaca el material grueso que forma la playa, como el único que ha sido capaz de estabilizarse con el paso del tiempo de manera natural en el lugar. A partir de este hecho surgen tres hipótesis, de manera preliminar, lo cual requeriría estudios más profundos para su confirmación:

- 1ra - La playa esta formada por cantos rodados y guijarros porque son los únicos sedimentos que llegan a ese entorno y por tanto no puede acumular otro material que no sea ese.

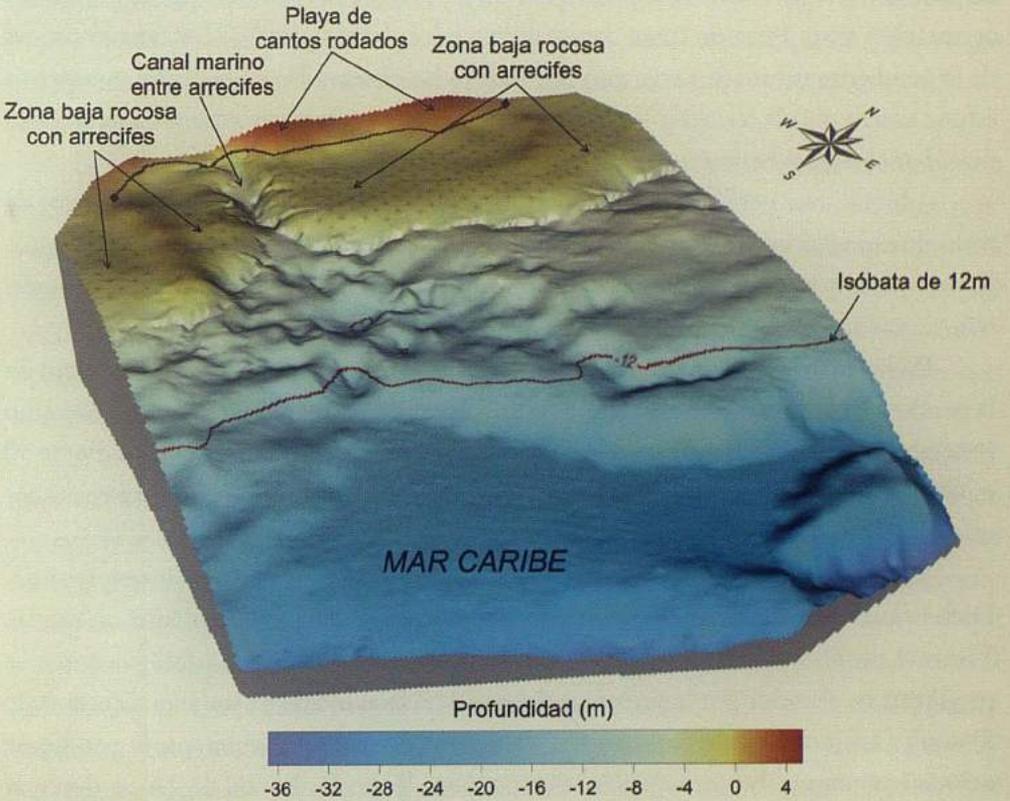


Fig. II.7. Perfil 3D del relieve marino playa El Quemaito.

- 2da - A la playa arriban arenas, guijarros y cantos. Mediante un proceso de selección natural en el cual intervienen la elevada energía del oleaje durante los temporales y las características del relieve, son barridas todas las arenas y sólo se estabilizan los guijarros y cantos.
- 3ra - A la playa arriban arenas, guijarros y cantos, pero el drenaje subterráneo de las aguas hacia el mar lava las arenas y los materiales finos dejando en la playa los guijarros y los cantos.

En la playa se midieron perfiles topográficos perpendiculares a la línea de costa para conocer la morfometría de la zona costera. Todos los perfiles se refirieron a puntos fijos ubicados en los sitios más altos del litoral y se extendieron en dirección perpendicular a la playa, hasta el límite con la parte interior de la terraza arrecifal regularmente dispuesta paralela a la costa.

En el perfil 1 se alcanzan los 49.6 m desde el límite de la vegetación hasta los puntos medidos en la pendiente submarina, encima de la terraza arrecifal que le sirve de protección ante el embate del oleaje. En esta zona se produce un ligero cambio de orientación de la línea de costa con respecto a los demás perfiles. Las características de la pendiente submarina son muy similares a las observadas en el perfil, aunque en éste se acerca más la terraza a la costa y por otro lado en la parte emergida se acentúa más el ancho de la berma que en el resto de los perfiles.

Además, este perfil está resguardado por su extremo occidental por los restos de rocas que quedan como resultado de la erosión diferencial de la línea de costa antigua. Es de esperar que esta zona presente bastante estabilidad causada por la protección antes mencionada.

En los perfiles de la parte central de la playa se alcanza un ancho mayor, tanto en la pendiente emergida como en la submarina llegando hasta los 70 m, como promedio general (Fig. II.8). En la parte emergida de este sector se alcanza un ancho medio de 30 m con una morfología muy similar. A partir del perfil cuatro la terraza arrecifal comienza a aproximarse más a la costa.

Entre los perfiles 4 y 5 se localiza el canal submarino, citado anteriormente. Dicho canal penetra hasta la misma costa con profundidades superiores a un metro. Tanto el perfil 4 como el 5 deben estar sujetos a los cambios morfológicos que se producen en el sector por la presencia del canal, el cual incide de manera directa en la dinámica costera de todo ese entorno. En ambos perfiles se observa que la pendiente submarina poco pronunciada sólo alcanza una distancia menor de 14 m desde la línea de costa, en correspondencia con la mayor cercanía de la barra arrecifal.

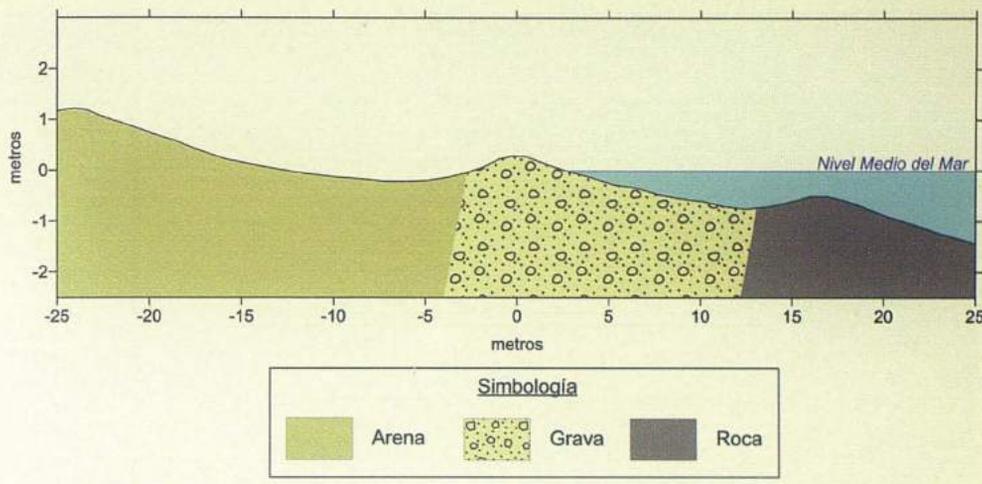


Fig. II.8. Perfil topográfico que muestra la amplitud de la playa en su parte central y la pendiente pronunciada a partir de los 15 m de distancia de la costa.

El perfil 6, ubicado en el extremo este de la playa, se encuentra en la ensenada más al sur de la playa y su dinámica está influenciada también, en alguna medida, por la presencia del canal submarino. Se caracteriza por una fuerte pendiente y la presencia de una superficie arenosa, tanto en la zona intermareal, como en la pendiente submarina.

La batimetría de la pendiente submarina muestra un fondo, desde la costa hacia el mar, con un relieve irregular que presenta tanto formas positivas como negativas. Sin embargo, se pueden identificar tres superficies. La primera se extiende desde la costa hasta la profundidad de 8 m. Esta superficie tiene un ancho promedio de 400 m en todo el frente costero y una pendiente hacia el mar de 0.02. Sobre esta superficie se extiende la barra arrecifal, por lo que constituye un fondo muy irregular con una abundante presencia de cabezos rocosos (Fig. II.9).

A continuación se presenta una superficie que va desde 8 hasta 15 m de profundidad, en la cual el relieve del fondo es bastante más regular que en la primera. Esta superficie se extiende a lo largo de una franja de 200 m paralela a la costa. La pendiente hacia el mar de esta superficie es de 0.035, la cual como se puede ver, también es muy suave, aunque algo más acusada que la primera.

Ahora bien, después de los 15 m de profundidad, en el canal submarino hacia el norte se produce una caída brusca en forma de canto desde 15 hasta 23 m de profundidad, con una pendiente de 0.125. Sin embargo al sur del canal, el fondo cae muy suavemente hacia el mar con una pendiente de 0.026, o sea 5 veces más suave que hacia el norte. Es posible que hacia el sur se encuentre el paleocause del río o cañada que

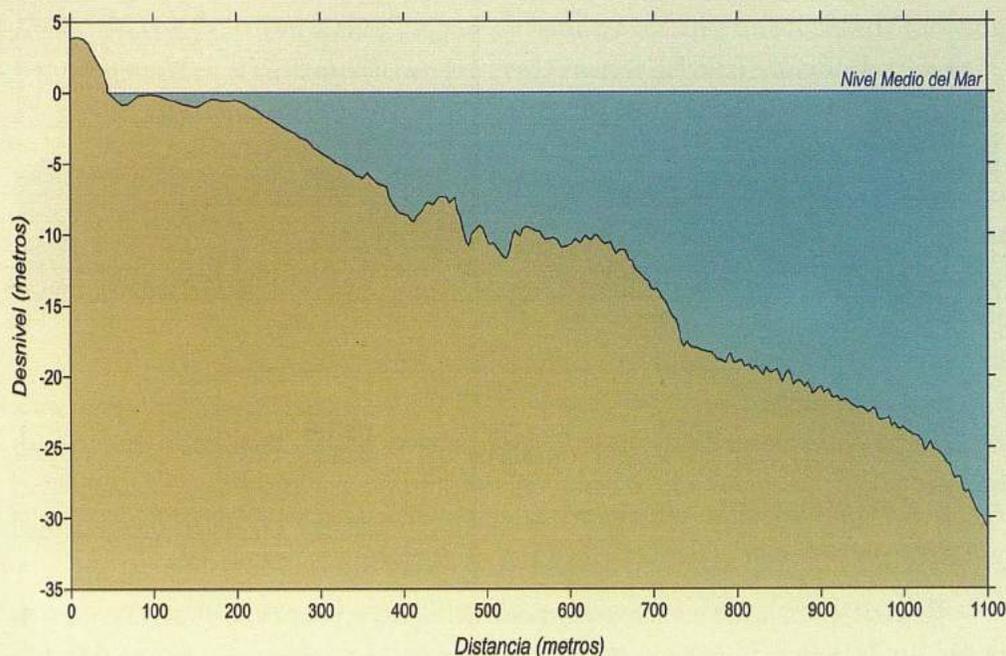


Fig. II.9. Perfil costero y submarino playa El Quemaito.

creó el canal submarino. En la representación tridimensional del relieve del fondo marino (Fig. II.7) se aprecian con claridad los elementos del relieve que se han presentado anteriormente: la primera superficie, más cercana a la costa con la barra arrecifal, la segunda superficie desde 8 hasta 15 m de profundidad y las diferentes caídas hacia el mar después de los 15 m de profundidad.

Playa Trujillo

Es una pequeña playa de este entorno costero formada al abrigo del acantilado por el derrubio de su pendiente que aporta el sedimento depositado al pie del acantilado, por lo que la génesis del sedimento es fundamentalmente terrígena (Imagen II.22).

Al sur de la playa Trujillo existe una costa acantilada de altitud superior a los 5 m con acumulación de arena gruesa desprendida del acantilado y escarpes típicos a lo largo de toda la costa (Imagen II.23 y 24), en la vista de la derecha se observa el límite de la costa escarpada abrasiva al norte de la playa Trujillo, donde la inflexión de la costa más baja se orienta en dirección hacia el frente de la ciudad de Barahona.



Imagen II.22. Playa Trujillo es una playa encajada en un acantilado del que proviene la mayor cantidad de sedimento que la forma.

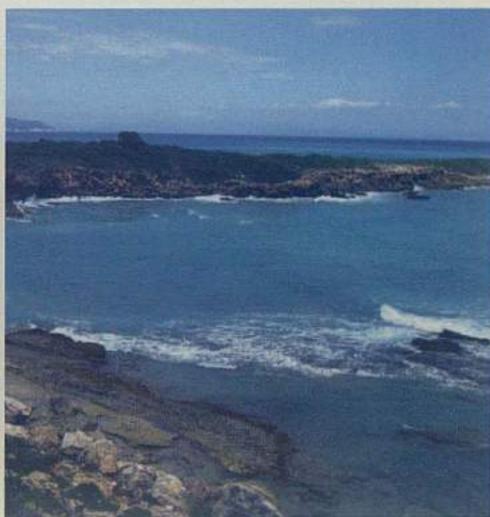


Imagen II.23 y 24. Vistas de la costa acantilada al sur de la playa Trujillo.

Playa Saladilla

Situada al sur del bosque de mangle y fuera del frente costero de la ciudad de Barahona, aparece la playa Saladilla, que con una longitud de 2 km constituye el último tramo de costa acumulativa hacia el sur de la unidad sedimentaria de la playa Barahona. La playa Saladilla tiene como sustrato una terraza carbonatada que se eleva gradualmente hacia el sur, hasta que en Punta Avarena pasa a caracterizarse, como ya se ha señalado, por la formación de acantilados que alternan con playas encajadas en la desembocadura de ríos aportadores de sedimentos terrígenos, o propiamente de los acantilados, por proceso de pendiente o derrubio, por proceso de intemperismo, totalmente diferentes a los de la playa Barahona.

Los fuertes indicios de erosión encontrados en la playa Saladilla (Foto II.25 y 26), son una evidencia del efecto erosivo de las olas, debido a la elevación del nivel del mar, fenómeno generalizado en el mundo que se pone de manifiesto en esta playa por el afloramiento rocoso y la pérdida de sedimento en el litoral.

La Playa Saladilla, ubicada hacia el sur de la bahía de Neiba, presenta indicios de erosión severa, a pesar de estar al abrigo de una barrera arrecifal prácticamente paralela a la costa, que le brinda determinado grado de protección frente al oleaje, de manera que los problemas de erosión en el entorno costero no sólo afectan las playas del interior de la ensenada y el cayo, como se mostrará más adelante. La existencia de escarpes erosivos, la caída de cocoteros y el estrechamiento de la parte emergida de la playa evidencian que este sector no escapa al déficit en el abastecimiento natural de sedimentos.

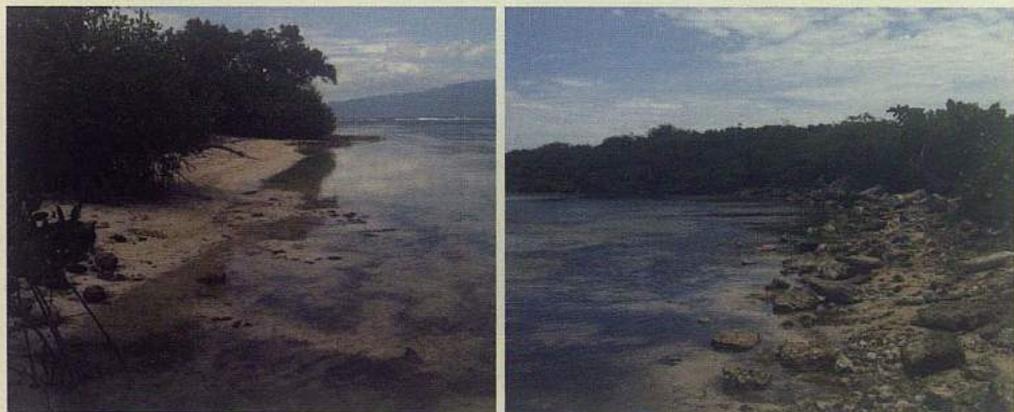


Imagen II.25 y 26. En el primer plano de la derecha la playa Saladilla muy erosionada, detrás las elevaciones de la bahía de Neiba y en la segunda otro ángulo de la playa con gran afloramiento rocoso.

Playa Barahona

El frente costero de Barahona resulta una costa baja de manglares y playas formados al abrigo de una extensa barrera arrecifal (Fig. II.10), que da origen a un sistema sedimentario bien diferenciado de los sistemas costeros vecinos, en los que los ingresos fluviales desempeñan el papel protagónico. El principal elemento geomorfológico que condiciona la individualidad de este sistema costero resulta la barrera arrecifal que se presenta a lo largo de la unidad, proporcionándole fronteras sedimentológicas bien definidas en ambos extremos de la unidad fisiográfica.

En el norte, la barrera se presenta adosada a la costa, con una longitud de unos 5 Km, un ancho de 800 m y una profundidad inferior a un metro, convirtiéndose en el elemento físico que marca el límite sur de la bahía de Neiba. Al norte de la barrera, los procesos de sedimentación dependen fundamentalmente de la presencia del río Yaque del Sur, cuyo plano aluvial cubre un frente de costa de 8 Km (Foto II.27).

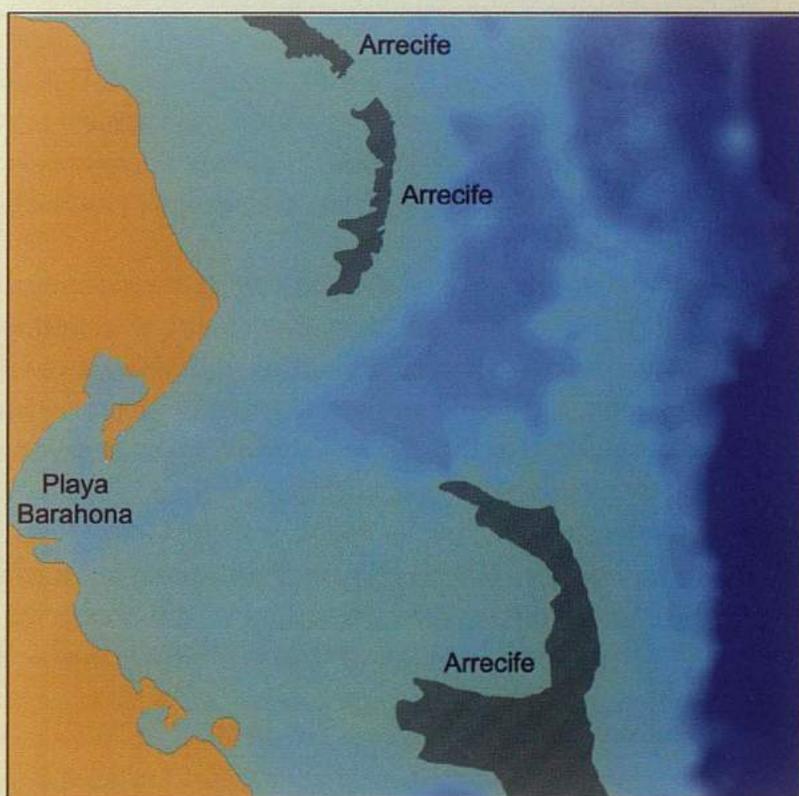


Fig. II.10. Vista general del entorno costero donde se inserta la playa Barahona.



Imagen II.27. Desembocadura del río Yaque del Sur con la formación de cadenas de dunas hacia el norte del plano aluvial.

Las áreas ocupadas por el plano aluvial están cubiertas de potentes depósitos de arena, que en las proximidades de la costa, adquieren forma de dunas lineales de 3-4 m de altura, las cuales surgen como resultado de la combinación de procesos fluviales y eólicos con la acción modeladora del oleaje.

Frente a la desembocadura del río Yaque del Sur, en 2 m de profundidad, el sedimento está formado en un 80% por componentes terrígenos, principalmente por cuarzo, evidenciándose el predominio de los ingresos fluviales en esta zona.

A pesar de los importantes aportes sedimentarios del río Yaque del Sur, la presencia de la barrera arrecifal y el predominio de la corriente litoral en dirección norte, condicionan la independencia sedimentaria que existe entre la bahía de Neiba y la playa del litoral de Barahona.

La ensenada de Barahona, formada al unirse la tierra firme con el “Cayo” mediante rellenos artificiales producto de dragados realizados con fines de navegación, resulta una trampa de sedimentos a la que deriva una parte de los materiales biogénicos provenientes del arrecife.

La playa correspondiente al sector costero exterior del Cayo, presenta un perfil bien desarrollado con una duna de 1-1.5 m de altura y 30-40 m de ancho, con una berma de 20 m y una pendiente submarina que se conecta rápidamente con el fondo rocoso de la barrera arrecifal.

En cuanto a las playas en la costa este del Cayo, su pendiente es también bastante suave. En la zona cercana a la orilla se desarrollan extensas superficies ocupadas por algas sobre un sustrato de lodo mezclado con arena y fragmentos gruesos de corales.

El sedimento de la playa está formado por arena fina de origen marino en un 90 %, con el predominio de algas, moluscos y corales, producto de la destrucción mecánica de la barrera.

Hacia el extremo sur de la playa se construyó hace varios años un espigón de 30-40 m de longitud, utilizando sacos rellenos de hormigón. Aunque la estructura actualmente se encuentra bastante deteriorada, su función en el extremo sur del Cayo resulta efectiva para controlar las fugas de arena hacia el interior de la ensenada, con lo que contribuye, además, a mantener el calado en el canal.

En la ensenada de Barahona, la línea de costa aparece formada en unos 50 m por la playita interior del Cayo, seguida de un bosque de mangle bien estructurado que se extiende a lo largo de unos de 150 m y una playa de 800 m, donde se inicia el frente litoral de la ciudad de Barahona.

En ambos lados del canal, se presenta una barrera arrecifal con orientación general norte-sur, donde las profundidades en muchos sitios son inferiores a 50 centímetros. Esta barrera sirve de abrigo, tanto a las instalaciones portuarias, como a las playas y constituye, además, una importante fuente de suministro de sedimentos a la costa.

Las particularidades de la pendiente submarina y la configuración general de la costa, condicionan la transformación que sufre el oleaje en su aproximación a la orilla y tienen que considerarse cuidadosamente en el diseño de cualquier obra de ingeniería dirigida, tanto a la rehabilitación de la playa, como al mantenimiento de las instalaciones portuarias.

La playa Barahona, con aproximadamente 800 metros de longitud, se caracteriza por tener una pendiente suave y un ancho variable de la parte emergida. La mitad meridional es bastante estrecha, y hacia el extremo, da paso a una acumulación de rocas que la separa del muelle de carga. La mitad septentrional de la playa tiene un ancho mayor y a pesar de que en ella se ha desbrozado la vegetación y se han realizado movimientos de tierra, la playa conserva una morfología relativamente similar a su forma original.

La estrechez de la playa en el extremo sur de la ensenada se debe, en primer término, a la erosión que afecta la costa y que ha conducido a la pérdida de grandes volúmenes de arena. La existencia de la carretera en el límite hacia tierra de la

playa, impide que la costa se establezca en una nueva posición de equilibrio y ha sido necesario colocar en la orilla grandes rocas para garantizar la integridad de la propia carretera.

La pendiente submarina próxima a la orilla, se caracteriza por el desarrollo de un placer de algas *Halimeda*, única fuente actual de aporte de arena a la playa al encontrarse cortadas las restantes vías de ingreso natural.

La arena de la playa está formada en un 80 % por partículas biogénicas, donde predominan los fragmentos de algas, moluscos y corales. Entre los componentes no biogénicos, se aprecian fragmentos de granito y calcita provenientes de la destrucción mecánica de cantos y bloques depositados artificialmente en el área.

Una evaluación del estado actual de la playa en la ensenada de Barahona, pone de manifiesto que en su totalidad está afectada por factores antrópicos. Hacia tierra, la playa está cortada por la carretera, hacia el mar por los canales de navegación, por el norte está interrumpida por las instalaciones del muelle azucarero, y hacia el sur, por el muelle de carga de sal y yeso.

Al sur del embarcadero de sal y yeso y hasta Punta Inglesa, reaparece la costa arenosa a lo largo de unos 800 m, conformando la playa El Inglés, la cual constituye el último tramo de playa perteneciente al frente costero de la ciudad de Barahona y el de mayor afluencia de bañistas y pescadores.

La playa El Inglés presenta una duna baja, que no sobrepasa la altura de 1 m y una berma de 10 m de ancho, con pendiente suave en la parte submarina del perfil. Al igual que en la playa de la ensenada de Barahona, la arena es fina, formada por fragmentos calcáreos de organismos bentónicos, aunque los depósitos puntuales de escombros, provocan la aparición de arena gruesa de color gris.

A pesar de que algunas instalaciones han sido ubicadas sobre la línea de costa, el frente de playa permanece libre de usos en un 80% de su extensión, resultando posible el rescate físico de sus condiciones naturales.

Puede afirmarse que el sistema costero al que pertenece el frente litoral de Barahona está condicionado a la existencia de la barrera arrecifal, cuya estructura y extensión han dado lugar a un sistema cerrado desde el punto de vista sedimentológico y en el cual, la barrera arrecifal con sus ecosistemas asociados, constituyen la principal fuente de abastecimiento de arena.

En términos generales, el frente costero de Barahona resulta una costa baja de manglares y playas formados al abrigo de una extensa barrera arrecifal, que da origen a un sistema sedimentario bien diferenciado de los sistemas costeros vecinos, en los que los ingresos fluviales desempeñan el papel protagónico.

En las proximidades de la costa, la primera formación que se presenta es el complejo de costa arenosa, con especies como la batata de playa y la uva caleta (uva de playa) y el complejo de vegetación de costa rocosa, en las terrazas abrasivas, con predominio de especies xerófilas como *Borrchis arborescens*, *Plomería Sp.*, entre otras.

En cuanto a las costas del cayo, en la parte interior se encuentran formaciones de manglar, mientras que hacia la costa abierta al este, predomina la vegetación de costa arenosa, representada principalmente por rastreras como la batata de playa, aunque se observan también algunos cocoteros.

Debe destacarse que la capa de arena que ocupa la pendiente submarina en la zona próxima a la orilla y que llega hasta la cara posterior del arrecife, participa en el equilibrio dinámico del perfil. Esto determina que durante todo el año se mantenga un intercambio estacional de masa y energía entre la parte emergida de la playa y la pendiente submarina con alternancia de ciclos de erosión y acumulación, que se superponen a la tendencia general a la pérdida de arena.

A manera de resumen, puede afirmarse que el sistema costero al que pertenece el frente litoral de Barahona, se mantuvo alimentado de manera natural por los aportes de arena biogénica marina producida en la barrera coralina. A partir de la construcción de las estructuras portuarias y el dragado de los canales, se cortó la comunicación natural entre la playa y su principal fuente de abastecimiento de arena, lo que ha conducido a un retroceso cada vez más intenso de la playa y la pérdida de sus valores funcionales y estéticos.

Bahías de Neiba y de Ocoa

Hacia el este de la playa Barahona, los elementos más sobresalientes en la morfología costera son los litorales de las bahías de Neiba y Ocoa. En el sector costero que le sigue desde playa Saladilla hasta bahía de las Calderas, sobresalen en su morfología, la playa de Barahona encajada en la bahía de Neiba, con la presencia de una extensa barrera coralina, el sistema de dunas formada en la desembocadura del río Yaque del Sur. La costa acantilada continúa por el este de la bahía de Neiba hasta la bahía de Ocoa con la formación de una extensa playa de origen terrígeno en su costa este, a continuación aparece la playa Los Corbanitos que es una playa formada por varias ensenadas con morfología diversa.

En el entorno costero occidental de bahía de Neiba sobresale en la pendiente submarina la presencia de una superficie cubierta por *Thalassia Testudinum* con

poco desarrollo coralino, al parecer relacionado con el aporte de sedimento terrígeno del río Yaque del Sur y del aporte de la pendiente costera de la loma El Curro que cae a pico al mar. La costa occidental de la bahía de Ocoa está formada por elevaciones montañosas con acantilados que llegan a la misma costa; independientemente del aporte terrígeno a la pendiente submarina existe un desarrollo vigoroso de la formación arrecifal coralina que ha contribuido a la acumulación de cuencas con grandes volúmenes de sedimentos que oscilan entre 10 y 18 m de profundidad.

En la costa oriental de la bahía se destaca una playa de origen terrígeno fuertemente influenciada por la presencia del río Ocoa, con incidencia marcada en el litoral, por su aporte, tanto de arena como de canto rodado al sistema costero.

Playa Los Corbanitos

El litoral de la playa Los Corbanitos (Fig. II.11) puede clasificarse como una costa acumulativa formada por materiales de granulometría y génesis variada. Tanto la distribución de los sedimentos como las formas de relieve que se desarrollan en la costa, están muy relacionadas con las condiciones geólogo-geomorfológicas y con la energía del oleaje. Los elementos que más influyen en esta situación son por una parte la configuración general de la costa (Fig. II.12) y por otra la posición de la península de Salinas que separa las aguas interiores de la bahía de las Calderas de las aguas abiertas del mar Caribe.

El extremo de esta península se encuentra precisamente al sur de la zona oriental de la playa Los Corbanitos, por lo que ofrece una elevada protección a esta área frente al oleaje oceánico. En correspondencia con las condiciones de baja energía, en este sitio predominan los sedimentos fangosos y la costa está ocupada por un manglar bien conservado. Hacia el oeste disminuye el grado de protección que ofrece la península, a lo que se asocia un incremento gradual en la energía de las olas. Asociado con el régimen hidrodinámico, en la parte central del sector se desarrollan formas típicas de playas arenosas, mientras que hacia el extremo occidental, totalmente expuesto al oleaje procedente del mar Caribe, sólo se produce la acumulación de guijarros y cantos rodados de considerable tamaño. Un rasgo distintivo de todo el sistema es la forma irregular de la línea de costa en la que se alternan entrantes y salientes. Debido a las favorables condiciones de los entrantes para la acumulación de sedimentos, en estos lugares se forman playas en forma de concha separadas entre sí por los salientes, los cuales se comportan como estructuras naturales de contención lateral de la arena.



Fig. II.11. Vista general del entorno geográfico costero donde se encuentra la playa Los Corbanitos.

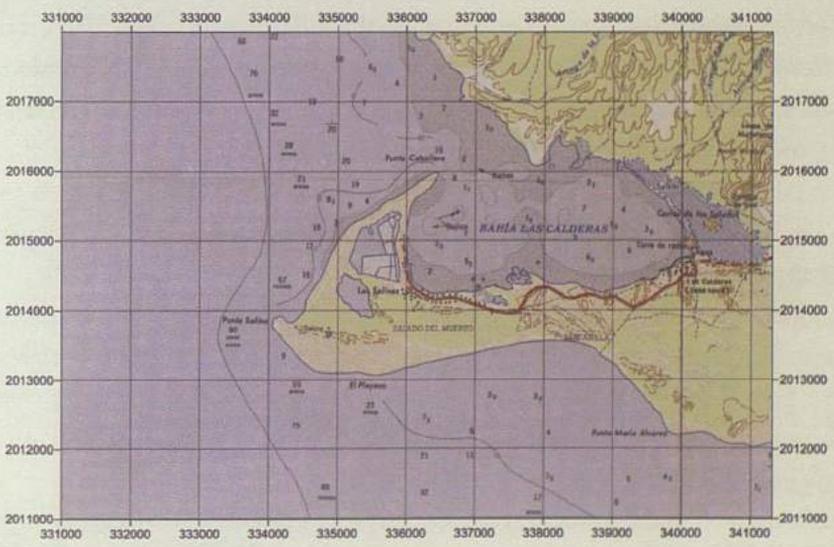


Fig. II.12. Zona costera y pendiente submarina de Los Corbanitos, al sur de la península la Salina.

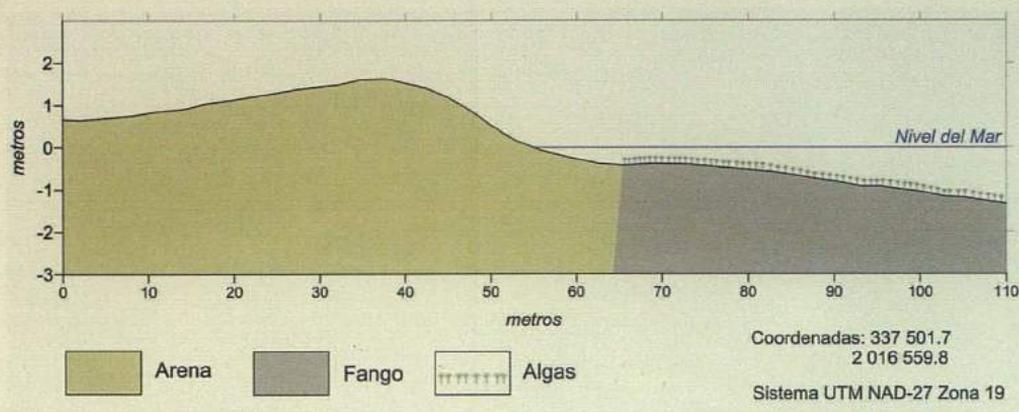


Fig. II.13. Perfil típico de la ensenada más oriental de la playa Los Corbanitos.

Como resultado de un análisis integral del relieve costero y los factores que influyen en su formación y desarrollo, se realizó una subdivisión de playa Los Corbanitos en tres grandes sectores, oriental, central y occidental

Sector oriental. Se extiende al este de punta Matasola. En correspondencia con la baja energía del oleaje, este tramo presenta una pendiente submarina extremadamente suave, (Fig. II.13) con un valor medio de 0.009 y el fondo está cubierto por sedimentos fangosos, sobre los cuales se desarrolla un denso seibadal. La costa emergida es estrecha y está ocupada por un bosque de mangle bien conservado. En este sitio predominan los sedimentos fangosos mezclados con arena.

Sector central. Este sector tiene una longitud de más de 2 km. Es el tramo de mayor longitud y de acuerdo con la configuración de la costa se subdivide en tres playas de arena en forma de concha o caleta, acotadas en sus extremos por parches de mangle, que favorecen la retención de la arena de las playas.

La pendiente submarina es suave con un valor medio de 0.022 en la primera caleta. Los sedimentos del fondo son fangosos y están cubiertos en su mayor parte por una densa pradera de fanerógamas.

La parte emergida es arenosa y presenta una duna costera muy poco desarrollada, con restos de material grueso en la cima. Sobre la anteplaya se observan restos de corales y gorgonáceos; así como pequeños escarpes de erosión que constituyen indicios de que durante las tormentas, las olas alcanzan la costa con energía suficiente para erosionarla.

La longitud total de esta playa es de 326 m y está limitada hacia el este, por el pequeño canal que da acceso a las zonas bajas parcialmente inundadas. Por el oeste, la playa termina en un saliente de mangle que le sirve de contención lateral a la arena.

La segunda ensenada, tiene una longitud total de 616 m, y en el perfil emergido se produce una mayor acumulación de arena que en la primera caleta. Hacia tierra, la playa termina en una duna de arena bien conformada. En la pendiente de la plataforma se produce un ligero incremento con relación a las áreas ubicadas más al este. El valor medio de la pendiente es de 0.024 y las características del fondo tienen muy poca variación con predominio casi absoluto de la pradera de fanerógamas, excepto en el extremo occidental donde aparecen pequeños cabezos coralinos.

La tercera caleta es la más extensa del sector central (1 095 m) y también la que tiene formas acumulativas más desarrolladas (Fig. II.14). En este lugar ocurre una deposición de arena mucho más intensa que la observada en las caletas anteriores, lo que, unido a un proceso eólico marcado, ha dado lugar a la conformación de dunas de arena con alturas de hasta 2 m y casi siempre aparecen estabilizadas por la vegetación costera. La presencia de escarpes de erosión y la acumulación de restos de coral sobre la playa, indican la ocurrencia ocasional de marejadas de gran energía, provocadas por eventos meteorológicos más severos. La duna disminuye gradualmente su altura hacia el extremo occidental de la playa, hasta que precisamente, en el límite occidental, desaparece completamente y la franja de arena queda interrumpida bruscamente por la base de las pendientes montañosas.

Debe destacarse que a partir de este punto, la cordillera Central se aproxima a la costa y la zona litoral queda limitada hacia tierra por las laderas de sus colinas periféricas. Este hecho determina que a la costa llegue gran parte del escurrimiento superficial cargado de sedimentos terrígenos. El escurrimiento se concentra fundamentalmente en pequeñas corrientes en forma de vaguadas que descargan en la playa.

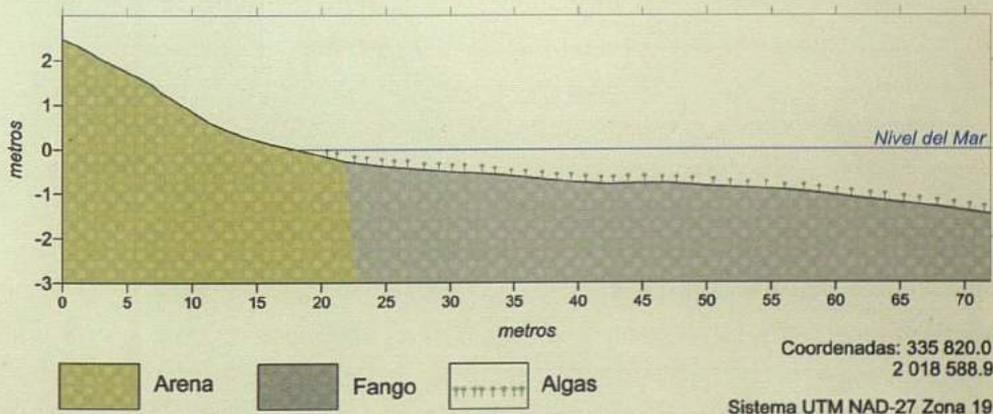


Fig. II.14. Perfil típico del sector central Los Corbanitos.

Frente a la playa de la tercera ensenada se presentan las pendientes submarinas más fuertes de todo el sector central. El valor promedio de la pendiente es de 0.018 y el fondo, al igual que en las caletas anteriores, aparece cubierto en su mayor parte por sedimentos fangosos con seibadal, aunque a poca distancia de la orilla pueden observarse cabezos coralinos y acumulaciones de cantos.

A manera de generalización puede decirse que en las playas del sector central predomina la acumulación de sedimentos arenosos en la parte emergida, y el límite hacia tierra de la zona costera es una duna cubierta de vegetación, cuya altura va desde los pocos centímetros, hasta alcanzar altura de 2 m en la ensenada más occidental del sector.

La pendiente submarina frente a este sector es una superficie de poca inclinación donde la profundidad de 10 m se alcanza a una distancia de la costa mayor de 800 m y en casi toda su extensión, el fondo está cubierto por sedimentos fangosos sobre los que se desarrolla una densa pradera de fanerógamas. En algunas áreas, a partir de los 6 m de profundidad, se encuentra una barrera arrecifal y cabezos coralinos aislados, alrededor de los cuales pueden observarse reducidos parches arenosos.

Sector occidental: inmediatamente al oeste de la última ensenada del sector central, comienza el sector occidental. Este tramo queda fuera del abrigo de la península de Salinas y recibe de manera directa la energía de las olas procedentes del mar Caribe.

Aunque de forma general, a lo largo de toda el área existen condiciones homogéneas en el relieve y en los sedimentos, por la configuración de la costa se forman dos ensenadas o conchas con rasgos propios.

La primera de estas ensenadas tiene una longitud de 1185 m y en ella se produce un brusco cambio en la pendiente submarina (0.029) con relación a las playas que se encuentran al este.

Frente a la playa se presenta un fondo duro con aislados cabezos coralinos y la arena se limita a pequeños parches muy aislados, cubriendo algunas depresiones del fondo (Fig.II.15).

En correspondencia con la elevada energía del oleaje, en la parte emergida se produce gran acumulación de materiales gruesos (gravas, cantos y restos de corales), que forman un camellón de tormenta que en algunos lugares supera los 2 m de altura.

En las áreas de playa más expuestas al oleaje, es frecuente encontrar escarpes de erosión que cortan el camellón, lo que constituye una evidencia más de la alta energía con que incide el oleaje sobre la costa (Imagen II.28).

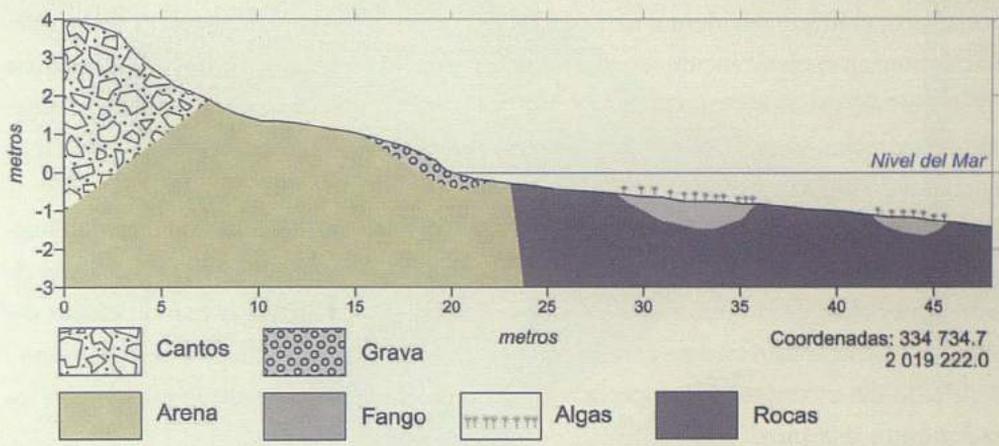


Fig. II.15. Perfil del sector occidental de la playa Los Corbanitos.



Imagen II.28. Camellones de tormentas cortados por escarpes de erosión en las playas.

Inmediatamente al oeste de esta playa se presenta un nuevo entrante en la costa, que tiene una longitud de algo más de 600 m y termina en punta Balandro. Esta playa constituye el límite occidental de Los Corbanitos y al igual que en la playa de la ensenada anterior, el oleaje incide sobre la costa con gran energía repitiéndose la abundancia de materiales gruesos y cantos en la orilla. La parte emergida de esta playa es notablemente estrecha, ya que en este sitio las elevaciones de la cordillera Central comienzan apenas a 20 ó 30 m de la orilla.

Aunque en esta playa predominan las gravas y los cantos rodados, entre el camellón litoral y el pie de las colinas se produce la acumulación de arena. Una parte de este material es de origen marino y es transportado hasta el lugar bajo el efecto del viento, mientras que la otra parte proviene de las montañas y llega a la costa como resultado del escurrimiento superficial, ya sea lineal o laminar y allí se mezcla con los sedimentos marinos.

En resumen, el relieve, tanto emergido como sumergido, del sector occidental, es notablemente más abrupto que los sectores anteriores (Fig. II.16). Esto, unido a la completa exposición frente al oleaje del mar Caribe determina que el desarrollo de las formas acumulativas y la distribución de los materiales respondan a un ambiente de elevada energía, bien diferente al que existe en los sectores oriental y central.

La sedimentología en Los Corbanitos se caracteriza por la existencia de materiales de génesis variada, que pueden ser clasificados en dos grandes grupos: los sedimentos biogénicos aportados por el mar y los materiales terrígenos que ingresan a la costa producto del escurrimiento superficial de los territorios vecinos.

La distribución espacial de los sedimentos en la costa también puede subdividirse en tres sectores: oriental, central y occidental, que coinciden con los tramos representativos del relieve.

Sector oriental. Las condiciones de baja energía que prevalecen en este sitio provocan que la parte emergida de la costa esté formada por una mezcla de arena y fango sobre la que se desarrolla un bosque de mangle (Imagen II.29). La fracción de fangos está constituida, fundamentalmente, por materiales muy finos procedentes de las áreas emergidas. Por su parte, la fracción arenosa está compuesta mayoritariamente por restos de algas calcáreas y otros organismos carbonatados que se producen en las praderas de fanerógamas que ocupan la plataforma próxima a la orilla.

Sector central. Este tramo posee las condiciones más atractivas. El sector está conformado por tres playas que funcionan con relativa independencia y se caracterizan por presentar una moderada acumulación de arenas blancas en la parte emergida.

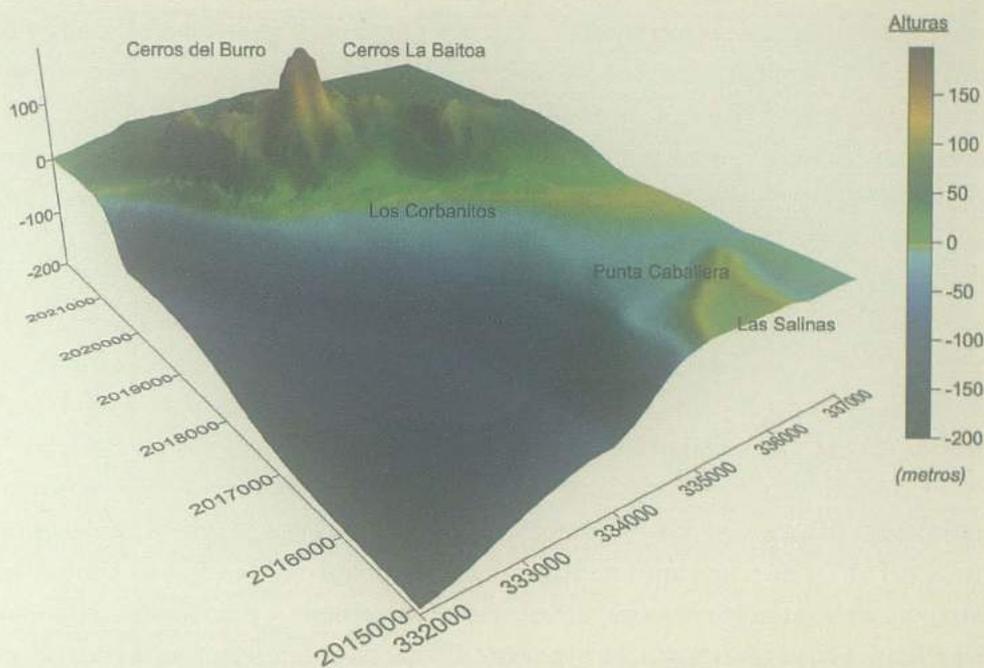


Fig. II.16. Relieve 3D de la playa Los Corbanitos.



Imagen II.29. En la playa Los Corbanitos se observa en el tramo oriental la presencia de manglar en buen estado de conservación, sostén en muchos sitios de la estabilidad de la arena.

En los perfiles de estas playas, la arena más gruesa se acumula en la inflexión y su diámetro medio es de 1.3 mm a 1.45 mm. La desviación estándar de estos sedimentos es de 0.86 mm a 1.35 mm, lo que indica que están entre medianamente y mal clasificados. La deposición de los sedimentos más gruesos en la inflexión responde a que ésta es precisamente la parte del perfil donde las olas habituales descargan la mayor parte de su energía.

También en la parte emergida de la playa, las muestras revelaron el predominio de arenas con clasificación de media a gruesa. En las anteplayas, el diámetro de los materiales colectados estuvo entre 0.30 mm y 0.54 mm, con una pobre clasificación y más hacia tierra, en la parte alta de las dunas, sólo se colectaron arenas de grano medio (0.32 mm-0.46 mm), pero también mal clasificadas.

El análisis de la composición de las muestras tomadas en las anteplayas, sitio más representativo de lo que ocurre a lo largo del perfil, reveló un predominio casi absoluto (más del 90%) de fragmentos de algas, restos de moluscos y bioclastos. Aunque las algas calcáreas son el grupo mejor representado, hacia el oeste se produce una reducción significativa en su abundancia. La pendiente submarina de este sector, en la zona próxima a la orilla, está formada por sedimentos areno-arcillosos y arcillo-arenosos, con abundantes restos de organismos bentónicos que conforman la componente arenosa del material. En general revelaron un ligero predominio de la componente arenosa, sobre los limos y arcillas.

Sector occidental. Como se ha mencionado, al oeste de la ensenada más occidental del sector central se produce un cambio general en las características de la costa, el cual es particularmente significativo desde el punto de vista sedimentológico. Mientras que en la parte emergida del sector central predominan las arenas, el sector occidental se caracteriza por un predominio casi absoluto de materiales gruesos de origen diverso. La más oriental de las ensenadas del sector está formada por guijarros y cantos de gran tamaño. Entre los materiales más abundantes están los restos de corales, que ingresan a la playa durante la ocurrencia de temporales severos formando camellones de tormenta. Estas características son comunes también a la playa de la otra caleta, límite occidental de Los Corbanitos, aunque hacia la parte central de esta playa se observa una importante acumulación de arenas por detrás del camellón de rocas, debido a que a este sitio llegan, tanto los sedimentos terrígenos procedentes de las montañas, como los sedimentos biogénicos de origen marino.

Al igual que en la zona emergida, la pendiente submarina de este sector está formada por cantos y guijarros de considerable tamaño en correspondencia con la elevada energía de las olas (Imagen II.30).



Foto II.30. Hacia el occidente de la playa la morfología del relieve cambia tanto en la zona emergida como en la submarina.

La mayor parte de los materiales proceden de las barreras coralinas y los numerosos cabezos que se localizan en la zona próxima a la orilla, aunque también es frecuente encontrar grandes clástos de origen terrígeno que llegan desde las montañas vecinas.

A manera de resumen puede afirmarse que a lo largo del litoral Los Corbanitos se produce una clara gradación de los materiales sedimentarios que van desde fangos muy finos en el extremo oriental, hasta cantos y guijarros de gran tamaño en las ensenadas de la parte occidental. Aunque por la calidad de los materiales y las condiciones del relieve, las mejores playas se encuentran en el sector central, aún en este sitio la acumulación de arena es pobre y se limita a una estrecha franja de la zona emergida lo que constituye un importante indicador de los insuficientes ingresos naturales de arena a todo el litoral.

Al igual que en la mayor parte de los litorales acumulativos, los elementos que más influyen en el funcionamiento del sistema Corbanitos son: el relieve, los sedimentos y la hidrodinámica.

Actualmente, el ingreso de sedimentos al litoral se produce a partir de dos vías. Por una parte los materiales terrígenos que llegan a la costa producto del escurrimiento superficial y los procesos de gravedad, y por la otra, los sedimentos biogénicos de la plataforma submarina. Los ingresos fundamentales son de los materiales biogénico-marinos que ocupan la mayor parte de la pendiente submarina frente a las

playas y se mezclan en proporciones muy similares con los sedimentos fangosos de origen terrígeno.

En los sitios donde las colinas de la cordillera central se aproximan a la costa (fundamentalmente hacia el extremo occidental del sector), es frecuente encontrar cantos y guijarros que llegan a la orilla por efecto de la gravedad. También ingresa al litoral una importante cantidad de restos de corales producidos en las barreras y cabezos próximos a la costa. Estas tasas de transporte pueden considerarse bajas, lo que explica que la escasa arena que se produce en el área permanezca estable en las playas en forma de conchas o ensenadas que ocupan la parte central del sector. Este proceso se favorece con la presencia de pequeños salientes formados por mangle o arrecifes a lo largo de la costa y que sirven de contención lateral a los sedimentos que se mueven bajo el efecto de la deriva litoral.

Cuando los sedimentos arenosos alcanzan el sector occidental, quedan sometidos a un régimen de oleaje más intenso. Este hecho, unido a la existencia de fuertes pendientes en la parte submarina facilita la fuga de los materiales finos hacia mayores profundidades, donde quedan mezclados con fango o depositados a grandes profundidades, mientras en las playas del sector occidental permanecen estables los cantos y guijarros de gran tamaño. Aunque estas condiciones son las que predominan la mayor parte del año, durante la ocurrencia de fuertes marejadas se produce un cambio temporal en los patrones de transporte y el movimiento de los sedimentos en dirección perpendicular a la costa pasa a jugar el papel protagónico. En esos momentos ingresan a todo el litoral restos de coral, cantos y guijarros de gran tamaño y se forman escarpes en las playas.

En correspondencia con la distribución de la energía de las olas, el ingreso de materiales gruesos es mucho más importante en las playas del sector occidental, donde se forman camellones de tormenta cortados en algunos sitios por escarpes de considerable altura.

El sector central, protegido por una extensa pendiente submarina, está sometido a una energía moderada del oleaje. No obstante, es frecuente encontrar pequeños escarpes y a la orilla también llegan de manera ocasional fragmentos de coral, cantos y guijarros arrastrados por las olas.

Por su parte, en el sector oriental, el más protegido, aún durante la ocurrencia de eventos extremos la energía de las olas es limitada y sólo se produce la inundación del bosque de mangle por efecto de la sobre elevación del nivel del mar.

A manera de síntesis, puede afirmarse que el sistema Corbanitos se comporta de manera estable y existe un equilibrio entre la cantidad y tipo de materiales que ingresan a

la costa y la energía de las olas responsables de su transporte y deposición. Las principales limitantes estéticas y funcionales del lugar, son el resultado de la propia naturaleza del litoral. En particular, el pobre desarrollo de las playas responde a un insuficiente ingreso de arena debido a que no existe una población de organismos bentónicos capaces de suministrar la cantidad necesaria de sedimentos carbonatados de color blanco. Esta situación se agrava con el ingreso al litoral de una gran cantidad de materiales finos de origen terrígeno y coloración oscura, que se distribuyen por la pendiente submarina y se mezclan con la arena, con lo que se forma un sustrato idóneo para el desarrollo de las praderas de fanerógamas (Seibadal).

En la costa de Baní el primer elemento morfológico a destacar es el desarrollo de las dunas de arena con un desarrollo vertiginoso en toda la costa de punta Caldera (Imagen II.31), donde existe una playa de arena terrígena que ingresa a la pendiente submarina en grandes volúmenes. La superficie submarina de este entorno costero está cubierta desde los 4 m hasta los 18 m de profundidad por grandes espesores de ese material, por otra parte en la bahía Las Calderas ingresa considerable cantidad de arena procedente de las dunas (Imagen II.32).

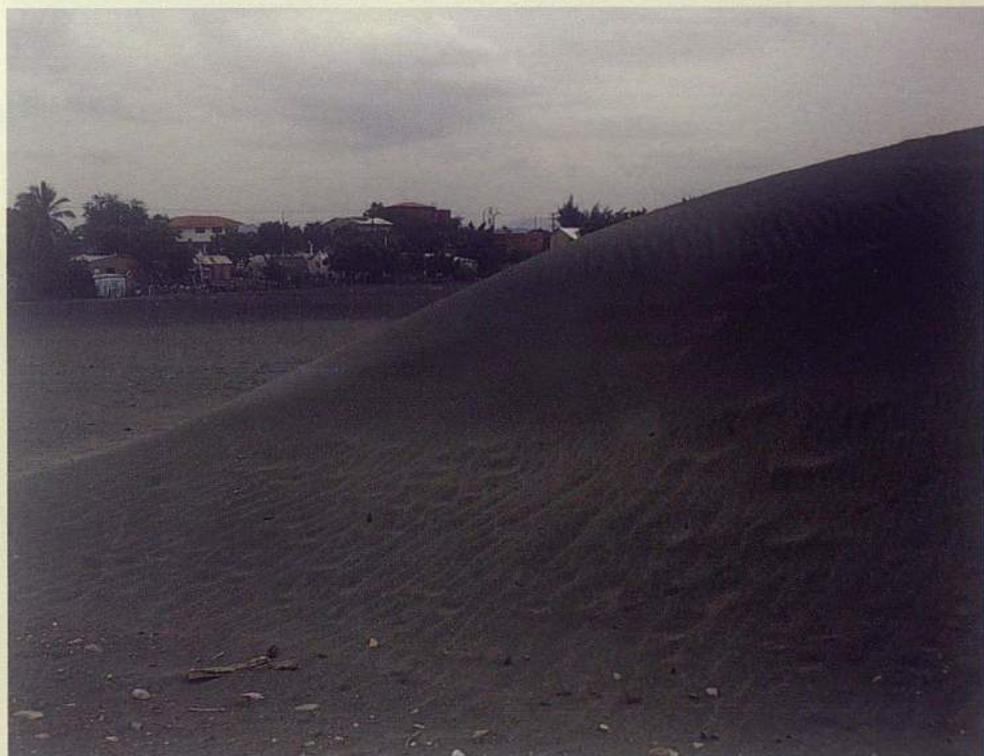


Imagen II.31. Desarrollo de las dunas en toda la costa de la península Salina.



Imagen II.32. Las dunas de Baní se convierten en fuente de ingreso de arena a la bahía Las Calderas cuando el viento le es favorable.

Capítulo III

Tramo costero río Nizao-río Chavón

El tramo costero río Nizao-río Chavón abarca las provincias: San Cristóbal, Santo Domingo, San Pedro de Macorís, La Romana y el Distrito Nacional (Fig. III.1). Sobresale en el sector litoral que forman estas provincias el fuerte desarrollo urbanístico como un elemento común.

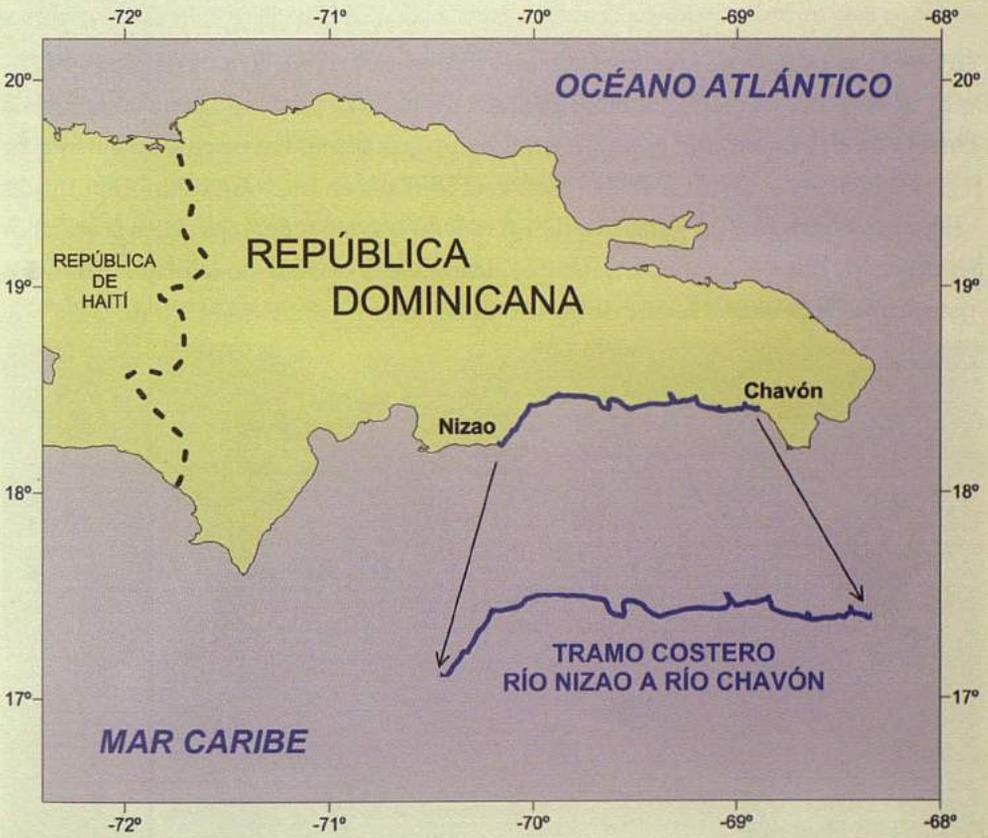


Figura III.1. Tramo de costa río Nizao- río Chavón.

En el litoral se destacan la Sabana de Palenque y la playa Najayo en San Cristóbal, una terraza costera abrasiva baja abierta al fuerte embate de las olas en el Distrito Nacional, el parque submarino La Caleta y la playa Boca Chica. Más hacia el este, resalta la terraza abrasiva entre esta última playa y Guayacanes, y la playa Juan Dolio.

En este tramo es de gran importancia la presencia de seis ríos que desembocan en el litoral costero, por su trabajo de modelado, en la morfología del relieve, ellos son de oeste a este: Nizao, Nigua, Haina, Ozama, Iguamo, Cumayasa, Soco, Dulce Romana y Chavón. En el litoral de La Romana, en medio de grandes profundidades que se alcanzan muy cerca de la costa, sobresale la isla Catalina y por otra parte, las terrazas abrasivas de alturas entre los 3 m y 4 m que se manifiestan en diferentes tramos de costas, incluídas la mencionada isla.

Playa Palenque

La playa Palenque tiene una extensión de 1 300 m. Se localiza al oeste de punta Palenque, en las costas de San Cristóbal, en el sur del país. La playa se inserta en la sabana costera de Palenque, que es una terraza de origen acumulativo con una altura de 1,5-3,0 m sobre el nivel medio del mar. Está formada en toda su extensión por rocas calizas arrecifales, arenas, guijarros, cantos rodados y conglomerados que arrastran por su cauce los ríos Nizao y caño Seco que desembocan al oeste de la playa. Estos ríos constituyen la principal fuente de ingreso de sedimentos al sistema costero.



Playa Palenque

En la playa las pendientes del relieve son suaves, tanto en su parte emergida, como en la sumergida.

Este relieve es propenso a la formación de zonas acumulativas, pues cuando las pendientes son inferiores al ángulo de reposo de los sedimentos, los mismos tienden a estabilizarse al alcanzar la costa. Los depósitos aluviales que componen esta sabana fueron transportados hasta la costa por los ríos Nizao (Imagen III.1) y Caño Seco y con el paso del tiempo dichos depósitos dieron lugar a la formación de la playa que existe en la actualidad.

Uno de los rasgos geomorfológicos más significativos del área es la terraza baja cubierta por material deluvial, con más de un metro de espesor, en algunos sitios esta terraza forma parte de la pendiente submarina costera y en otros, aflora en dicha pendiente hasta alcanzar la línea de costa.

La playa está limitada hacia el este por promontorios rocosos elevados y hacia el oeste por el río Caño Seco. En el centro de la playa se localiza un saliente rocoso cubierto de arena (Imagen III.2). Este saliente rocoso divide la playa en dos conchas, una hacia el este y la otra hacia el oeste. Las dos conchas no presentan apenas diferencias morfológicas entre sí. La pendiente es suave y con aproximadamente la misma proporción, al igual que las características del relieve emergido (Imagen III.3). La concha este se encuentra protegida por el saliente rocoso-acumulativo que se localiza en la costa con baja altura (Imagen III.4) y por los afloramientos rocosos adosados al saliente central que divide la playa en dos conchas, esta morfología favorece la presencia de una pendiente submarina suave, en correspondencia con la baja energía del oleaje.

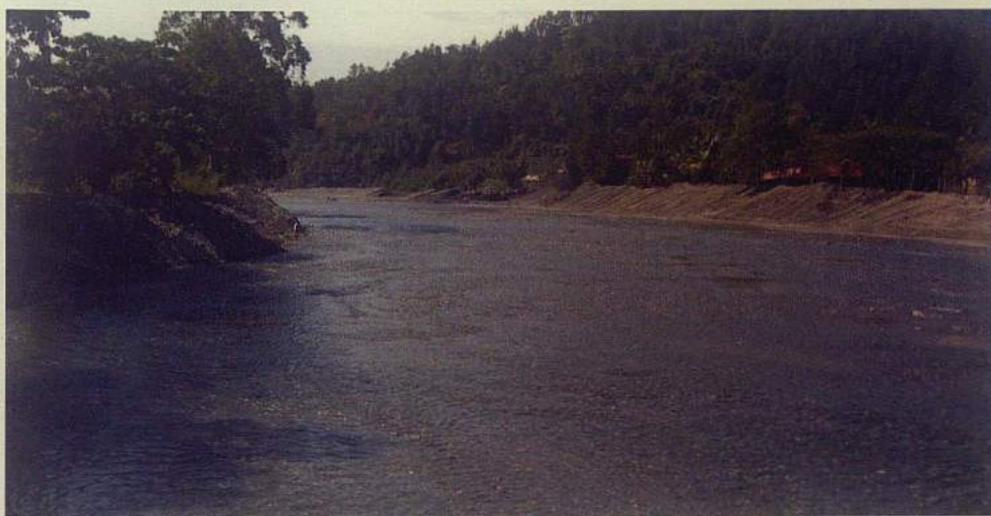


Imagen III.1. Cauce del río Nizao, responsable del 70% del sedimento que llega a la costa.

Las dos ensenadas que forman la playa, además de la defensa que le ofrecen los salientes mencionados en sus extremos, y los afloramientos rocosos en la pendiente submarina, la orientación general de la línea de costa NW-SE les propicia mayor estabilidad, al no recibir directamente en toda su extensión el impacto de las olas provenientes del este.



Imagen III.2. Saliente rocoso cubierto de arena que divide en dos partes la playa Palenque.

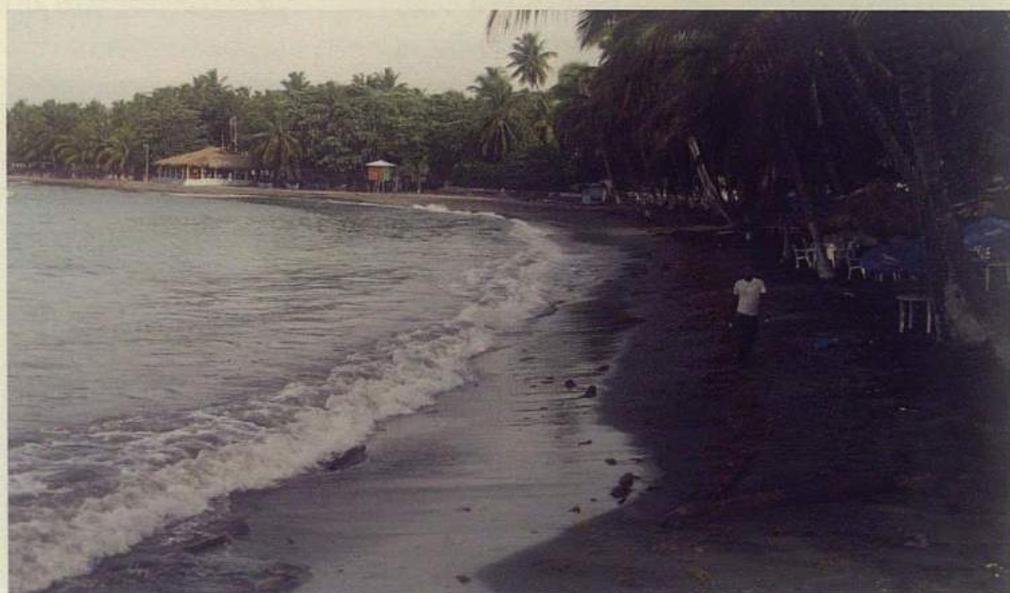


Imagen III.3. Ensenada de playa con perfil de poca pendiente sin duna ni berma.

El perfil geomorfológico de ambos tramos litorales se caracteriza por un declive suave de su pendiente, lo cual favorece la protección de la línea costera, de modo que su erosión transcurre lentamente.

En toda la pendiente submarina de la playa el fondo está cubierto por sedimento arenoso, con cantos rodados mezclados con lodo proveniente del ingreso del río, de la laguna y del arrastre que se produce en los momentos de fuertes lluvias. Tanto la arena a lo largo de la playa, como el sedimento de cantos rodados se observa con mayor volumen en la ensenada oeste, en general la playa muestra bastante estabilidad, lo cual está asociado a la baja energía del oleaje y a la protección que presenta la costa de acuerdo con las características morfométricas de la pendiente submarina.

Como se ha expresado anteriormente, los sedimentos que forman la playa son combinaciones de cantos rodados, guijarros y arenas de diferentes granulometrías (Imagen III.5), todos de origen terrígeno provenientes de la erosión de las laderas montañosas por donde corren los ríos que tributan a la costa.

Los sedimentos presentes en la playa son arrastrados hacia la zona costera mediante la combinación de diferentes procesos. Las montañas próximas a la playa están formadas por dichos cantos y guijarros incrustados en una matriz margosa de formación reciente que se desliza fácilmente.



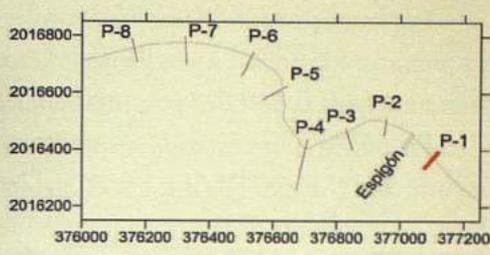
Imagen III.4. El promontorio que limita la playa por el este le sirve de defensa natural ante el oleaje.



Imagen III.5. Afloramientos rocosos en la zona de baño, tanto en la pendiente emergida, como en la sumergida de la playa.

En el cauce del río Nizao, donde se cruza con la carretera, se pueden ver sedimentos similares a los que se encuentran en la playa. Estos elementos refuerzan la idea de que la fuente natural de aportes de sedimentos a la playa en la actualidad es la erosión de dichas laderas por las aguas pluviales que desembocan en el litoral. La arena que forma la playa de Palenque es exclusivamente de origen terrígeno de coloración bastante oscura. Los minerales que forman la arena son ricos en compuestos de hierro, silicio y calcio, elementos con fuerte presencia tierra adentro. Desde el punto de vista morfológico, la pendiente de la playa emergida es casi plana con un valor de pendiente 0.0. En la morfología del perfil de la playa (Fig. III.2) comienzan a manifestarse los afloramientos rocosos en el área de baño hasta una distancia de la costa de unos 16 m. La playa emergida es estrecha con signos de erosión. La pendiente general del perfil es de 0.041. (La pendiente es el resultado de dividir $\Delta y / \Delta x$ por lo que es dimensional se trata de la tangente del ángulo).

El perfil que se ubica sobre el saliente rocoso (Fig. III.3), el cual divide las dos ensenadas, presenta una cobertura arenosa en la parte emergida. La terraza rocosa en esta zona es plana con una pendiente próxima a cero. En el final del mismo aflora la terraza rocosa paralela a la costa, y la lengua arenosa que se aproxima desde tierra tiene forma de hemitóbolo.



Perfil 1

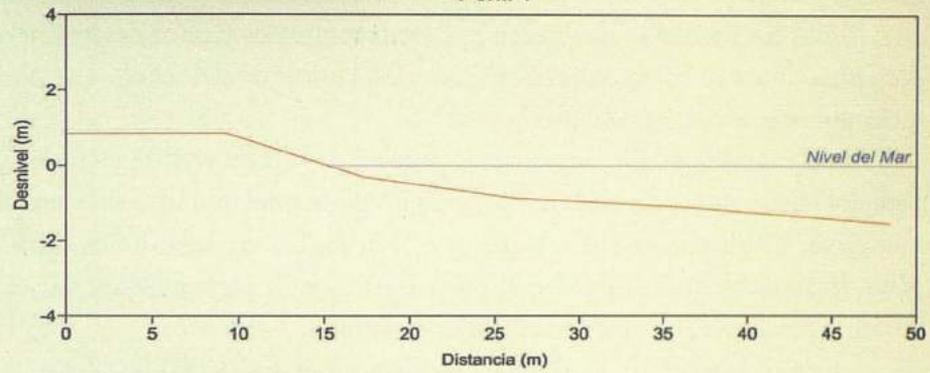
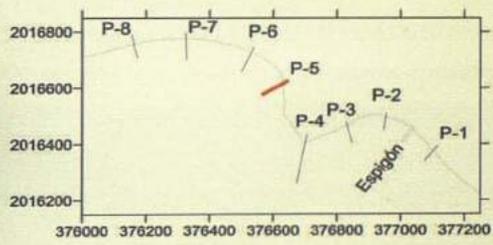


Fig. III.2. Perfil topográfico 1 situado en la ensenada norte de la playa.



Perfil 5

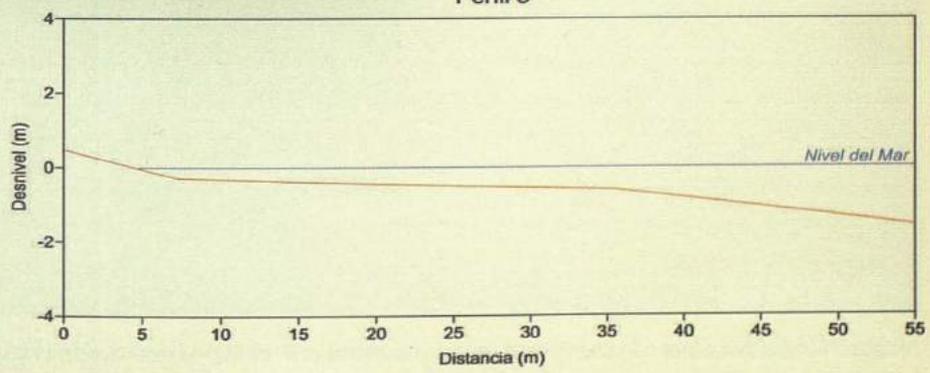


Fig. III.3. Perfil topográfico 5 situado en el saliente que divide la playa en dos ensenadas.

La playa del sector del punto náutico es estrecha con signos de erosión y construcciones próximas a la orilla. La pendiente de la zona intermareal es de 0.107, la pendiente de la parte sumergida es de 0.027 para una pendiente general del perfil de 0.038.

En el final de la ensenada sur se observa en la parte trasera de la playa un camellón de tormenta (Imagen III.6) sobre el cual ha crecido la vegetación y se ha formado una duna. La pendiente de la parte emergida del perfil (Fig. III.4) es de 0.042 y en la parte submarina vuelve a ser más suave con un valor de 0.037, similar a la de la parte emergida. La pendiente general del perfil es de 0.056.

Todos los perfiles se distinguen por ser incompletos y poco desarrollados. No presentan dunas ni barras submarinas, además, las formas del relieve que presentan están pobremente desarrolladas.

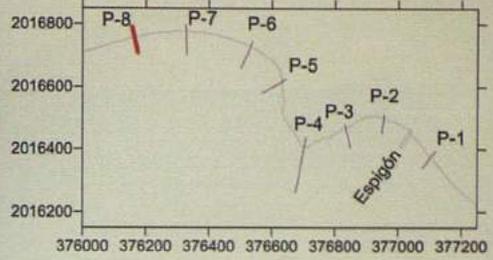
En el caso del perfil localizado en el extremo de la playa en dirección al río Caño Seco, los efectos de la actividad antrópica son insignificantes, por lo que la duna alcanza una mayor definición, así como la berma está mejor desarrollada. En esta parte de la playa, la pendiente del perfil emergido es de 0.070 y en la parte submarina se reduce a 0.058, la pendiente general de este perfil es de 0.081.

La morfología de la pendiente submarina muestra un fondo, desde la costa hacia el mar, con un relieve regular continuo con isobatas paralelas entre sí.

Esta regularidad sólo se ve interrumpida en el extremo este de la playa en las proximidades de punta Palenque, donde se eleva, desde el fondo del mar, una serie de cabezos rocosos coralinos.



Imagen III.6. Camellón de tormenta en la parte trasera de la playa. Se observa en la pendiente emergida una mezcla de sedimento grueso de grava con arena.



Perfil 8

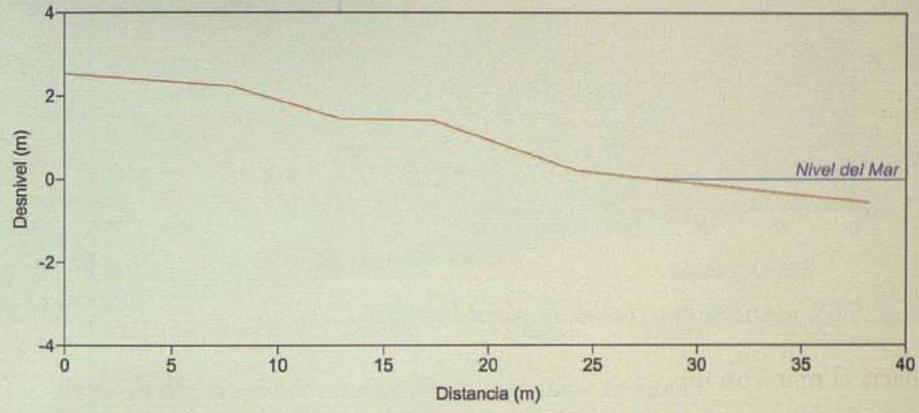


Fig. III.4. Perfil topográfico 8 situado en la ensenada sur de la playa.

El fondo marino frente a la playa Palenque está constituido por una superficie de 2 km de ancho y se extiende desde la costa hasta la profundidad de 20 m (Fig. III.5, 6 y 7), con una pendiente muy suave hacia el mar.

El valor de esta pendiente es de 0.010. A partir de los 20 m se aprecia un cambio de pendiente, con una caída ligeramente más fuerte y valores de 0.016.

La playa Palenque, como ya se expuso, presenta dos sectores: la concha este y la concha oeste. En la actualidad el perfil de la playa se encuentra distanciado de la condición de equilibrio. Esta situación indica que la playa en este sector es inestable. Luego, los cálculos del perfil de equilibrio y su comparación con el perfil actual han permitido corroborar la presencia de un proceso erosivo en la playa.

En el caso de la concha oeste, el perfil de equilibrio se encuentra por encima del perfil actual en los primeros 40 m.

En este punto los dos perfiles se cortan y el perfil de equilibrio continúa por debajo del perfil actual. Este resultado obedece a que el relieve del fondo permite que la playa con el sedimento actual pueda alcanzar la condición de equilibrio incorporando un volumen de arena relativamente pequeño.

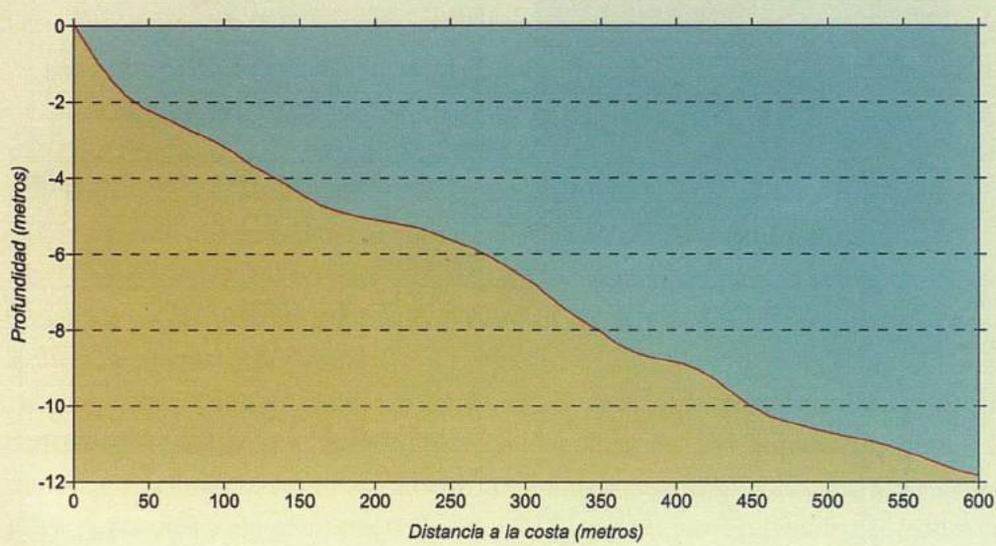


Fig. III.5. Perfil submarino de la playa Palenque.

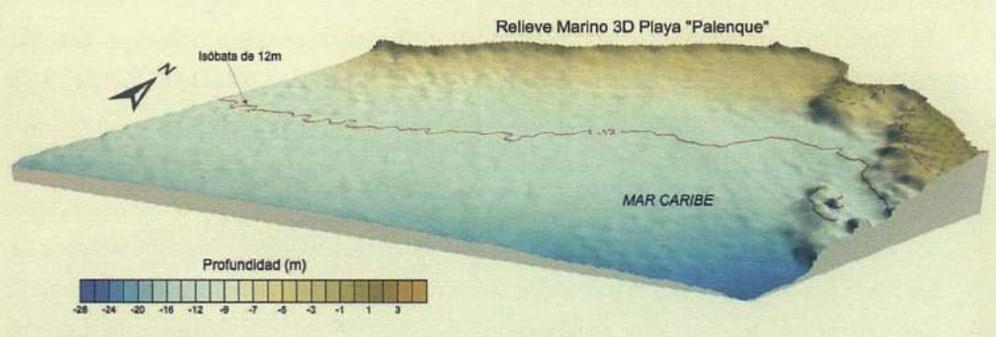


Fig. III.6. Relieve marino frente a la playa Palenque.

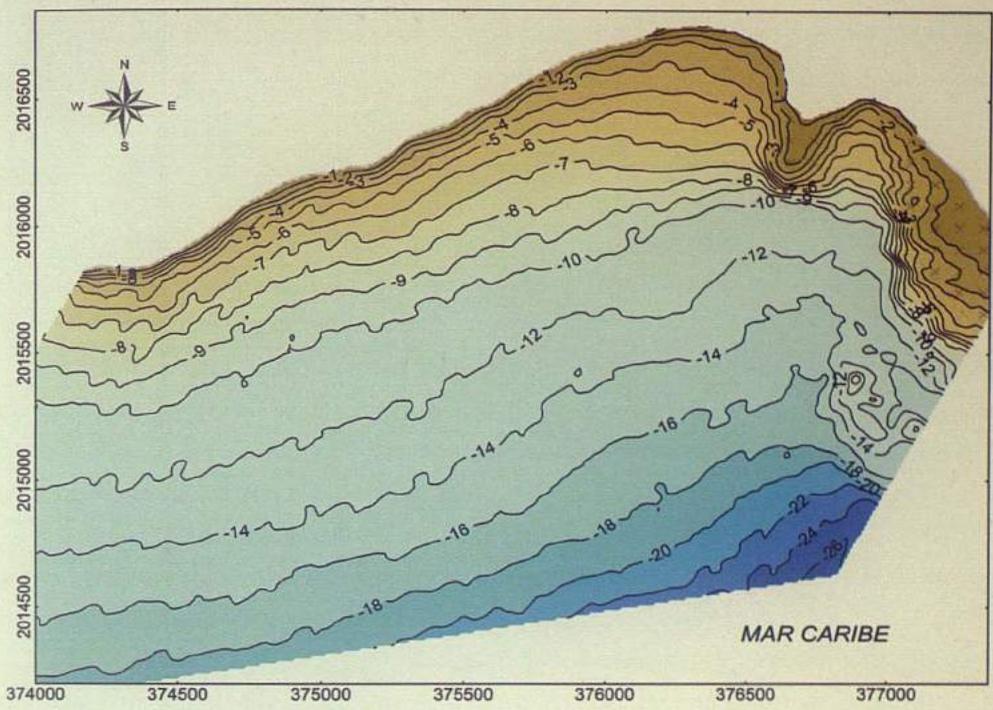


Fig. III.7. Profundidad del fondo marino frente a la playa Palenque.

Playa Najayo

La playa Najayo, con una longitud de 1100 m, está enclavada en la bahía del mismo nombre (Fig. III.8), en la costa de San Cristóbal, en el sur del país. Este sector costero está constituido por una llanura aluvial baja, la cual está intercalada en elevaciones costeras que alcanzan los 20 m de altura. En la playa las pendientes del relieve son suaves, tanto en su parte emergida, como en la sumergida. En esta playa, el relieve, al igual que en la playa Palenque, es propenso a la formación de zonas acumulativas, pues cuando sus pendientes son inferiores al ángulo de reposo de los sedimentos, tienden a estabilizarse al alcanzar la costa. Los depósitos aluviales que componen esta llanura fueron transportados hasta la costa por los arroyos Najayo y Agua Dulce. Con el paso del tiempo dichos depósitos dieron lugar a la formación de la playa que existe en la actualidad.

La playa está limitada por terrazas rocosas elevadas, tanto por el norte como por el sur. En el centro de la playa se encuentra un peñón rocoso de 15 m de altura que ha quedado como relictos del proceso de erosión diferencial (Imagen III.7) producido a lo largo de toda esa zona costera, sobre dicho peñón se encuentran los restos de lo que fuera la casa del expresidente Rafael Leonidas Trujillo.

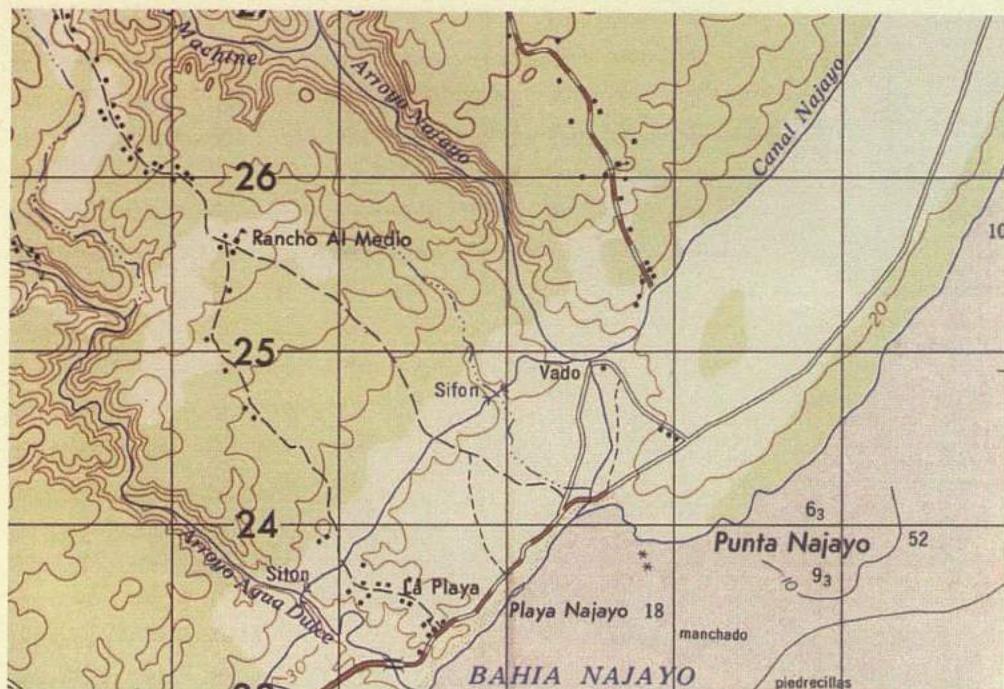


Fig. III.8. Entorno físico geográfico de la playa Najayo.

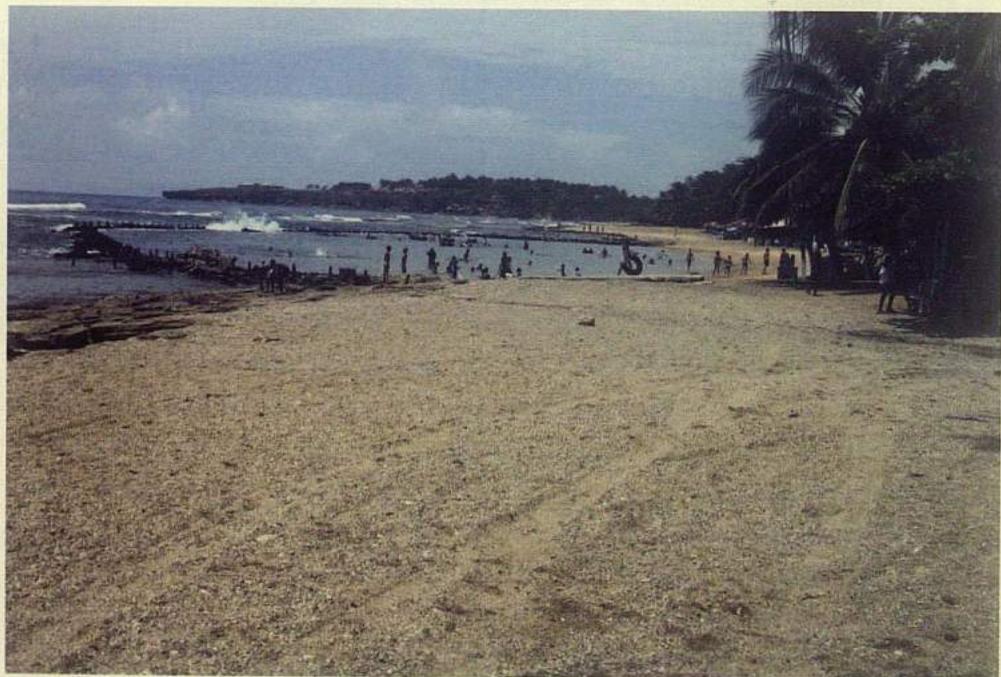


Imagen III.7. Peñón rocoso de 15 m de altura que divide en dos ensenadas la playa Najayo.

Al pie de dicho peñón se encuentran bloques rocosos de gran tamaño que al parecer se han desplomado del mismo como consecuencia del proceso de abrasión marina que tiene lugar en el área.

El peñón divide la playa en dos conchas, una hacia el norte y la otra, hacia el sur. Las dos conchas presentan importantes diferencias morfológicas entre sí.

La concha norte está expuesta a la acción directa del oleaje, y forma una playa en espiral logarítmica. Esta es una forma típica del relieve que ocurre en los litorales arenosos al abrigo de dos rocas o salientes de apoyo.

En los litorales arenosos situados al abrigo de una punta o saliente natural, la difracción de la ola que se produce como consecuencia de la misma, hace que la línea de costa tienda a ubicarse paralela a los frentes de ondas y adopte una forma geométrica que reproduce una espiral logarítmica.

Por otra parte, en la concha sur, se destaca la presencia de una barrera arrecifal adosada a la costa, lo cual condiciona una escasa dinámica para el área, pues el oleaje rompe en los arrecifes y apenas llega energía a la orilla.

Esta barrera arrecifal se ve interrumpida en su parte central por una poceta artificial (Imagen III.8), única área de baño que existe en este sector de la playa.

En el resto de la playa la superficie arenosa de la zona emergida se encuentra en la línea de costa con la barrera arrecifal, el ancho de la barrera es variable, alcanzando unos 100 m en su parte más extensa.

En la barrera arrecifal que se adosa a la playa se encuentran ejemplares del coral *Acropora palmata* (típico formador de barreras adosada a la costa) tanto en la parte interior como exterior. Dichos arrecifes se encuentran en un pobre estado de salud. La abundancia de erizos negros constituye un claro indicador del daño ecológico que sufre el área. Una situación similar se ha observado en otras playas de la costa sur dominicana. Además resulta significativo que a pesar de existir una barrera arrecifal tan extensa, prácticamente no se observa la presencia de sedimentos biogénicos en la playa. Los sedimentos que forman la playa son combinaciones de cantos rodados, guijarros y arenas de diferentes granulometrías, todos ellos de origen terrígeno provenientes de la erosión de las laderas montañosas por donde corren los ríos que tributan a la costa.

Los sedimentos presentes en la playa son arrastrados hacia la zona costera mediante la combinación de diferentes procesos.

Las montañas en las zonas próximas a la playa están formadas por cantos y guijarros inmersos en una matriz margosa de formación reciente y por tanto fácilmente deleznable por los factores exógenos.



Imagen III.8. Terraza rocosa alta que limita la playa de Najayo al sur.

Donde la carretera atraviesa el cauce del arroyo Agua Dulce se pueden ver sedimentos similares a los que se encuentran en la playa. Estos elementos refuerzan la idea, al igual que se observó en la playa Palenque, que la fuente natural de aportes de sedimentos a la playa en la actualidad, es la erosión de dichas laderas por las aguas pluviales que desembocan en el litoral. Por esta razón los sedimentos de la playa tienen un origen eminentemente terrígeno.

Los perfiles 1-5 son representativos de la concha norte de la playa (Fig. III.9). Todos ellos se distinguen por ser incompletos y poco desarrollados. No presentan dunas ni barras submarinas, además, las formas del relieve que presentan están pobremente desarrolladas.

En las inmediaciones de la desembocadura del Arroyo Najayo los perfiles se caracterizan por una superficie plana en tierra, con valores de pendientes de 0.004 y una extensa superficie en el mar casi plana también con pendiente de 0.009. Estas dos superficies están conectadas por una zona intermareal estrecha y con pendiente fuerte. La zona intermareal tiene un ancho promedio de 15 m y una pendiente de 0.174. La pendiente general de estos perfiles es de 0.034, que como se puede apreciar es bastante suave. El ancho de la playa emergida en esta zona es de 40 m aproximadamente.

Los perfiles del centro y sur de esta concha tienen una morfología similar pues todos comienzan en la carretera que bordea la playa y se extienden hacia el mar con

Perfil 3

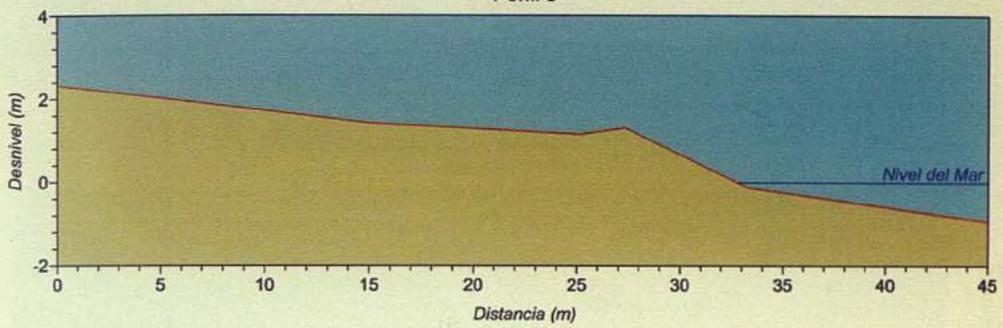


Fig. III.9. Perfil topográfico 3 correspondiente a la ensenada norte.

una caída uniforme carente de formas secundarias. El ancho de playa emergida en esta zona está entre 15 y 20 m como promedio. La pendiente general de estos perfiles es de 0.11, la cual es bastante fuerte como se puede apreciar.

En la concha sur los perfiles tienen características similares. Ambos son incompletos y poco desarrollados. (Fig. III.10). No presentan dunas ni barras submarinas y además las formas del relieve son pobres. En realidad, la playa en este sector es una superficie arenosa emergida de unos 25 m de ancho sin prolongación hacia el mar, pues en la línea de costa aparece una barrera arrecifal que se extiende hacia el mar de forma casi emergida (Fig. III.11). La pendiente de la zona emergida es de 0.090. La pendiente submarina muestra un fondo, desde la costa hacia el mar, con un relieve regular continuo con isobatas paralelas entre sí (Fig. III.12). Esta regularidad solo se ve interrumpida por la presencia de un canal submarino localizado en el extremo norte de la playa, que se corresponde con el paleocauce del Arroyo Najayo.

No obstante la regularidad del relieve submarino es posible identificar dos superficies. La primera se extiende desde la costa hasta la profundidad de 15 m.

Esta superficie tiene un ancho de 500 m aproximadamente y una pendiente de 0.03. A partir de los 15 m se produce una caída más o menos brusca hasta los 30 m de profundidad. Esta otra superficie tiene un ancho de 150 m y una pendiente de 0.100 (Fig. III.13).

El canal submarino tiene su eje en el centro de la concha norte y se orienta perpendicular a la costa. El transporte a lo largo de la costa ocurre fundamentalmente debido a las corrientes longitudinales inducidas por el oleaje, mientras que el transporte perpendicular es el resultado del movimiento de las partículas debido al oleaje y la resaca.

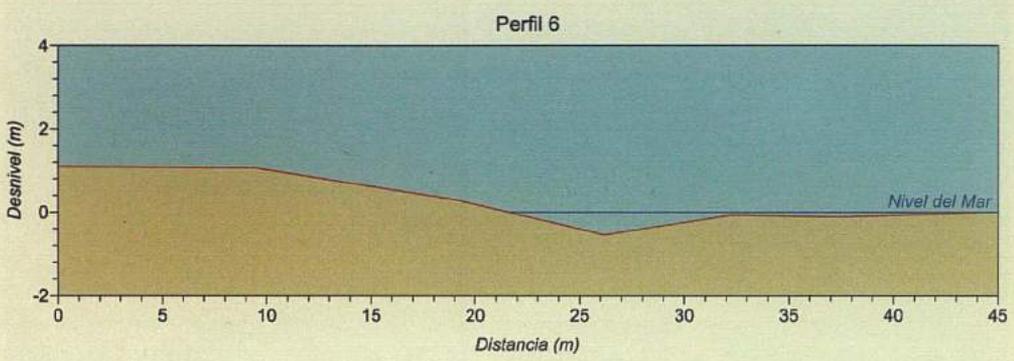


Fig. III.10. Perfil topográfico 6 correspondiente a la ensenada sur.

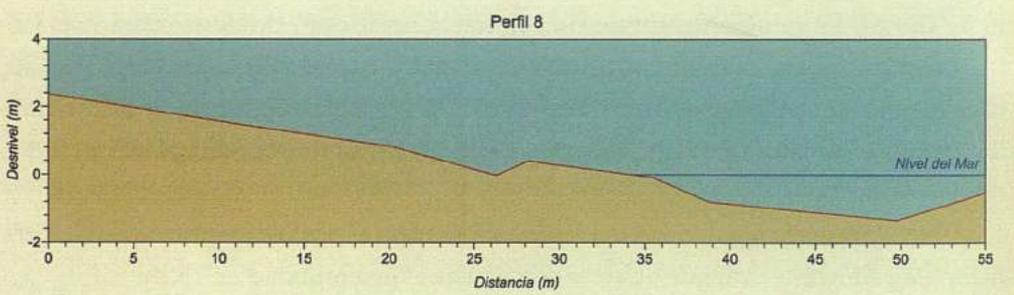


Fig. III.11. Perfil topográfico 8 correspondiente al extremo de la ensenada sur.

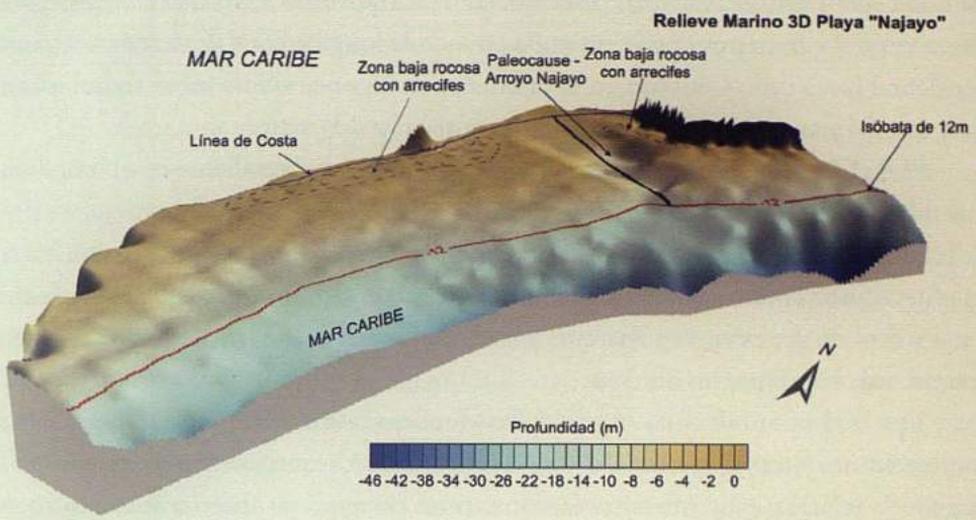


Fig. III.12. Elementos morfológicos más sobresalientes en la pendiente submarina de playa Najayo.

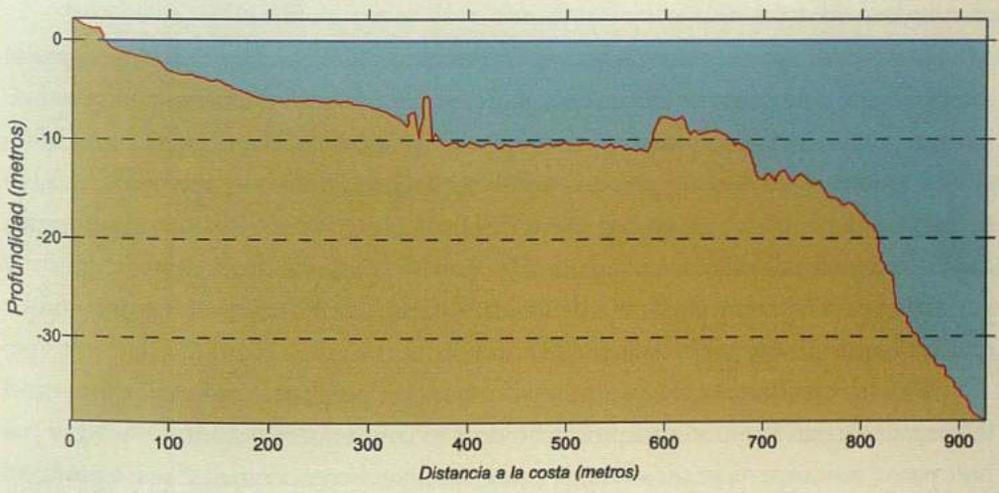


Fig. III.13. Perfil costero y submarino de la playa Najayo.

Distrito Nacional

La costa del Distrito Nacional está caracterizada por una superficie aterrizada de altura entre 2 y 3 metros que se extiende en toda la longitud que va desde el extremo occidental hasta cabo Caucedo en el oriental, con algunos sitios, sobre todo hacia el este, que forman pequeñas ensenadas donde se acumula arena.

El río Ozama constituye uno de los elementos más sobresaliente en el litoral. Su desembocadura, presenta una configuración más estrecha en la medida en que se aleja de la costa, con paredes verticales que ponen de manifiesto una influencia tectónica en su génesis, con la presencia de terrazas abrasivas en su desembocadura, que oscilan entre los 4 y 6 m de altura en su costa este, mientras que hacia la costa oeste presenta una terraza más baja entre los 2 y 3 m.

Desde el punto de vista morfológico el relicto costero está asociado también a las regresiones y transgresiones del mar en el período Cuaternario en esta zona. Analizando la relación existente entre las estructuras costeras se observa que, dentro de su complejidad en lo referente a sus formas particulares, existe un vínculo entre ellas, para las costas este y oeste respectivamente, modificadas solamente por factores externos que lo han alterado. Por otra parte, la estructura artificial construida en la boca de la desembocadura del río Ozama como obra de defensa contra el oleaje, favorece la acumulación de sedimentos en la zona interior cuando se producen las grandes avenidas del río.

Los mapas batimétricos de la zona de estudio, tanto la zona interior como la exterior, se comportan morfológicamente de manera muy similar, presentando en su interior una cuenca acumulativa conformada con profundidades de 9 hasta 10m, cubierta fundamentalmente por sedimento suelto procedente del aporte de la cuenca del río. La pendiente en ambas costas de la zona interior es bastante pronunciada, con la excepción del área protegida por la estructura artificial mencionada donde la pendiente es muy suave producto de la acumulación de las capas de sedimento que quedan entrampadas por la misma.

Resulta significativo desde el punto de vista morfológico, la presencia de un canal de entrada de una profundidad promedio de 9 m con una orientación SW- NE y por otra parte, una superficie adosada a la costa occidental con pendiente suave también, enmarcada entre dos espigones, lo que evidencia la protección de ambos espigones a la costa, el del sur, ante el embate del oleaje y el del norte, ante las fuertes avenidas del río.

En la zona exterior a la estructura y al espigón, desde el punto de vista morfológico, se manifiestan tres sectores: el primero está asociado a ambas estructuras,

contiguas a ellas, con superficies bajas, de pendiente suaves que se extienden hasta los 8 m de profundidad, un segundo sector con pendiente más pronunciada que el primero, desde los 9 m hasta los 15 m de profundidad, que se hace más acusada hacia el frente de la entrada del canal, y un tercer sector, con pendiente abrupta, a partir de los 15 m de profundidad, hasta alcanzar el talud.

Los elementos geomorfológicos más importantes a destacar son: la superficie aplanada que aparece en el interior de la desembocadura con profundidad máxima de 9 m, el canal de entrada al río, con 9 m de profundidad, las superficies bajas con pendiente suave adosadas a la costa y a las estructuras construidas, y la zona abrasiva exterior marina, con cambios de pendiente brusco hasta alcanzar el talud.

Los rasgos geomorfológicos ponen de manifiesto la marcada influencia que tiene la configuración del relieve en la dinámica litoral, jugando un papel principal la profundidad del canal y las estructuras construidas en la desembocadura del río, estas últimas favorecen la acumulación de sedimentos procedentes del aporte del río por su parte interior, mientras que en la zona exterior, se acumula material de origen marino.

Ese material de origen marino adosado a la estructura, ha conformado una pequeña playa artificial de dimensiones muy estrechas y de poca estabilidad producto del embate directo del oleaje. Esta playa es susceptible de mejorarse mediante soluciones ingeniero-costeras derivadas de un estudio de factibilidad.

Esta playa, en la zona exterior de la estructura, se forma a partir de la dinámica litoral predominante que posibilita que el material proveniente del este se acumule en el obstáculo que representa esa estructura, favorecida dicha acumulación por la superficie baja con pendiente marina suave. No obstante su estabilidad se encuentra amenazada constantemente por el fuerte oleaje que se produce en la zona, al encontrarse la playa desprovista de defensa.

De manera que la dinámica litoral de la zona evidencia un transporte de sedimento terrígeno predominante de la cuenca del río, cuyo material más grueso se deposita en las trampas de las estructuras que forman los espigones construidos en el lugar, mientras que el material más fino se pierde en suspensión, hacia el talud insular. El otro material transportado, en grado significativo, es el de origen marino el cual posibilita la formación de la playita exterior con ritmos de cambios bruscos en su morfología.

Los elementos geomorfológicos más importantes a destacar en todo el litoral costero del Distrito Nacioanla son: el borde de la plataforma insular, (Fig. III.14) a terraza prearrecifal, la superficie de abrasión subhorizontal en proceso de

aplanamiento actual ("bench") (Imagen III.9, 10, 11) y la superficie acumulativa actual producida por el oleaje. Asociados a los mismos aparecen los distintos niveles de las terrazas submarinas, las depresiones producidas por el oleaje del fondo en el borde de la terraza prearrecifal, las formas relictas litificadas sobre el "bench", los paleocauces sumergidos, las barreras coralinas actuales y relictas y las barras submarinas de formación periódica en la zona acumulativa actual.

El esquema geomorfológico pone de manifiesto la marcada influencia que tiene la configuración del relieve en la dinámica litoral, jugando un papel principal las depresiones y surcos arenosos que se comunican con la superficie acumulativa destructiva y la zona acumulativa actual, las cuales favorecen el escape de sedimentos arenosos hacia el talud insular en los momentos de máxima erosión y como vía de aporte en los instantes de máxima acumulación.

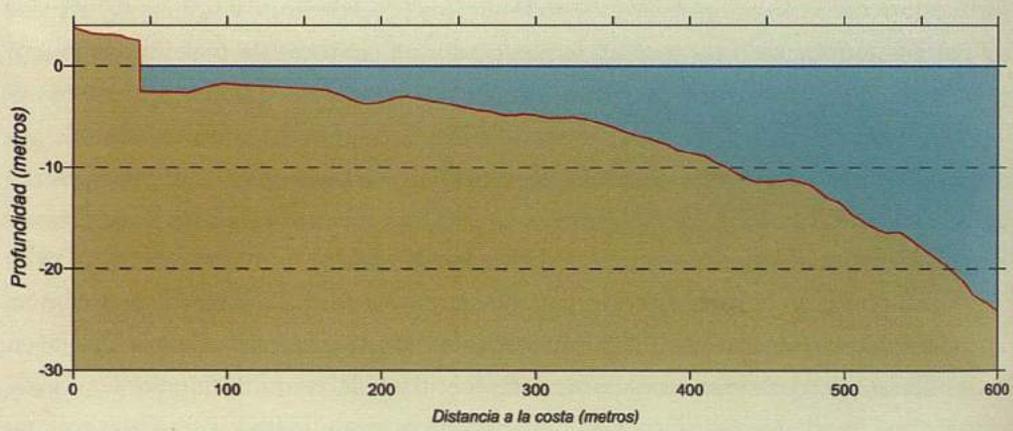


Fig III.14. Perfil costero y submarino frente a las costas de Santo Domingo.



Imagen III.9. Presencia de la terraza abrasiva baja que se extiende por toda la costa del Distrito Nacional.



Imagen III.10. Entorno costero donde se encuentra el Parque Nacional La Caleta. Al oeste del parque existe una pendiente submarina con potente reserva de arena fina desde los 8 m hasta los 13 m de profundidad.



Imagen III.11 Punta Caucedo, formada por una terraza abrasiva que en lugares alcanza los 3 m y donde bate el oleaje con mucha fuerza, la pendiente submarina esta formada por densas cadenas de corales que cubren casi en su totalidad el fondo marino.

Playa Boca Chica

La playa Boca Chica-Andrés, se encuentra en el interior de una amplia laguna arrecifal (lagoon), ubicada dentro de la bahía de Andrés. Aunque esta bahía alcanza profundidades entre 100 y 200 metros, al aproximarnos a la costa se produce una brusca disminución de la misma (Fig III.15). La barrera arrecifal es de poca profundidad (menos de 0.5 metros) y emerge en amplios sectores durante la marea baja. Entre la cresta y la playa existe una superficie somera y aplanada cubierta de arena y pastos marinos. Actualmente esta superficie está cortada por un canal paralelo a la orientación general de la costa, que tiene aproximadamente dos metros de profundidad y que ha sido dragado artificialmente para garantizar la navegación de las embarcaciones de motor. Dentro de la laguna se encuentran dos pequeñas islas, La Matica y La Piedra (también conocida como Los Pinos), donde se desarrolla el mangle, especialmente de las especies *Rizophora mangle*, *Avicenia germinans* y *Laguncularia racemosa*.

De acuerdo con la situación actual de la playa, fundamentalmente las obras de ingeniería construidas para retener la arena, se pueden diferenciar en cinco sectores. El Sector I comprende solamente la playa que utiliza el hotel Hamaca. Este sector tiene una longitud de 150 metros y la playa mantiene buenas condiciones recreativas. Periódicamente se realizan vertimientos de arena y los índices de retención son elevados,

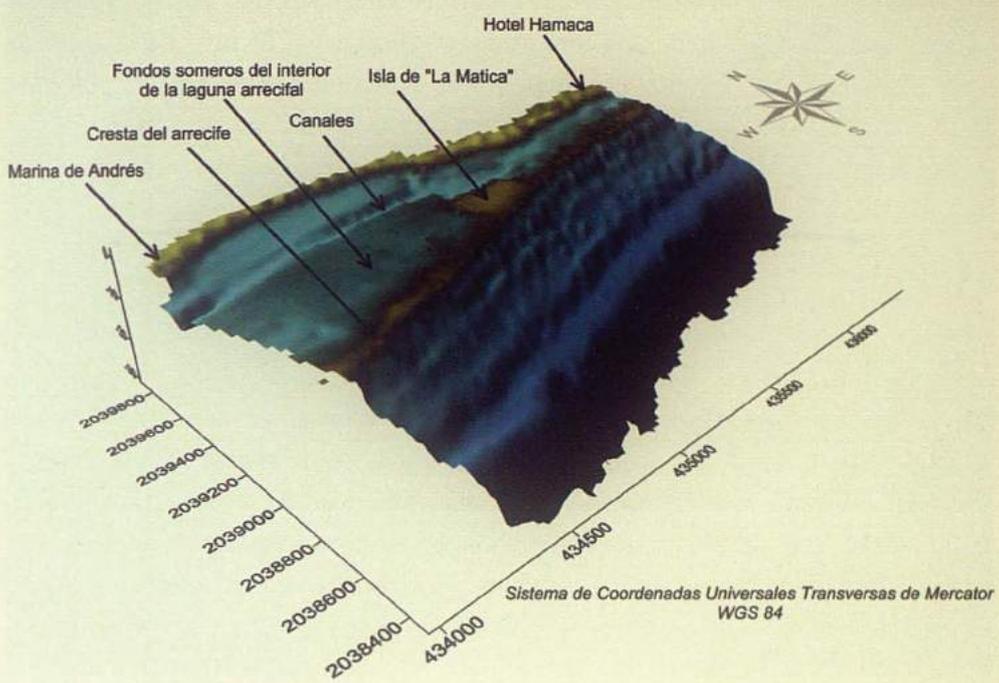


Fig. III.15. Principales elementos morfológicos frente a la playa Boca Chica y Andrés.

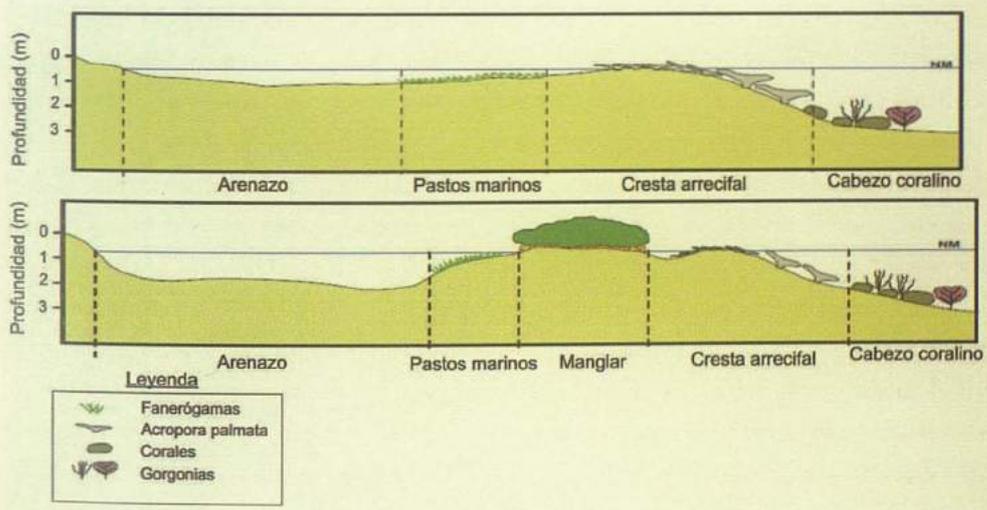


Fig III.16. Zonificación general del perfil de la costa de Boca Chica (Tomado del Proyecto de regeneración de la playa Boca Chica,)

por el espigón que le sirve de apoyo a la playa en el extremo occidental. El Sector II es de uso público y tiene una longitud de 450 metros. Dentro de la playa de Boca Chica, este es el sector que presenta en la actualidad un mayor grado de deterioro ambiental y peores condiciones estéticas y recreativas. Aunque las causas de este deterioro responden a una combinación de factores naturales y antrópicos, es incuestionable que los mayores daños han sido provocados por acciones irreflexivas del hombre.

Durante años se han construido establecimientos comerciales y todo tipo de instalaciones sobre las dunas y la playa. Como resultado del retroceso que ha experimentado la costa producto de la erosión, en la actualidad los cimientos de muchas de estas instalaciones están siendo lavados por las olas y los propietarios han colocado barreras de sacos rellenos de arena, con lo que además de interponer nuevos obstáculos al funcionamiento dinámico del perfil, han provocado la contaminación de la arena. Salvo estas pequeñas acciones individuales, y a diferencia de los sectores aledaños, en este lugar nunca se han acometido trabajos para devolver a la playa sus condiciones recreativas y estéticas. En la playa del Sector II hay sitios que se encuentran en zonas muy críticas (Imagen III.12). En este lugar no existe área de exposición solar y la estrecha anteplaya alcanza apenas de 5 m a 10 metros durante la marea baja. La pendiente submarina de todos los perfiles es muy suave y a 50 metros de la orilla, la profundidad apenas alcanza entre 0.9 y 1.1 metros.

El Sector III es el más pequeño (140 metros de longitud) y sus límites quedan establecidos por dos espigones perpendiculares a la costa que impiden el intercambio de sedimentos con los sectores aledaños. En este lugar se han realizado pequeños vertimientos artificiales de arena para incrementar el ancho de la playa y ganar área de exposición solar. Los espigones laterales mantienen confinada a la arena y evitan su escape del lugar, por lo que se conservan adecuadas condiciones recreativas.

En la parte central del Sector III el ancho de la playa emergida es de unos 50 metros y se mantiene libre de construcciones (Imagen III.13). No obstante, al igual que ocurre en el resto de la playa, el espacio de las dunas ha sido invadido por las instalaciones del hotel. La pendiente submarina es muy suave y la profundidad de 1.4 m a 1.5 m se alcanza a una distancia de la costa de 80 m a 100 m, que es la zona que actualmente utilizan las embarcaciones de motor para la navegación. Después de este punto, la profundidad decrece nuevamente.

El Sector IV tiene una longitud de 400 metros y abarca el extremo occidental de la playa Boca Chica (Imagen III.14). Este sector termina hacia el oeste en un espigón de 65 metros de longitud que lo separa de la playa pública de Andrés.



Imagen III.12. Sector II.



Imagen III.13. Playa del Sector III, confinada entre dos espigones perpendiculares a la costa.

En la morfología del sector hacia el extremo occidental se observa un lógico incremento en el ancho de la playa, que es el resultado de la retención por parte del espigón de los sedimentos que se mueven en dirección este-oeste con el efecto de la deriva litoral. El ancho máximo de la playa (70 metros) se alcanza en el sitio ubicado inmediatamente al este del espigón, mientras que el ancho mínimo es de 30 a 40 metros se alcanza al oeste del sector.

Aunque hacia el extremo oeste del sector la pendiente submarina es muy suave (tangente = 0.007). La profundidad de 1.4 a 1.5 metros se alcanza a 200 metros de la costa, mientras que en el perfil aledaño, a igual distancia de la orilla, apenas se superan los 1.7 metros. Luego de alcanzar estas profundidades, el fondo asciende nuevamente y emerge en la isla de “La Matica”, que se encuentra al frente.

De forma general, se puede afirmar que en este tramo la playa conserva adecuadas condiciones recreativas y estéticas. El ancho de la playa emergida es de unos 50 metros y se encuentra libre de instalaciones rígidas que afecten el funcionamiento dinámico del perfil. Al igual que en otros sectores, la duna ha sido aplanada para construir áreas de estacionamiento y existen problemas de drenaje pluvial.

El Sector V abarca a toda la playa de Andrés. Con una longitud de 1 000 metros, esta playa es de uso público y en la actualidad es la zona que presenta un mayor grado de deterioro de sus condiciones recreativas y estéticas (Imagen III.15).

Los parámetros morfométricos de la playa muestran que el ancho está entre 10 y 20 metros y representa la zona donde son mejores las condiciones de baño y existe un área de exposición solar mayor. Sin embargo, en el sector central la costa pasa a estar ocupada por una terraza abrasiva baja, donde se han construido muros y escaleras para poder acceder al área de baño. El espacio entre la playa y el camino en algunos sitios es de apenas 10 metros y está densamente ocupado por sombrillas rústicas y mesas.

Hacia el límite occidental de la playa, dadas las condiciones de energía baja del oleaje, se favorece la deposición de materiales muy finos que clasifican como limos y arcillas y se forma una playa de suave pendiente (Imagen III.16). Se observa que a más de 20 metros de la orilla, la profundidad es de apenas 0.1 metro y comienzan a desarrollarse formaciones vegetales propias de las áreas con pobre circulación de agua. A pesar de que la amplitud de la marea en la playa Boca Chica es pequeña, debido a la suave pendiente del fondo, gran parte de esta playa queda inundada durante la pleamar.

La profundidad de 10 metros como regularidad, se encuentra entre 300 y 320 m del borde exterior de la barrera arrecifal, para una pendiente de 0.032. Entre 10 y 12 m,



Imagen III.14. Sector IV, al este del espigón que separa a las playas Boca Chica y Andrés.



Imagen III.15. Superficie aterrizada rocosa en la que descansa la playa Andrés (sector V).

el fondo es aplanado y está cubierto por una capa de arena de muy poco espesor. A los 15 m se encuentra el borde exterior del talud, que conduce a profundidades entre 25 y 30 m. Este tiene una pendiente de 0.27 y en su base comienza una superficie arenofangosa aplanada.

Las secciones tienen características muy similares y son representativas de la mitad oriental de la playa Boca Chica. En esta zona, la laguna arrecifal es estrecha y poco profunda. La distancia entre la línea de costa y la barrera arrecifal es menor de 300 metros y la máxima profundidad apenas supera el metro. Por detrás del arrecife la pendiente aumenta bruscamente y la profundidad de 10 metros se alcanza entre 600 y 650 metros de la orilla.

En la transición entre las playas Boca Chica y Andrés se produce un progresivo aumento en el ancho de la laguna arrecifal y un incremento de las profundidades producto de los dragados realizados para la navegación de embarcaciones de motor. En este lugar el ancho de la laguna está entre 400 y 500 metros y en su interior está la isla "La Matica", formada por sedimentos sueltos sobre los que se desarrolla el bosque de mangle. En ese lugar la profundidad de 10 metros se alcanza a 700 u 800 metros de la costa. (Imagen III.17)

En la playa de Andrés es donde la laguna alcanza un ancho mayor y es también donde ha sido más intensamente dragada para garantizar la navegación. La distancia entre la costa y la barrera del arrecife es de 700 a 850 m y la máxima profundidad en el centro del canal supera los 2 m. Debido al considerable ancho que alcanza la laguna, la profundidad de 10 metros se encuentra a más de 1 000 metros de la playa.

Actualmente, la distribución de los sedimentos en la playa Boca Chica-Andrés, responde a la combinación de factores naturales y antrópicos. En correspondencia con el régimen de baja energía imperante en el interior de la laguna, el diámetro de los sedimentos nativos es pequeño y se clasifican entre arena fina, limos y arcillas. En cuanto a la composición, la arena nativa está formada básicamente por fragmentos biogénicos producidos en el arrecife y las comunidades bentónicas del interior de la laguna. Sin embargo, debido a la introducción artificial de materiales, en la composición actual de los sedimentos también se encuentran fragmentos terrígenos. La mayor proporción de este tipo de materiales se encuentra en los diámetros mayores de la playa Boca Chica.

Por ejemplo, para la muestra colectada en la anteplaya, las fracciones granulométricas superiores a 1000 m, están compuestas fundamentalmente por materiales terrígenos introducidos artificialmente, mientras que entre los granos más finos predominan las algas calcáreas, los moluscos y otros restos biogénicos.

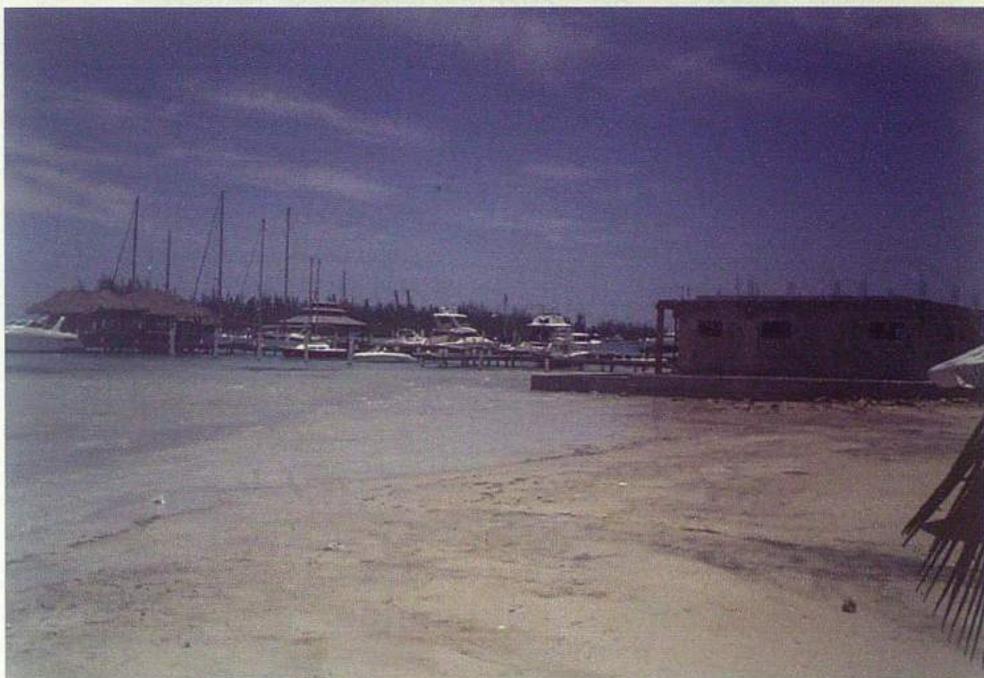


Imagen III.16. Límite occidental de la playa Andrés.



Imagen III.17. Vista general de la playa Boca Chica con la isla la Matica.

Aunque entre las fracciones más gruesas existen materiales terrígenos, su proporción es muy inferior a la reportada para el Perfil 2. En la anteplaya del Perfil 8 se hace más claro el predominio de los fragmentos biogénicos con diámetros entre 125 y 500 m. En este caso, los materiales más frecuentes son los restos de algas calcáreas, moluscos y foraminíferos. Debido a que en la anteplaya de los perfiles del sector 6, el diámetro de los sedimentos es muy fino (limos y arcillas), no es posible la identificación al microscopio de sus componentes. No obstante, en más de 90 % se trata de materiales carbonatados, lo que se corresponde con la composición mineralógica típica de las arenas biogénicas que en su composición predominan los fragmentos de algas calcáreas, moluscos y foraminíferos.

Entre la playa Boca Chica y Guayacanes aparece en el litoral una terraza abrasiva baja con entrantes y salientes en la que en muy pocos lugares se acumula sedimento por lo abrupta de la pendiente submarina y la fuerza del oleaje que propicia el escape hacia mayores profundidades o lo traslada en dirección oeste. El sedimento que se mueve en esa dirección se deposita en la pendiente submarina antes de llegar a la playa Boca Chica o se pierde en el talud antes de cabo Caucedo.

Playa Juan Dolio

La unidad fisiográfica donde se encuentra ubicada la playa Juan Dolio se extiende desde la desembocadura del río Higuamo al este, hasta punta Caucedo, en el oeste. Esta unidad posee una longitud aproximada de 25 km, de los cuales 12 son de costa acumulativa, en ésta se localizan las playas Juan Dolio y Guayacanes. El resto de la costa está constituida por una terraza abrasiva baja.

El río Higuamo, que nace en la cordillera Oriental del país, desarrolla su cauce sobre una terraza abrasiva compuesta por rocas calizas de las que se desprende considerable cantidad de sedimentos que ingresan al mar Caribe a través de su desembocadura ubicada al oeste de la ciudad de San Pedro de Macorís.

El hecho que la cuenca del río Higuamo constituya la sexta cuenca en importancia del país, con un recorrido total de 1,182 km y con un caudal medio hiperanual de 12.9 m³/seg., bordeada en su desembocadura por 103 hectáreas de manglar, reviste gran interés para las playas situadas en el extremo occidental, por la influencia de sus aportes tanto en sedimentos, como en nutrientes al sistema costero.

En el lado oeste de la desembocadura del río Higuamo, comienza el extremo oriental de la unidad morfodinámica, con la presencia de una playa en forma de media

luna, compuesta por sedimentos terrígenos depositados por el río. Esa playa, se caracteriza por presentar estabilidad en su perfil. Resulta un hecho significativo, la deposición sobre la playa de restos de vegetación, proveniente del manglar que aún se conserva en la desembocadura del río.

A continuación, en dirección oeste, la costa está formada por una terraza abrasiva de unos 6 km de longitud, con alturas que varían entre los 2 y 3 m sobre el nivel del mar, e incluso en algunos sitios llega a alcanzar los 5 m como el ejemplo que se cita más a continuación (Fig. III.17). La plataforma submarina en este sector, es relativamente estrecha, con una pendiente suave en la superficie de su porción más cercana a la costa, mientras que se hace más abrupta en la medida que se aleja de la zona litoral.

En toda la extensión de este tramo de costa, destaca como elemento morfológico de interés la presencia de las estructuras arrecifales bien conformadas, en buen estado de conservación, que forman diferentes niveles de terrazas submarinas; al parecer responsables de gran parte del aporte de los sedimentos a la playa, sobre todo las barreras arrecifales situadas en las isobatas de los 5 y 12 metros de profundidad.

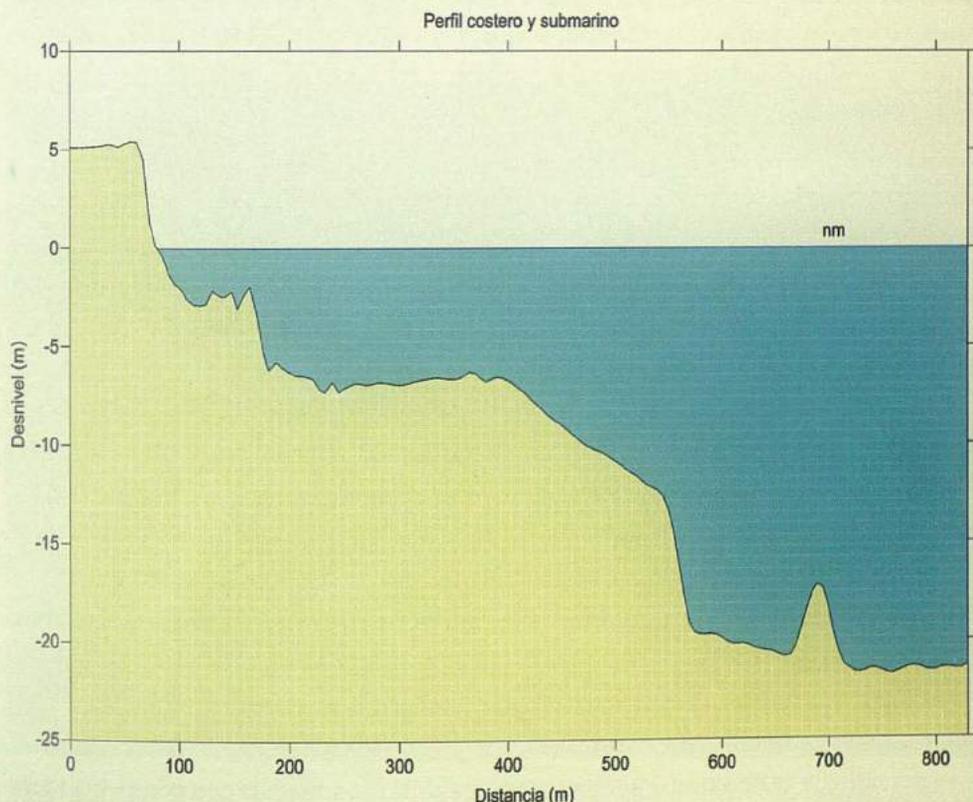


Fig III.17. Perfil costero y submarino del litoral entre el río Higuamo y la playa Juan Dolio

A continuación aparece una superficie de costa abrasivo-acumulativa, donde se encuentra la playa Juan Dolio, que regularmente aparece dispuesta en pequeñas ensenadas, de morfología tipo caletas o medias lunas, protegidas en unos casos por promontorios rocosos costeros, de forma natural y en otros, de forma artificial por espigones y obras costeras.

Los perfiles topográficos perpendiculares a la costa, medidos en las diferentes ensenadas y salientes que forman la playa Juan Dolio, denotan la ausencia de las dunas a lo largo de todo el sector, siendo esto un resultado de la antropización causada por el creciente desarrollo de instalaciones en la zona costera.

La formación de escarpes de erosión, que muestran los perfiles, así como la fuerte pendiente de los mismos, evidenciaron la intensidad del proceso erosivo de toda la zona costera. Por otra parte, la ausencia de sedimentos arenosos bien clasificados en la pendiente submarina del perfil de la playa corrobora la intensidad del proceso mencionado.

A lo largo de toda la costa se extiende una duna poco desarrollada, con alto grado de antropización, que en muchos sitios había sido aplanada totalmente y en otros las construcciones invadían la primera línea de playa (Fig III.18). En estos sitios, la profundidad era inferior a 0.5 metro y en muchos lugares las barreras de arrecife emergen. A la sombra de estas barreras se producen playas por la acumulación de sedimentos en forma de hemitómbolos, donde existen condiciones favorables para el baño.

La forma del perfil de playa entre la costa y la barrera varía notablemente de un sitio a otro, incluso cuando no se encuentran separados por una gran distancia; los perfiles perpendiculares a la costa describen perfectamente la morfología de la zona próxima a la orilla.

La playa frente al poblado de Juan Dolio, además de ocupar parte de la ensenada de Punta Garza, se extiende hacia el este hasta limitar con un grupo de residencias privadas. El sector en general estaba representado por entrantes de la costa, con una pronunciada pendiente. El fondo era rocoso y en algunos sitios, se presentaba una ligera capa de sedimentos que alternaba con parches de *Thalassia Testudinum*.

Los salientes en la costa constituyen hemitómbolos separados de la barrera arrecifal por un fondo bajo, donde aparece arena en la zona próxima a la costa. En dirección al mar, aflora la roca, hasta llegar a la barrera arrecifal.

La zona frente al hotel Costa Caribe, antes de los vertimientos artificiales de arena mencionados, se caracterizaba por presentar una zona desprotegida con pendiente fuerte, donde las construcciones ubicadas muy próximas al mar junto a la escolleras en la

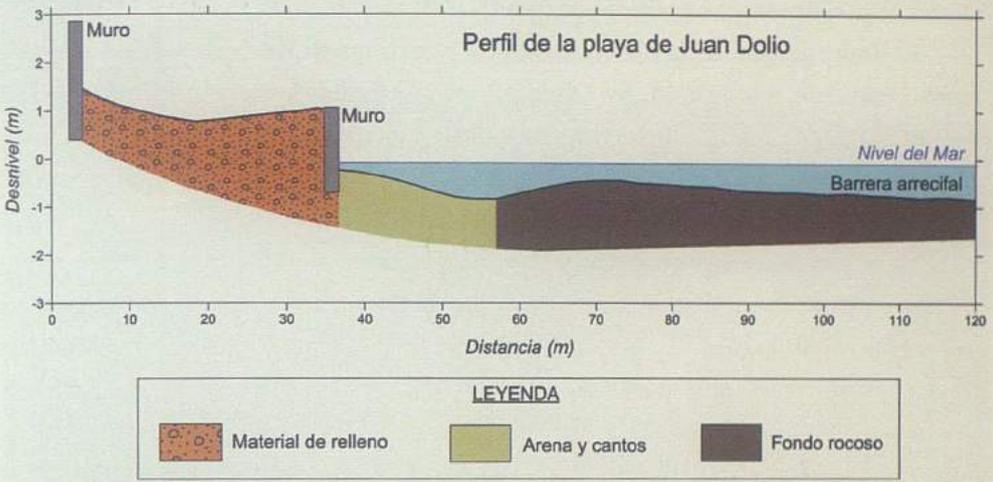


Fig III.18. Modelo de perfil topográfico predominante en la playa Juan Dolio.



Imagen III.18. Afloramiento de rocas en la berma de la playa, indicio de erosión antes de los vertimientos de arena.

pendiente submarina, contribuían a que en la parte emergida se presentara una estrecha franja de arena, mientras la pendiente submarina estaba formada por una superficie rocosa de pendiente pronunciada (Imagen III.18).

El límite general de la plataforma hacia el mar queda definido por un talud de fuerte pendiente, que va desde los 14 metros de profundidad hasta más de 32 metros. Al pie del talud se produce una gran acumulación de sedimentos.

En esta zona no existen barreras arrecifales relictas profundas, que sirvan de apoyo a los sedimentos depositados al pie de la pendiente.

La morfología en detalles de la playa Juan Dolio se tratará junto con el capítulo de regeneración de la playa con más detalles, no obstante las dos imágenes siguientes son un ejemplo claro de lo que avanzó el perfil de la playa con los vertimientos artificiales de arena (Imagen III.19 y 20).

La terraza abrasiva que se extiende al este de la playa de Juan Dolio mantiene características similares en morfología y parámetros morfométricos hasta muy cercana a la zona oeste del río Higuamo donde aparece en primer plano, la playa Costa Blanca (Imagen III.21), de pequeña longitud y protegida por salientes en sus extremos que favorecen la estabilidad de su perfil, y en un segundo plano, la desembocadura del Higuamo, que forma una amplia ensenada con costas cubiertas de manglar.

Hacia el este del río Higuamo, el litoral continúa como una terraza abrasiva baja. Esta regularidad sólo se ve alterada en la desembocadura de los ríos Cumayasa y Soco y los pequeños entrantes de la costa donde se produce la acumulación de materiales sueltos predominantemente terrígenos.



Imagen III.19. Vista de la playa frente al antiguo hotel Metro (antes de ser restaurada).



Imagen III.20. Vista de la zona restaurada de Punta Garza en el extremo oeste de la playa.



Imagen III.21. Vista aérea de la playa de Costa Blanca y la desembocadura del Higuamo.

Río Soco

Hacia la desembocadura del río Soco se observa una mezcla de materiales terrígenos y biogénicos de diversa granulometría de pobre clasificación, y en su contenido se observan fragmentos de arena mezclados con un elevado contenido de lodos. Aproximadamente el 70 % de la muestra se encuentra en el rango de las arenas (entre 2.00 y 0.074 mm), pero los materiales restantes, son extremadamente finos.

Las playas que se encuentran a ambos lados de la desembocadura del río Soco (Fig. III.19 y Imagen III.22), aunque se encuentran separadas por la corriente del río, realmente funcionan como un sistema único donde se establece un constante intercambio de masa y energía. Para las muestras colectadas en las playas existe un predominio de las fracciones arenosas, aunque también se encuentran importantes porcentajes de limos.

Estos sedimentos pueden ser transportados por la corriente a grandes distancias por su escaso peso y gran parte de ellos al quedar suspendidos alcanzan la condición de coloides y son las responsables de la turbidez que afecta la plataforma submarina y las playas vecinas.

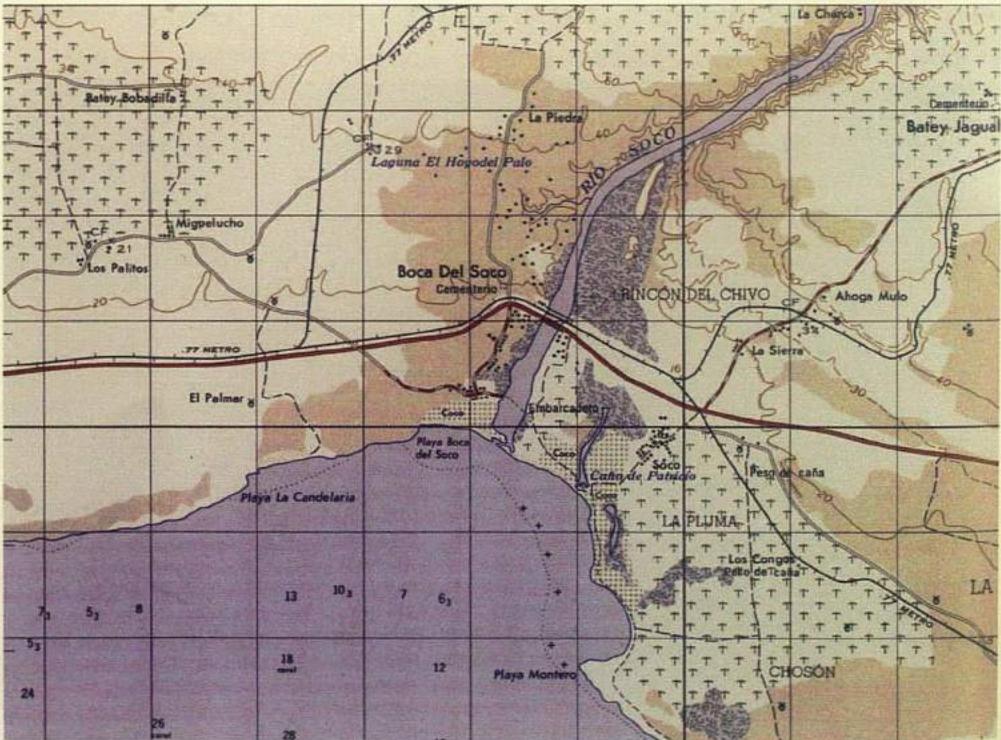


Fig. III.19. Boca del Soco con la playa Boca del Soco al oeste.

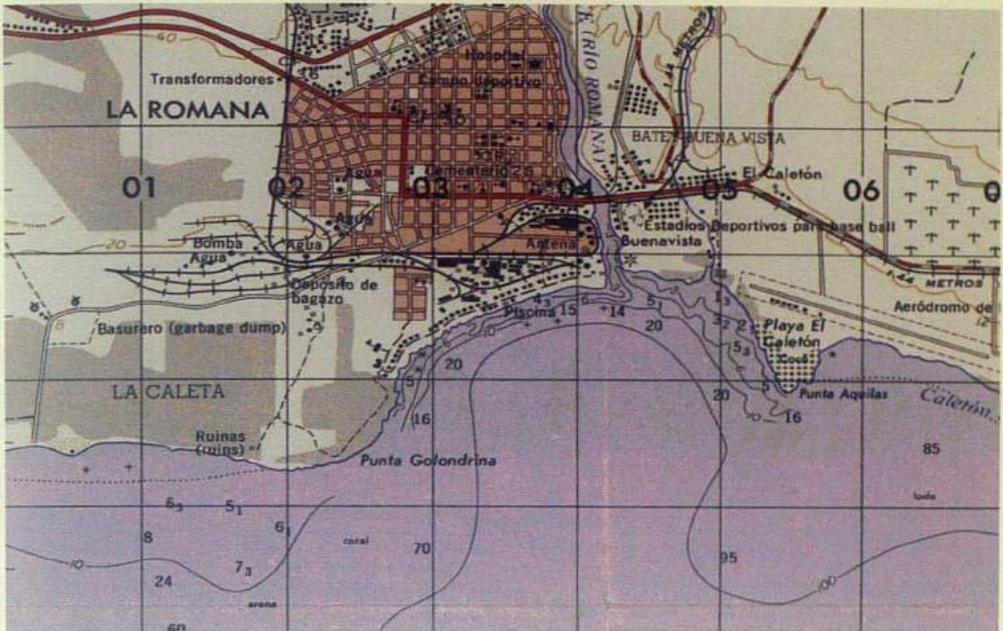


Fig. III.20. Ubicación geográfica de la playa La Caleta.

Playa La Caleta

Siguiendo la línea de costa al este destaca la playa La Caleta (Fig. III.20), que tiene una extensión cercana a los 600 m y se presenta como una zona costera constituida por pequeñas ensenadas, protegida de la acción directa de las olas por una barrera arrecifal que regularmente emerge. Hacia el extremo este, la playa limita con un promontorio rocoso de superficie aterrazada que se eleva más de un metro sobre el nivel del mar, y por el oeste, el segundo nivel de terraza litoral aparece en el mismo borde costero y alcanza una altura de 3 m.

Desde el punto de vista geológico, la playa La Caleta se encuentra sobre una extensa superficie rocosa de caliza arrecifal detrítica, con la presencia de margas con facies litoral que se extienden hacia el norte de la playa y no sobrepasa los 6 m de altitud (Imagen III.23). En la morfología de la playa, el perfil ubicado hacia el extremo este es representativo de un área donde el perfil se encuentra protegido por el promontorio y resguardado por su extremo oriental. En este perfil la superficie arrecifal comienza a levantarse a una distancia de 127 m de la costa, donde vuelve a descender hasta un metro de profundidad.

La playa La Caleta (Imagen III.24) se encuentra protegida por una cadena de arrecifes de escasa profundidad que le brinda cierta protección frente al oleaje y favorece la deposición de los sedimentos.



Imagen III.23. Terraza rocosa al este que protege la playa la Caleta.

En este sitio, la pendiente submarina es muy suave y está constituida por una superficie rocosa, donde aparecen dispersos algunos parches de sedimentos. En la zona próxima a los arrecifes, la profundidad apenas alcanza un metro.

De acuerdo con los análisis granulométricos y de composición realizados a los sedimentos, la playa está formada por arena gruesa, y entre sus componentes destacan los restos de algas calcáreas, moluscos y corales. El ancho de la playa emergida es de unos 13 m con pendiente poco pronunciada y compuesta por un sedimento arenoso con restos de pedazos de corales arrancados de la barra arrecifal en los momentos de tormentas severas. Por el este, el perfil colinda con la superficie de terraza abrasiva con formación de un nicho actual elaborado por las olas. En la parte central de la playa en correspondencia con la inflexión de la línea costera se acerca mucho más la parte elevada arrecifal de la pendiente submarina a la costa, a unos 7 m desde donde comienza una pendiente más acusada que cae hasta una profundidad de 1.24 m.

La ensenada costera donde se realizaron los perfiles del 3 al 6 muestra características muy similares a los perfiles 1 y 2 (Fig. III.21), con pendiente más acusada en la parte emergida de la playa que en la sumergida, destacándose que en el perfil 4 aparece una superficie aplanada hasta los 54 m de la línea de costa con profundidad promedio superior a los 1.30 m.

En los perfiles 3, 5 y 6 también se destaca la presencia de la barra arrecifal costera haciéndose más pronunciada en el perfil 6 (Fig. III.22), a partir de aquí se levanta del fondo por encima de los 75 cm hasta casi alcanzar la superficie del agua con un ancho superior a los 10 m.



Imagen III.24. Vista de la parte central de la playa y de la acumulación de guijarros.

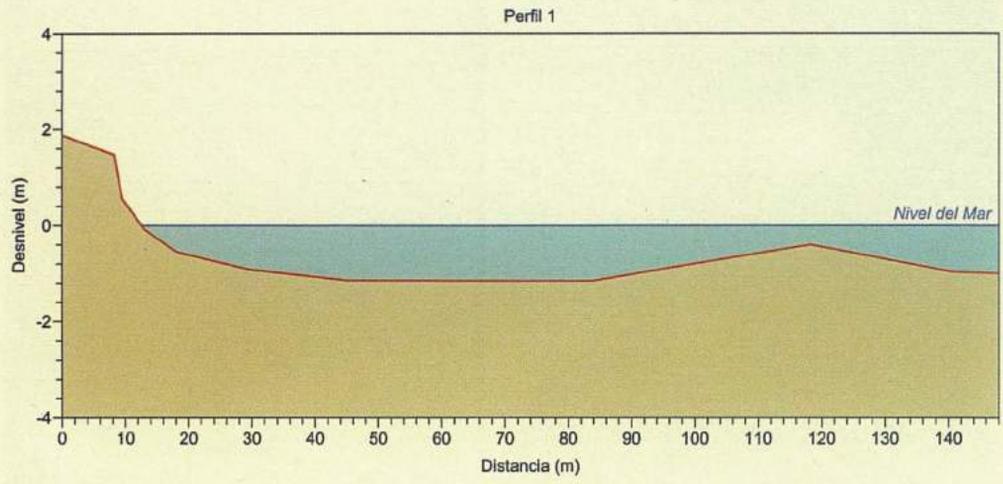


Fig. III.21. Perfil topográfico 1 en el extremo este de la playa.

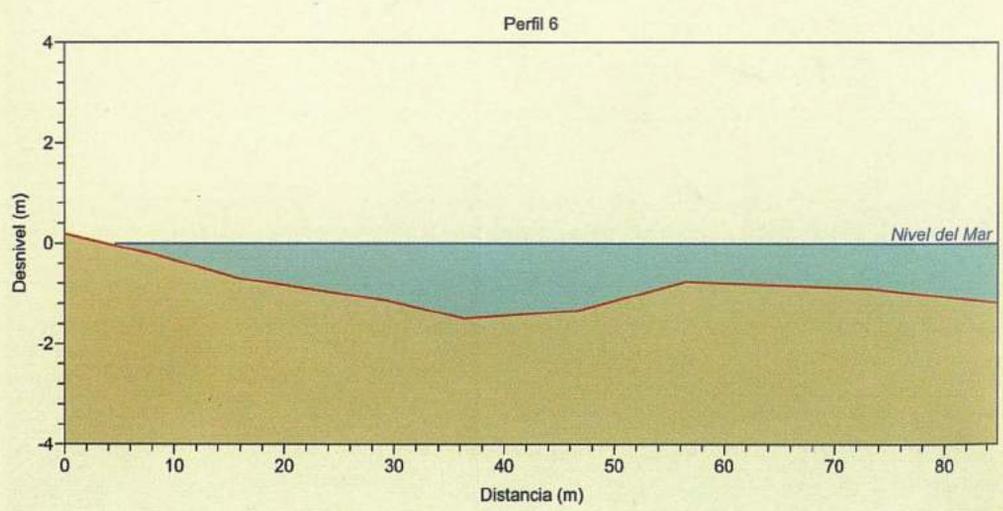


Fig. III.22. Perfil topográfico 6 que muestra la parte más protegida de la playa por la barrera arrecifal.

Hacia esta parte de la playa, la zona emergida alcanza el mayor ancho, con pendiente suave y cubierta de arena bastante desprovista del material grueso procedente de la barrera arrecifal coralina.

Se destaca en todos los perfiles la presencia de sedimentos arenosos, con cobertura de restos de corales, por lo que la génesis predominante de los sedimentos es de origen biogénico, sin presencia de material sedimentario aportado por el río Dulce de La Romana, el cual se pierde hacia las profundidades del talud insular muy cercano a su desembocadura, sólo llegan a la playa los troncos que arrastra el río fundamentalmente hacia su extremo occidental. Resulta significativo, que a pesar de la cercanía de la playa a la desembocadura del río recibe una influencia mínima o nula de los materiales arrastrados por la corriente fluvial.

En la morfología de la playa La Caleta se destacan los dos niveles de terraza abrasiva en su parte emergida de 1 y 3 metros de altura respectivamente, la presencia de los nichos actuales de marea en el primer nivel de terraza y el afloramiento de la barrera arrecifal en la pendiente submarina en casi toda su extensión (Imagen III.25).

Esas particularidades morfológicas de la playa, unido al saliente o promontorio costero del extremo este, propician que la playa sea bastante estable, con muy pocos rasgos de erosión actual, a no ser, la del poco ingreso natural de sedimentos en la actualidad. (Imagen III.26).

Como se ha mencionado, de acuerdo con los resultados del análisis macroscópico de la arena predominan de los fragmentos de algas calcáreas, moluscos y corales, que son organismos que abundan en la plataforma submarina y en especial en los arrecifes coralinos.

Dada la composición de los materiales se deduce que los sedimentos provenientes del río tienen una importancia despreciable o nula y su llegada se produce de forma ocasional durante los eventos extremos, como huracanes o tormentas tropicales, que generan la descarga de grandes volúmenes de agua cargada de sedimentos.

En la Fig. III.23 se reflejan las características de la pendiente submarina de la playa La Caleta que pasa de una pendiente suave adosada a la costa con la interrupción de la barrera coralina, a unos 60 m de la línea costera, pasando a una pendiente más pronunciada por fuera de la barrera con la caída del talud desde los 12 y 15 m de profundidad. Lo que se observa con mayor nitidez en el perfil submarino (Fig. III.24) realizado por fuera de la mencionada barrera coralina donde se ve que a una distancia de 600 m de la costa el talud cae a pico con una pendiente de 90° hasta los 25 m de profundidad.



Imagen III.25 Zona de arrecifes próxima a playa La Caleta. Los arrecifes y organismos bentónicos de la pendiente submarina constituyen los principales suministradores de sedimentos.



Imagen III.26. Balneario La Caleta, ubicado al oeste de la desembocadura.

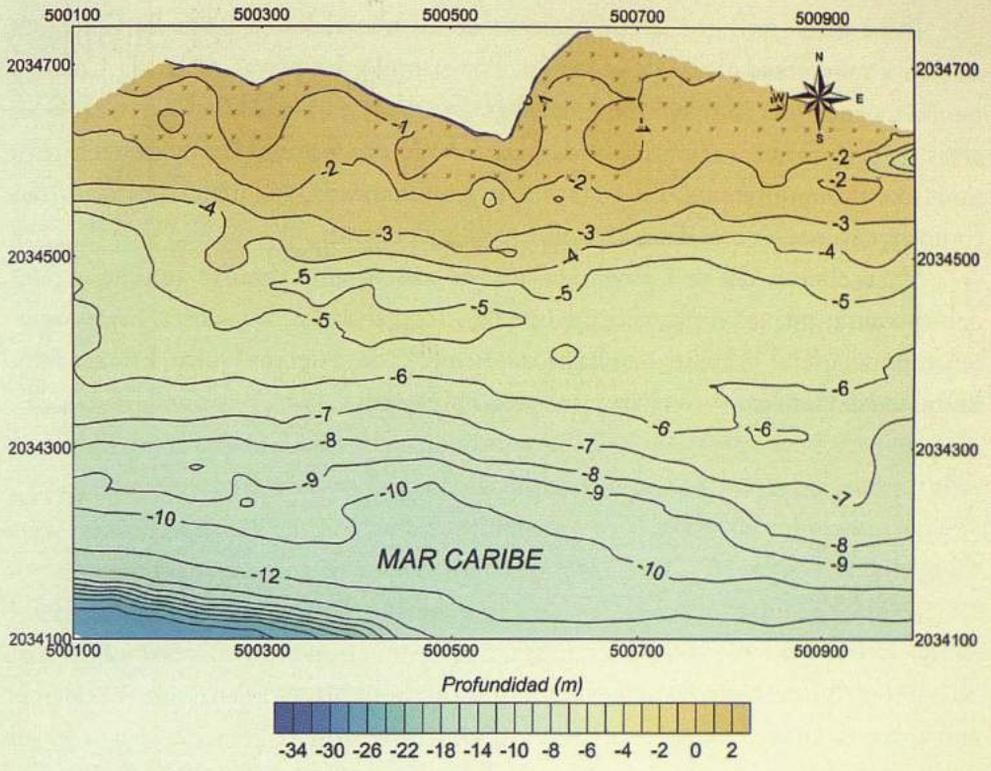


Fig. III. 23. Batimetría de la playa La Caleta.

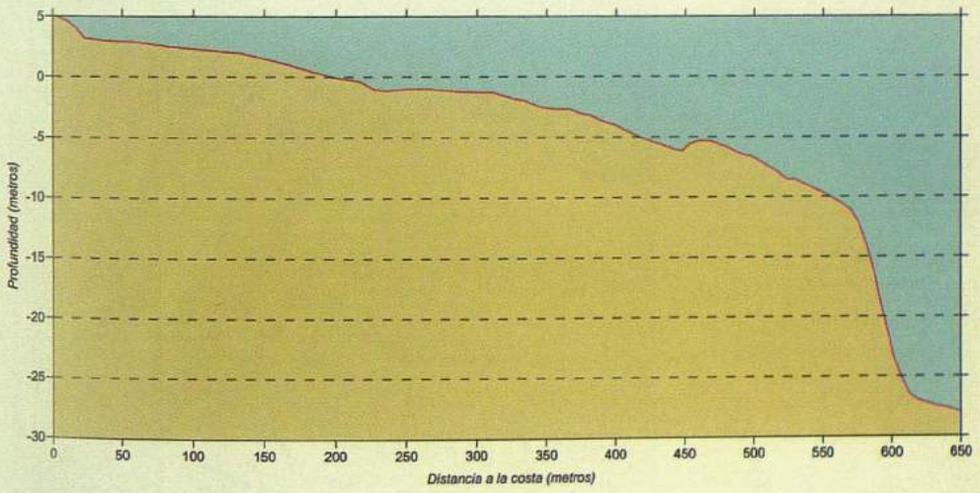


Fig. III.24. Perfil costero y submarino playa La Caleta.

Debe destacarse, que la composición de los materiales en playa La Caleta, es común a numerosas playas de la región. Por ejemplo, las playas de la isla Catalina también tienen una composición biogénica. La arena de isla Catalina se forma en las áreas de plataforma submarina próximas, donde predominan las algas calcáreas, moluscos y foraminíferos. En cuanto a la granulometría, los materiales clasifican como arenas medias con diámetro entre 0.40 y 0.48 mm.

Hacia el oeste del río Chavón, la costa es básicamente abrasiva aunque se pueden encontrar pequeñas playas ocupando las irregularidades de la costa. Estas características del litoral se mantienen hasta la desembocadura del río Dulce. En este sitio, los materiales terrígenos vuelven a ser predominantes.

Capítulo IV

Tramo costero río Chavón-río Nisibón

En este entorno costero destaca en primer lugar la playa de Bayahibe con una extensión de costa acumulativa considerable y las terrazas abrasivas de alturas entre los 2 y 5 metros se manifiestan en diferentes tramos de costas incluida la isla Saona. Particular influencia tienen en el modelado del relieve y en el aporte de sedimentos terrígenos a la plataforma marina de todo el tramo costero el río Chavón, en el mismo límite interprovincial (La Romana-La Altagracia) y el río Yuma que divide la costa este del país en dos sectores con dirección aproximadamente SE-NE y por el norte de La Altagracia los ríos Anamuya, Maimón y Nisibón. Este tramo costero constituye uno de los de mayor desarrollo turístico del país por la calidad de la mayoría de sus playas distribuidas en toda la extensión costera de la provincia La Altagracia. (Fig. IV.1)

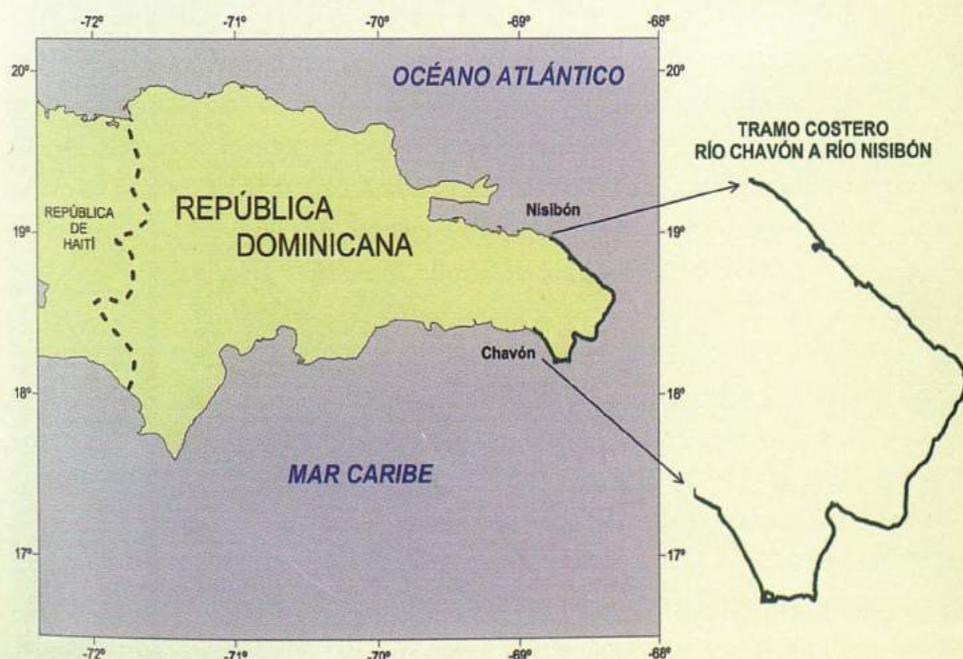


Fig. IV.1. Ubicación del Sector costero.

Playa Bayahibe

A grandes rasgos, el litoral de las playas de Bayahibe está formado por una costa baja donde predominan los afloramientos rocosos aplanados con aislados parches de sedimentos arenosos. En los lugares donde existen condiciones de relieve adecuadas para la acumulación de sedimentos, se forman playas de arenas blancas, que constituyen uno de los principales atractivos del lugar. Sin embargo, aún las mejores playas, presentan condiciones naturales que son susceptibles de mejorar con la implementación de medidas dirigidas a incrementar su potencial recreativo.

Entre las principales características de las playas del territorio está el insuficiente desarrollo de su perfil sumergido que limita considerablemente el baño. Por lo general, muy cerca de la costa se presentan afloramientos rocosos y parches de vegetación marina. Otro factor que limita el uso de las playas es el área de sol muy estrecha, que se corresponde con perfiles poco desarrollados (Imagen IV.1).

En el área del entorno de la costa mantiene características muy similares a las del resto del territorio. En estos sitios, las playas también se forman en los entrantes costeros donde existen condiciones naturales adecuadas para la estabilidad de los sedimentos.

En el resto del litoral, la costa se presenta con una pendiente suave, pero en la línea de costa predominan los afloramientos rocosos aplanados de arena consolidada (*beach-rock*) observadas ya en otros tramos costeros en idénticas condiciones de erosión costera. Estos afloramientos también son comunes en la pendiente submarina, aunque alternan con pastos marinos, en forma de grandes parches, que en muchos casos llegan a alcanzar un importante desarrollo próximo a la orilla, como ocurre frente a las playas de Bayahibe.

Al abrigo de la isla Saona se encuentran los bancos de arena que pueden constituir fuentes de abastecimiento natural de arena a las playas. El movimiento de estos materiales responde al régimen de oleaje, que está marcadamente influenciado por la presencia de la isla Saona (Foto IV.2), que se comporta como un obstáculo importante para el avance de las olas procedentes del este y el sur, modificando los patrones generales del sistema de circulación.

En la pendiente submarina también se observan las zonas bajas de rocas y pastos marinos que tienen un importante efecto sobre los patrones de transformación del oleaje (refracción-difracción)



Imagen IV.1 Playa formada en un entrante de la costa y sector de costa rectilíneo con pendiente suave y poco desarrollo del perfil de playa.



Imagen IV.2. Costa abrasiva presente en el Sistema Costero.

Haciendo una descripción en sentido este-oeste, las playas de Bayahíbe presentan sedimentos arenosos con granulometría de media a gruesa. Estos materiales son de origen biogénico-marino y entre sus principales componentes se identifican los restos de algas calcáreas, moluscos y corales. En correspondencia con su composición, la arena que forma las playas tiene una coloración de crema claro a blanco.

El frente costero del hotel Canoa-Coral tiene una longitud aproximada de 250 m y se caracteriza por presentar una duna relativamente aplanada que alcanza una altura máxima de 3 m. Actualmente la duna está ocupada casi exclusivamente por cocoteros y carece de estrato herbáceo. La berma o área de exposición solar tiene un ancho promedio de 10 m, aunque en algunos sitios apenas alcanza 5 m y en otros llega a más de 15 m.

La altura de la berma también es variable y puede alcanzar en algunos sitios hasta 2 m, aunque como promedio se eleva aproximadamente 1.5 m con relación al nivel del mar. Al igual que en las dunas, la berma está ocupada por cocoteros, aunque con una densidad muy inferior. En diferentes sitios, las raíces de estas plantas han sido socavadas por las olas, lo que constituye un importante indicador de la erosión que se produce en el lugar durante la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos como huracanes y tormentas tropicales (Imagen IV.3).

Es típico de este sector, que en la pendiente submarina se produzca el afloramiento de superficies rocosas. Esto se debe a que el sustrato está ligeramente elevado y los ingresos actuales de sedimentos no son suficientes para cubrirlos.



Imagen IV.3. Playa del Hotel Canoa Coral con pendiente suave y algunos indicios de erosión.

En cuanto a la pendiente submarina frente al hotel Canoa-Coral, hasta la profundidad de 2 m toma valores generales de 1:40 aproximadamente. Las pendientes más pronunciadas se observan hacia el extremo occidental del sector, donde las profundidades son mayores. En el límite oriental del sector Canoa-Coral el cambio en la morfología del perfil de la playa se manifiesta con una duna que alcanza una altura superior a 1.5 m y está ocupada por un tupido estrato arbustivo donde se insertan numerosos cocoteros. La berma prácticamente no existe y en su lugar se presenta un camellón acumulativo de piedras y arena, conformado por las olas de tormenta. Al describir los sedimentos a lo largo de la costa en las playas de Bayahíbe y hasta el sector de la desembocadura del río Soco, se puede decir de forma general que existen dos grandes grupos de sedimentos: los materiales arrastrados por los ríos, que tienen un origen terrígeno y los sedimentos (fundamentalmente arenas) producidos por los organismos bentónicos que pueblan la plataforma próxima y los arrecifes. En la medida que nos alejamos de la desembocadura de los ríos, la componente arenosa de los sedimentos es mayor con un incremento en la proporción de materiales carbonatados de origen biogénico.

La línea de costa se caracteriza por presentar amplias superficies rocosas (Imagen IV.4), por lo que se clasifica como un litoral abrasivo-acumulativo. Esta superficie es una continuidad de la que se observa en la parte sumergida del perfil de las playas del Canoa-Coral, pero en este lugar se encuentra más elevada. Adicionalmente, la costa está ligeramente más avanzada hacia el mar, de manera que las condiciones son menos favorables a la estabilidad de la arena que en las playas vecinas.



Imagen IV.4. Límite de la playa del Canoa Coral hacia el oriente con fuerte afloramiento rocoso y pérdida de arena.

Precisamente los afloramientos rocosos, la estrechez del área emergida, el afloramiento de las raíces de los cocoteros y la acumulación de rocas sueltas con aislados parches de arena, son los elementos que marcan con mayor claridad las diferencias entre la playa del hotel Canoa-Coral y las áreas colindantes deriva arriba.

En cuanto a las playas que se encuentran al oeste, también se observa una clara diferencia con relación al sector Canoa-Coral. Muy cerca del límite occidental del área del hotel, aparecen nuevamente los afloramientos rocosos en la zona emergida de la playa, por detrás de estos afloramientos se produce una acumulación permanente de arena.

Durante la ocurrencia de las tormentas se produce una significativa pérdida de arena en este sitio. Las olas llegan a rebasar la superficie rocosa y socavan los sedimentos hasta el pie de la duna. Con el interés de proteger las instalaciones ligeras, en este sitio se han colocado sacos rellenos de arena, para cubrir las superficies rocosas que afloran en los momentos de tormentas, como paliativo a la erosión de la playa.



Imagen IV.5. Vista submarina de un sector del litoral Canoa Coral.

La observación directa del área de playa del hotel Canoa-Coral y sus áreas aledañas permite identificar los sectores descritos, y de qué manera la deposición de la arena se favorece en los entrantes de la costa, mientras que los salientes son propicios al lavado de los sedimentos y la formación de afloramientos rocosos.

En la imagen aérea (Imagen IV.5) pueden observarse los elementos morfológicos más sobresalientes de la pendiente submarina. En particular destaca la existencia de áreas donde se depositan arenas limpias, que se diferencian de las tonalidades más oscuras que predominan en el fondo rocoso y las áreas cubiertas por pastos marinos.

La costa sur de La Altagracia es un litoral de terraza abrasiva separada de la isla Saona por el paso de Catuano cuyo fondo está cubierto por fanerógama con la presencia de una pequeña barra coralina que se manifiesta en diferentes tramos de la pendiente submarina que bordea la isla, responsable de parte de la producción de arena que alimenta las playas situadas al oeste.

Río Yuma

La zona en que desemboca el río Yuma (Imagen IV.6) es una bahía abierta del mismo nombre, que se caracteriza por presentar un relieve relativamente elevado donde con el decursar del tiempo se ha ido labrando el cauce. En su tercio inferior, el río ha



Imagen IV.4. Límite de la playa del Canoa Coral hacia el oriente con fuerte afloramiento rocoso y pérdida de arena.

Precisamente los afloramientos rocosos, la estrechez del área emergida, el afloramiento de las raíces de los cocoteros y la acumulación de rocas sueltas con aislados parches de arena, son los elementos que marcan con mayor claridad las diferencias entre la playa del hotel Canoa-Coral y las áreas colindantes deriva arriba.

En cuanto a las playas que se encuentran al oeste, también se observa una clara diferencia con relación al sector Canoa-Coral. Muy cerca del límite occidental del área del hotel, aparecen nuevamente los afloramientos rocosos en la zona emergida de la playa, por detrás de estos afloramientos se produce una acumulación permanente de arena.

Durante la ocurrencia de las tormentas se produce una significativa pérdida de arena en este sitio. Las olas llegan a rebasar la superficie rocosa y socavan los sedimentos hasta el pie de la duna. Con el interés de proteger las instalaciones ligeras, en este sitio se han colocado sacos rellenos de arena, para cubrir las superficies rocosas que afloran en los momentos de tormentas, como paliativo a la erosión de la playa.



Imagen IV.5. Vista submarina de un sector del litoral Canoa Coral.

La observación directa del área de playa del hotel Canoa-Coral y sus áreas aledañas permite identificar los sectores descritos, y de qué manera la deposición de la arena se favorece en los entrantes de la costa, mientras que los salientes son propicios al lavado de los sedimentos y la formación de afloramientos rocosos.

En la imagen aérea (Imagen IV.5) pueden observarse los elementos morfológicos más sobresalientes de la pendiente submarina. En particular destaca la existencia de áreas donde se depositan arenas limpias, que se diferencian de las tonalidades más oscuras que predominan en el fondo rocoso y las áreas cubiertas por pastos marinos.

La costa sur de La Altagracia es un litoral de terraza abrasiva separada de la isla Saona por el paso de Catuano cuyo fondo está cubierto por fanerógama con la presencia de una pequeña barra coralina que se manifiesta en diferentes tramos de la pendiente submarina que bordea la isla, responsable de parte de la producción de arena que alimenta las playas situadas al oeste.

Río Yuma

La zona en que desemboca el río Yuma (Imagen IV.6) es una bahía abierta del mismo nombre, que se caracteriza por presentar un relieve relativamente elevado donde con el decursar del tiempo se ha ido labrando el cauce. En su tercio inferior, el río ha

formado una garganta profunda y entre la superficie del agua y las elevaciones colindantes existen desniveles de hasta 40 metros.

Las arenas colectadas frente a la desembocadura del río presentan un color oscuro y un por ciento relativamente alto de limos y arcillas que indican su origen terrígeno. La arena de la playa ubicada al este, que se nombra playa Blanca, está formada por fragmentos de color claro producidos en la plataforma submarina próxima, donde abundan los organismos bentónicos responsables de la formación de materiales biogénico-carbonatados.

La combinación de imágenes con fotos y carta de navegación de la desembocadura del Yuma revela la complejidad del relieve submarino y costero de este entorno donde aparecen costas acantiladas con costas acumulativas de playas y una morfología submarina en la que sobresale una amplia terraza submarina con poca variación en el relieve y el paleocauce profundo como lo más significativo en la morfología submarina (Fig. IV.3).



Imagen IV.6. Costas abrasivas a ambas márgenes del río Yuma.

Las terrazas abrasivas que corta el río en su cauce presentan diferentes niveles en la medida que nos alejamos hacia tierra, aunque ya en el mismo litoral la terraza costera es más ancha y presenta una altitud muy similar en toda su extensión con una morfología homogénea de superficie abrasiva aplanada por el oleaje (Imagen IV.7).

La escasa influencia de los materiales provenientes del río en la zona de playa Blanca se debe a que, como es de esperar, el esquema general de olas y corrientes provoca una deriva casi permanente hacia el oeste. Por esa razón se observa frente a la terraza acantilada en la pendiente submarina bandas de arena que se mueven hacia el oeste (Imagen IV.8).

En cuanto a la pequeña playa localizada en la reducida ensenada al oeste de la desembocadura, muestra una marcada influencia de los materiales terrígenos (Imagen IV.9). En esta playa los sedimentos son oscuros y su granulometría es alta, lo que constituye un indicador de la elevada energía con que llegan las olas a esta zona y que impide la estabilidad de los fragmentos más finos. En el caso de la muestra colectada en playa Blanca, su color es claro, prácticamente blanco, que indica una génesis diferente a la de los materiales suministrados por el río.

SISTEMA DE COORDENADAS UNIVERSALES TRANSVERSALES DE MERCATOR
NAD 27 CARIBE

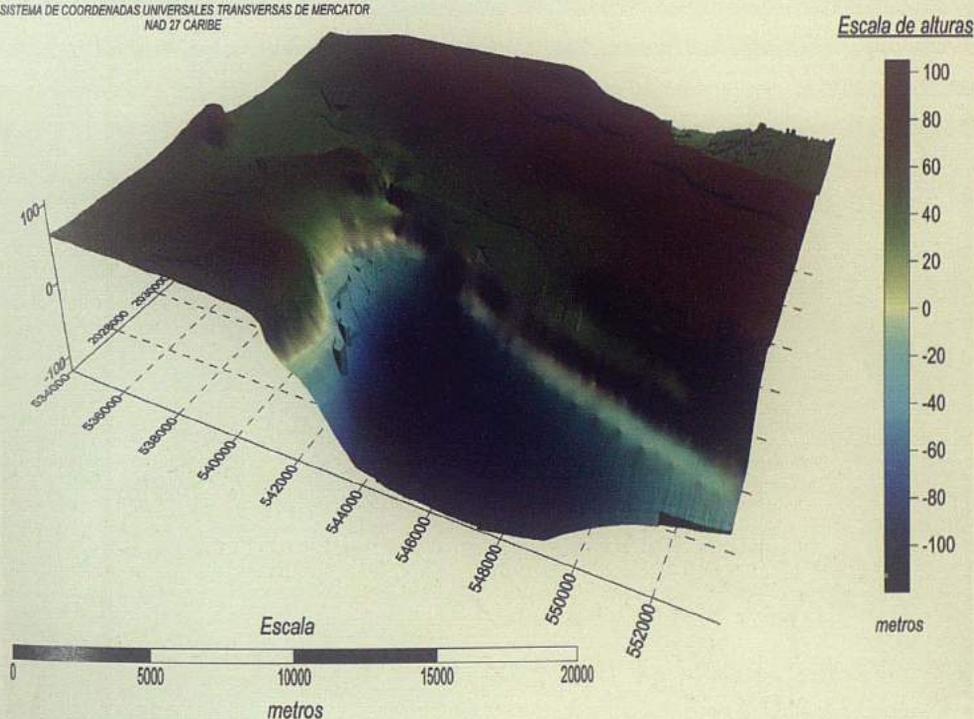


Fig. IV.3. Modelo tridimensional del Yuma y sus entornos.



Imagen IV.7. El río Yuma labra su cauce sobre una terraza abrasiva acantilada cubierta en la actualidad por vegetación típica costera.



Imagen IV.8 Costa abrasiva al este de la desembocadura del Yuma.



Imagen IV.9. Playa Blanca, en la desembocadura del río Yuma presenta condiciones morfológicas e hidrodinámicas adecuadas para la deposición de sedimentos.

La mayor parte del tiempo existe una tendencia en la deriva hacia el Oeste, reafirmada mediante experimentos con cuerpos de deriva. Estas corrientes hacen que a playa Blanca lleguen principalmente los materiales transportados desde el este que son de origen biogénico-marino, producidos en las áreas de plataforma ricas en organismos bentónicos. Debe destacarse que en los sedimentos colectados en la playa, el contenido de limos y arcillas es muy bajo. Esto se debe en primer término a la poca influencia que recibe del río que es el principal suministrador de este tipo de materiales a la región y en segundo lugar a que las playas son áreas donde habitualmente hay un lavado de las olas que mantienen la arena limpia.

Al contrario de lo que ocurre en playa Blanca, la muestra colectada en la pequeña ensenada al oeste de la desembocadura tiene una marcada influencia de los materiales aportados por el río (Imagen IV.10.). Aunque en este lugar fueron colectados los sedimentos más gruesos, su coloración oscura y los minerales que los componen revelan su origen terrígeno. La existencia en este sitio de materiales más gruesos que en las restantes áreas muestreadas, indica una energía de las olas mayor que sólo permite la estabilidad de gravas o arenas relativamente gruesas.

Todos los materiales descritos a partir del muestreo tienen una participación en el balance sedimentario y son transportados por las olas, las corrientes y las mareas. Aunque durante la caracterización de las muestras se han descrito sus principales propiedades, génesis y procesos que han favorecido su sedimentación.



Imagen IV.10. Además de la playa se observa el alineamiento de los restos de la costa antigua.



Foto IV.11. Playa al oeste del río o vista desde otro ángulo.

Los volúmenes calculados tienen una dirección neta hacia el oeste, lo que se debe a la influencia casi permanente de las olas generadas por los vientos alisios. La dirección en el transporte sólo se invierte durante cortos períodos de tiempo, asociado a la ocurrencia de olas del sur y sureste que tienen una frecuencia muy baja.

Como es típico en la desembocadura de muchos ríos de la costa meridional dominicana, la zona próxima a la desembocadura del río Yuma recibe anualmente una gran cantidad de sedimentos provenientes de tierra firme. En el área se pudo comprobar la existencia de un gran depósito de sedimentos frente a la desembocadura del río, resultado de un largo proceso de sedimentación (Imagen IV.12).

Teniendo en cuenta que el río posee un lecho muy profundo, en su desembocadura no se produce la formación de barras de arena que son muy frecuentes en otros ríos de la región. La no existencia de barras también se debe a que la costa es alta y abrasiva que puede ser catalogada como una costa de emersión. En este tipo de litorales, los sedimentos sólo permanecen estables en el interior de ensenadas o caletas que le brindan cierta protección frente al oleaje y al mismo tiempo, poseen condiciones de relieve apropiadas para la estabilidad.



Imagen IV.12. Vista general al oeste de la desembocadura del río Yuma donde se observa una costa abrasiva indentada.

Todas estas condiciones determinan que los sedimentos depositados en la desembocadura del Yuma ocupen una extensa área a partir de los 6 metros de profundidad, se comprobó que en la parte central llegaba a superar la isobata de 50 metros. Como es lógico, los sedimentos depositados en la zona más somera son afectados con mayor frecuencia por las olas y corrientes de manera que su dinámica es más intensa que la de los materiales depositados en aguas profundas.

Durante las inspecciones de buceo se pudo comprobar que muy próximo a la desembocadura, las olas provocan ondulaciones en el fondo que en la literatura especializada reciben el nombre de "ripple mark". En este sitio el fondo está desprovisto de vegetación y los materiales están relativamente bien clasificados. A medida que aumenta la profundidad, las ondulaciones del fondo van desapareciendo, lo que es un indicador de que las olas actúan menos sobre el fondo, y como es típico de los ambientes más tranquilos comienza a observarse la proliferación de algunos organismos bentónicos. La mayor parte de los sedimentos que forman esta cuenca o banco, se clasifican como arenas y sólo 28 % se identifica entre los limos y las arcillas. La literatura especializada apunta que las corrientes fluviales por lo general arrastran grandes cantidades de sedimentos muy finos, sin embargo, al llegar al mar y quedar depositados cerca de la desembocadura sufren el lavado de las olas y las corrientes, de manera que las fracciones más finas se pierden hacia mayores profundidades o son arrastradas a lo largo de la costa.

Teniendo en cuenta la morfología submarina de la plataforma y la confirmación mediante buceo autónomo de una amplia superficie ocupada por los sedimentos arenosos, puede inferirse que los volúmenes de sedimentos depositados en este sitio sean considerables.

Playa Altabella-Juanillo

La playa Altabella-Juanillo se localiza hacia el extremo este de la República Dominicana, en el lugar ocupado antiguamente por el poblado Juanillo. Por su ubicación geográfica la playa se encuentra bañada por las aguas del océano Atlántico y su dinámica responde a los vientos alisios y las olas predominantes del noreste, este y sureste. Por delante de la playa se encuentra una extensa barrera coralina, que a pesar de ser discontinua, le brinda protección a la costa. Entre los arrecifes coralinos y la playa, se extiende una superficie somera ocupada por sedimentos sueltos (arena muy fina), pastos marinos y afloramientos rocosos.



Imagen IV.13 Vistas generales de la terraza abrasiva baja que limita por el sur con la playa Altabella-Juanillo.

La mayor parte de los sedimentos que componen la playa son de origen biogénico marino y se producen en los arrecifes coralinos y las comunidades bentónicas que pueblan los fondos someros que se encuentran entre la barrera y la playa. A estos materiales se suman los aportes oolíticos debidos a la precipitación del carbonato de calcio contenido en el agua de mar.

La zona Altabella-Juanillo presenta dos tipos de costa. La primera es una costa abrasiva baja, formada por una terraza de rocas calizas carbonatadas, mientras que la segunda es una playa de perfil incompleto y poco desarrollado.

En la zona Altabella-Juanillo, la terraza apenas alcanza una altura de 0.50 a 0.70 m sobre el nivel medio del mar y es parcialmente inundable por la marea. En los momentos que se producen marejadas severas, gran parte de la terraza queda cubierta por las aguas y las olas llegan a alcanzar la zona posterior donde se ha desarrollado una pobre acumulación de arena con vegetación herbácea (Imagen IV.13).

A manera de ejemplo, se muestra el perfil (Fig. IV.4) donde se observa que la terraza abrasiva ocupa todo el frente litoral y los afloramientos rocosos se mantienen en la mayor parte de la pendiente submarina. De igual forma un perfil característico del lugar, donde se observan los rasgos morfológicos predominantes en toda la extensión de la playa.

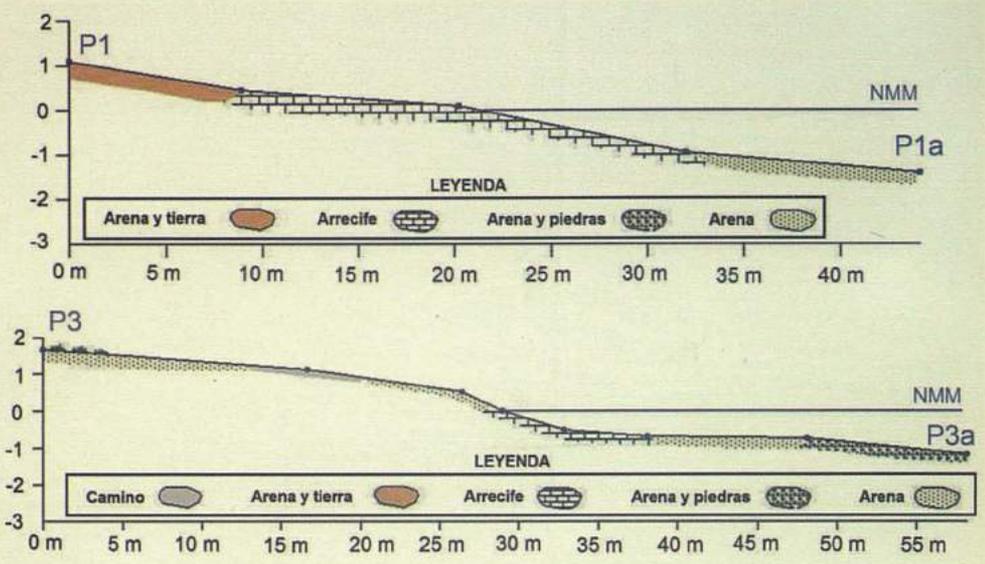


Fig. IV. 4 Perfil de la Playa Altabella-Juanillo.

En el perfil de la playa Altabella-Juanillo, no existen dunas y en la parte posterior de la playa sólo se desarrolla una pobre vegetación herbácea y cocoteros. Tampoco existe una clara postplaya o zona de exposición solar y las barras de arena submarinas están ausentes. Por detrás de la playa se extiende una superficie de sedimentos, donde actualmente crece la vegetación herbácea y los cocoteros (Imagen IV.14). Esta zona constituye una potente reserva de arena, que evidentemente fue creada en una época durante la cual existía un importante ingreso de sedimentos. Por detrás de esta zona acumulativa se produce una depresión, donde se forman zonas cenagosas con desarrollo de manglares (Imagen IV.15). Los rasgos morfológicos actuales conducen a afirmar que en épocas pasadas, la zona Altabella-Juanillo, recibía un aporte continuo de sedimentos que permitió la formación de una extensa playa en forma de cordón o barra litoral. Como resultado de este proceso, las barras dejaron encerradas lagunas litorales paralelas a la costa, que es donde actualmente se observa el desarrollo de los manglares como sucede en muchos entornos costeros.

Sin embargo, desde hace varias décadas, los ingresos de arena se han reducido y la playa ha pasado de un proceso de acumulación sostenida a un proceso de erosión. Esto ha traído como resultado un retroceso generalizado de la línea de costa, de manera que las áreas antiguamente estables, están siendo atacadas actualmente por las olas. La formación de escarpes en la playa, los daños a la vegetación costera y los afloramientos rocosos, constituyen las más claras evidencias de este fenómeno.



Imagen IV.14. Vistas generales de la playa Altabella-Juanillo.



Imagen IV.15. Áreas deprimidas por detrás de la playa donde se forman lagunas costeras y manglares.



Imagen IV.16. Afectaciones a la vegetación costera producto de la erosión.

El fenómeno de la erosión es común a la mayoría de las playas del Caribe y sus causas son tanto de carácter natural como antrópico. Está demostrado que la producción de arena biogénica en la región se ha reducido producto de fenómenos tanto regionales como locales, con lo que los ingresos de sedimentos a las playas han mermado. Sin embargo, existen factores antrópicos que pueden tener una incidencia mayor sobre la erosión, que aquellos atribuibles a causas únicamente naturales (Imagen IV.16 y17).

Regularmente, frente a la playa se extiende una extensa superficie aplanada y de escasa pendiente. Como promedio, el ancho de esta zona es de unos 1 000 m, y mantiene profundidades inferiores a los 5 m. En algunos sitios, esta estructura termina en un arrecife que llega a alcanzar la superficie y por detrás del cual se produce una abrupta caída que conduce a profundidades mayores que 30 m. El perfil muestra los rasgos principales de los perfiles con una barrera exterior bien conformada. (Fig. IV.5).

En la pendiente submarina frente a la playa Altabella-Juanillo, predominan las rocas y a una distancia de la orilla de más de 100 m la profundidad apenas alcanza entre 1.0 y 1.5 m. Solamente la zona más cercana a la orilla de la parte norte de la playa, está formada por una fina capa de arena, que es lavada por las olas durante las marejadas de tormenta.



Imagen IV.17 Afloramientos rocosos en la playa Altabella-Juanillo.

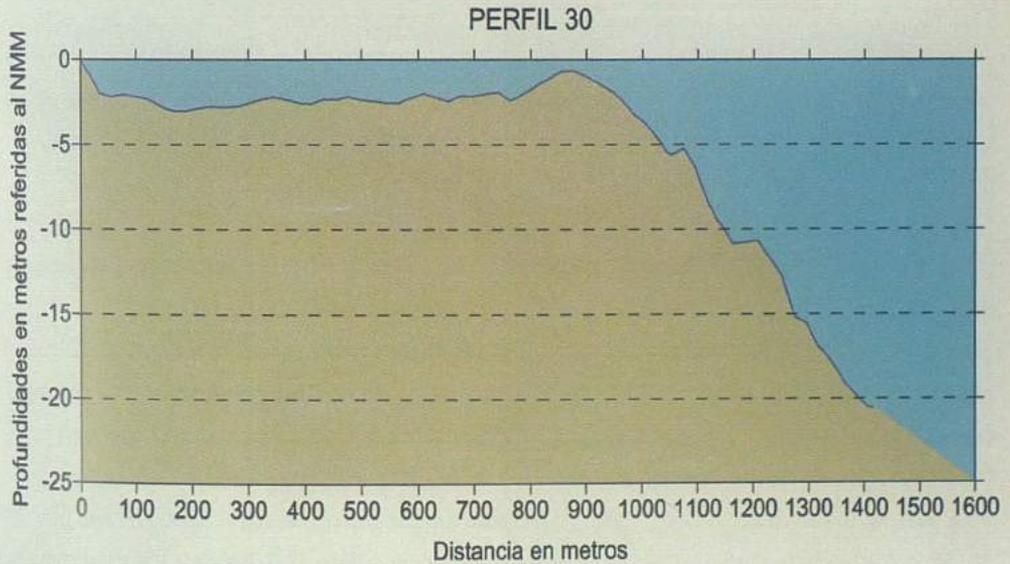


Fig. IV.5. Perfil batimétrico frente a la playa Altabella-Juanillo. Perfil característico de una zona con arrecife exterior bien conformado.

Ante la ausencia de corrientes fluviales importantes que aporten material terrígeno, la arena de la zona Altabella-Juanillo está formada en más del 98 % por materiales carbonatados de origen marino. En cuanto a la granulometría, existe un predominio de las arenas finas con un diámetro medio entre 0.13 y 0.15 mm.

En cuanto a la morfología de esta zona costera y de plataforma sobresale en el litoral la playa protegida por los bajos fondos que aparecen en la pendiente submarina y la defensa que representa la barrera coralina que se extiende a lo largo de la terraza marina que se observa en la imagen del lugar y en la batimetría, por otra parte la caída de l perfil submarino no es brusca por la formación de un relieve accidentado a causa de la presencia y desarrollo de los corales (Fig. IV.6).

Punta Cana

La plataforma submarina frente a la zona de Punta Cana es una zona de alta productividad de arena biogénica. La extensa superficie somera que se encuentra frente a la playa constituye un sitio ideal para el desarrollo de las comunidades bentónicas, entre las que están las algas calcáreas productoras de arena. Las zonas de pastos marinos, también son propicias para el desarrollo de los moluscos y otros organismos, que al morir aportan sus restos a la formación de las playas (Fig. IV.6a).

Los arrecifes que se encuentran en el borde superior del talud, también constituyen prolíferas zonas de formación de arenas biogénicas. En este sitio se desarrollan grandes comunidades coralinas, que son productoras de arenas blancas carbonatadas, al igual que los moluscos y las algas calcáreas.

Además de los ingresos biogénicos, la zona es rica en producción de oolitas, que son arenas extremadamente finas y de color muy blanco, que se dan como resultado de la precipitación del carbonato de calcio contenido en el agua de mar.

La playa "Punta Palma" se localiza en el extremo oriental de la República Dominicana, apenas 2 km al sur de Cabo Engaño. Por su ubicación geográfica esta playa se encuentra bañada por las aguas del océano Atlántico, donde se producen habitualmente olas de elevada energía que proceden del ENE, NE y E.(Fig. IV.7)

La playa está en una extensa ensenada de escasa curvatura, que limita por el norte con el saliente Mala Punta, mientras que por el sur, termina en un espigón de forma curva construido a finales de la década del 90 (Imagen IV.18). Frente a toda la ensenada se extiende un potente arrecife que protege a la costa del embate directo de

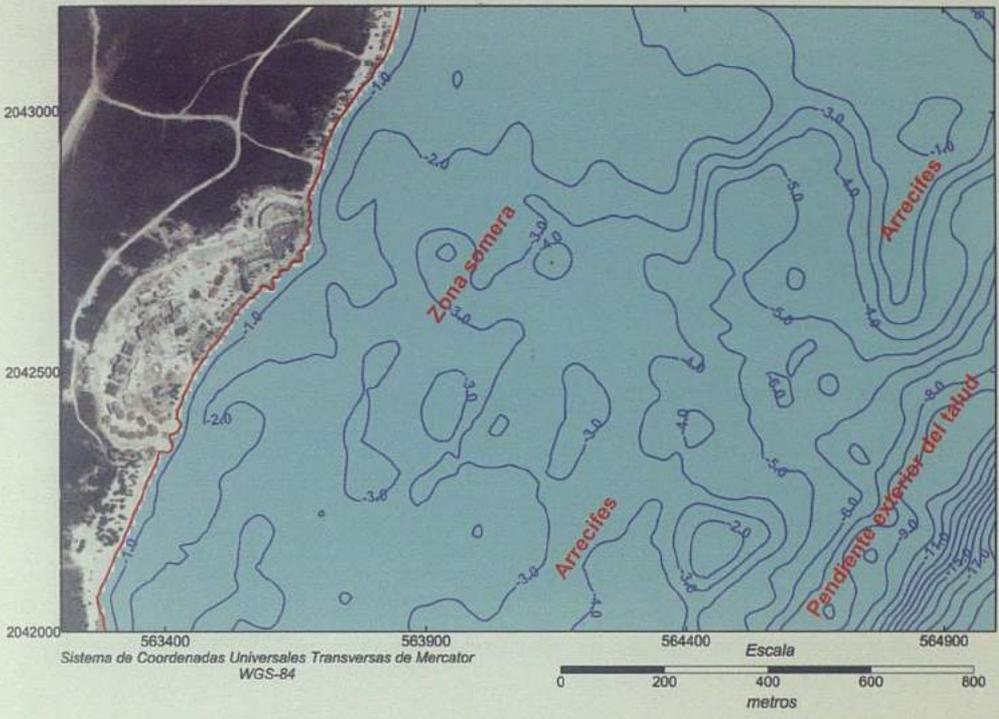


Fig. IV.6. Relieve submarino en el área Altabella-Juanillo donde se indican los elementos más relevantes del relieve submarino



Fig. IV.6a Ubicación de Punta Cana y playa Punta Palma.

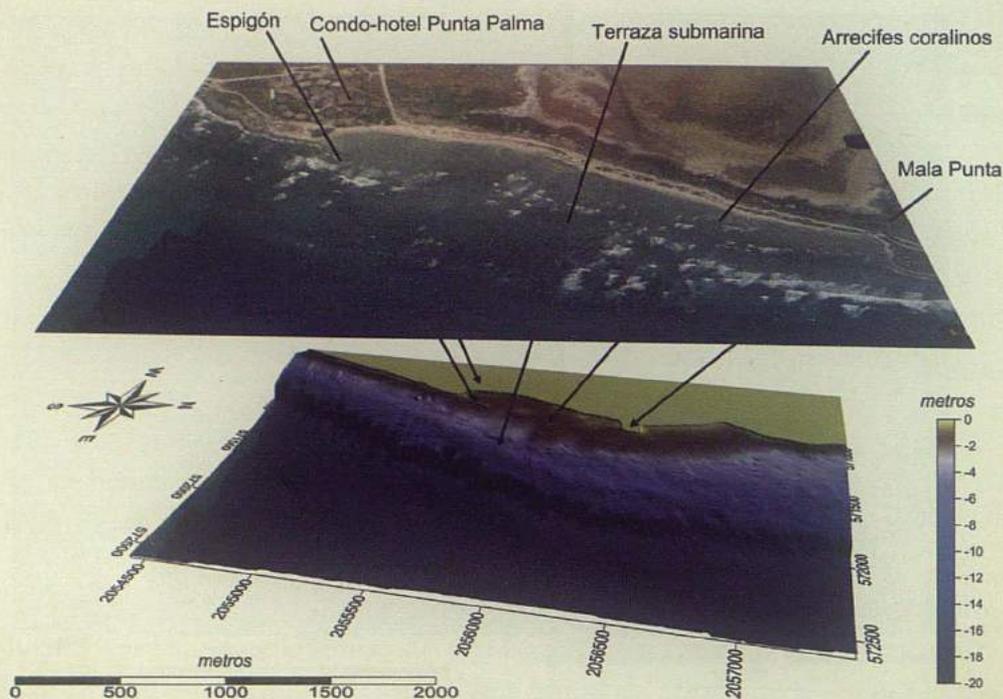


Fig. IV.7. Principales rasgos morfológicos de la pendiente submarina frente a la playa Punta Palma.



Imagen IV.18 Vista de satélite de la playa Punta Palma.

las olas y es el responsable de crear una zona de abrigo, favorable para la deposición de las arenas. En la ensenada “El Caletón”, la composición de los sedimentos de la playa está formada por restos de organismos calcáreos de génesis marina, producidos en las zonas someras de los arrecifes coralinos y otras comunidades bentónicas. En las comunidades bentónicas (Imagen IV. 19) se presentan algunas imágenes submarinas del área, donde se observa la abundancia de organismos bentónicos productores de arena.

El ingreso de estos sedimentos a la playa se produce tanto por el transporte a lo largo del litoral como en sentido perpendicular. De acuerdo con la orientación general de la costa y la dirección dominante de las olas y el viento, en la zona se establece un transporte neto longitudinal en dirección norte-sur. La ocurrencia de olas del sur o el sureste, tiene una frecuencia muy baja y por tanto, el movimiento de las arenas hacia el norte (en sentido contrario) no es habitual. En este esquema dinámico, la playa se nutre de las arenas que se mueven a lo largo de la costa, procedentes de las playas ubicadas al norte y cuando llegan a rebasar el espigón meridional, pueden considerarse prácticamente perdidas del sistema.



Imagen IV.19. Comunidades bentónicas productoras de arena.

El transporte perpendicular de sedimentos también juega un importante papel en el desarrollo y estabilidad de la playa. En condiciones habituales, cuando las olas rompen en los arrecifes, generan un movimiento de masa hacia la costa y los materiales biogénicos pasan a formar parte del perfil de la playa. Sin embargo, durante la ocurrencia de tormentas que generan marejadas severas, las olas erosionan la arena de la parte emergida del perfil y la cara de las dunas formando escarpes, y arrastran los sedimentos hacia el mar. Este proceso se hace más complejo, debido a las corrientes de resaca o “*rip currents*”, que son flujos de compensación dirigidos hacia el mar y encauzados a través de las aberturas en el arrecife.

En correspondencia con la incidencia del oleaje sobre la zona costera, el perfil de la playa adopta pendientes y formas diferentes. En los sitios más desprotegidos, la pendiente de la anteplaya es fuerte, el diámetro de los sedimentos es grueso y destacan escarpes en la pendiente hacia el mar de las dunas.

En los lugares más protegidos, la pendiente del perfil es ligeramente menos pronunciada y en la zona próxima a la orilla se pueden encontrar comunidades bentónicas en las que predominan las algas.

En dirección al mar, y por detrás del arrecife, se presenta un fondo rocoso aplanado que mantiene una pendiente uniforme hasta los 10 m de profundidad, donde se encuentra un abrupto canto que conduce a profundidades mayores que 15 m. En el perfil se muestra la pendiente submarina posterior al canto. A unos 200 m de la costa destaca el arrecife que le sirve de protección a la playa y que constituye además un área de producción de arena biogénica (Fig. IV.8).

Los perfiles se caracterizan por presentar una pendiente de fondo muy suave e irregular. Estas características se mantienen hasta el punto donde se localiza el espigón de protección. En la pendiente submarina próxima a la orilla, existen rocas pobladas de organismos bentónicos (Imagen IV.20), se suman los fragmentos de rocas con que fueron rellenos los gaviones y que al destruirse la malla que los confinaba, se han esparcido por la zona posterior al espigón.

En esta zona, la parte emergida del perfil recibe menos oleaje que la playa que se extiende hacia el norte y por tanto, la pendiente de la anteplaya es relativamente menos pronunciada. Tratándose del extremo deriva abajo del sistema y favoreciéndose la acumulación en la zona por la protección que ofrece el arrecife, a este lugar también llegan basuras y material flotante. Hacia tierra, la playa termina en una franja de vegetación herbácea con algunos cocoteros. En este lugar, se excavó una zanja para aliviar las aguas de la laguna en los momentos de fuertes lluvias, que actualmente es un centro colector de basuras (Imagen IV.21).



Fig. IV.8. Perfil submarino del área frente a la playa Punta Palma.



Imagen IV. 20. Destrucción de los gaviones que protegen el espigón. Las rocas sueltas han pasado a la pendiente submarina de la playa.



Imagen IV.21. Límite de la playa con la vegetación costera y zanja para desagüe convertida actualmente en colectora de basura.

En dirección al norte, fuera de la zona de abrigo del espigón y también fuera de la zona a mejorar, la energía de las olas es mucho mayor. En este lugar existe un canal entre los arrecifes, por donde penetra la energía de las olas con gran intensidad y provoca un fuerte impacto en la playa, especialmente durante la ocurrencia de marejadas extremas (Imagen IV.22). En correspondencia con la mayor energía del oleaje, en este lugar la pendiente de la playa emergida es más empinada y la duna es más alta.

La zona central de la playa está caracterizada al igual que ocurre en la zona sur, por una pendiente submarina que presenta rocas que no son convenientes para el baño. Un aspecto a tener en cuenta en este lugar es que, en los momentos que se producen fuertes marejadas, las olas penetran al interior de la ensenada, rompiendo por encima de los arrecifes, y crean un apilamiento o sobre-elevación en la zona interior. Como compensación del ingreso de agua, en las aberturas o canales de la barrera, se crean fuertes corrientes de resaca (conocidas también como rip-current) en dirección al mar, que son extremadamente peligrosas para los bañistas.



Imagen IV.22. Playa de la zona central de la ensenada.

Hacia la parte norte de la playa la pendiente submarina es de poca profundidad y se amplía la zona de los arrecifes. El perfil tipo de la playa muestra una barrera que tiene profundidades entre 1.0 y 1.5 m, a más de 250 m de la orilla. Esta barrera, es una importante fuente de producción de arena biogénica, aunque de ella también se desprenden fragmentos de arrecifes durante los temporales extremos, que son los que se observan en la playa como indicadores de la elevada energía con que pueden atacar las olas al paso de los huracanes (Fig. IV.9). Las formas del relieve que se observan en la zona emergida de la playa, son el resultado de la interacción que se produce entre los elementos modeladores del oleaje, las mareas, las corrientes y el viento. Entre ellos, el oleaje es el factor que tiene una mayor influencia en el modelado del relieve, y su efecto sobre la costa es el resultado de las transformaciones por refracción-difracción, que se producen al interactuar con el relieve del fondo (Foto IV.23).

En el relieve submarino destacan varios elementos de interés. A una distancia de la costa de 400 a 600 m existe un pronunciado canto que conduce de profundidades inferiores a los 10 m, hasta profundidades superiores a los 15 m. Este escalón

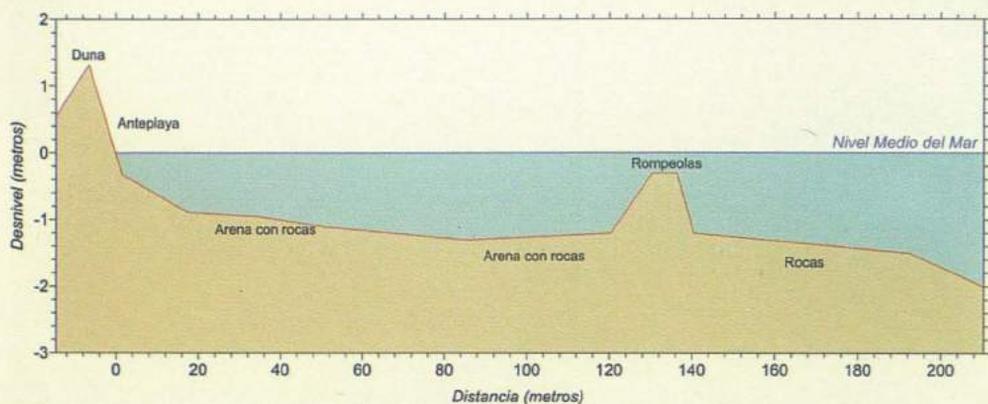


Fig. IV.9. Perfil de playa tipo de la zona Punta Palma, al abrigo del espigón.



Imagen IV.23. Extremo norte de la playa con abundantes restos de rocas sobre la arena.

constituye una antigua terraza que ha quedado como evidencia de las épocas pasadas en que la plataforma estuvo emergida. Indudablemente, este escalón constituye el primer elemento del relieve que provoca la modificación de las olas que se producen durante las tormentas extremas.

Entre 100 y 300 m de la costa existe una barrera coralina, que se extiende prácticamente paralela a la orilla y constituye la principal protección de la playa frente al oleaje. En el mapa batimétrico se aprecia claramente que esta barrera se hace más fuerte en la zona de la ensenada que protege a la playa, mientras que frente a los arrecifes costeros desaparece. Hacia la parte central de la playa y muy próximo al extremo norte del espigón, se encuentra un canal, que se ha mencionado con anterioridad por constituir una importante vía de intercambio de agua entre el interior de la ensenada y las aguas del océano abierto. En la imagen tridimensional del relieve del fondo marino, a la que se ha superpuesto una imagen aérea como referencia de los principales accidentes geográficos. Esta imagen tridimensional se presenta además en donde se han señalado los elementos más relevantes como son los arrecifes coralinos, el canal y el espigón (Fig. IV.10).

Los sedimentos que forman la playa Punta Palma son eminentemente biogénicos y se originan en las comunidades bentónicas que pueblan la pendiente submarina cercana y los arrecifes. Como se ha explicado, desde las áreas de producción, la arena llega a la playa como resultado del transporte longitudinal y perpendicular.

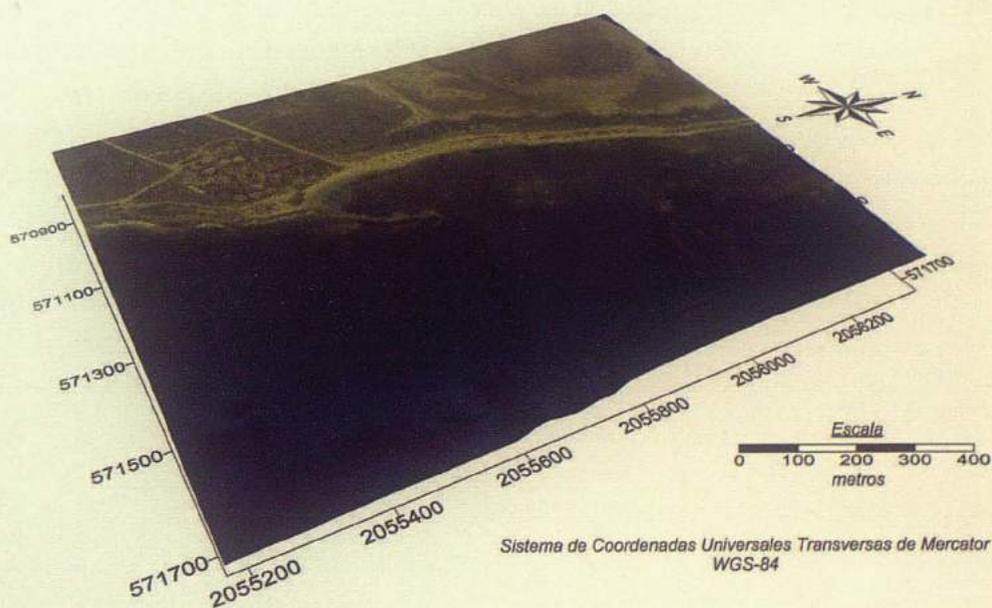


Fig. IV.10. Vista tridimensional del fondo marino en la zona costero marina de Punta Palma.

Cabo Engaño

La zona costera que se extiende desde Cabo Engaño al sureste hasta el hotel Catalonia, comprende unos 3,200 m de costa y el litoral está constituido por dos tipos de costa que definen dos sectores bien diferenciados.

El sector occidental, con una longitud de 2 100 m, está compuesto por una costa acumulativa de playa de perfil poco desarrollado en toda su extensión. Un elemento morfológico que distingue al sector occidental es la presencia de una duna litoral de baja altura cubierta fundamentalmente por cocoteros, formando parte esencial de la estructura de la franja costera (Imagen IV.24).

La formación de escarpes de erosión al pie de la duna que se advierte en la cercanía del hotel Catalonia Bávaro, pone de manifiesto la ocurrencia de un proceso erosivo actual, con la caída de cocoteros de gran porte y la evidencia de un marcado retroceso de la línea de costa con la consecuente pérdida de los espacios de playa (Imagen IV. 25).

El perfil de playa, localizado en la parte central del sector occidental, el cual presenta una duna de 2.75 m de altura, con un ancho de playa emergida en el orden de los 20 m. A pesar de que la pendiente emergida continúa siendo superior a la de la parte submarina. La pendiente emergida incrementa su valor a 0.11 (11%), como también lo hace la pendiente submarina con un valor de 0.055 (5.5%).

Una característica que se distingue en los perfiles topográficos a lo largo del sector occidental es la presencia de superficies arenosas con abundantes parches de vegetación marina formando seibadales, que en ocasiones invaden los afloramientos rocosos de la pendiente submarina, cuya estructura se extiende prácticamente hasta la barrera arrecifal. El seibadal se desarrolla sobre sustratos arenosos y limosos pero en su mayoría es sobre fondos rocosos.

Si se tiene en cuenta que el transporte principal de arena se produce de este a oeste, en correspondencia con la incidencia del oleaje generado por los vientos alisios, la intensificación de la erosión en esa dirección pone de manifiesto la incapacidad del transporte actual para mantener las playas. De hecho puede considerarse que el déficit en los ingresos de arena al balance sedimentario está siendo compensado en la actualidad por la erosión de la duna litoral.

El sector oriental, con una longitud de 1,250 m, está constituido por una terraza baja abrasiva de altura variable. En el sitio donde termina la playa y comienza la terraza, la altura tiene escasa diferencia con el nivel del mar y hacia cabo Engaño se eleva unos 2 m (Imagen IV. 26).



Imagen IV.24. Sector occidental de costa acumulativa con la duna aplanada y cubierta por vegetación.



Imagen IV.25. Escarpes de erosión en la duna litoral, cuyo sedimento compensa las pérdidas actuales de la playa.



Imagen IV.26. Terraza baja abrasiva que por el efecto de intemperismo aporta material a la pendiente submarina.

La terraza abrasiva está formada por el tipo de roca caliza de origen biogénico-carbonatada, con la presencia de restos de corales, moluscos y otros organismos marinos que han quedado petrificados. Su superficie la conforma el diente de perro (*lapiéz*), como resultado de la disolución química de la roca por los agentes abrasivos como el viento, el agua del mar y la lluvia. En la morfología de la pendiente submarina de la playa se observa cómo la distribución de las isobatas define un primer nivel de terraza que se extiende desde la costa hasta una profundidad variable, la cual no excede los 3 m, formando una planicie arrecifal que se conecta con la costa y se extiende hacia el mar hasta la barrera arrecifal, caracterizada por la presencia de superficies de lavado, cabezos rocosos y seibadales (Imagen IV.27). El déficit actual de ingreso de material arenoso al sistema costero se evidencia por la escasa presencia de arena sobre la planicie costera.

En el borde de esta primera terraza se levanta una barrera arrecifal, como una estructura única, cuyas partes más altas prácticamente emergen.

Si bien en las estaciones de buceo se pudo definir que la estructura arrecifal en la zona de embate se corresponde con la de una barrera, hay que destacar que la misma tiene abundantes porciones donde la densidad de colonias vivas es muy pobre y las características se relacionan con las de un bajo, con presencia de corales aislados (Imagen IV.28).



Imagen IV. 27. Fondos característicos del primer nivel de terraza submarina.



Imagen IV.28. Barrera arrecifal que bordea el primer nivel de terraza submarina con diferentes especies de corales propias de este nivel.

La presencia de estas estructuras arrecifales constituye un elemento esencial en el desarrollo de los procesos dinámicos de la zona costera, ya que además de funcionar como efectivos rompeolas naturales, permiten la creación de condiciones ambientales propicias para el desarrollo de comunidades bentónicas determinantes en la producción de arena.

Si se tiene en cuenta que este sector se encuentra expuesto a las aguas del océano Atlántico, puede comprenderse el papel que desempeña la barrera arrecifal como una zona de rompiente natural del oleaje que garantiza la existencia de la playa y la duna, así como el depósito de arena formado entre la propia barrera y la costa, el cual forma parte del perfil submarino de la playa.

A partir de la barrera arrecifal el relieve del fondo incrementa su pendiente para conformar al pie de la barrera un talud que termina en unos 10 m de profundidad, comenzando en este punto el segundo nivel de terraza submarina.

La segunda terraza está constituida por un fondo rocoso parcialmente cubierto por organismos bentónicos, como algas, esponjas y corales, y se extiende hasta los 20 m de profundidad, donde comienza a aparecer un sistema de cangilones o canales receptores de la arena biogénica que se genera en el área, la cual no representa un aporte significativo a las playas, más bien estas estructuras facilitan el transporte de sedimentos hacia mayores profundidades, su distribución y disposición es más o menos homogénea hasta la profundidad de 25 m, donde aparentemente comienza un tercer nivel de terraza con un veril poco evidente, que continúa con la terraza profunda culminando en el talud oceánico.

Los perfiles del relieve del fondo marino ilustran claramente la disposición y dimensiones de las terrazas marinas en los diferentes sectores (Fig. IV.11).

El perfil batimétrico 1, representativo del sector occidental donde se extiende la costa acumulativa de playa, muestra las pendientes más suaves y regulares de toda el área de plataforma en la zona, con valores de tangente en el orden de 0.014 (1.4%). Dicha pendiente favorece la estabilidad del perfil de playa produciéndose una efectiva disipación de la energía del oleaje y la aparición de aguas tranquilas próximas a la costa, que por una parte reduce el transporte de sedimentos, pero por otra favorece el desarrollo de los seibadales.

El perfil batimétrico 2, característico del sector oriental, representa claramente los dos niveles de terraza, el talud que las divide y la barrera arrecifal. La primera terraza ocupa los primeros 1000 m de la plataforma a partir de la línea de costa y presenta una pendiente de 0.0025 (0.25%), lo que representa una planicie de pendiente muy suave donde la profundidad no excede los 2.5 m. Por su parte, el talud que se

proyecta hacia el mar al pie de la barrera arrecifal presenta pendientes fuertes con valores de 0.12 (12%).

En el perfil 2, también se define el segundo nivel de terraza a partir de la base del talud que se extiende hacia el mar hasta la profundidad de 25 m, donde se distingue la presencia de los cangilones parcialmente cubiertos de sedimentos.

El perfil batimétrico 3, correspondiente al extremo este del sector oriental, donde se hace más estrecha la plataforma submarina, presenta una pendiente medianamente fuerte e irregular con valores de tangente de 0.017 (1.7%). La barrera arrecifal, frente a este tramo de costa, aparece a unos 300 m de la orilla y presenta características similares al resto del arrecife.

El litoral costero del este del país se ubica en la región geomorfológica del Llano Costero Suroriental o del Caribe (Troncoso), sobre formaciones arrecifales y con terrazas marinas abrasivas. El relieve submarino es predominantemente profundo y de fuertes pendientes paralelamente a la costa, y un talud que cae verticalmente desde los 70 hasta los 200 m, a una distancia de más de 5 Km de la costa.

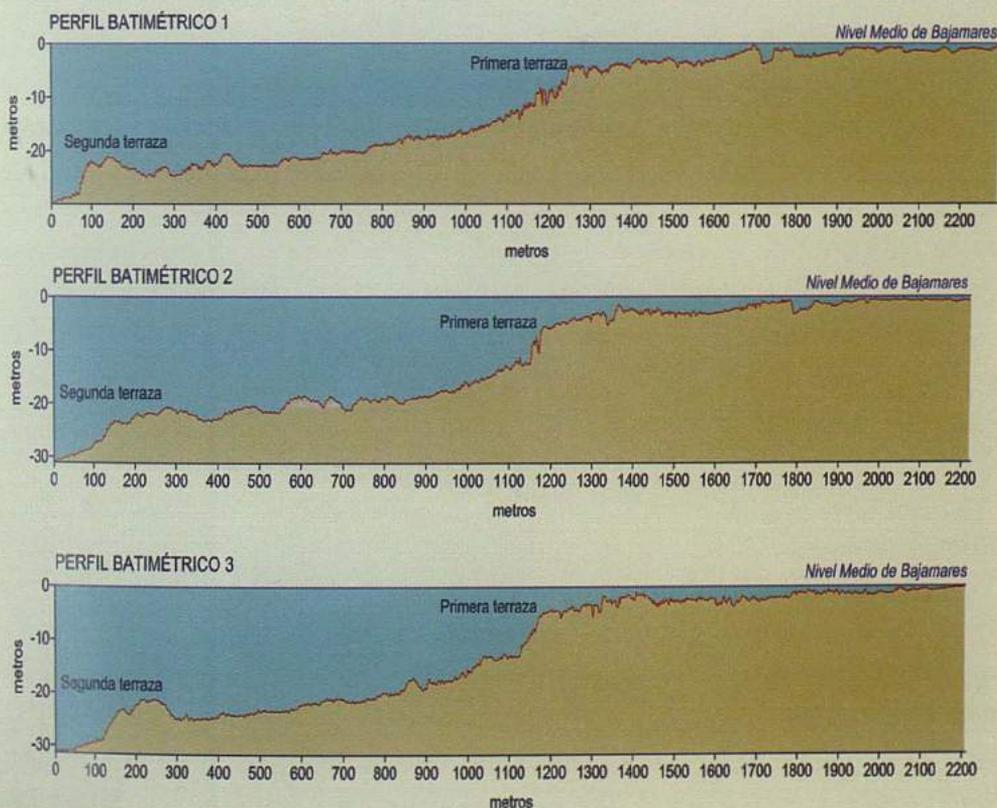


Fig. IV.11. Perfiles batimétricos frente a la costa de Cabo Engaño.

Se trata de una franja litoral con playas de fina arena blanca, costa protegida por arrecifes de coral que actúan como barrera ante el oleaje y a su vez contribuyen al aporte de sedimento a la costa. Desarrolladas en una superficie de territorio fundamentalmente llano con diferencias de altura dispersas con cota máxima de 20 m.

En toda la región de Bávaro la playa constituye el principal atractivo de la oferta turística: en Cabeza de Toro la playa alcanza una longitud de 3,200 m, y un ancho de 50. En esta zona costera se localiza una playa arenosa de origen coralino formada por la deposición de sedimentos no consolidados muy dinámicos, que tienen su fuente en la producción de carbonato de las barreras coralinas, como es característico para todo el litoral. La playa recibe cantidades de fragmentos vegetales arrancados por el oleaje acompañados de muchos residuos de *Thalassia testudinum* que se mezcla con la arena. En este litoral donde el batimiento del oleaje es intenso se intercalan, en diferentes sitios, costa rocosa abrasiva con acumulaciones de arena y macizos rocosos sueltos en su parte trasera. Las praderas de pastos marinos se presentan cercanas o adosadas a la orilla alternada con parches en el sustrato rocoso y arenoso, formando parte de la laguna arrecifal. Al igual que en otros sectores costeros la especie dominante es *Thalassia testudinum*.

La región exhibe el arrecife de coral más largo de la isla con unos 25 a 30 km de longitud. Aunque se ha considerado que este sistema arrecifal bordea la costa este de la isla casi desde la boca de la bahía de Samaná, al norte y va bajando hasta los farallones sureños de cabo San Rafael. La barrera de arrecife alcanza más de una milla desde muy cerca de la costa con la formación como es usual en estos fondos de canales perpendiculares bien desarrollados y macizo hasta la profundidad de 15 m.

A partir de esas estructuras aparece una extensa cuenca de arena con arrecifes de parches entre los 15 y 23 m. El fondo comienza a ganar en pendiente desde los 30 m hasta caer a pico casi vertical.

Playa Macao

Playa Macao es una playa protegida en este entono costero por un promontorio rocoso que forma una costa acantilada, del mismo nombre, en la cual se apoya la playa para mantener cierta estabilidad de la arena a pesar de ser una zona fuertemente batida por el oleaje. Playa Macao, a pesar de no tener gran desarrollo de dunas, mantiene un perfil bastante estable y un ancho de playa emergida que varía entre los 55 y 30 metros (Imagen IV.29 y 30).



Imagen IV.29. Desde playa Macao, vista del promontorio rocoso en el que se apoya la playa.

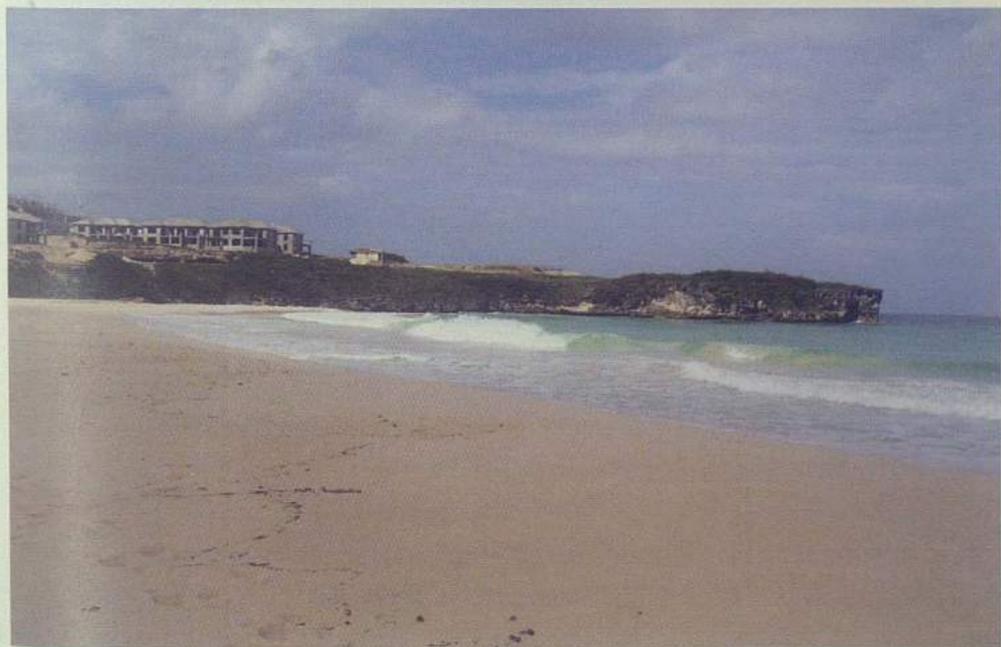


Imagen IV.30. Vista de la playa al este de Macao protegida por el promontorio del mismo nombre.

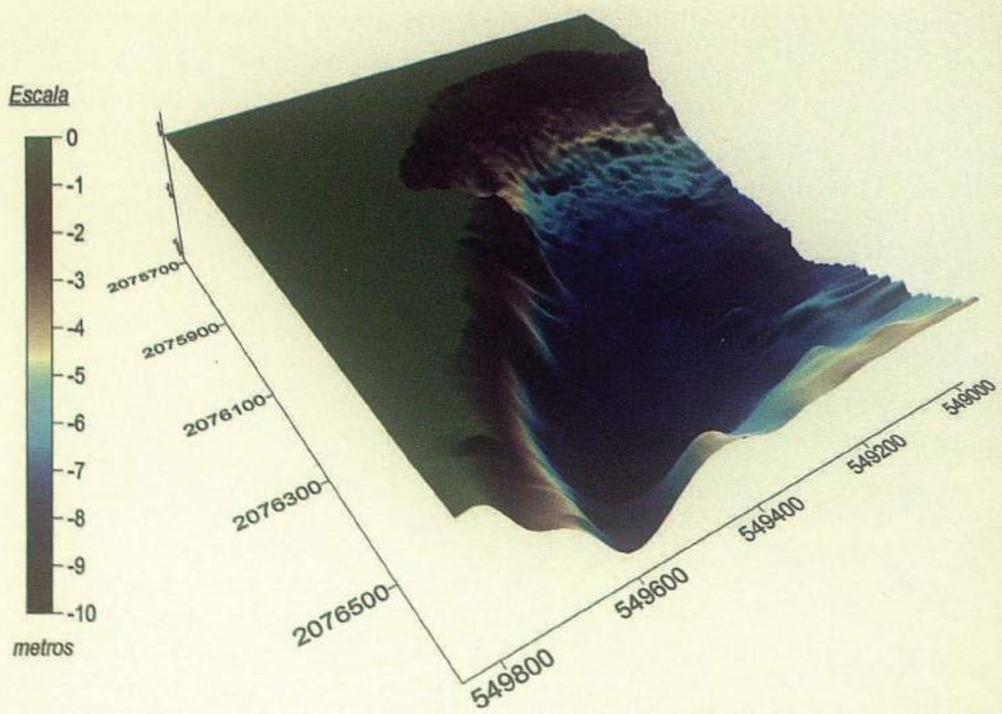


Fig. IV.12. Vista del relieve submarino de playa Macao en tercera dimensión desde el noreste.

En lo relativo a su morfología submarina (Fig. IV.12) el relieve 3 D pone de manifiesto la particularidad de la morfología submarina con relieve accidentado por la presencia de montículos coralinos dispersos con diferente orientación y tamaño a lo largo y ancho de la pendiente submarina, además de un levantamiento hacia el exterior de la plataforma de una barrera coralina donde rompe el oleaje con fuerza descomunal.

Al oeste de playa Macao, desde el punto de vista de la dinámica litoral, el entorno costero enmarcado por las desembocaduras de los ríos Anamuya y Maimón forman una unidad morfodinámica. Aunque a lo largo de toda esta unidad predominan las costas bajas acumulativas, entre las que destacan las playas, en algunos sitios pueden observarse superficies rocosas y terrazas arrecifales (Fig. IV.13).

Históricamente, la evolución del litoral ha estado determinada por un abundante ingreso de sedimentos que ha propiciado la formación de excelentes playas. Sin embargo, durante las últimas décadas, muchas de estas playas han experimentado un progresivo retroceso de la línea de costa que se manifiesta por la formación de escarpes en las dunas, pérdidas de la vegetación costera y la aparición de superficies rocosas.

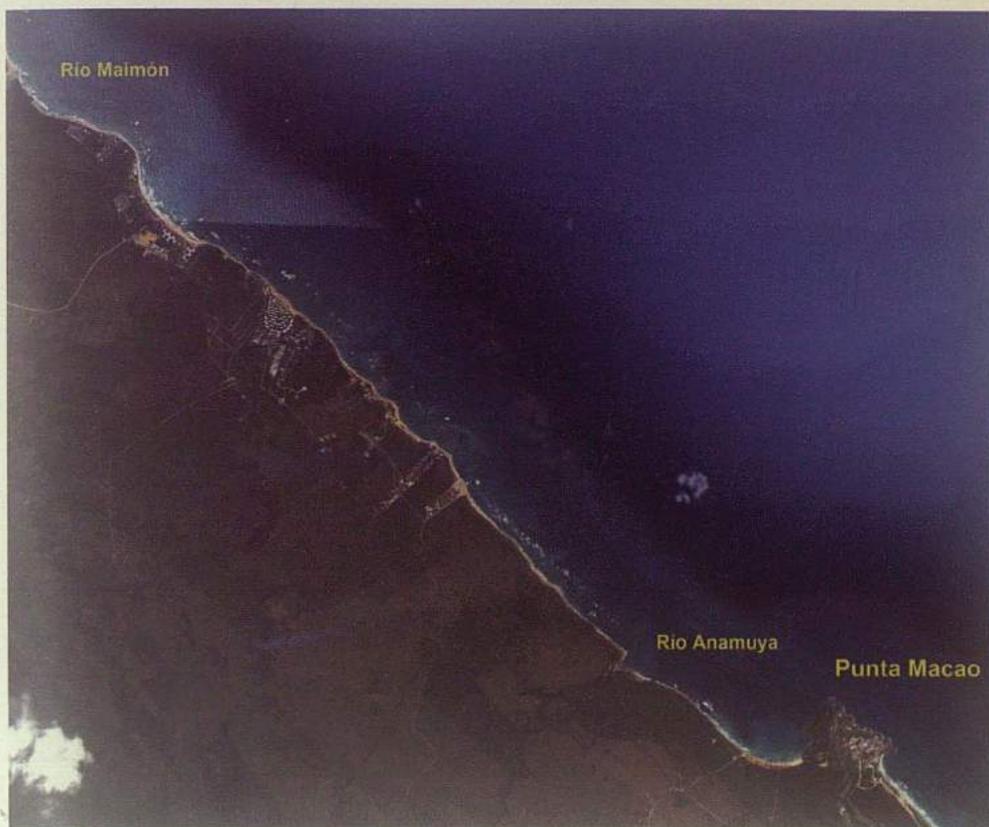


Fig. IV.13. Vista del litoral costero al oeste de playa Macao.

En el extremo oriental de este tramo de costa se muestra el retroceso de la línea costera. En el momento que fue construida la edificación, la línea de costa se encontraba a varias decenas de metros. Sin embargo, en la actualidad, durante la pleamar las olas bañan continuamente los cimientos de la instalación.

En el momento que fue construida la edificación existían varias líneas de cocoteros por delante. Sin embargo, producto del sostenido retroceso que ha experimentado la costa, en la actualidad las olas de los eventos meteorológicos temporales extremos alcanzan con gran energía a los cimientos de la instalación, provocando serias afectaciones estructurales (Imagen IV.31 y 32).

En este sitio la playa presenta un ancho variable entre 5 y 15 metros, aunque en momentos de oleaje extremo llega a desaparecer completamente chocando las olas contra los escarpes mientras que en momentos de calma se forma una playa de hasta 20 metros. Por detrás de la playa se encuentra una duna relativamente baja cubierta por vegetación rastrera y algunas uvas caletas (uvas de playa).



Imagen IV.31. Instalación ubicada en el extremo oriental del sector.



Imagen IV.32. Destrucción de la instalación producto de la pérdida de sedimentos por la erosión.

La duna juega un importante papel en la dinámica del perfil. Durante las tormentas extremas, una parte de la arena del frente de la duna se mueve en dirección al mar hasta que se alcanza la condición de equilibrio. En ese momento se forman los escarpes en el frente de la duna, mientras que en la pendiente submarina se desarrollan potentes barras de sedimentos con el material removido de la playa. Con el retorno a las condiciones de oleaje habitual, el material de las barras ingresa nuevamente a la playa en un lento proceso de recuperación. Como evidencia de este proceso quedan los escarpes erosivos, que son indicadores de la máxima afectación provocada a la playa por las tormentas (Imagen IV.33).

La mayor parte de la duna se encuentra cubierta por vegetación rastrera, algunos arbustos de uva caleta y cocoteros. Esta vegetación (fundamentalmente la rastrera) es la responsable de estabilizar la arena, evitando su pérdida por efecto de la acción eólica. En la actualidad, la duna se encuentra cortada por un camino que es utilizado para el paso de vehículos. Este camino se extiende a lo largo de toda la costa y en muchos sitios se encuentra apenas a 5 metros de los escarpes erosivos. Entre los efectos nocivos del camino sobre la dinámica del perfil de playa se encuentran: el aplanamiento y destrucción de la duna y la completa eliminación de la vegetación natural con la consiguiente reducción de la capacidad de estabilizar la arena (Imagen IV.34).



Imagen IV.33. Escarpes de erosión en las dunas. Indicios de la máxima penetración de las olas de tormenta.

Los aportes de los ríos se conocen como ingresos terrígenos y en la zona del proyecto proceden fundamentalmente del río Anamuya que en momentos de avenida vierte una gran cantidad de sedimentos mezclados con el agua. Posteriormente, estos materiales son transportados hacia el oeste á bajo el efecto de la deriva litoral provocada por las olas del noreste. Además de los aportes de los ríos, al área costera ingresa una importante cantidad de materiales biogénicos de origen marino. En las muestras de arena de la playa se identifican con claridad los fragmentos de moluscos, algas calcáreas, foraminíferos, corales y otros organismos marinos formadores de arena. La fuente de producción de este tipo de materiales son las comunidades bentónicas que se encuentran en la pendiente submarina y los arrecifes de coral cercanos.

En la zona que ocupan las playas el Muerto, el Carmen, Uvero Alto y Nisibón el relieve es relativamente bajo, lo que favorece la formación de costas acumulativas. La existencia de arrecifes sumergidos en algunas áreas próximas a la orilla tiene el efecto de atenuar la energía del oleaje, lo que también favorece la deposición de materiales y la formación de salientes o tómbolas, frecuentes en sitios de la unidad fisiográfica (Imágenes IV.35 y 36). Durante la mayor parte del año, estos materiales se mueven hacia el noroeste bajo el efecto de la deriva litoral provocada por las olas habituales del este, este-noreste y noreste (relacionadas con los vientos alisios). El establecimiento de una deriva litoral en sentido contrario es muy poco frecuente y generalmente está relacionada con las olas procedentes del norte-noroeste y norte, que alcanzan apenas el 4 % del oleaje total. Durante la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos, los patrones de circulación cambian y se pueden producir dramáticos cambios en la configuración de la costa y el perfil de playa. Durante este tipo de eventos, se establece un transporte en dirección perpendicular a la costa, con la consiguiente pérdida de arena hacia mayores profundidades, desde las cuales no puede retornar a la orilla en momentos de oleaje habitual (Imagen IV.37).



Imagen IV.34. Camino sobre la duna en el frente costero.



Imagen IV.35. Relieve bajo y zona litoral desprotegida ante el oleaje.



Imagen IV.36. La zona litoral es sometida al embate del oleaje observándose su efecto en la erosión costera.



Imagen IV.37. Playas abiertas al oleaje en todo el sector costero norte de La Altagracia.

Capítulo V

Tramo Costero río Nisibón-río Boba

Este sector litoral abarca las zonas costeras de las provincias El Seibo, Hato Mayor, Samaná y María Trinidad Sánchez, donde desde el punto de vista morfológico los elementos más importantes del relieve lo constituyen la bahía y península de Samaná por sus peculiaridades en la evolución costera, y por su extensión la playa de Nagua.

Particular importancia morfológica adquiere la morfología del sector costero por la formación de Los Haitises de incalculable valor estético paisajístico por su origen cárstico, elemento morfológico de gran valor y por otra parte el desarrollo del bosque de manglar en el tramo costero de las desembocaduras de los ríos Yuna y Barracote en la cima de la bahía (Fig. V).

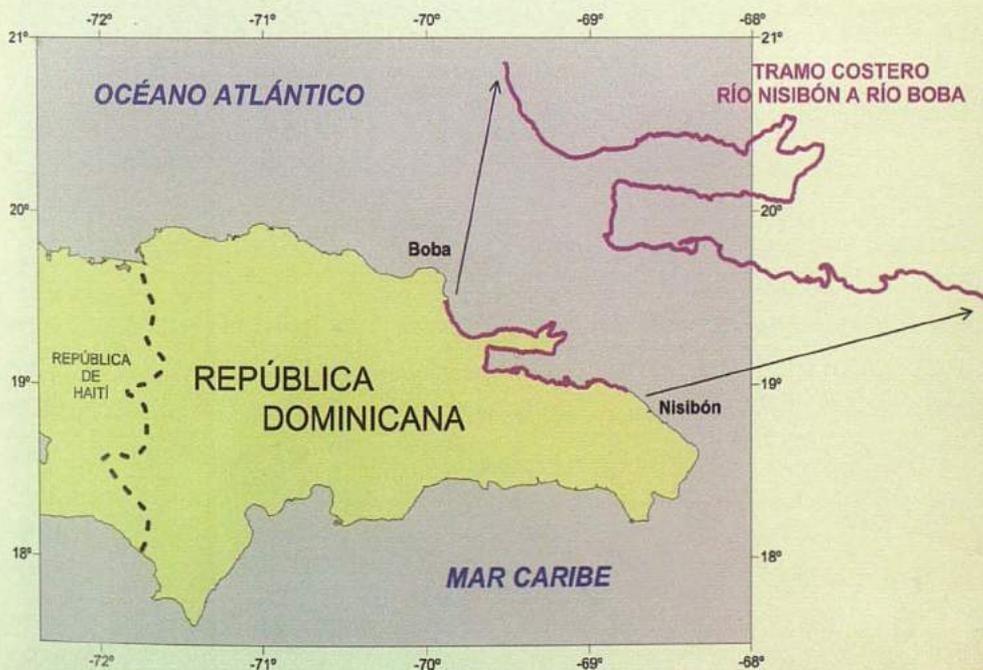


Fig. V. Ubicación del sector costero.

La Bahía y Península de Samaná

“La península de Samaná, al igual que toda la costa norte de La Española conforma, parte del borde norte de la placa tectónica del Caribe, en contacto con el borde sur de la placa caribeña. Estructuralmente el desarrollo de la Península de Samaná está relacionado con la zona de subducción del período cretácico, en la que se desarrollaron los fenómenos metamórficos regionales que dieron lugar a las rocas basales de la península, asociada a los movimientos de la placa del Caribe al cabalgar sobre la placa de Norteamérica.” Las costas que enmarcan la bahía de Samaná “han ido cambiando su forma con el paso del tiempo, debido al efecto de los ríos y arroyos que desaguan en ella, por las corrientes y vientos que mueven sus aguas, por el desarrollo de manglares y también debido a movimientos de la corteza terrestre que se producen con frecuencia en la zona.” (Llena San y Rosa Lamelas).

La bahía de Samaná alcanza la mayor profundidad en su entrada con 45 m, en su parte central tiene un canal que va desde los 15 hasta los 30 m ensanchándose hacia su extremo occidental (Fig. V.1). La costa norte de la bahía presenta una pendiente submarina más abrupta mientras que la sur y oeste es menos pronunciada (Imagen V.1), lo que favorece el mayor desarrollo del manglar y de las playas. En sentido general su fondo está cubierto por un gran desarrollo de praderas de fanerógamas marinas.

En la costa sur de la bahía de Samaná, desde punta Nisibón hasta punta Celedonio, predomina el tipo de costa acumulativa baja, con playas con fuerte acumulación de arena y un desarrollo incipiente de dunas, y presencia de lagunas que drenan hacia la costa, está presente también un sistema cavernario cárstico cubierto de manglar asociados a las lagunas Limón y Redonda.

En todo el sector litoral que continua hasta la bahía San Lorenzo la costa continúa siendo muy sinuosa con entrantes y salientes que conforman flechas de arena, en algunos casos cubiertas por manglar, en otros sectores existen promontorios de terrazas abrasivas bajas, así mismo destacan las playas de Miches y Sabana de la Mar, las cuales por la orientación que presentan sus costas y la protección ante el oleaje, es favorecida la estabilidad de su perfil acumulativo.

En el litoral hacia el occidente de la bahía de San Lorenzo continúa presente el relieve cárstico de Los Haitises, en el se intercala la cobertura de vegetación de manglar y algunas pequeñas playas (Imagen V.2), entre la morfología de mogotes (Imagen V.3) y acantilados (Foto V.4 y 5). En la costa oeste de la bahía de Samaná son significativas la vegetación de manglar y la desembocadura del Yuna en forma de estuario.

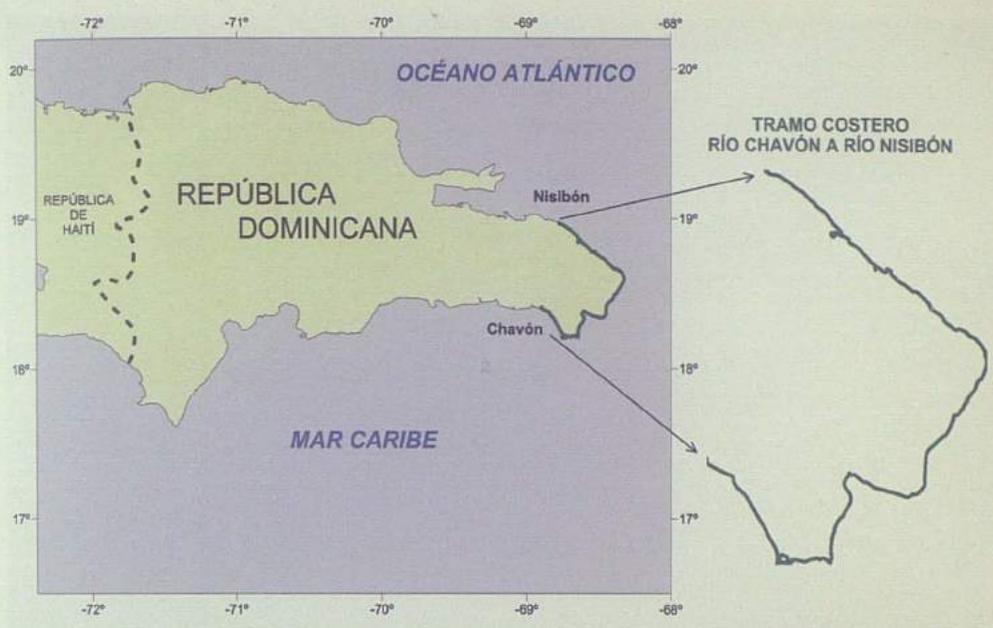


Fig. V.1. Batimetría de la bahía de Samaná. En los sectores marcados con círculos rojos más adelante se detalla la morfología costera.

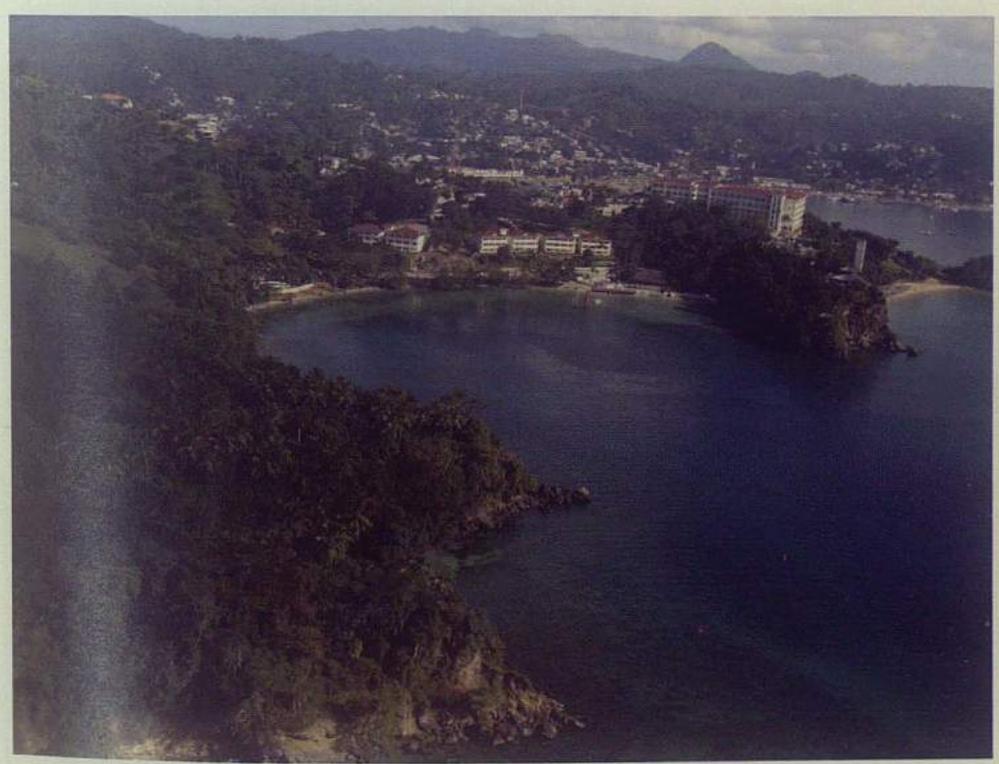


Imagen V.1. Vista aérea de la costa oeste de la entrada de Santa Bárbara de Samaná.



Imagen V.2. Acantilado típico de los Haitises entre los cuales se forman playas.



Imagen V.3. Mogotes de Los Haitises en la zona costera.



Imagen V.4. Vista aérea de un sector de costa de Los Haitises donde se observa la morfología de mogotes que forman acantilados en el litoral.

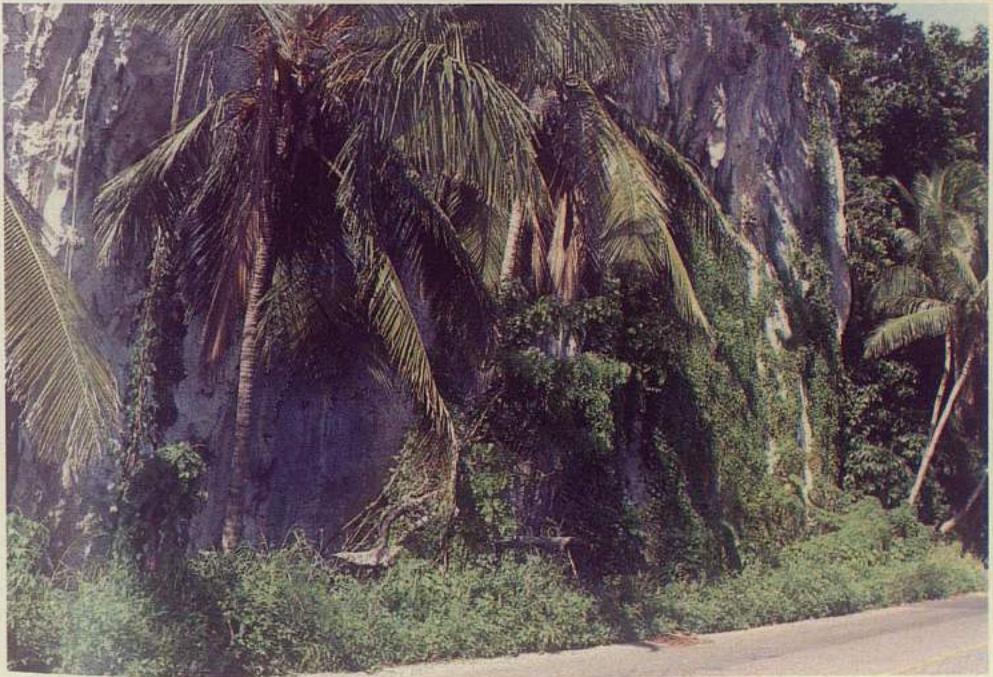


Imagen V.5 Los Haitises. Vegetación típica de esta zona montañosa.

Las montañas de la península de Samaná alcanzan cotas máximas de unos 600 m sobre el nivel del mar. Las calizas del mioceno que la conforman en algunos sectores están intensamente carnificadas, a lo que contribuye la alta pluviometría de la zona, que es de las mayores del país.

En el centro de la sierra afloran los materiales más antiguos, se trata de esquistos metamórficos del Cretácico. En el mapa Geológico General de la República Dominicana 1.250 000 las rocas que conforman la pendiente costera del sector se clasifican como conglomerados tipo Sánchez del cuaternario inferior (neógeno) (Fig. V.2).

Entre las particularidades de los geosistemas del área costera al sureste de la península, destacan la presencia dominante del relieve colinoso, una intensa morfogénesis litoral con diversos procesos acumulativos y erosivos, así como el predominio de un ambiente costero, con persistente influencia de los vientos alisios. Por otra parte, destacan fuertes procesos de pendiente con el desprendimiento de grandes bloques de rocas en la zona costera.

La presencia de pendientes fuertes con coeficientes de almacenamiento hídrico, que descargan grandes volúmenes de agua dulce hacia la costa constituyendo un importante elemento regulador del escurrimiento, el cual ejerce una marcada influencia en el balance interanual de humedad y en el funcionamiento energético del geosistema costero.

Un rasgo distintivo de todo el sistema litoral de la costa norte de la bahía de Samaná es la forma irregular de la línea de costa en la que se alternan entrantes y salientes. Debido a las favorables condiciones de los entrantes para la acumulación de sedimentos, en estos lugares se forman pequeñas playas en forma de conchas o ensenadas separadas entre sí por los salientes rocosos acantilados, los cuales se comportan como estructuras naturales de contención lateral de la arena.

Arroyo Barril

Arroyo Barril es un caso típico del comportamiento sinuoso del litoral, al no llegar el relieve montañoso tan bruscamente a la misma costa se formó en el pasado una superficie superior a 2 metros de altura sobre el nivel del mar de material margoso sobre el cual creció la vegetación costera. En la actualidad se puede observar la erosión a que está sometida por la afloración de las raíces de los árboles frondosos y la caída de los mismos (*Imagen V.6*).

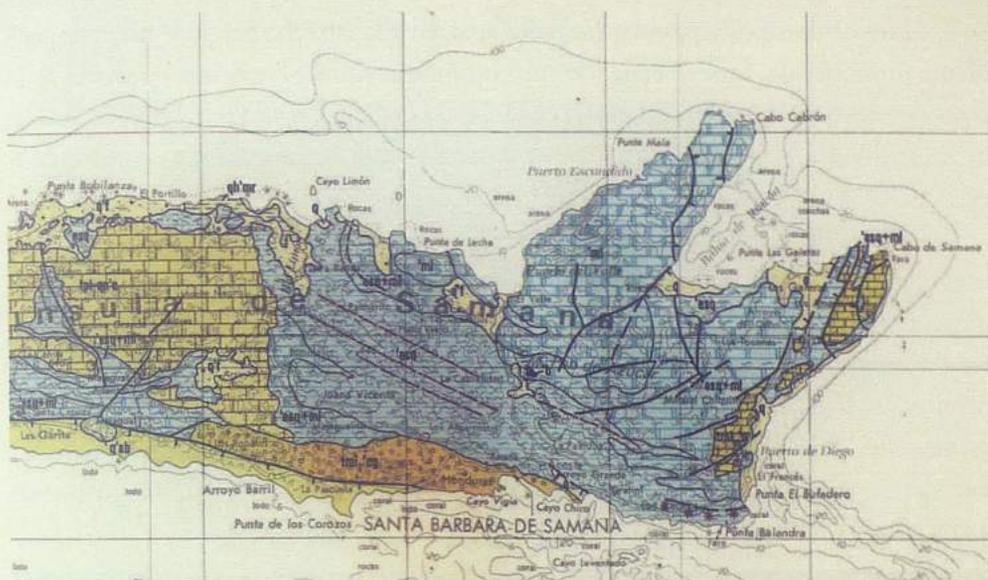


Fig. V.2. Mapa Geológico de la península de Samaná. Fuente: Mapa Geológico de la República Dominicana (1991).



Imagen V.6. Escarpes en la misma costa superiores a los 2 m de altura.

Al frente de los escarpes mencionados aparece una estrecha franja de playa de pendiente pronunciada, que se extiende con morfología similar hacia otros sectores de la costa donde se hace visible la presencia erosiva de la costa por el afloramiento de las raíces de los cocoteros y por otra parte la manifestación de la terraza abrasiva (Imagen V.7) perpendicular a la costa, sostén de la poca arena que logra estabilizarse en la costa.

En el perfil submarino se muestra una pendiente abrupta (Fig. V.3), con relieve irregular, que alcanza los 10 m de profundidad a una distancia de la costa de 750 m desde donde comienza a elevarse nuevamente una estructura arrecifal que alcanza los 8 m de altura sobre el fondo, para situarse a 2 m de profundidad de la superficie del nivel del mar. Esa estructura tiene una morfología que presenta dos elevaciones, la primera descrita anteriormente y la segunda una superficie casi horizontal que se encuentra a una profundidad promedio de 9 m, la cual por su morfología es muy similar a una terraza prearrecifal.



Imagen V.7. Erosión actual en la playa y presencia de la terraza abrasiva en la costa.

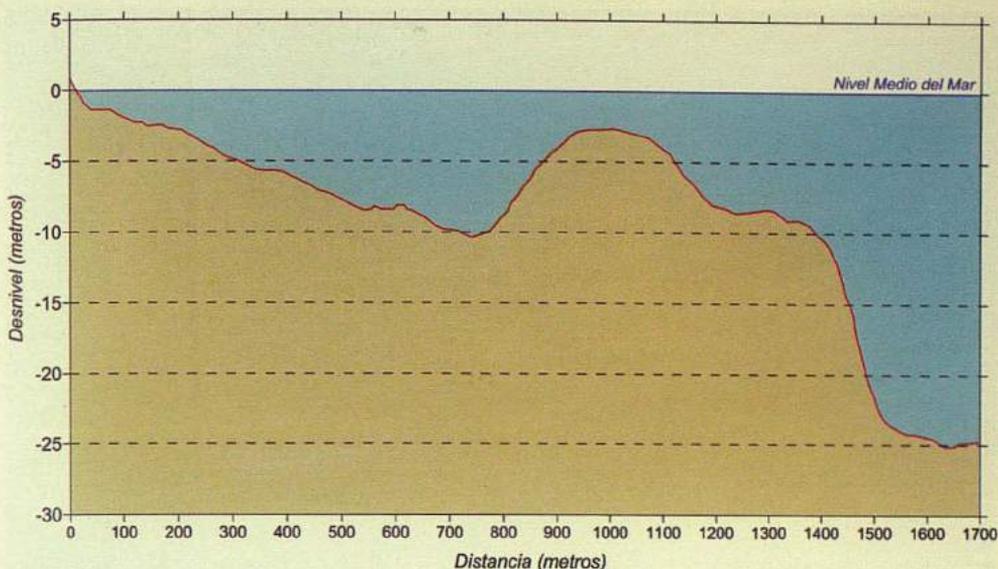


Fig. V.3. Perfil costero submarino de la playa Arroyo Barril.

Ambas elevaciones sobre el fondo submarino tienen un ancho de 700 m y cubren una distancia desde la costa de 1500 m. A esta distancia la pared que las limita hacia el sur cae verticalmente a 25 m de profundidad hasta alcanzar el fondo del canal de la bahía de Samaná. En dirección al este el otro saliente que presenta la costa de envergadura es la Pascuala que al presentar una orientación norte-sur se comporta como una trampa de sedimento que recepciona todo el material que se mueve de este a oeste por la zona litoral (Imagen V.8). En sentido general el litoral continúa con igual comportamiento morfológico hasta su extremo.

Oeste de La Pascuala

En el litoral costero situado al oeste de La Pascuala sobresalen dos ensenadas con una longitud de 160 m, donde se produce un cambio suave de la pendiente submarina. Frente a la playa se presenta un fondo duro, con cantos rodados dispersos que cubren todo el fondo y la presencia de arena se limita a pequeños parches muy aislados, cubriendo algunas depresiones del fondo.

Inmediatamente al este se forma otra ensenada que presenta un nuevo entrante en la costa con una longitud de algo más de 90 m y termina con acumulación de arena y guijarro que queda entrampada con un saliente rocoso y con desprendimientos de gran-



Imagen V.9. Desprendimientos de conglomerados por el efecto de la erosión.

des peñascos (Imagen V.9). La parte emergida de ambas ensenadas es notablemente estrecha y de poca longitud ya que en este sitio las elevaciones de las colinas, comienzan apenas a 10 ó 20 m de la orilla y en sus extremos se acotan por los salientes acantilados. En estas playas predominan las gravas y los cantos rodados, aunque una parte ínfima de este material es de origen marino, el cual es transportado hasta el lugar con el efecto del oleaje, mientras que la otra parte en un porcentaje muy superior proviene de las montañas y llega a la costa como resultado del escurrimiento superficial, ya sea lineal o laminar, y allí se mezcla con los sedimentos marinos.

El litoral sur de la península puede clasificarse como una costa acantilada formada por materiales de granulometría y génesis variada. Tanto la distribución de los sedimentos como las formas de relieve que se desarrollan en la costa están muy relacionadas con las condiciones geólogo-geomorfológicas y con la energía del oleaje.

Los perfiles topográficos realizados en las dos ensenadas para conocer las características geomorfológicas de las playitas muestran que en la ensenada del este (Fig. V.4), el sector emergido de la pendiente es suave y el sedimento que la cubre es de canto rodado mezclado con arena, mientras que la pendiente submarina con poca

inclinación también, aparece un fondo cubierto por seibadal hasta los 50 m de distancia de la costa hasta una profundidad de 0.70 m a partir de la cual se cubre totalmente la pendiente con rocas.

En el perfil de la ensenada del oeste (Fig. V.5) se observa un cambio morfológico con relación al otro perfil en cuanto al ancho de la plataforma y crecimiento de la berma que es más amplia con ligero escarpe e igualmente cubierta por cantos rodados mezclados con suelo. En la pendiente submarina se alternan en el fondo cubiertas de roca y fango hasta los 70 m de distancia de la costa.

El sector se caracteriza por el predominio de costas altas y colinosas con acantilados activos de altura variable. En la base de estos acantilados se observa el desprendimiento de restos de montículos rocosos, el desprendimiento de bloques (Imagen V.10 y V.11) atestiguan sobre la presencia de relictos de erosión diferencial (Imagen V.12), determinados por factores exógenos entre los que se destacan los procesos hidrodinámicos y biogénicos.

La evolución de la costa y su configuración irregular ha favorecido la acumulación de sedimentos en el litoral con una fuerte erosión asociada a la influencia del arrastre por proceso de pendiente muy acentuado y por el efecto del mar en el embate de la zona litoral. La costa de esta área en el sur de la península clasifica como costa acantilada-abrasivo acumulativo aplanada por el oleaje.

En este tipo de costa sobresale en su génesis la morfología de alturas colinosas con presencia de acantilados rocosos, al abrigo de los cuales se forman las pequeñas ensenadas que son receptoras de arena y de cantos rodados (Imagen V.13) provenientes de la destrucción de los conglomerados que la forman.

En su morfología destaca también en el extremo oeste la acumulación de cantos rodados en forma de proluvio o tibaracón, en diferentes estadios, creando un caño de eyección con material arrastrado por las corrientes que se producen en el caño cuando se generan fuertes avenidas.

Este material disperso en el litoral está compuesto por diferentes litologías, lo cual obedece al ingreso no sólo de la pendiente más cercana constituida por rocas sedimentarias como calizas, areniscas, margas y conglomerados, sino que de los depósitos holocénicos situados al oeste pueden llegar también aluviones y en menor cantidad se encontraron rocas metamórficas procedentes de mayores alturas y más alejadas de la costa.

La inmensa mayoría del litoral costero sureste de la península de Samaná está caracterizada por la presencia de conglomerados calcáreos color amarillo asociado con las capas de areniscas del enrocado.

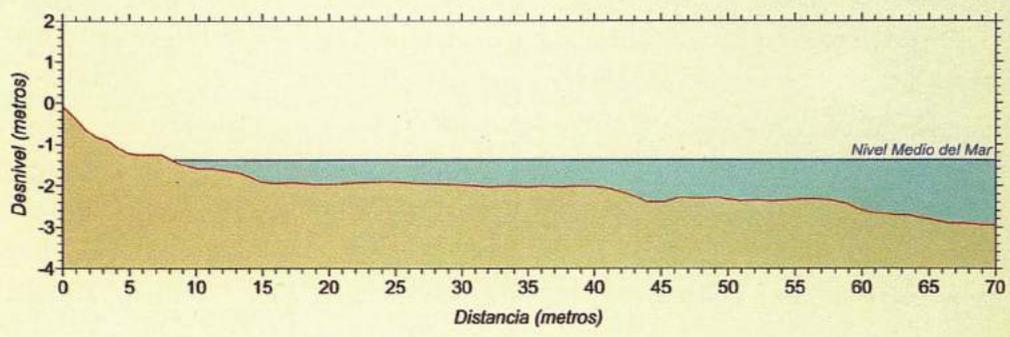


Fig. V.4. Perfil topográfico de la ensenada este.

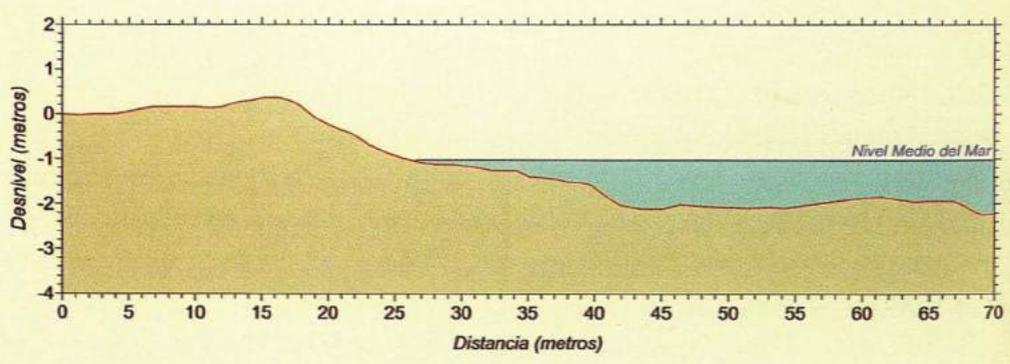


Fig. V.5. Perfil Topográfico de la ensenada oeste.



Imagen V.10. Colina que limita la ensenada con pedazos de bloques desprendidos.



Imagen V.11. Desprendimiento de bloques en la zona costera.



Imagen V.12. Escarpes de erosión en la zona costera aledaña a pesar de que la vegetación típica costera protege la ladera contra la erosión.



Imagen V.13. Caño típico en la península por donde ingresa la mayor cantidad de cantos rodados al sector costero.

En la parte frontal existe un promontorio donde el conglomerado conserva su cementación original, manteniéndola como roca dura y fracturada. De igual forma en toda el área restante el conglomerado ha perdido su cementación original, degradándose hasta un suelo granular residual formado por gravas y arena con algo de finos de baja a nula plasticidad. Como se puede observar por la zona pasa un alineamiento de falla por la misma costa que la corta de este a oeste (Fig. V.6), lo cual puede tener relación con las pronunciadas pendientes que hay en el litoral.

El sector costero se caracteriza por la presencia de una terraza marina cuaternaria con composición de caliza que se originó en el pleistoceno, con diferentes grados de dureza en dependencia de la intensidad de los procesos de intemperismo a los que ha estado sometida. Se trata de geosistemas jóvenes, desarrollados en los litorales costeros que resultan ambientalmente frágiles e inestables, y muy susceptibles ante los impactos humanos.

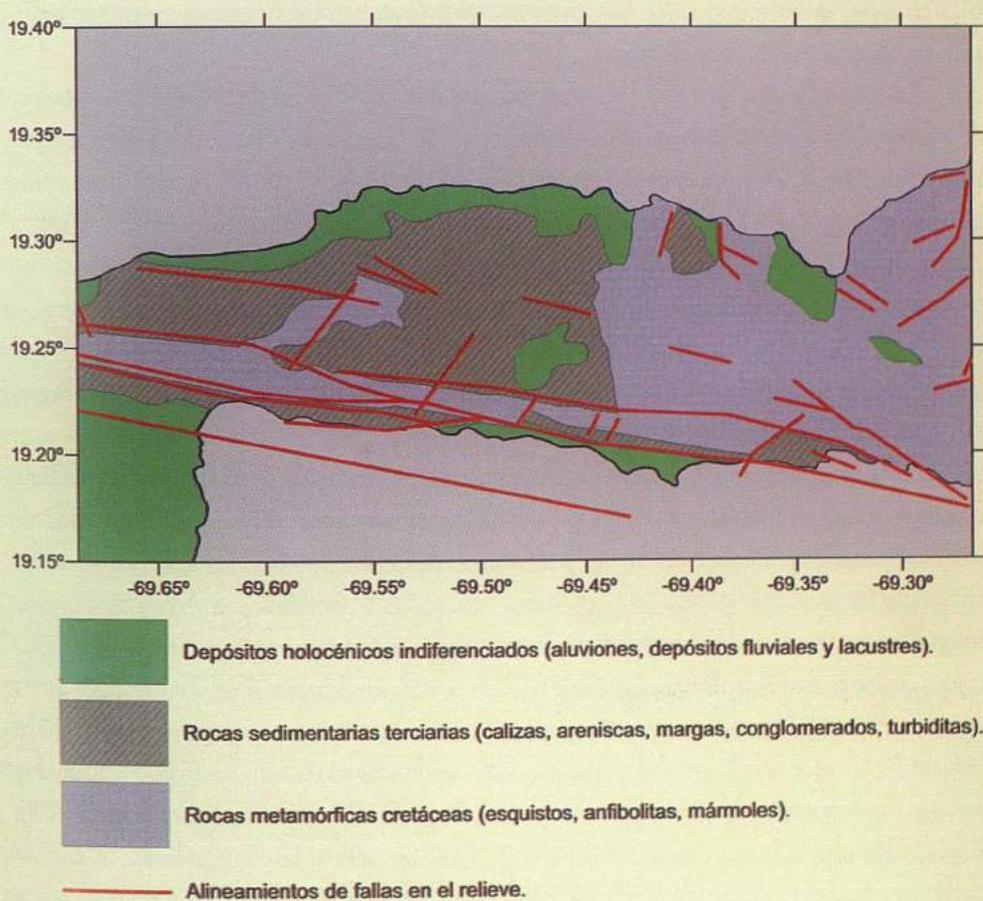


Fig. V.6. Mapa de las principales unidades litológicas de la República Dominicana (escala 1:500000).

En los fondos marinos ingresa el material compuesto por cantos rodados, gravas y fango en grandes volúmenes, distribuyéndose a lo largo de toda la costa y en la pendiente submarina, sobre todo en su pendiente superior entre la línea de costa y hasta el metro de profundidad, tal como se señaló en la descripción de los perfiles topográficos.

En profundidades superiores al metro predomina en el fondo un sedimento fino fangoso que se extiende hasta los 3 m de profundidad. En profundidades superiores a los 3 m, el fondo marino se caracteriza por estar cubierto de *Thalassia Testudinum* y siringollo con manchas dispersas de arena.

La vegetación marina que cubre los fondos fangosos hasta la misma costa en los extremos de la zona es muy densa y prácticamente por encima de ella no se observa movimiento alguno de sedimento. En el fondo marino se observan también superficies descubiertas de vegetación tapizadas por un sedimento fino casi líquido color blanco y por debajo una capa de sedimento negro que aparentemente toma ese color por su composición mineralógica.

En estos fondos marinos de aguas turbias por la cantidad de sedimentos que hay en suspensión se observa poca vida submarina. Las estrellas de mar son las especies que más abundan. En general, como muestra la morfología, el fondo marino tiene una pendiente suave en su zona superior o más cercana a la zona emergida, mientras que a partir de los 6 m de profundidad se localiza a unos 200 m de la línea de costa una pendiente pronunciada. Los 10 m de profundidad se alcanzan, como regla general, a una distancia promedio de 250 m de la costa, a esta distancia y a profundidades que van desde los 6 m hasta profundidades superiores a los 10 m se observan manifestaciones de desarrollo arrecifal muy incipiente.

Por otra parte, resulta significativo que en el relieve submarino exista un reflejo del relieve terrestre en cuanto a las estructuras se refiere, con manifestación nítida de los promontorios o salientes en las profundidades entre los 6 y 10 m justamente al frente de las elevaciones costeras, mientras que en las zonas de las conchas de playa el relieve aparece más deprimido. Estas estructuras submarinas parecen guardar relación también con los alineamientos de fallas mencionados con anterioridad.

En el perfil submarino realizado perpendicular a la costa hasta la profundidad de 40 m (Fig. V.7), aparece una barrera arrecifal situada a unos 300 m de la línea de costa, la cual se levanta desde los 9 hasta 11 m de profundidad. Es significativo en la morfología del perfil la caída brusca de la pendiente desde los 12 hasta los 35 m de profundidad, lo cual se corresponde con el alineamiento de falla, donde se muestra un alineamiento que coincide con esta estructura del relieve, de manera que se confirma lo expresado en lo relativo a la existencia de una relación directa entre el relieve emergido y el submarino. El perfil continúa

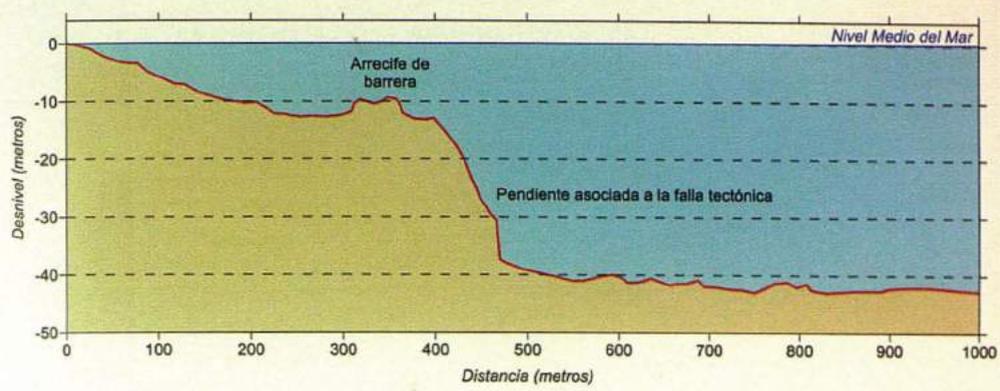


Fig. V.7. Perfil submarino hasta el canal de navegación en el centro de la Bahía.

con una pendiente suave de fondo plano reflejando la presencia del canal de navegación actual que se encuentra a una distancia de 500 m de la línea de costa.

Playa Carenero

La playa "Carenero" se localiza en la costa interior de la península de Samaná. Por su ubicación geográfica, esta playa se encuentra bañada por las aguas del interior de la bahía y está completamente defendida de las olas que se generan en el océano Atlántico, que son las de mayor incidencia en el resto de la costa nororiental dominicana. Una vista aérea de la playa (Imagen V.14), permite describirla como una costa encajada entre dos salientes rocosos que refuerzan la protección frente al oleaje y facilitan la estabilidad de la arena. Una pequeña isla en el extremo oeste de la playa es un elemento distintivo del lugar, que le ofrece un atractivo especial y representa una protección adicional frente a las olas de componente oeste.

El ingreso de los sedimentos a la playa se produce tanto por el efecto de la deriva litoral como por los arrastres de las pequeñas corrientes fluviales que tributan directamente a la playa. En el mapa topográfico de la zona (Fig. V.8) se puede observar que la ensenada de "Carenero" se encuentra en la falda de una zona colinosa que alcanza más de 400 m de altura y que está surcada por numerosos ríos y cañadas.

Cuando estas corrientes descargan al mar sus sedimentos provocan turbidez y limitan las condiciones de baño. Sin embargo, precisamente las fracciones más gruesas de estos materiales son las que finalmente pasan a formar parte del perfil y componen más del 90 % de la arena. La coloración oscura de la arena (Imagen V.15) y su composición mineralógica confirman que los materiales terrígenos son mayoritarios

en el sistema costero. El ingreso de materiales biogénicos al sistema costero es muy pobre y procede básicamente de las zonas de arrecifes y pastos marinos cercanos, ya que las tasas de transporte a lo largo de la costa son muy bajas. En cuanto al relieve submarino de la bahía, es tan complejo y accidentado como el sistema colinoso que existe en tierra.

A pesar de que en la zona exterior de la bahía existen profundidades superiores a los 1 000 m, justo a la entrada de la bahía se produce una brusca elevación de la plataforma y el fondo se encuentra apenas a 30 m de profundidad.

La parte sur de la bahía es menos profunda y abundan los arrecifes coralinos que se alternan con extensas áreas sedimentarias. En la parte central existe un canal que mantiene profundidades entre 20 y 30 metros. Precisamente en este canal es que se establecen con mayor claridad las corrientes de marea. La costa norte de la bahía (donde se encuentra la playa de Carenero) en general es más profunda que la parte sur, pero existe muy cerca de la costa una serie de arrecifes y estructuras rocosas muy accidentadas.



Imagen V.15. Descarga de materiales terrígenos procedentes de los caños. Estos aportes constituyen la principal fuente de ingreso de sedimentos a la playa.

Estos accidentes en la batimetría provocan una atenuación aún mayor de la energía de las olas, lo que resulta conveniente a los efectos de realizar trabajos de regeneración y estabilización de playas. En síntesis, playa Carenero se puede definir como una playa interior, con un régimen hidrodinámico de baja energía donde existen condiciones del relieve favorables para la acumulación de sedimentos terrígenos procedentes de los caños, la erosión de las tierras altas vecinas y en menor medida, restos de organismos bentónicos. Bajo estas condiciones generales, la playa presenta un perfil poco desarrollado donde no existe duna y la parte posterior de la playa es alcanzada ocasionalmente por las olas asociadas a los eventos extremos. Las condiciones de baja energía favorecen que en la pendiente submarina proliferen los pastos marinos. De forma natural, los perfiles de la playa Carenero se nutren de los aportes terrígenos provenientes de las corrientes fluviales que tributan al área. En una proporción mucho menor, también se integran algunos materiales biogénicos producidos en los pastos marinos y arrecifes coralinos de la pendiente submarina.

Al quedar depositados estos sedimentos en un sitio de aguas relativamente tranquilas, se forma un perfil con una pendiente submarina muy suave en la que predominan las arenas de diámetro fino, los limos y las arcillas. Debido a las condiciones de escasa energía y el pobre suministro de arena, el perfil de la playa tiene un pobre desarrollo. La mayor parte de los perfiles sólo tienen una anteplaya o zona de lavado y la postplaya o área de exposición solar está ausente. La playa termina en una franja de vegetación que es la transición natural entre la costa arenosa y la zona montañosa que se encuentran detrás de la playa. En esta franja de vegetación (Imagen V.16) se colecta el agua que escurre de forma laminar por las laderas de las colinas y que luego se encauza a través de pequeños flujos intermitentes hasta desembocar al mar. La vegetación juega un importante papel para evitar el lavado y pérdida de la arena hacia el mar. Al tener una alta capacidad de infiltración, la cobertura de vegetación reduce la posibilidad de formación de corrientes concentradas que son las que provocan los mayores daños. Sin embargo, durante la ocurrencia de precipitaciones intensas, la vegetación no es capaz de colectar toda el agua y se activan los sistemas de cañadas. Al construir la carretera, estas cañadas fueron canalizadas con obras de fábrica para facilitar su descarga hacia el mar y evitar la inundación de las zonas pobladas.

En estos momentos, el escurrimiento concentrado que se produce a través de las cañadas es una de las principales causas de erosión y pérdida de arena de la playa (Imagen V.17). Debido a las pequeñas dimensiones de la playa y al grado de protección homogéneo frente al oleaje, todos los perfiles conservan características similares.



Imagen V.16. Esguerrimiento de agua procedente de las áreas con vegetación que se encuentran detrás de la playa.



Imagen V.17. Desagüe de un caño hacia la parte oriental de Carenero.

Los perfiles del tercio oriental de la playa en todos los casos tienen un ancho de la zona emergida entre 10 y 15 m y se presenta como una pendiente única que es casi completamente lavada durante la marea alta (Imagen V.18). El límite hacia tierra de la playa es una franja de vegetación, que en el Perfil 2 ha sido removida para utilizar el área como parqueo y varadero de las embarcaciones. En cuanto al perfil sumergido, la pendiente es fuerte y en todos los casos a menos de 30 m de la orilla existen profundidades superiores a 1.5 m. Estas características de la playa han sido aprovechadas para construir un embarcadero desde donde salen pequeños yates con turismo hacia Cayo Levantado y con excursionistas durante la temporada de avistamiento de ballenas. Este embarcadero está construido sobre pilotes, no representa una obstrucción al transporte de sedimentos.

En la parte central de la playa la zona emergida es muy estrecha (Imagen V.19) y limita hacia tierra con una especie de duna aplanada cubierta de vegetación. Para todos los perfiles el ancho de la playa emergida es de apenas 10 m y termina en un escarpe de erosión entre 1.5 y 2.0 m de altura. Durante la pleamar, las olas chocan contra la base del escarpe y lavan la arena. En la foto se pueden observar cómo la playa carece de área de sol y las olas bañan toda la suave pendiente de la anteplaya.

En el extremo occidental de la playa (Imagen V.20) se conservan condiciones similares. El ancho de la playa emergida es de 5 a 10 metros y durante la pleamar es lavada por las olas hasta la base del escarpe.



Imagen V.18. Extremo oriental de la playa Carenero.



Imagen V.19. Parte central de la playa Carenero.



Imagen V.20. Vertido de fango y basura en la parte occidental de la playa.

En cuanto a la pendiente submarina, al igual que en el resto de la playa, es muy pronunciada y a sólo 20 ó 30 m de la orilla existen profundidades entre 1.5 y 2.0 m.

El perfil topográfico ubicado en el extremo oeste de la playa enlaza a la costa de Carenero con el punto más próximo de la costa de Cayo Chico. En este lugar existe una elevación rocosa y la profundidad máxima en el centro del canal es de sólo 1.1 m. Tanto la presencia del cayo como la elevación del fondo propician una protección adicional a la playa Carenero frente a las olas del suroeste.

De igual forma, este accidente geográfico sirve en cierta medida para que la arena que se mueve bajo el efecto del pobre transporte litoral quede retenida dentro de la ensenada. En la Imagen V.21 se observa la acumulación de sedimentos en este lugar. Los muestreos realizados confirman el predominio de los materiales terrígenos.

La playa Carenero muestra un relieve submarino extremadamente accidentado y vigoroso (Fig. V.9). La imagen tridimensional del fondo muestra claramente que la playa Carenero ocupa la zona interior de una pequeña ensenada en forma de hoya con una fuerte pendiente próxima a la orilla que conduce a profundidades superiores a 10 m. En dirección al mar, luego de la zona deprimida, se eleva un macizo arrecifal que alcanza hasta 1.5 m de profundidad.



Imagen V.21. Colecta de sedimentos en la playa Carenero.

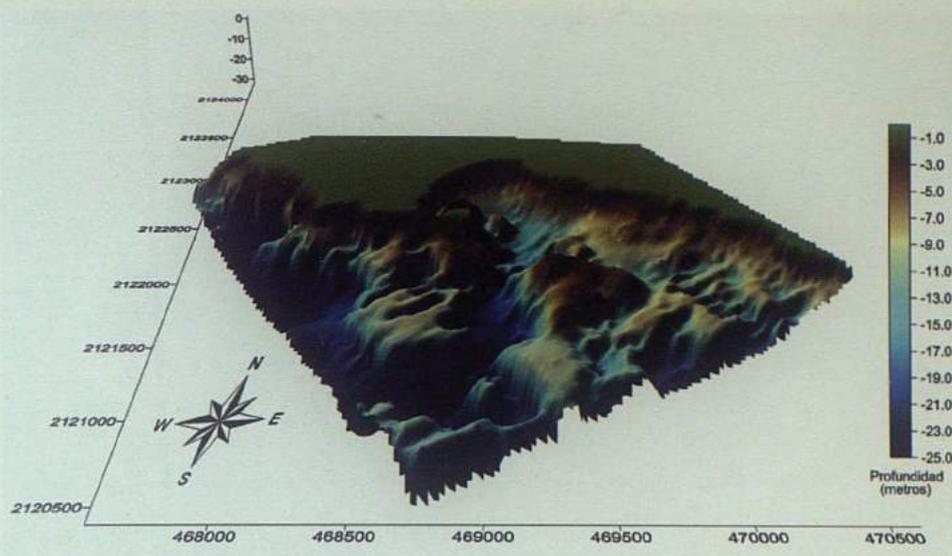


Fig. V.9. Detalle del relieve del fondo frente a la playa Carenero.

En la zona próxima a la playa, la pendiente del perfil submarino va haciéndose más fuerte en la medida que se avanza hacia el oeste, muestran una pendiente relativamente suave que se extiende paralela al borde oriental de la playa.

Sin embargo, en la parte central de la playa, muestra características completamente diferentes. En este lugar la pendiente submarina próxima a la playa es muy fuerte y a unos 250 m de la orilla existen profundidades de 12 m. A unos 300 m de la costa se eleva un macizo arrecifal que alcanza los 6 m de profundidad. La hoya o depresión que se extiende frente a la playa termina a unos 800 m, donde se eleva un potente macizo rocoso que alcanza profundidades inferiores a 2.0 m.

A manera de síntesis, se puede decir que el relieve submarino en la zona de Carenero es extremadamente irregular. Frente a la playa existe una gran depresión que alcanza profundidades desde 10 hasta 15 m. Desde el fondo de esta depresión se levantan algunos cabezos que prácticamente emergen. A unos 800 m de la playa se eleva un potente macizo arrecifal que alcanza los 2 m de profundidad y le sirve de protección frente al oleaje. Por el lado este, del macizo existe un canal de 11 m de profundidad mientras que hacia el oeste se abre otro canal que conduce a profundidades superiores a los 20 m.

Los sedimentos que forman la playa Carenero son fundamentalmente terrígenos y proceden de las descargas de los múltiples caños que desembocan al lugar. También se



Imagen V.22. Fondo submarino con sedimentos de la playa Carenero.

produce un ingreso a partir del transporte litoral paralelo a la costa, con lo que la playa se nutre de los materiales que son arrastrados desde el este.

El análisis al microscopio de una muestra característica de la playa permitió identificar que los principales componentes de la arena son los conglomerados de cuarzo, que representan cerca del 80 %, seguido por las micas, los feldespatos y la sílice que acumulan entre 15 y 18 %. Los restos biogénicos (Imagen V.22) son mínimos (1-2 %) y solamente se identificaron fragmentos de bivalvos y restos de algas calcáreas. En cuanto a la granulometría de los sedimentos de la playa se identifican como arena fina moderadamente clasificada. El diámetro medio (D_{50}) es de 0.15 mm. Dadas las características de la arena, la pendiente de la playa es muy suave en la zona próxima a la orilla y el desarrollo del perfil en dirección al mar sólo está limitado por la fuerte pendiente del talud.

Playa Los Cacaos

La playa “Los Cacaos” se localiza en la costa norte de la bahía de Samaná, unos 5 km al oeste de punta La Palometa. Por su ubicación geográfica esta playa está bañada por las

aguas del interior de la bahía, aunque también recibe la influencia de las olas del este procedentes del Atlántico. En la imagen aérea (Imagen V.23) se puede apreciar cómo la playa se encuentra limitada por el este por el gigantesco saliente de “El Morro de los Cacaos”, que le ofrece protección frente al oleaje, mientras que por el oeste tiene un pequeño apoyo en punta Chingüela. En la Imagen V.24 se observa la belleza del lugar y la armónica combinación que existe entre las elevaciones laterales y la playa que se forma a su abrigo.

Desde el punto de vista geológico, la playa Los Cacaos se encuentra en la falda de una pendiente rocosa de caliza color crema y conglomerado tipo Sánchez, cuya litología se extiende hacia las elevaciones montañosas cubiertas de vegetación que caen con pronunciada pendiente hasta la playa y a través del río y las cañadas.

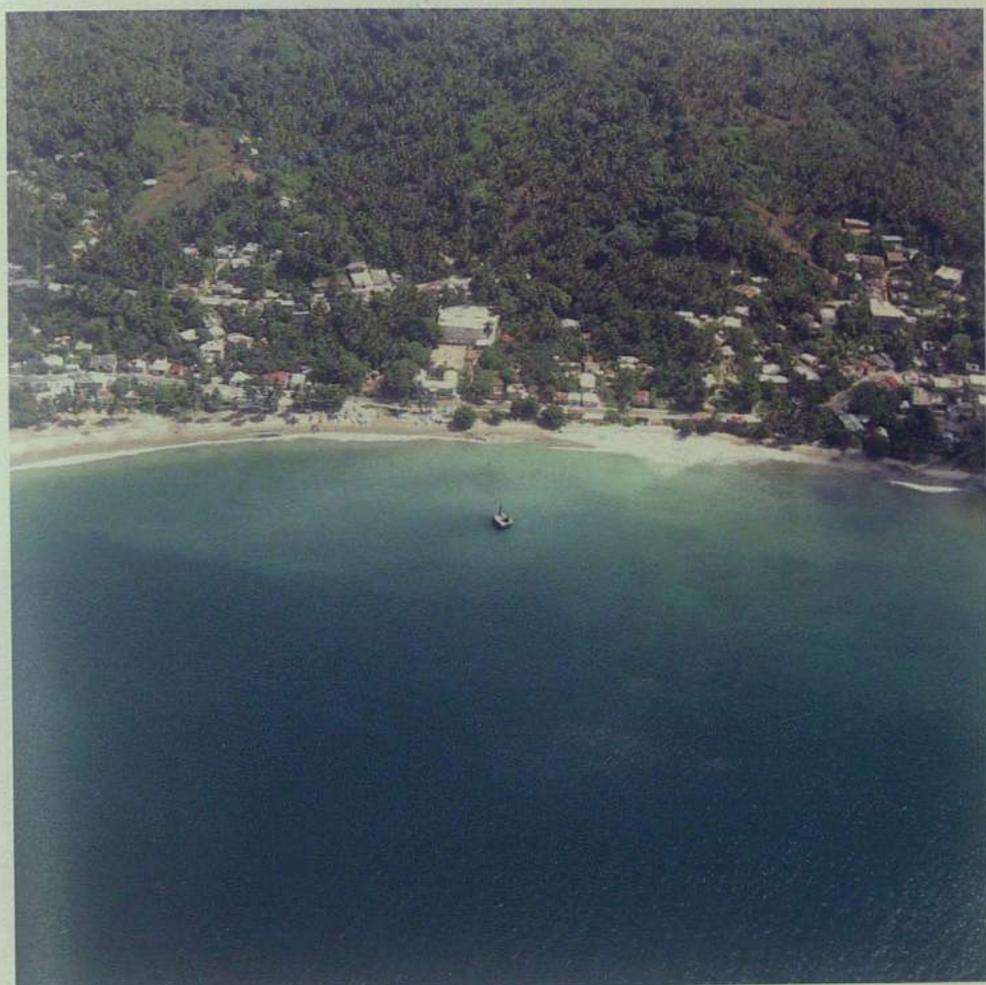


Imagen V.23. Vista aérea de la playa “Los Cacaos”.



Imagen V.24. Vista panorámica de la playa Los Cacaos.

El ingreso de los sedimentos a la playa se produce tanto bajo el efecto de la deriva litoral como por los arrastres de estas corrientes fluviales. En el mapa topográfico de la zona (Fig. V.10) se pueden observar las características descritas, que son comunes para la mayor parte de las costas del interior de la bahía. Cuando las corrientes descargan al mar sus sedimentos provocan turbidez y limitan las condiciones de baño. La más importante de estas corrientes es el arroyo Los Cacaos, que desemboca en el extremo este de la playa (Imagen V.25) y mantiene su caudal de manera permanente.

Como indicador de la elevada energía de las aguas de esta cañada, están los guijarros y rocas que son arrastrados por la corriente en los momentos de fuertes precipitaciones y que luego de ser depositados en la orilla, son trabajados por el mar creando formas acumulativas típicas de áreas con mucha energía. Precisamente la distribución de estos guijarros es un indicador de que durante las tormentas severas, la playa puede sufrir graves afectaciones producto de la acción erosiva del oleaje.

El arroyo Los Cacaos no es la única corriente fluvial que existe en el lugar. A lo largo de toda la playa desembocan caños y arroyos de carácter intermitente, canalizados por debajo de la carretera y cortan la playa para descargar sus aguas en los momentos que se producen lluvias intensas. Estas corrientes, son las responsables del lavado de la mayor



Fig. V.10. Mapa topográfico (1: 50 000) de la playa Los Cacaos y las elevaciones vecinas.



Imagen V.25. Desembocadura del arroyo Los Cacaos, hacia el extremo este de la playa.

parte de la arena de la playa. A pesar de que la playa se localiza en el interior de la bahía, puede ser alcanzada frecuentemente por olas de elevada energía procedentes del océano Atlántico. Esto se debe a que precisamente frente a la costa comprendida entre punta Balandra y punta Los Cacaos, existe una gran depresión muy próxima a la costa donde la profundidad alcanza los 100 m. Hacia el interior de la bahía, esta depresión continúa en forma de canal y se extiende paralela a la playa y a unos 400 m de la costa con profundidades mayores de 20 m.

Este canal constituye el sitio natural hacia donde se dirigen los sedimentos que escapan de la playa y favorece los procesos de erosión. Debido a que el canal presenta profundidades superiores a 20 m, las olas procedentes de aguas oceánicas que se encauzan a través de él llegan a la playa sin sufrir prácticamente deformaciones; además, las pronunciadas pendientes del canal impiden que los sedimentos que han sido arrastrados hasta allí, retornen a la costa en los momentos de calma y por tanto no se favorece el restablecimiento del perfil. En síntesis, playa Los Cacaos puede definirse como una playa interior, con un régimen hidrodinámico de moderada energía, pero que bajo condiciones meteorológicas severas puede ser fuertemente castigado por las olas. En el sitio existen condiciones del relieve favorables para la acumulación de sedimentos terrígenos procedentes de los caños, de la erosión de las tierras altas vecinas y en menor medida, de los restos de organismos bentónicos. Estos materiales forman una estrecha franja de unos 500 m de longitud, que limita hacia tierra con la calle principal del poblado "Los Cacaos" y algunas viviendas o instalaciones comerciales. En estas condiciones, la playa presenta un perfil poco desarrollado donde no existe duna y la parte posterior de la playa es alcanzada ocasionalmente por las olas asociadas a los eventos extremos. Al igual que ocurre en la mayoría de las playas del interior de la bahía, los perfiles de Los Cacaos se nutren de los aportes terrígenos provenientes de las corrientes fluviales que tributan al área. En una proporción mucho menor, también se integran algunos materiales biogénicos producidos en los pastos marinos y arrecifes coralinos de la pendiente submarina.

La mayor parte de los materiales son aportados por el arroyo Los Cacaos, que desemboca hacia el extremo este de la playa. En este lugar pueden encontrarse cantos rodados y guijarros (Foto V.26), que son indicadores de la cercanía de la fuente de aporte, mientras que hacia el oeste los materiales se van haciendo más finos.

Los caños que desembocan a lo largo de toda la playa (Imagen V.27), también constituyen fuentes de aporte y los materiales procedentes del este que son arrastrados por la deriva litoral y logran rebasar el morro Los Cacaos.



Imagen V.26. Acumulación de guijarros y rocas en el extremo este de la playa Los Cacaos.



Imagen V.27. Desembocadura de un caño en la parte central de la playa Los Cacaos.

El esquema de transporte en dirección este-oeste se confirma con el incremento en el ancho del perfil hacia el extremo de punta Chingüela. En correspondencia con este esquema de transporte, la máxima erosión se produce hacia el este de la playa, donde han tenido que construirse muros y defensas de piedra (Foto V.28) para detener el retroceso de la costa, mientras que hacia el oeste se encuentra un perfil poco desarrollado pero estable.

Aunque existen diferencias en cuanto al grado de afectación de los perfiles, en todos los casos se trata de una playa poco desarrollada en la que los perfiles sólo tienen una anteplaya o zona de lavado, mientras que la postplaya, o área de exposición solar, está ausente. La playa termina en el borde de la carretera que se extiende paralela a la costa o en los muros de las casas.

Al construir el poblado y pavimentar sus calles se modificaron los patrones de escurrimiento superficial y se redujo la capacidad de infiltración del suelo, por lo que aumentaron los flujos de agua concentrados hacia la playa. La mayoría de las cañadas fueron canalizadas con obras de fábrica por debajo de las calles para facilitar su descarga hacia el mar y evitar la inundación de las zonas pobladas. En estos momentos, el escurrimiento concentrado que se produce a través de las cañadas es una de las principales causas de erosión y pérdida de arena de la playa, lo que se refleja en la morfología y funcionalidad de los perfiles.



Imagen V.28. Defensas de piedra contra la erosión.

El Perfil 1, ubicado en el extremo este de la playa, es representativo de un área protegida por el promontorio y resguardado por su extremo oriental. En este sitio el rasgo morfológico que lo diferencia de los demás es un levantamiento del relieve en el extremo de la pendiente submarina como si se tratara de una barra arrecifal relictica a una distancia de 40 m de la costa. El ancho de la playa emergida es de unos 10 m con pendiente pronunciada y compuesta por un sedimento arenoso color gris a carmelita claro, de arena fina bien clasificada con pocos restos de moluscos u otros organismos biológicos. Es característica para esta zona de la playa la presencia de abundantes cantos rodados traídos por el río (Imagen V.29).

Los perfiles topográficos 2 y 3 son los que muestran mayores afectaciones producto de la erosión. Esto, además de confirmar la tendencia en el transporte de sedimentos hacia el oeste, constituye un indicador de que, en determinadas condiciones oceanográficas, esta zona puede ser intensamente afectada por las olas. En la zona del Perfil 2, para proteger las casas más cercanas a la costa se han construido defensas de piedra que en la actualidad son sistemáticamente atacadas por las olas.

En la playa caracterizada por el Perfil 3 no se han construido defensas y los escarpes (Imagen V.30) superan en algunos casos los 3 m de altura. En este lugar, algunas viviendas incorrectamente ubicadas sobre la duna están en peligro de ser destruidas por la erosión o por deslizamiento de los escarpes.



Imagen V.29. Ingreso de cantos rodados a la playa.



Imagen V.30. Escarpes de erosión en la zona del Perfil 3. Se observa la proximidad de las construcciones al borde del escarpe.

Tanto en la zona del Perfil 2 como el 3, la playa carece de área de exposición solar y la anteplaya durante la marea baja tiene un ancho máximo de menos de 10 m. Durante la pleamar las olas lavan la base de los escarpes y es frecuente que la playa desaparezca completamente. En este lugar la abundancia de cantos rodados y guijarros es mucho menor que en la desembocadura del arroyo, pero es frecuente encontrar algunas piedras arrastradas por el oleaje o llevadas por el hombre para construir las barreras de defensa. Los perfiles topográficos desde el 4 hasta el 7 no presentan diferencias marcadas en su morfología, con un ancho promedio de sus partes emergidas entre 10 y 20 metros con pendientes suaves (Imagen V.31), mientras que en su pendiente submarina sucede un tanto parecido presentando todos fuertes pendientes sin que aparezca en la morfología la elevación observada en el primer perfil.

Es común observar en la zona emergida de estos perfiles, además de la arena característica de la playa, un fuerte ingreso de cantos rodados provenientes del río y los caños (Imagen V.32), de la destrucción de los muros y el aporte de arrastres por los procesos de pendiente propios de estas montañas. En los perfiles situados hacia el extremo occidental de la playa se observa un aumento del ancho emergido, entre 20 y 25 m, para un ancho superior a los 10 m respecto de algunos de los perfiles anteriores, lo cual se corresponde con la tendencia en el movimiento de los sedimentos en la ensenada que forma la playa.

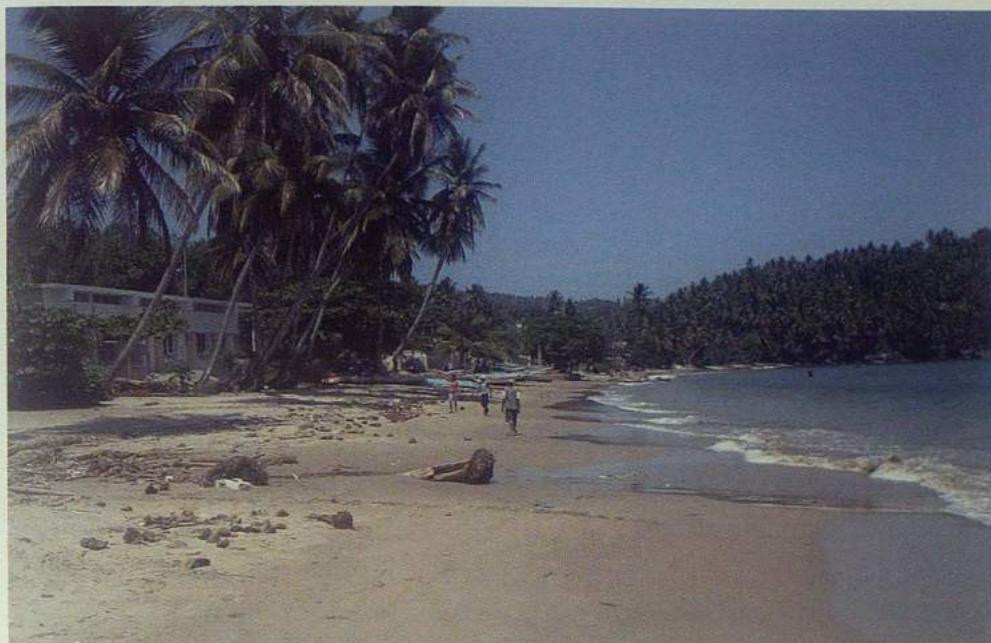


Imagen V.31. Parte central de la playa Los Cacaos.



Imagen V.32. Materiales arrojados a la playa por los caños y corrientes fluviales.

La conformación cóncava del perfil de playa hacia este extremo confirma la etapa de acumulación de sedimentos actual en estos perfiles. Otro rasgo morfológico distintivo de estos perfiles junto con los perfiles situados también hacia el extremo occidental de la ensenada, es que alcanzan la profundidad de los 2 m mucho más cerca que los demás perfiles de la playa. Hacia esta parte de la playa la zona emergida alcanza el mayor ancho con pendiente suave y cubierta de arena bastante desprovista del material grueso (Imagen V.33). Se destaca en todos los perfiles la presencia de sedimento arenoso con cobertura de cantos rodados sobre todo hacia la parte oriental asociados al arrastre del río y los desagües que ingresan considerable material erosionado de las laderas montañosas

En síntesis, en la morfología de la playa Los Cacaos destacan el afloramiento de restos de una barrera arrecifal en la pendiente submarina del perfil 1, la ausencia en la totalidad de los demás perfiles de dicha barrera con pendiente submarina pronunciada, los promontorios rocosos que acotan la playa, en el ancho de la playa emergida que oscila entre los 10 y 25 m y las pronunciadas



Imagen V.33. Extremo occidental con perfil más ancho de playa.

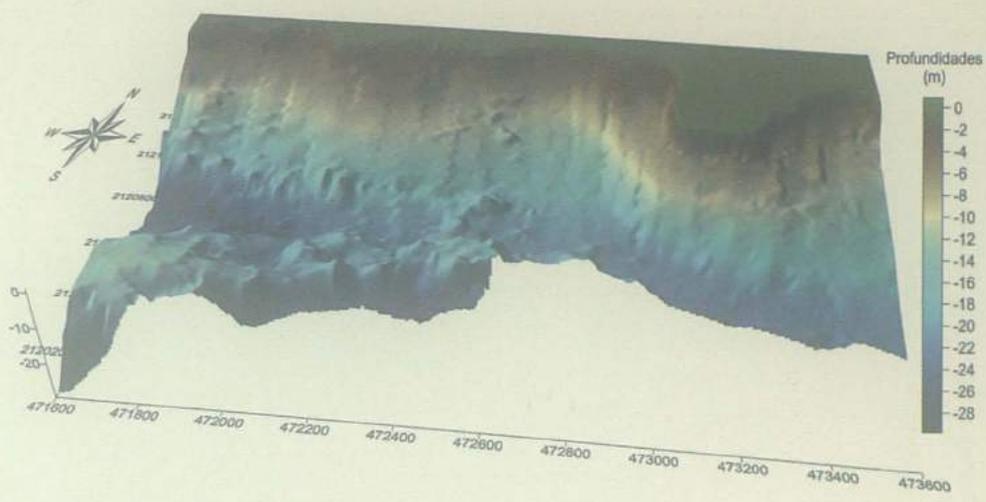


Fig. V.11. Detalle del relieve del fondo frente a la playa Los Cacaos.

pendiente de las laderas de las montañas que la limitan por tierra. La imagen tridimensional del fondo (Fig. V.11) muestra un relieve submarino extremadamente accidentado y refleja la presencia de un profundo canal frente a la playa Los Cacaos que conduce a profundidades superiores a 20 m a muy corta distancia de la orilla.

Hacia la parte oriental, la pendiente submarina presenta una especie de macizo en forma de terraza sobre el que se erige el morro Los Cacaos. Este macizo se observa claramente y representa como una base o pie, que provoca que el relieve submarino a los lados del morro difiera del que existe en las partes central y occidental de la playa. En el perfil tipográfico 21 (Fig. V.12) se identifica con claridad el macizo rocoso que se encuentra al pie del morro y que hace que la pendiente submarina sea relativamente aplanada y somera hasta que cae bruscamente hacia el canal a una distancia de 500 m de la playa. En la parte central de la playa (Fig. V.13), ya no existe influencia de esta especie de terraza y desde la orilla se presenta una pendiente pronunciada y continua que conduce a profundidades de más de 20 metros, donde comienzan a elevarse los arrecifes que rodean a cayo Levantado.

Hacia la parte occidental de la playa (Fig. V.14) existe poca variación con relación a la parte central. En este lugar se mantiene una pendiente pronunciada y monótona desde la costa, que también termina en un canal de más de 20 m de profundidad a partir del cual comienzan a disminuir nuevamente las profundidades en la medida que nos acercamos a las aguas someras de cayo Levantado.

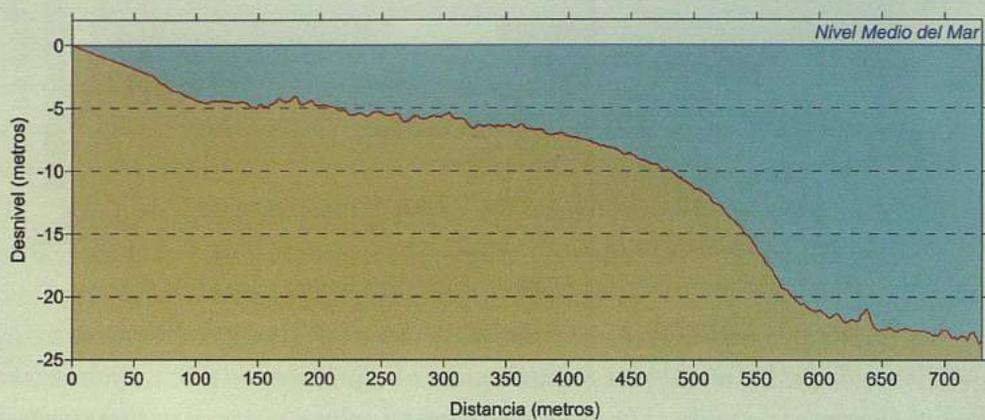


Fig. V.12. Perfil submarino del extremo oriental de la playa.

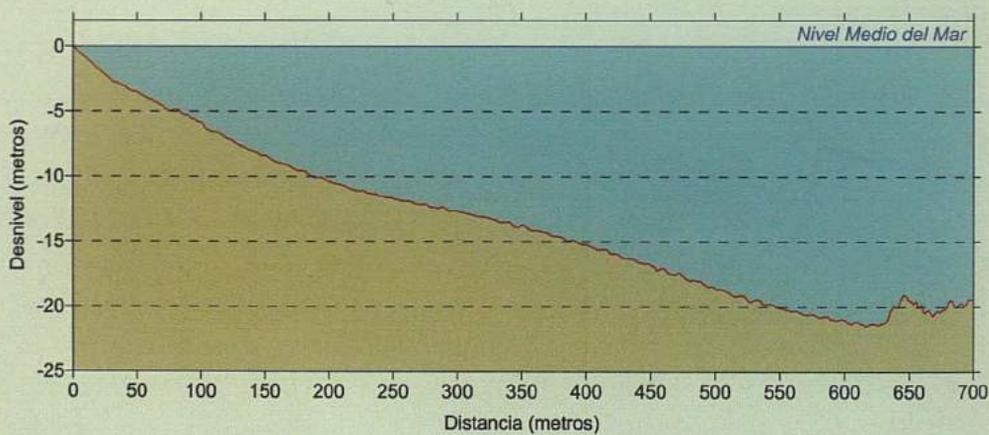


Fig. V.13. Perfil submarino de la parte central de la playa.

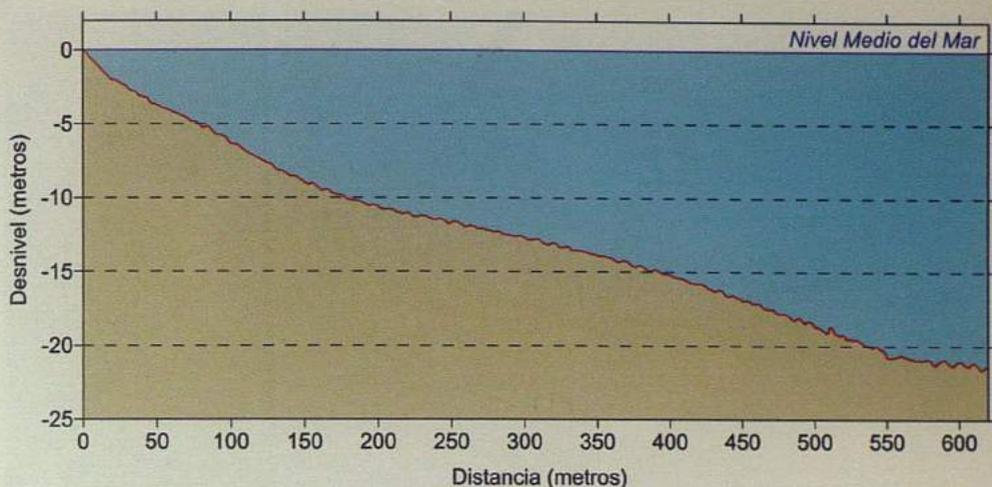


Fig. V.14. Perfil submarino de la parte occidental de la playa.

De forma general se puede decir que el relieve submarino frente a la playa Los Cacaos se caracteriza por ser abrupto (particularmente en la zona más próxima a la orilla). El elemento más significativo es el canal que se extiende paralelo a la costa y que alcanza una profundidad de más de 20 metros, lo que favorece que la costa pueda ser ocasionalmente alcanzada por olas de elevada energía. La playa Los Cacaos está formada por sedimentos casi exclusivamente terrígenos. Como se ha mencionado, las principales fuentes de aporte son los arroyos y caños que descargan a la playa el escurrimiento sólido de las zonas colinosas. El análisis al microscopio de una muestra tipo de la arena de la playa permitió identificar que los cuarzos están representados en un 50-60 %, el sílice en un 20-30 % y las micas en un 5-10 %, a lo que se suman algunos restos variados de minerales. La ausencia de sedimentos biogénicos parece estar relacionada con las fuertes pendientes que existen frente a la playa y que no permiten el ingreso de los materiales producidos por las comunidades bentónicas. Para la caracterización granulométrica de la arena se tomó una muestra en la parte central de la playa (Imagen V.34). Teniendo en cuenta que no existe postplaya y en la pendiente submarina el fondo está cubierto por un tupido seibadal, la muestra se colectó en la anteplaya o zona de lavado, que además constituye el punto más representativo del perfil. Como resultado del tamizado en seco de la muestra, se determinó que los sedimentos de la playa (fracción arenosa) clasifican como arena fina moderadamente seleccionada. El diámetro medio (D_{50}) es de 0.236 mm. A la salida de la bahía de Samaná se observa desde varios ángulos la presencia de cayo Levantado (Imagen V.35) como un relicto morfológico de la antigua línea costera en el cual aparece reflejado el mismo tipo de costa con sectores abrasivos y acumulativos, con playas de perfil estable al recibir un ingreso constante de arena producida en su pendiente submarina.



Imagen V.34. Parte central de la playa Los Cacaos. Punto seleccionado para la toma de muestras de arena.



Imagen V.35. Cayo Levantado se yergue cual centinela en la entrada de la bahía de Samaná.

Bahía de Rincón

Saliendo de la bahía de Samaná hacia el norte destacan en la zona litoral, en primer lugar, los escarpes acantilados de la costa al sur de cabo Samaná (Imagen V.36) que por los niveles de terraza que presenta su origen parece estar asociado a alineamientos de fallas. Frente a estos acantilados, al igual que en todo el este, la pendiente submarina cae bruscamente desde punta Balandra y en segundo lugar la configuración morfológica y amplitud de la bahía de Rincón posibilita la formación de la playa Las Galeras en el interior de la bahía.

La bahía en sentido general presenta un fondo muy bajo con cabezos arrecifales y poblado de fanerógama marina, sus profundidades alcanzan hasta los 25 m desde donde cae a pico al talud en la entrada. Resulta significativo la presencia de bancos de arena de gran espesor entrampados entre estructuras arrecifales entre los 18 y 22 m de profundidad. La playa Las Galeras (Imagen V.37) esta protegida por barreras de arrecifes que a su vez son las responsables de abastecerla de sedimento biogénico marino predominantemente, además del sedimento procedente de los cabos que la acotan (Imagen V.38) y elevaciones cercanas. El fondo bajo de esta bahía regularmente esta cubierto por fanerógama marina. La playa forma un perfil con pendiente suave en su parte emergida y submarina.



Imagen V.36. Escarpes acantilados de la costa al sur de cabo Samaná.



Imagen V.37. Playa Las Galeras vista desde varios ángulos en la bahía de Rincón.



Imagen V.38. Nivel de terraza costera abrasiva que acota la playa Las Galeras.

Costa norte de la península de Samaná

En dirección hacia el occidente de cabo Cabrón, el cual presenta, al igual que cabo Samaná, costas escarpadas con acantilados asociados a estructuras de fallas tectónicas, aparece la playa El Valle, ubicada en la costa norte de la península de Samaná en el noreste de la República Dominicana, la playa se encuentra expuesta a las aguas del océano Atlántico. La franja costera de la región se caracteriza por la alternancia de farallones rocosos con excelentes playas formadas al abrigo de las montañas y abastecidas de arena por ríos de corto curso, pero intenso caudal en época de lluvias.

Las barreras arrecifales forman en la mayor parte del litoral prolongadas estructuras rocosas que funcionan como rompeolas naturales frente a las marejadas, garantizando las condiciones apropiadas para el uso recreativo de las playas, incluso en períodos de fuertes marejadas. De manera singular sólo el frente de 1 km de costa que conforma la playa El Valle se encuentra desprovisto de arrecifes naturales, lo que provoca que la rompiente de las olas sobre la orilla haga peligrosa el área de baño aún en momentos de calma.

Desde la playa El Valle, hacia el oeste continúa una costa muy sinuosa con cambios bruscos en la orientación de la línea de costa con grandes extensiones costeras de playas que intercalan con manglares fuertemente desarrollados, en la mayoría de estas playas la erosión esta asociada, además del fuerte oleaje, a la ausencia de dunas, ocupado ese espacio por la vegetación de manglar.

Resulta significativa para todo este litoral una pendiente submarina suave con arrecifes coralinos y relieve irregular con surcos perpendiculares a la costa. Este comportamiento es muy similar tanto en la playa El valle como en las Terrenas y Puerto Bonito. Los perfiles (Fig. V.15) de la playa de Puerto Bonito y las fotos V.39, 40, 41, 42, 43, 44 y 45) tomadas en la playa, y al oeste de la misma, muestran las características del relieve submarino, el cual esta marcado como toda la costa norte de la península de Samaná por barreras arrecifales, surcos perpendiculares a la costa y relieve positivo además de formas relictas en el relieve que aflora a lo lejos de la costa con montículos rocosos en forma de alineamiento. Resulta significativo también el afloramiento rocoso en la misma costa y la marcada erosión actual del litoral costero.

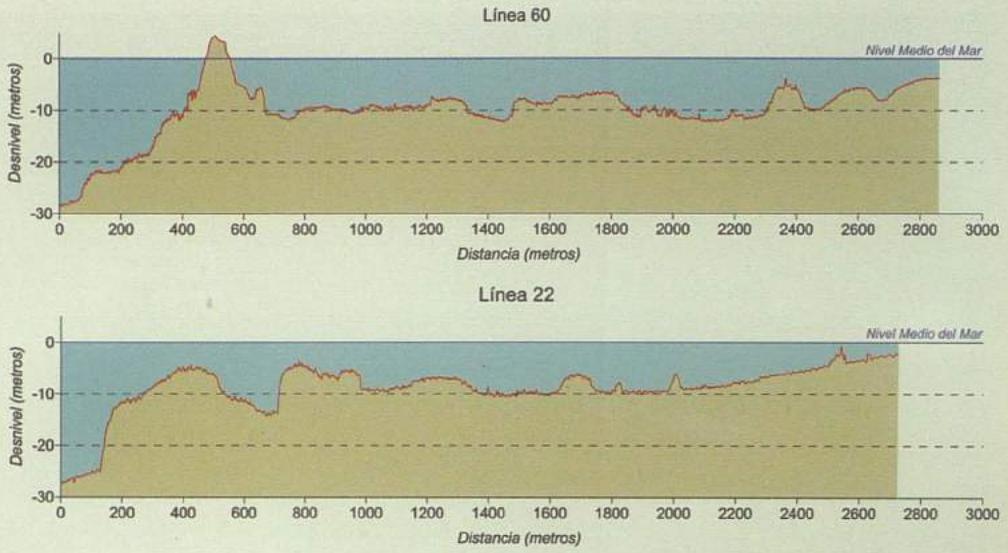


Fig. V.15. Perfil norte-sur en la playa Puerto Bonito.

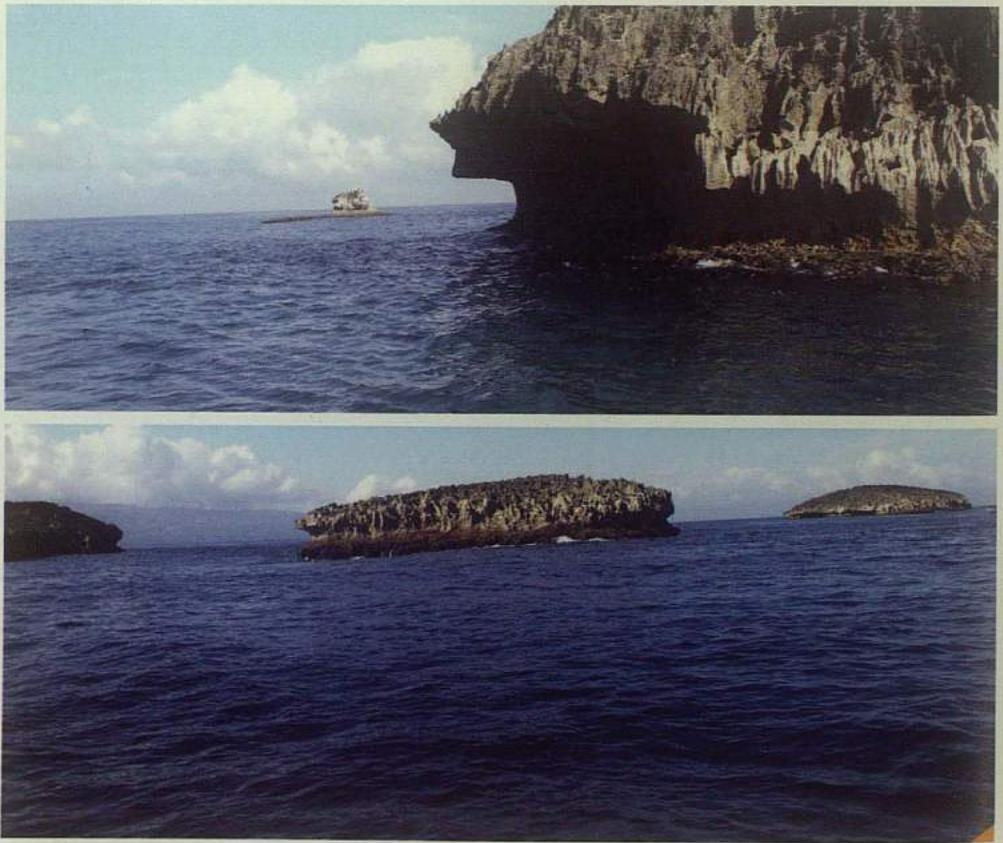


Imagen V.39. Afloramiento de restos rocosos alejado de la costa en alineamiento.

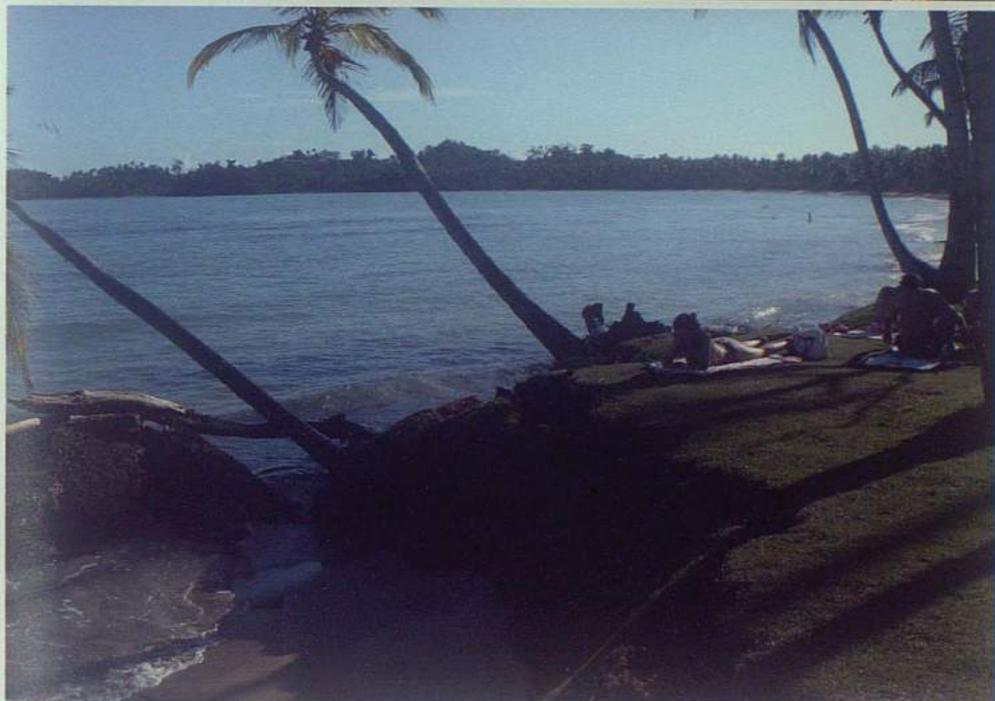
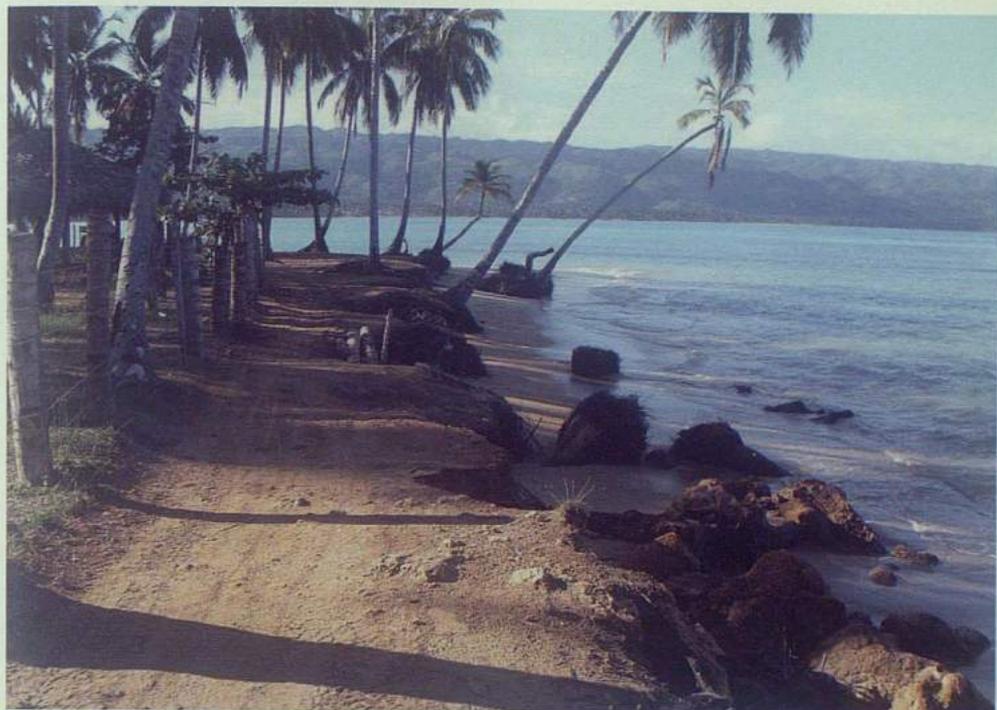


Imagen V.40. Presencia marcada de la erosión en la zona costera en toda la costa norte de Samana.



Imagen V.41. Al oeste de Puerto Bonito, además de erosión afloran montículos rocosos en todo el litoral.



Imagen V.42. Litoral costero sobre superficie acumulativa aplanada por el oleaje formado por playas y manglar en la costa norte de Samaná.



Imagen V.43. Ingreso de arena al manglar produciendo un cambio morfológico paulatino de la costa.

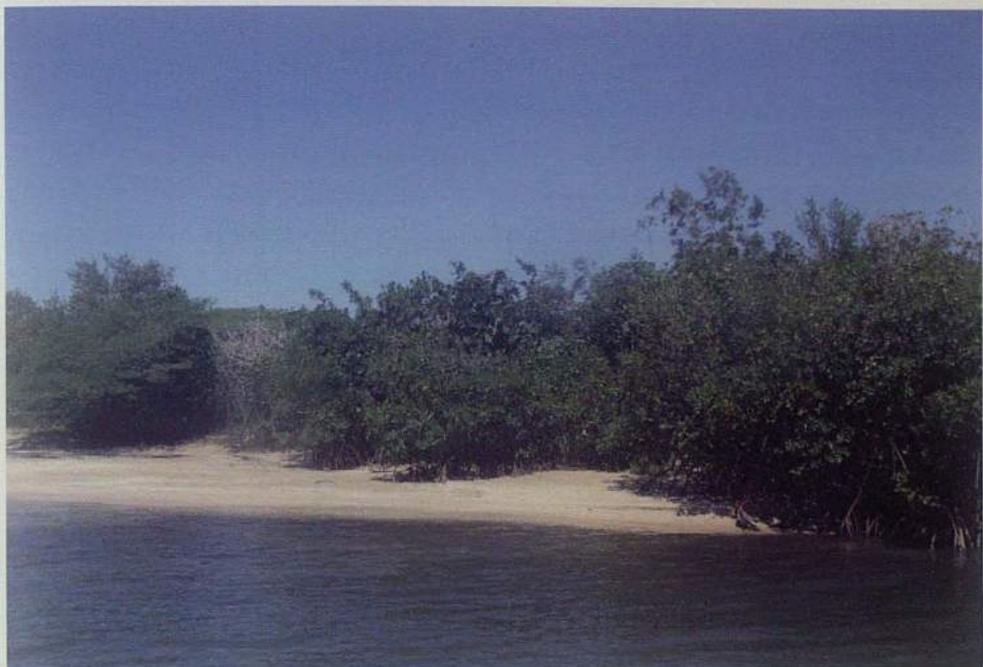


Imagen V.44. Tramos costeros donde se combinan playas y sectores de manglares.



Imagen V.45. Erosión en la costa por la salida de agua de las lagunas interiores en momentos de fuertes precipitaciones.

Playa Nagua

La costa este de la provincia María Trinidad Sánchez, bañada por los ríos Nagua y Boba, es una extensa playa formada por una planicie baja costera de origen acumulativa, a veces acotada por pequeños sectores de litoral abrasivo bajo (Imagen V.46), que por la disposición de la costa recibe el embate directo de las olas provenientes del este. Esto incide en que a pesar de que hay sectores donde la playa alcanza un ancho considerable, más de 40 m, no llega a formarse dunas ni a conformarse un perfil de playa completo (Imagen V.47).



Imagen V.46. Otra vista de costa baja abrasiva en Nagua.

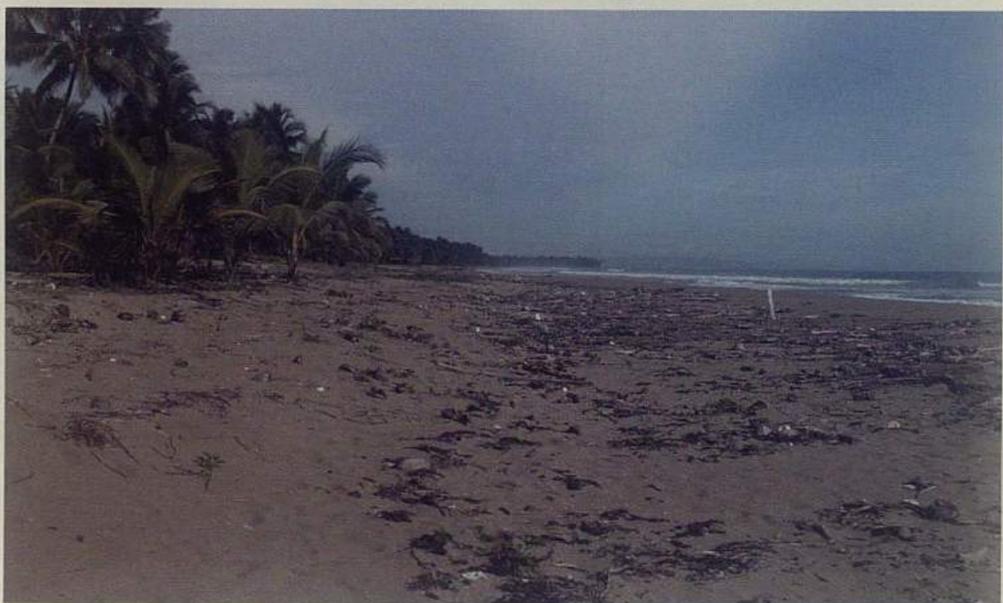


Imagen V.47. Vista general de la playa de Nagua con fuerte oleaje y sin presencia de duna.

Capítulo VI

Tramo costero río Boba-río Dajabón (Masacre)

El tramo costero que ocupan las provincias del noroeste del país incluye en su morfología las bahías de Puerto Plata y Luperón, así como las playas Magante, Bahía Príncipe, Sabaneta de Yásica, Cabarete, Sosúa, Dorada, Long Beach, Punta Rusia y las



Fig. VI. Ubicación del sector costero.



Imagen VI.1. Al frente acantilados rocosos que protegen la arena en la costa y en el fondo una extensa playa.

playas Juan Bolaño y Costa Verde, entre otras. De igual forma sobresale El Morro de Montecristi por su majestuosidad y protección que ofrece al desarrollo del manglar en su entorno sur. Los numerosos ríos de la zona litoral, entre los que destacan río Boba, San Juan, el Yásica, Camú, Joba y el Yaque del Norte, tienen marcada influencia en los aportes de sedimentos a todo el sistema costero y en la dinámica del litoral en dependencia de la orientación de la zona costera. El río Yaque del Norte de igual forma influye con aportes significativos a las playas Juan Bolaño y Costa Verde.

El cabo francés viejo se levanta como un promontorio rocoso abrasivo de altura variable que con la inflexión que forma la costa da paso hacia su extremo oeste a playa Grande, una playa encajada y protegida entre estructuras acantiladas que junto a una pendiente suave y aporte de sedimento aceptable mantiene un perfil estable (Imagen VI.1). La pendiente submarina frente a la playa es suave e inmediatamente comienza a caer el perfil desde los 14 m hasta profundidades que van desde los 18 hasta más de 30 m. Alejado de la playa hacia el oeste, entre 1 y 2 km frente a los acantilados que forma la costa de hasta 12 metros de altura, aparecen en la pendiente submarinas cuencas de arena que a juzgar por la composición y textura de sus granos son de formación in situ, a su vez receptoras de la arena que se pierde de playa Grande al encontrarse deriva abajo de la misma.

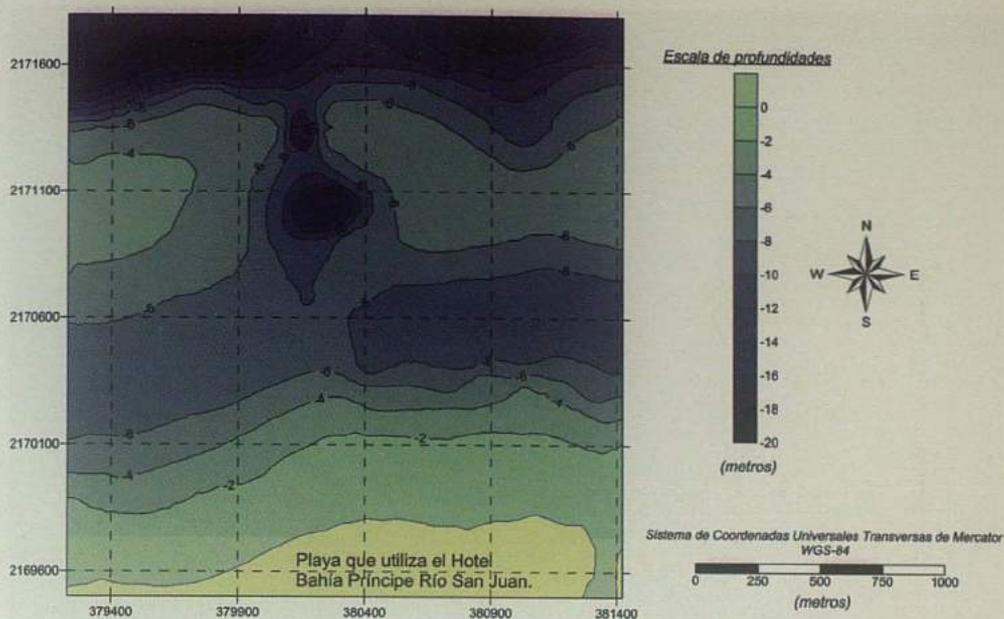


Fig. VI.1. Batimetría de la playa Bahía Príncipe.

Bahía Príncipe

A continuación la costa abrasiva alta se prolonga casi hasta la desembocadura del río San Juan donde se forma una playita de origen terrígena y la costa continúa baja acumulativa hasta la playa Bahía Príncipe.

Como se muestra en la batimetría de la playa Bahía Príncipe (Fig. VI.1) sus características más peculiares en el orden morfológico son su poca profundidad en el perfil submarino con la presencia de barreras coralinas muy cercanas a la costa, que si bien protegen el litoral de la erosión contribuyen también a que parte del sedimento que debía ingresar procedente del río San Juan se vaya por fuera de dicha barrera.

La costa al oeste de la playa Bahía Príncipe continúa muy similar a la costa de la bahía Escocesa, con pendiente suave y alimentada por este río con arena mezclada de génesis terrígena y biogénica carbonatada de la pendiente submarina.

De manera que toda la costa norte de la provincia Espailat, bañada por los ríos Yásica y Joba e influenciada por los aportes proveniente del río San Juan al este y de la barrera coralina frente a playa Grande, son las fuentes naturales de ingreso de sedimentos al sistema de playa. Antes de llegar a playa Cabarete se observa una costa sinuosa con entrantes y salientes con formación de dunas de arenas que a pesar de su magnitud dejan ver el efecto de la erosión (Imagen VI.2).



Imagen VI.2. Costa sinuosa acumulativa con playas de arena en la bahía Príncipe que se extiende hasta playa Cabarete.

Playa Cabarete

“La playa desde el punto de vista geológico se caracteriza por la presencia de un fundamento de rocas efusivo-sedimentarias (flysh), compuesto por areniscas, margas, argilitas y conglomerados del eoceno-oligoceno medio, que aflora en el tercio superior de la cuenca de los ríos Yásica, San Juan y Joba; y hacia el tercio medio e inferior de los dos últimos; dando lugar a un relieve montañoso muy diseccionado, con alturas que pueden alcanzar hasta 1000 m en la cordillera septentrional” (*Estudio de factibilidad*, 1998).

La playa Cabarete (Imagen VI. 3), con una extensión de 2.5 km, presenta una configuración en forma de ensenada protegida contra el oleaje por una barrera arrecifal en su zona costera emergida, tiene dos sectores perfectamente diferenciados, con ausencia de dunas en el oriental y dunas de cuatro metros de altura fuertemente erosionadas hacia el occidental (Imagen VI.4).



Imagen VI.3. Vista aérea de la playa Cabarete y su entorno costero.



*Imagen VI.4. Vegetación de la duna en la playa Cabarete, *Coccoloba uvifera* (Uva de playa) y *Scaveola plumieri*.*

La barrera arrecifal que franquea la ensenada es discontinua, y en numerosos lugares llega a extenderse hasta la profundidad de 5 m y alcanza un ancho considerable. Ella yace sobre una superficie abrasiva que se conecta a la misma costa en ambos extremos de la ensenada, elemento morfológico observado a lo largo de todas las playas de la costa norte de República Dominicana.

Los sedimentos más finos se observaron en la pendiente submarina oriental de la ensenada, la cual se encontraba protegida a la sombra de los espigones situados en punta Cabarete, así como por la barrera arrecifal que en parte aflora en el lugar.

En la ensenada, la distribución de los sedimentos de arena fina muy compactada es de forma general homogénea, aunque hacia la zona occidental el sedimento es más grueso, poco erodado, con restos de corales asociados a la presencia de una superficie abrasiva en el límite arena-roca de la pendiente submarina.

La composición del material sedimentario que nutre la playa es de origen terrígeno, encontrándose restos biogénicos sólo en los alrededores de la barra coralina en granos gruesos que no llegan a ingresar en la pendiente emergida de la playa al perderse en la deriva litoral. La pendiente submarina en esta parte muestra discontinuidad en el perfil sedimentario con el afloramiento de una superficie rocosa abrasiva entre 2 y 3 m de profundidad (Fig. VI.2), coincidiendo con esta superficie abrasiva se produce la segunda rompiente del oleaje que llega con dirección perpendicular a la costa, fundamentalmente en el extremo occidental costero de la playa donde está el Ranchón de Punta Goleta, produciendo los escarpes de erosión más desarrollados de la playa antes de los vertimientos artificiales de arena de 2006.

En sentido general, la pendiente submarina del sector de playa Cabarete es suave, así lo atestiguan las nivelaciones topográficas y exploraciones mediante buceo autónomo. Dicha pendiente favorece la estabilidad del perfil en la zona oriental de Cabarete, la cual está condicionada por la orientación de la línea de costa y por la presencia del promontorio rocoso que aflora en la parte submarina, que se comporta como barra de contención favoreciendo la protección natural de la playa.

El ingreso de arena transportada por el viento hacia la playa resulta una importante vía de ingreso, contribuyendo en particular a mantener la estabilidad del sector oriental a pesar de la fuerte antropización con construcciones turísticas y de otros fines. En ese sector el perfil de la playa presenta un ancho de 30 m en la parte emergida y se mantiene con esas características hasta la parte central, donde está ubicado el hotel Estrella de Mar (Fig. VI.3). Hacia el oeste del mencionado hotel la pendiente submarina varía ligeramente con relación al este y el ancho de la playa disminuye con la presencia de fuertes escarpes en las dunas.

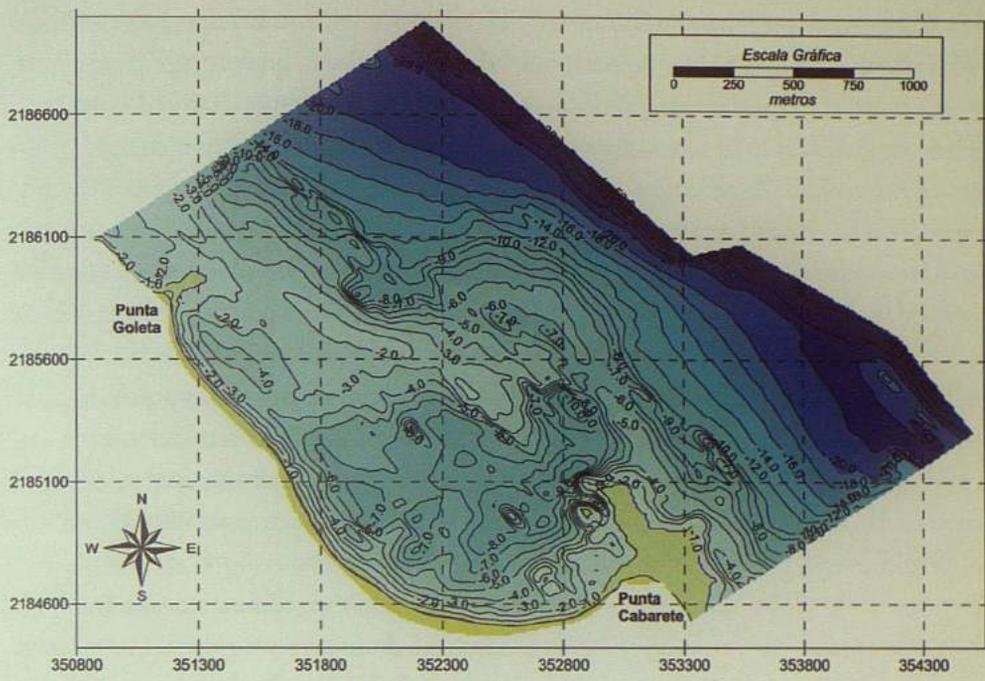


Fig. VI.2. Mapa batimétrico de la playa Cabarete.

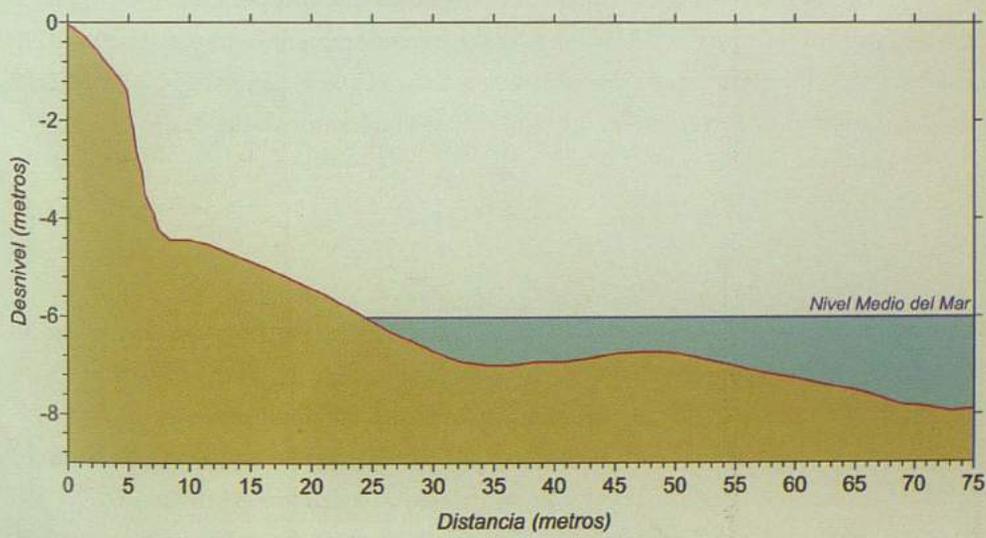


Fig. VI.3. Perfil de la playa al oeste del hotel Estrella de Mar.

En la ensenada de Cabarete existe un sector de playa de unos 300 m de longitud, que se distingue por pronunciados escarpes de erosión en la duna. Las características morfodinámicas de la playa muestran que la barrera arrecifal, que protege la ensenada, se encuentra abierta en su parte central con una extensión de unos 300 m de ancho y 9 de profundidad. Esto provoca que las olas arriben a la playa con mayor energía y sean las responsables de la marcada erosión que se observa en la duna, convirtiéndose de hecho, el mencionado canal, en una posible vía de fuga de sedimento en los momentos de máxima erosión en la playa. El pobre desarrollo de los corales, observado y corroborado en la composición de las muestras de sedimentos de la playa, con ausencia de restos coralinos, parece estar asociado a la turbidez del agua provocada por el acarreo de sedimentos en suspensión en esta zona. El comportamiento morfodinámico de playa Cabarete, independientemente de las peculiaridades que la diferencian del sistema costero norte, evidenciaba que existía un déficit actual de ingreso de material terrígeno, a partir de los índices de erosión mostrados, sobre todo en su parte occidental antes de los vertimientos artificiales de arena.

Los sedimentos más finos se observan en la pendiente submarina oriental de la ensenada, la cual se encuentra protegida a la sombra de la barrera arrecifal que en parte aflora en el lugar, en tanto que hacia la zona occidental el sedimento es más grueso, poco erodado, con restos de corales asociados a la presencia de una superficie abrasiva en el límite arena-roca de la pendiente submarina. El material que conforma la playa está muy bien clasificado o sea la generalidad de los granos que componen la muestra están bien agrupados alrededor del valor medio. El volumen de material arenoso arrastrado por la deriva litoral no garantiza el mantenimiento de las playas y esto se debe a que los ríos han disminuido sus aportes y se ha intensificado la acción erosiva del oleaje.

Playa Sosúa

Playa Sosúa, con una extensión de 1 km, encajada en una ensenada y protegida por un acantilado de 10 m de altura, muestra la clásica tipología de costa acantilada con la playa delante en forma de ensenada, que por su naturaleza tiende a mantener la estabilidad de su perfil natural. El afloramiento de una superficie rocosa en la parte central y los socavamientos en los lugares donde se instalaron estructuras constructivas en la playa para diferentes usos, responden a la morfología costera y a la acción antrópica. En los extremos de la playa la pendiente submarina está cubierta por arena, mientras que en la parte central aflora la roca, lo que puede estar asociado a la elevación de la

estructura rocosa del lugar. La morfología submarina frente a la playa muestra como peculiaridad más sobresaliente, la presencia de una potente barrera arrecifal (Fig. VI.4) que le sirve de defensa ante el fuerte embate del oleaje, lo cual contribuye a la estabilidad de la playa. En el extremo más alejado del macizo arrecifal se desarrolla, entre 22 y 6 m de profundidad una pared vertical colonizada por corales. Desde esta última profundidad pasa a una superficie aplanada de aproximadamente 170 m de ancho, cortada por un surco paralelo a la línea de costa. Desde los 6 m hasta alcanzar el metro de profundidad, asciende nuevamente formando otro nivel a una distancia de 120 m de la línea de costa. A partir de este punto comienza la pendiente submarina de la playa cubierta de arena que se distingue por presentar un mayor porcentaje de componentes biogénicos. Al pie del citado macizo, a una profundidad de 25 m, se localiza una cuenca de acumulación de arena fina con cobertura de sedimento fangoso, cuyo origen, aparentemente, está asociado al material proveniente de la erosión de la barrera y a fuentes terrígenas. Las muestras colectadas en la playa evidencian un predominio de los sedimentos organógenos carbonatados sobre los sedimentos terrígenos, lo que demuestra una diferencia sustancial en su composición en comparación con otras muestras observadas de la costa norte, debido al papel de la barrera arrecifal como fuente de alimentación de arena.

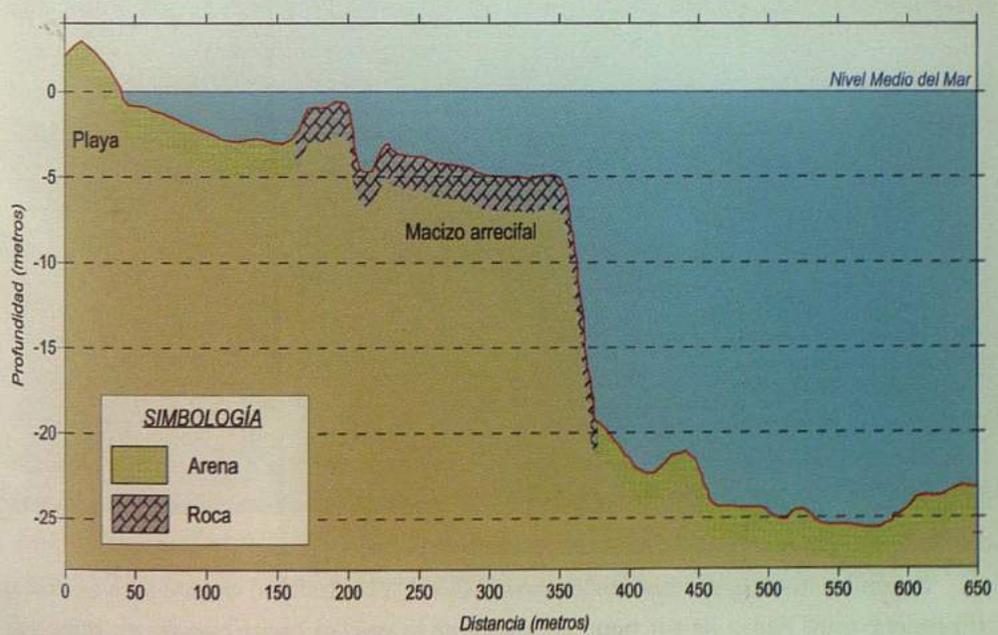


Fig. VI.4 A. Perfil de buceo frente a playa Sosúa.

Se constató que la barrera arrecifal submarina y la orientación de la línea de costa representan una protección para el desarrollo natural del perfil de la playa, ante el oleaje generado en este sector por los vientos procedentes del cuarto cuadrante en los meses de invierno. El macizo arrecifal presenta un estado de conservación aceptable a diferentes profundidades, asociado a un intercambio de agua favorecido por las corrientes. En la playa no se manifiesta retroceso de la línea de costa, la misma mantiene estabilidad y las variaciones morfológicas están acorde con su evolución natural, de manera que los afloramientos rocosos en su parte central y la presencia de escarpes erosivos son propios de la etapa cíclica de la playa.

Playa Dorada

Playa Dorada se localiza en la costa norte de la República Dominicana en el municipio San Felipe de Puerto Plata, a lo largo de 3159 m de costa. Limita en su extremo este con la desembocadura del río Muñoz y por el oeste (Fig. VI.5), con la desembocadura al mar del caño de Marapicada. Se aprecia que el ancho total de la playa, desde el límite de la vegetación, muros o instalaciones hasta la línea de costa, oscila entre 8 y 33 m con un promedio de 18 m y la máxima altura de la parte emergida llega a alcanzar 3 m sobre el nivel del mar en los sitios donde aun se conserva la duna natural. En general, las pendientes de la playa son suaves.

La arena de la playa posee una composición de origen terrígeno, fundamentalmente constituida por partículas de cuarzo, plagioclasas y feldespatos que le imprimen a la misma un color crema claro. Los fragmentos conservan su forma angulosa y en algunos casos presentan superficies pulidas y brillosas. La Unidad Morfodinámica o Fisiográfica donde se localiza el sector costero del complejo hotelero Playa Dorada (Fig. VI.6), presenta una longitud aproximada de 30 Km y queda limitada al este, por la bahía de Sosúa y al oeste por el puerto de Maimón.

El extremo oeste de la unidad resulta una terraza abrasiva acumulativa de unos 7.5 Km, que se extiende desde la bahía de Sosúa hasta la desembocadura del río Camú. La terraza carbonatada alcanza una altura de 1-2 m, en la cual los procesos cársicos han dado forma a un lapéiz o diente de perro bien desarrollado, que brinda a la costa una efectiva protección frente al efecto destructivo del oleaje.

Según las investigaciones de Zenkovich (1969), la abrasión de este tipo de costa se produce a un ritmo de un mm al año, por lo que su contribución de material detrítico al balance sedimentario puede considerarse nula.

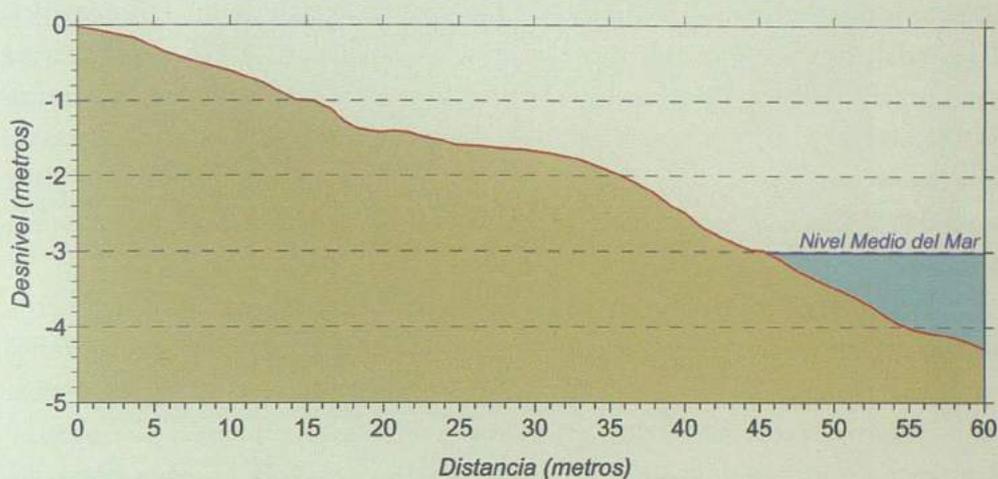


Fig. VI.5. Perfil topográfico al oeste del río Muñoz.



Fig. VI.6. Unidad fisiográfica donde se encuentran comprendidas las playas Long Beach y Dorada, en la costa norte de Puerto Plata.

En la pendiente submarina frente a la costa predomina el fondo rocoso con corales aislados y canchales (Fig. VI.7) receptores de la poca arena biogénica que se genera en el área, la cual no representa ningún aporte significativo a las playas del litoral en particular, a playa Dorada. Inmediatamente al oeste de la terraza abrasiva, aparece la desembocadura del río Camú, dando inicio al sector central que con una longitud de 14 Km se prolonga hasta la bahía de Puerto Plata y en la cual, el propio río se identifica como la primera fuente de ingreso de arena al sistema costero. Al oeste de la desembocadura y en correspondencia con el predominio de la deriva litoral neta de este a oeste, provocada por el oleaje generado por los vientos alisios, se forma una playa de 400 m de longitud y perfil bien desarrollado y una duna de 2 m de altura con tupida vegetación costera (Fig. VI.8).

La playa está formada por arena fina con partículas de tamaño homogéneo y formas angulosas, donde predominan los minerales de cuarzo, plagioclasa y granito, evidenciando un proceso selectivo de transporte fluvial. La duna muestra un significativo escarpe de erosión que demuestra la ocurrencia de un proceso erosivo actual y la activa participación de la duna en los ingresos de arena al balance sedimentario del sistema. En contraste con esta pérdida de la duna, debe destacarse el volumen considerable de arena que ingresa a la misma a través del transporte eólico, el cual, localmente ha dado lugar a camellones de 3-4 m de altura, con pendientes pronunciadas, en franco proceso de avance hacia tierra.

La ocurrencia de procesos de erosión y acumulación en la duna, permiten afirmar que su participación en los ingresos y salidas de arena es actualmente decisiva en el balance sedimentario del sistema costero, aunque por los índices morfológicos observados en los escarpes, tanto por su extensión como intensidad, predominan los procesos erosivos. Este esquema descrito para el tramo de 400 metros de costa al oeste del río Camú, se repite en mayor o menor grado hasta la bahía de Puerto Plata. Su característica principal es la formación de ensenadas o celdas delimitadas por puntas rocosas de baja altura, conectadas con planicies arrecifales de poca profundidad, que interrumpen parcialmente el intercambio de sedimento entre las celdas, a lo largo de la costa.

Playa Long Beach

La playa Long Beach y su prolongación hacia Dorada, se localizan en la costa norte de la República Dominicana, en el municipio San Felipe de Puerto Plata. Limita al oeste

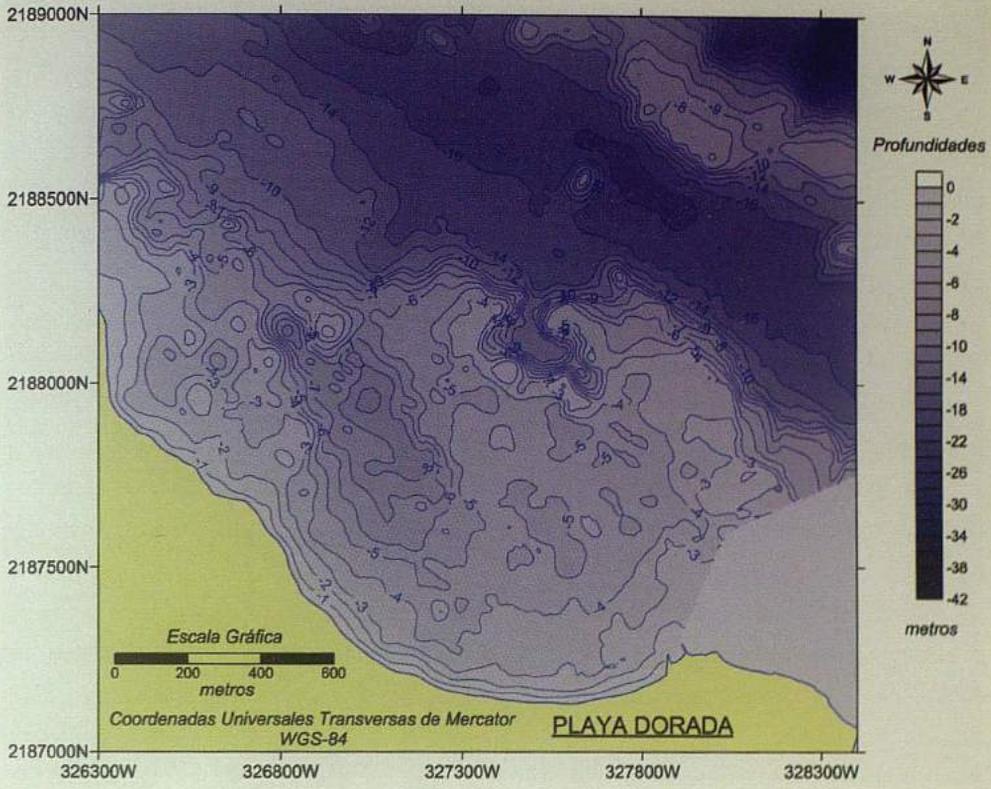


Fig. VI.7. Batimetría de Playa Dorada.

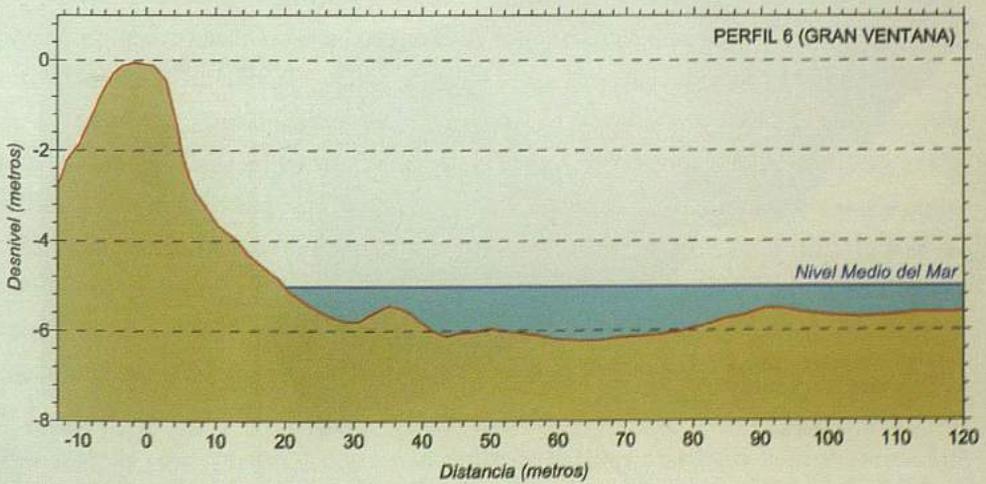


Fig. VI.8. Perfil topográfico 6.

con las terrazas abrasivas rocosas del malecón de Puerto Plata y al este con los espigones del hotel Paradise. Constituye un importante sector costero de una unidad físico-geográfica que se define entre la bahía de Sosúa, al este, y la bahía de Maimón, al oeste, al igual que playa Dorada, con una longitud de unos 30 Km. En general, la unidad fisiográfica está integrada en su mayoría por dunas arenosas, llanuras costeras y elevaciones muy disecionadas, con fuertes procesos erosivos y erosivo-denudativos, mostrando una baja diversidad de geosistemas en la interface tierra-mar. En el relieve tridimensional se puede observar la costa y la morfología del fondo submarino (Fig. VI.9).

La presencia de estructuras arrecifales, constituye un elemento esencial en el desarrollo de los procesos dinámicos de la zona costera de este sector. Estas estructuras, además de funcionar como efectivos rompeolas naturales, permiten la creación de condiciones ambientales propicias para el desarrollo de comunidades bentónicas determinantes en la producción de arena.

Esta influencia de las estructuras arrecifales sobre la zona costera, se ve interrumpida por la presencia de la bahía de Puerto Plata, donde su canal natural de unos 600 m de ancho, la convierten en la vía mediante la cual los sedimentos que aporta el río San Marcos ingresan a la costa.

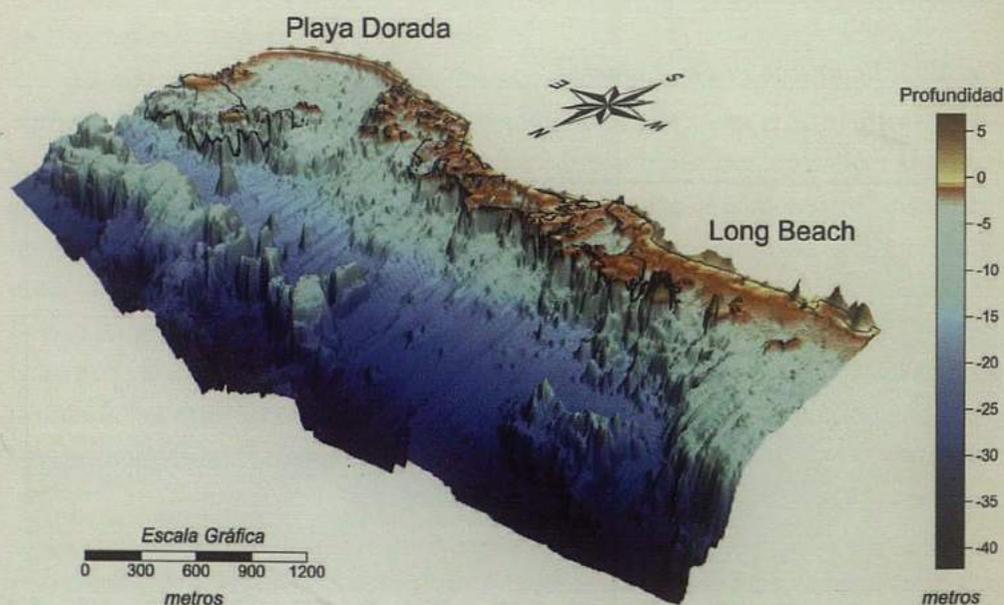


Fig. VI.9. Relieve 3D de las playas Long Beach y Dorada.



Imagen VI.5. Terraza abrasiva acantilada a la entrada de bahía de Puerto Plata.

A partir de la bahía y hasta el puerto de Maimón se extiende el extremo oeste de la unidad fisiográfica con una longitud aproximada de 8 Km, caracterizada por la presencia de terrazas abrasivas rocosas (Imagen VI.5) con algunas caletas donde aparecen depósitos de arena.

La plataforma submarina en este sector es relativamente estrecha, al aparecer la profundidad de 180 m a una distancia de la costa que varía entre 1 y 2.5 Km (Fig. VI.10). Al norte de playa Dorada predomina el fondo rocoso con corales aislados y canchales receptores de la poca arena biogénica que se genera en el área, la cual no representa un aporte significativo a las playas de la unidad fisiográfica y en particular a las playas Long Beach y Dorada.

La geomorfología de la pendiente submarina es compleja frente al sector costero Long Beach-Dorada, con la presencia de una extensa planicie arrecifal, que prácticamente se conecta con la costa y se extiende hacia el mar hasta la profundidad de 10 m, donde se levanta la barrera arrecifal, como una estructura única, constituyendo la primera terraza submarina.

Posterior a la planicie, la plataforma submarina se hace más profunda, aunque manteniendo la irregularidad del fondo con el afloramiento de numerosos cabezos rocosos combinados con superficies arenosas, las cuales no intervienen en el balance sedimentario de las playas y donde se define un segundo nivel de terraza entre los 15 y 20 m de profundidad.

En el borde exterior de la segunda terraza submarina aparece una serie de estructuras arrecifales de forma irregular que se levantan desde los 18 m y alcanzan una profundidad mínima en las barreras arrecifales de 7 m, las que dan paso a profundidades mayores a los 30 m. Estas estructuras coralinas, que aparecen en el borde exterior de la plataforma submarina, se convierten en una zona de rompiente natural del oleaje y constituyen una importante protección para las playas.

La ensenada de la parte de playa Dorada que se integra al análisis, así como las pequeñas caletas que se abren en Long Beach, tienen un comportamiento similar en cuanto a la pendiente submarina próxima a la costa, apareciendo una zona deprimida del relieve en sus centros y estructuras rocosas elevadas en su borde exterior. Estas zonas deprimidas constituidas mayoritariamente por arena se conectan con la segunda terraza submarina a través de aberturas o canales en la barrera arrecifal, constituyendo posibles vías de escape de arena hacia zonas más profundas.

Como testigos de un antiguo nivel de terraza destruido por la erosión diferencial, emergen separados de la costa a unos 300-400 m, dos pequeños cayos rocosos alineados en el borde de la planicie arrecifal, los cuales se integran a esa estructura en su función de rompeolas natural. La existencia de Long Beach y las pequeñas playas encajadas frente al malecón de Puerto Plata, dependen de la protección que brindan estas estructuras (Fig. VI.11). En los estudios realizados para evaluar la erosión de las playas Long Beach y Dorada (CESIGMA S.A., 1999), pudo advertirse que en todos los litorales arenosos de esta región, el fenómeno de la erosión de las playas se presenta de manera generalizada y responde a dos causas fundamentales:

- 1^{ero}. El déficit en los ingresos naturales de arena
- 2^{do}. La intensificación de la acción erosiva del oleaje en las últimas décadas.

En muchos casos, la intensidad con que se producen estos fenómenos se ve acelerada por acciones irreflexivas del hombre, como los dragados de arena en los ríos y las costas, las construcciones sobre las dunas y el vertido de contaminantes al mar, entre otras.

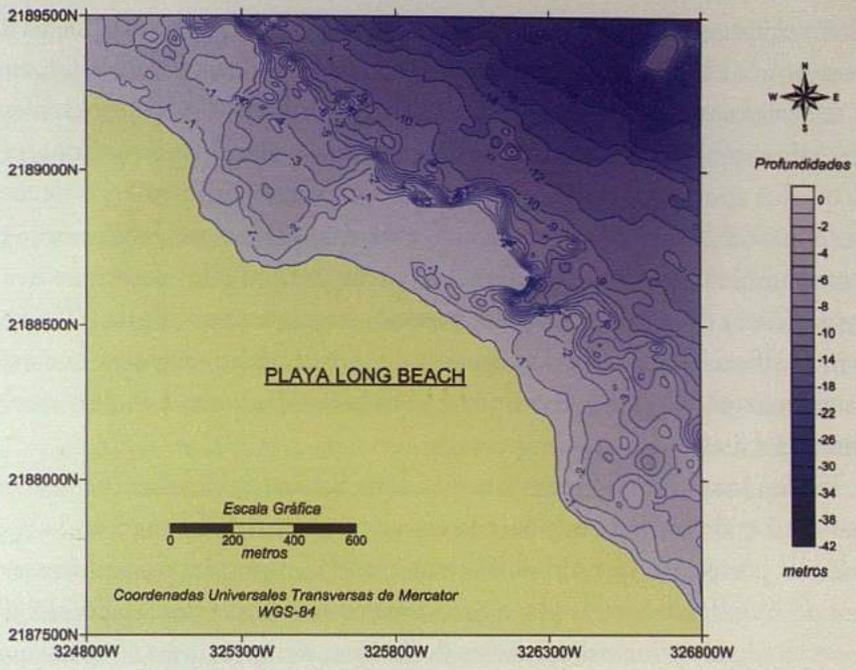


Fig. VI.10. Batimetría de la playa Long Beach.

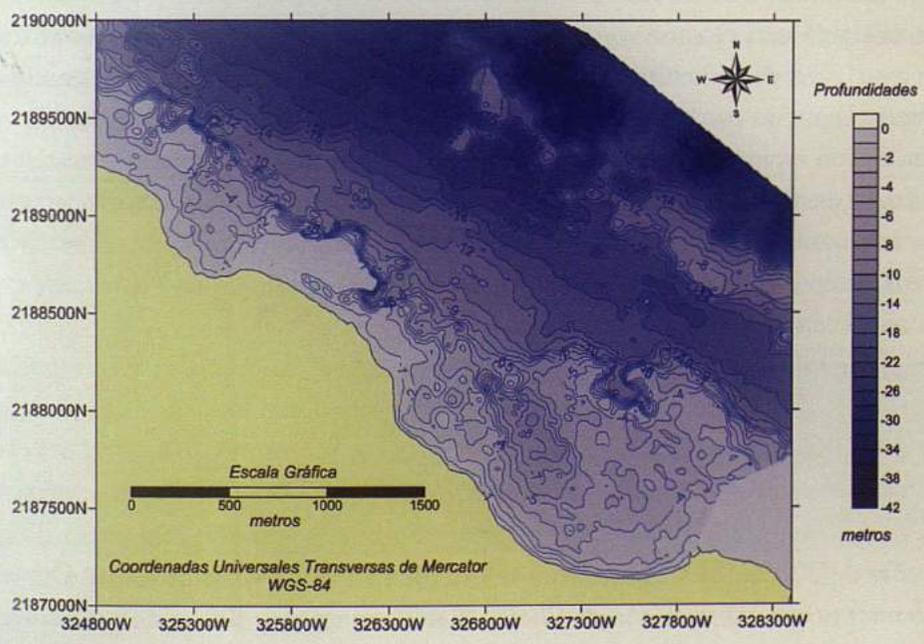


Fig. VI.11. Batimetría frente a las playas Long Beach y Dorada.

En el caso particular de las playas Long Beach-Dorada, los aportes de arena proveniente de los ecosistemas marinos asociados a la barrera arrecifal, conjuntamente con el aporte de la erosión de las dunas, constituyen las principales vías de ingreso de arena a estas playas. Atendiendo a la experiencia internacional, es conocido que los aportes de arena biogénica pueden verse sensiblemente afectados por la disminución de las poblaciones de los ecosistemas productores, por consecuencia de cambios ambientales como la salinidad, la temperatura o los componentes químicos y orgánicos del agua, asociados a procesos naturales o antrópicos. Con respecto a la intensificación de la acción erosiva del oleaje, debe señalarse que este es un fenómeno extendido a escala mundial y también relacionado con los cambios climáticos globales.

Si bien los escarpes de erosión en la duna natural evidencian el incremento del efecto erosivo de las olas, debido a la elevación del nivel del mar, en Long Beach-Dorada, la protección que ofrece la cresta arrecifal, minimiza esa influencia.

En Long Beach y en la playa que se extiende hasta el hotel Paradise, donde se han observado los principales indicios de erosión, siempre ha estado presente la destrucción y ocupación de la duna por el malecón y por las instalaciones turísticas, las cuales funcionan como agentes erosivos.

De este a oeste, el sector oriental se define desde la playa del hotel Paradise hasta las villas de Costa Dorada, con unos 1 900 m de longitud. Caracterizaba a este tramo de costa antes de los vertimientos artificiales de arena la existencia de un conjunto de defensas costeras construidas frente al hotel Paradise, levantadas con gaviones combinada con espigones perpendiculares a la costa y muros frontales, incorrectamente ubicadas en el área de la duna, las que favorecen la acción erosiva de las olas y corrientes marinas durante los temporales extremos, acelerando el proceso de pérdida de arena e impidiendo el restablecimiento del perfil natural de la playa en el período de recuperación posterior a los temporales.

La geomorfología de la pendiente submarina es compleja en este tramo con la presencia de una barrera coralina que se levanta desde los 5 m de profundidad de ancho variable. Dicha barrera se comporta como rompiente natural del oleaje en todo el sector. La zona exterior de la plataforma se caracteriza por la presencia de dos estructuras coralinas que encierran superficies arenosas con un ancho promedio de 200 m. El sector central se extiende entre las villas de Costa Dorada y el extremo este del malecón de Puerto Plata, con unos 1 500 m de extensión. La playa muestra un perfil (Fig. VI.12) bien desarrollado con la presencia de dunas litorales de 30 a 40 m de ancho y de 2 a 3 m de altura, libres de construcciones,

con un camellón frontal formado como resultado del intenso transporte eólico que se produce en la zona. Estas dunas están cubiertas de vegetación típica de costa, como gramíneas, rastreras y uverales que contribuyen a su estabilización, garantizándose así importantes reservas naturales de arena en la parte emergida de la playa.

El sector costero entre Long Beach y Dorada muestra un ancho del área de sol mayor que el anterior, en el orden de los 20 m, a pesar de que la línea de costa de este tramo describe una configuración arqueada que se proyecta hacia el mar, las que suelen ser más erosivas que los entrantes o ensenadas. Lo cual evidencia que, a pesar del carácter generalizado de los procesos de erosión, se alcanzan mejores condiciones de la playa, cuando éstas no presentan obstáculos que interfirieran su funcionamiento natural. La plataforma submarina frente a este tramo de costa presenta una pendiente relativamente fuerte e irregular, la profundidad aumenta gradualmente hasta las inmediaciones de la barrera arrecifal, a unos 1 200 m de la costa, donde se define el borde de la primera terraza rocosa sumergida. El sector occidental comprende desde el extremo este del malecón de Puerto Plata hasta el comienzo de la terraza abrasiva rocosa en el extremo oeste de playa Long Beach, con una extensión de 1 600 m. La presencia del malecón constituye un límite físico para el desarrollo de la playa en dirección hacia tierra. En este tramo cambia la orientación de la línea de costa, lo que hace que quede protegida de los vientos predominantes de dirección nordeste, disminuyéndose la capacidad de transporte eólico.

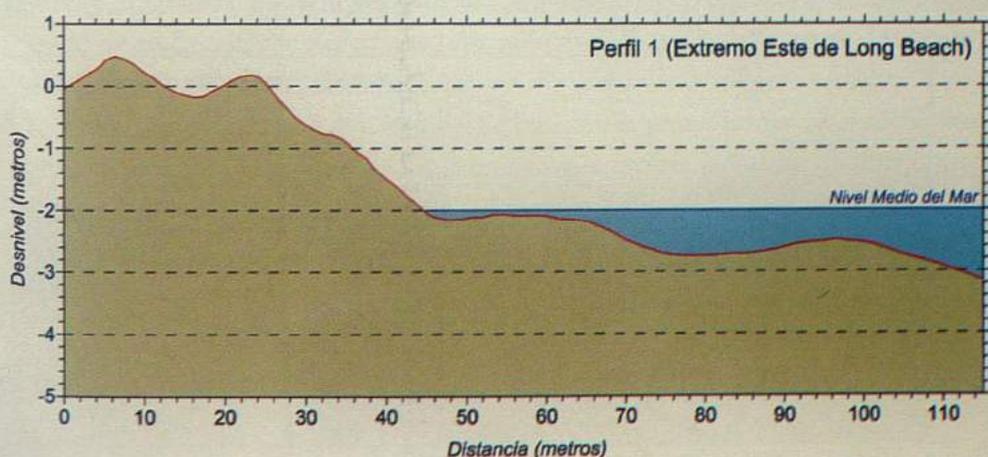


Fig. VI.12. Perfil topográfico de playa extremo este de la playa Long Beach.

En el perfil 5 (Fig. VI.13) se aprecia que el ancho de la playa, desde la parte baja del relleno del malecón hasta la línea de costa, es de 15 m y la máxima altura de la parte emergida llega hasta 2 m sobre el nivel del mar. En este sentido debe señalarse que, a pesar de esta cota, no existen dunas litorales bien definidas. Aquí la pendiente emergida es relativamente fuerte por consecuencia de la proximidad a la línea de costa y los altos niveles que adquiere el malecón, alcanzando un valor de 0.045. Sin embargo, la pendiente submarina es suave pero totalmente irregular, constituida por el afloramiento de rocas y la presencia de oquedades desprovistas de sedimentos sueltos. Debe destacarse que a lo largo de todo el sector costero, la plataforma submarina se caracteriza por la presencia de una extensa planicie arrecifal, que se conecta con la costa frente a los salientes rocosos y hacia el mar con barrera arrecifal, como una estructura única, la cual representa un obstáculo natural que reduce el transporte de arena en dirección oeste cuando se produce el lavado del oleaje sobre la roca, lo cual no permite la acumulación de arena.

Posterior a la planicie, la plataforma submarina se hace más profunda y es cuando aparecen una serie de estructuras arrecifales de forma irregular que se levantan del fondo entre 15 y 25 m de profundidad, constituyendo grandes macizos rocosos que limitan la segunda terraza submarina, para dar paso a profundidades mayores de 30 m con paredes subverticales que bordean la plataforma insular.

Otro aspecto a destacar, con respecto a la barrera arrecifal, es su papel como fuente de abastecimiento de arena a las playas. Puede afirmarse que la arena que constituye las playas del sector occidental, están formadas por 70% de fragmentos

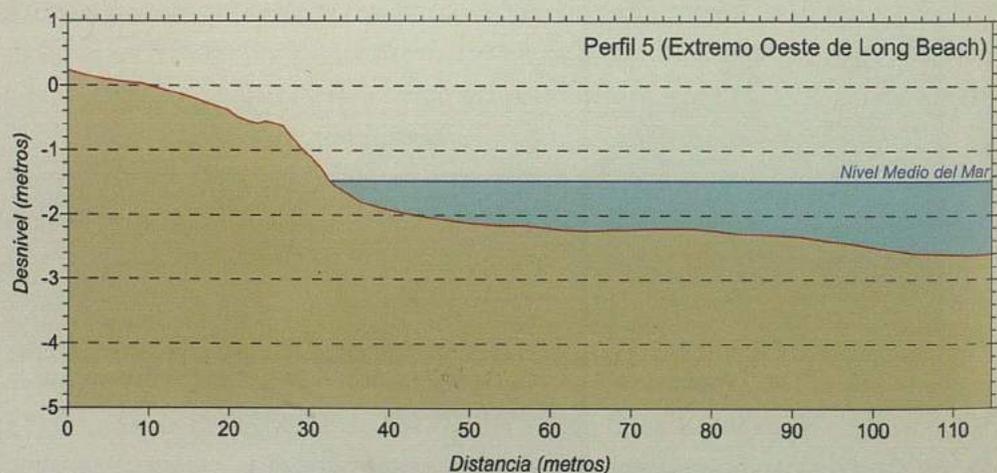


Fig. VI.13. Perfil topográfico 5 al oeste de la playa Long Beach.

calcáreos de organismos bentónicos, entre los que predominan las algas, los foraminíferos, los moluscos y las espinas de alciolarios y equinodermos.

Los fragmentos orgánicos conservan su forma angulosa, dada la cercanía de las zonas de producción, mientras que los litoclástos muestran formas redondeadas y su superficie es pulida y brillante, lo cual denota un intenso transporte de los sedimentos. Los granos que componen estos sedimentos exhiben un marcado deterioro de su morfología y textura originales, signo de avanzada madurez sedimentaria, lo que indica que los ingresos actuales de arena a la playa son reducidos y el que ocurre probablemente sea proveniente de la erosión de las barras emergidas y las dunas antiguas. Los sedimentos más finos se observan en el sector central con un valor del diámetro medio de 0.22 mm, para una clasificación de arena fina. Esta es una zona de tránsito de las corrientes de deriva litoral y donde se producen, con mayor intensidad, los procesos de selección natural de los granos de sedimento. De hecho aparecen aquí los valores más bajos de la desviación estándar, 0.74. mm.

Por su parte, los sedimentos más gruesos se aprecian en el sector occidental cuyo diámetro medio alcanza 0.58 mm para una clasificación de arena gruesa. Resulta válido apuntar que la arena que conforma las playas de este tramo presenta una alta madurez sedimentaria, donde en un prolongado espacio de tiempo, el oleaje ha generado un transporte de sedimentos selectivo, despojando a la arena de sus fracciones finas, más susceptibles de ser movidas, lo que guarda relación con el bajo nivel de energía de las olas y el ángulo de incidencia con que actúan sobre la costa.

En la ensenada del sector oriental, los sedimentos clasifican como arena media, con un diámetro medio de las partículas de 0.34 mm cuyos granos presentan un alto grado de erodación con superficies muy pulidas, indicativo de la ocurrencia actual de una migración de arena desde la duna hacia la playa y la pendiente submarina, como resultado del reacomodo del material sedimentario y una forma de manifestarse el proceso erosivo. Debe destacarse que este proceso ocurre a lo largo de todo el tramo costero e indica que el transporte de sedimento en dirección perpendicular a la costa es significativo, produciéndose el ingreso de arena a la costa y la pérdida hacia la pendiente submarina.

Playas de Montecristi, Costa Verde y Juan de Bolaños

Las playas Costa Verde y Juan de Bolaños, que ocupan unos 3 000 m de longitud, se localizan en la costa norte de la República Dominicana en el municipio San Fernando de Montecristi, limitadas al norte y al oeste por el océano Atlántico, al este por el municipio de Villa Vázquez y al sur por Pepillo Salado. Hacia el este de El Morro de Montecristi y hasta Punta Mangle, la costa resulta una superficie arrecifal de 9 km de longitud, donde parte de la barrera aparece unida a la zona emergida y la otra aflora a una distancia de 2 km de la línea de costa. En la parte emergida de la costa destaca la superficie de manglar, que cubre una franja de unos 3 Km de ancho y se extiende a lo largo de la línea de costa hasta alcanzar el mismo borde costero de la bahía de Montecristi, a unos 9 Km (Fig. VI.14).

La plataforma submarina, en este sector, es más ancha y menos profunda, con barreras arrecifales que prácticamente emergen a una distancia de la costa que varía entre 1.5 y 2.0 Km, mientras que para la parte oeste y hasta los límites con El Morro, es más estrecha y profunda con barreras arrecifales adosadas a la costa.

Inmediatamente al oeste de las barreras arrecifales, aparece la bahía de Icaquitos, cuya línea de costa tiene una extensión de unos 4 Km, extendiéndose hasta la ladera este de El Morro. Las costas de la bahía, están constituidas por mangle, el cual forma parte de la extensión del gran bosque de manglar del sector anterior, sólo interrumpido por la presencia de la playa La Granja, que ocupa unos 1 000 m de longitud, limitada por dos de los caños que permiten la comunicación del bosque de manglar con el mar. La arena de esta playa está formada en más de 95% por restos calcáreos de algas, moluscos y foraminíferos, lo que evidencia la decisiva participación de los ecosistemas marinos en la producción de arena en el área.

A través de los caños abiertos en el manglar la bahía de Icaquitos se comunica con la bahía de Montecristi (Imagen VI.6), al abrigo de El Morro, al sur se prolonga el bosque de mangle. La relativa simetría que describen ambas costas de mangle en este tramo, tal como ha sido aseverado por estudiosos de las costas dominicanas, parece indicar la formación de un tómbolo que propició la acumulación de significativos volúmenes de sedimentos que en la actualidad sirven de soporte al manglar.

En la morfología de este tramo de costa destaca El Morro de Montecristi (Imagen VI.7 y 8), por su majestuosidad y belleza natural dentro del entorno costero, con una altitud de 237 m. Por su lado norte, el cerro presenta una playa de unos 600 m de largo, con excepcionales condiciones paisajísticas y ambientales y cuya principal fuente de abastecimiento de arena es la destrucción mecánica del acantilado bajo el impacto directo de las olas y por el viento.



Fig. VI.14. Entorno geográfico de las playas de la bahía de Montecristi.



Foto VI.6. Puente que facilita la circulación de agua en el manglar desde la bahía de Icaquitos hasta las playas costa Verde y Juan Bolaño, a su vez es una vía de ingreso de lodo del manglar a la playa.

Al oeste de El Morro se extiende la bahía de Montecristi, que encierra unos 16 Km desde la elevación de El Morro hasta Punta Poza. Forman parte de este litoral, las costas bajas acumulativas (Imagen VI.9) y las dunas que acompañan a las playas a lo largo de todo el sector costero, las que se desarrollan con mayor amplitud y altura al suroeste de la desembocadura del río Yaque del Norte, evidenciando la combinación de los procesos acumulativos fluviales y eólicos. Toda esta región forma parte de los llanos costeros del Atlántico, descritos por Troncoso (1986) donde la fuente principal de arena a las playas de este entorno proviene de los aportes del río Yaque del Norte vinculada al sistema montañoso de la provincia Montecristi.

La plataforma submarina presenta un ancho regular, llegando a la profundidad de 20 m, a una distancia que varía entre 5 y 6 Km de la línea de costa, con pendientes en el orden del 3-4 %.

Con una extensa superficie de suave pendiente y el ingreso continuo de los sedimentos del río Yaque del Norte, la plataforma de esta zona se caracteriza, por el predominio de los procesos acumulativos sobre los procesos erosivos, aunque sobre la línea de costa se advierten indicios erosivos, tales como la caída de árboles en algunos sectores de la playa y el retroceso de la línea de costa.



Imagen VI.7. Vista de El Morro de Montecristi desde el sur.



Imagen VI.8. Costa acantilada de El Morro de Montecristi vista desde el noreste.



Imagen VI.9. Desarrollo del manglar a la sombra de la protección de El Morro de Montecristi, observado desde las costas de la bahía de Hicaquitos.

La franja litoral desde el río Yaque del Norte hasta El Morro de Montecristi, donde se insertan las playas Costa Verde y Juan de Bolaños (Fig. VI.15), forma parte del frente costero del plano aluvial del río, sobre el cual, la acción del oleaje ha contribuido al desarrollo de la morfología fluvio-marina que existe en la actualidad.

El análisis del sedimento demuestra que desde este caño, hacia El Morro de Montecristi, la composición del sedimento cambia, de arena terrígena fina, bien clasificada, a arena media, con componentes biogénicos y con una selección regular. Este último tramo de playa colinda con la extensa área del manglar desarrollado al abrigo de El Morro, donde la orientación noreste-suroeste de la costa propicia condiciones hidrodinámicas de baja energía, ideales para el desarrollo de procesos acumulativos. El aumento de los componentes biogénicos en la arena de la playa, en la dirección noreste, está en correspondencia con el aumento en la densidad de las poblaciones de organismos bentónicos y en especial de las algas *Halimeda* en la pendiente submarina, las cuales se incrementan desde la desembocadura del caño hacia el noreste. Por esa razón, hacia la costa norte de la playa cercana a los acantilados del suroeste del Morro de Montecristi, aparecen más restos de alga *Halimeda* (Imagen VI. 10). Esta distribución se comprende, si se tiene en cuenta que la fracción arcillosa que aportan el río y el caño, limita el desarrollo de las comunidades bentónicas, existiendo una relación directa entre la disminución en la carga de sedimento arcillo, según aumenta la distancia a las desembocaduras y el aumento de la densidad de organismos marinos en la pendiente submarina.

Los elementos morfológicos como sedimentológicos, ponen de manifiesto que en este sector costero no se producen intensos procesos de transporte de sedimentos, lo que está en correspondencia con los bajos índices de energía de oleaje que pueden esperarse, atendiendo a la orientación de la línea de costa, la suave y extensa pendiente submarina. La playa Costa Verde, con una longitud de 1.2 Km y la playa de Juan de Bolaños, con una longitud aproximada de 2 Km, desaparecen en el manglar que se desarrolla al noreste, en las proximidades de El Morro de Montecristi (Imagen VI.11).

Desde el extremo oeste hasta el este, se produce la reducción y ocupación de la duna por La Vía que se extiende a lo largo de la playa. La ocupación de la duna por La Vía (Imagen VI.12) ha estado acompañada por la ubicación de algunas instalaciones y obras menores que contribuyen a la deformación del perfil natural de la playa.

La presencia de los estanques de la salina cubren los terrenos próximos a La Vía, que constituye otro elemento antrópico que se relaciona con ambas playas, los cuales en la actualidad ocupan el espacio donde debían formarse las dunas de manera natural. Esta situación constituye un obstáculo para el reordenamiento litoral que se concibe en el área.



Imagen VI.10. Costa abrasiva acantilada al norte de la playa Juan de Bolanños.

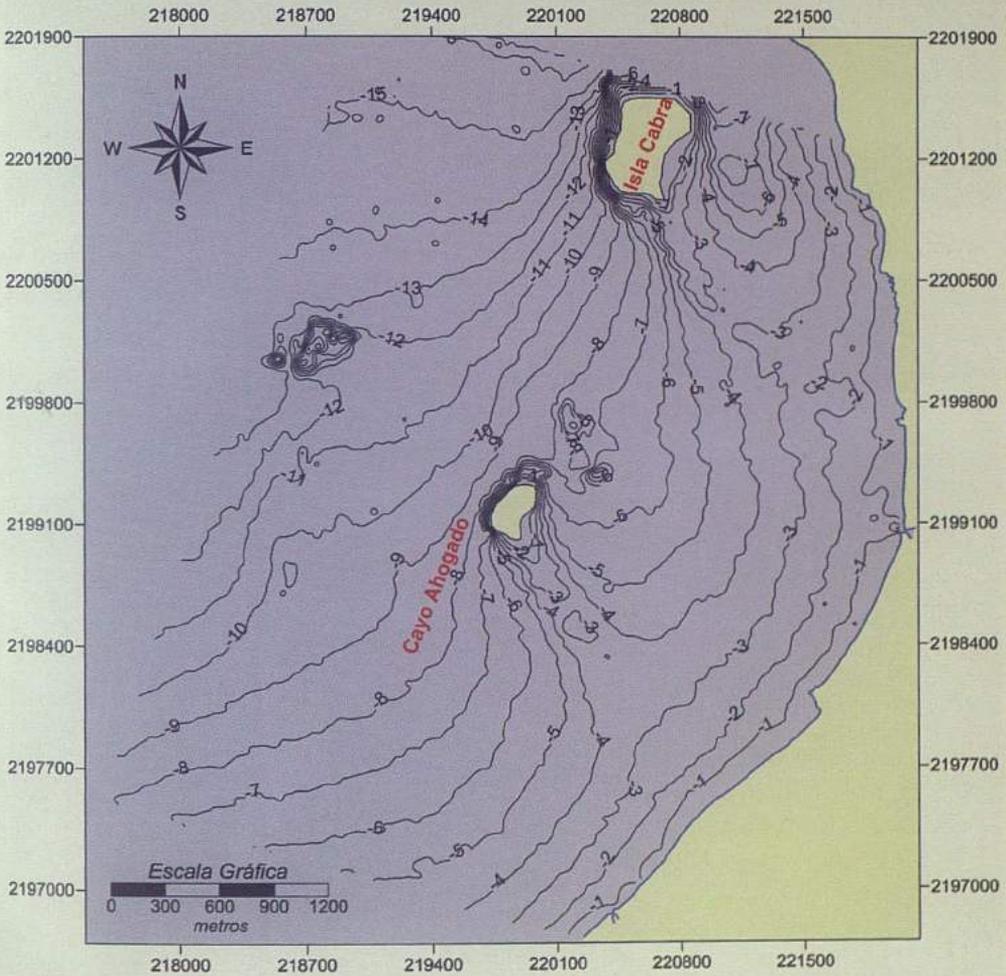


Fig. VI.15. Batimetría de la pendiente submarina en las playas Costa Verde y Juan de Bolanños.



Imagen VI.11. Franja estrecha de playa con sedimentos fangosos en su pendiente submarina.



Imagen VI.12. La Vía, en la costa norte que impide el desarrollo normal del perfil de playa.

En el caso de las playas de Montecristi, es posible afirmar que las acciones antrópicas constituyen la principal causa del deterioro físico de la costa. Entre esas acciones sobresalen

- 1^{er}. La Vía trazada sobre las dunas a todo lo largo de ambas playas.
- 2^{do}. La comunicación del manglar con la playa de Juan Bolaños mediante su canalización con vistas a facilitar la navegación.
- 3^{er}. Las construcciones costeras como muros y hoteles sobre la duna y en la misma zona de contacto agua-arena.
- 4^{to}. La ocupación del espacio costero de las dunas por las salinas.

En el caso particular de las playas de Montecristi, los aportes de arena proveniente de los ecosistemas marinos y los que tributa el río Yaque del Norte y su extensa cuenca hidrográfica, constituyen las principales vías de ingreso de arena a la playa.

Las playas Costa Verde y Juan de Bolaños forman parte del frente costero del plano aluvial del río Yaque del Norte y en ellas no se aprecian importantes procesos de transporte de arena, de manera que el deterioro físico de las playas responde más a la actividad antrópica, que a procesos naturales de erosión.

La bahía de Manzanillo y un tramo de costa baja abrasiva situado hacia el oeste constituyen el extremo del relieve litoral costero dominicano que colinda con la República de Haití, tanto esa bahía como toda la costa al oeste del Yaque del Norte están cubiertas por manglares, además de la formación de potentes dunas en la misma desembocadura del río que aportan arena a las playas de Montecristi y que van desapareciendo en la medida que se avanza hacia el este.

Capítulo VII

Restauración de la playa Cabarete

Por solicitud de la Secretaría de Estado de Turismo de República Dominicana (hoy Ministerio de Turismo), en 1999, la Compañía Especializada en Soluciones Geográficas y Medio Ambientales (CESIGMA, S.A.) del Grupo CADIC, acometió una serie de estudios orientados al mejoramiento y regeneración de un grupo de playas severamente afectadas por la erosión. Como resultado de las investigaciones quedó comprobado que el deterioro de las playas estaba relacionado con el déficit en los ingresos naturales de arena, lo que estaba agravado en la mayoría de los casos por acciones antrópicas. Entre estas acciones se destacaba la incorrecta ubicación de instalaciones y muros en la playa y las dunas, las extracciones de arena y la construcción de obras de ingeniería incorrectamente diseñadas.

Para dar solución a estos problemas, se propuso como acción priorizada la ejecución de proyectos de Alimentación Artificial de Arena que suplieran el déficit en la producción natural de sedimentos, unidos a un adecuado programa de ordenamiento y manejo del litoral. En muchos casos se propuso la retirada de construcciones y muros en la playa y la conformación de las dunas de acuerdo con su morfología original, entre otras propuestas para mejorar la calidad ambiental de la playa.

En los casos que la estabilidad natural de la arena resultaba imposible, se recomendó la construcción de obras ingenieras de apoyo que garantizaran la máxima efectividad de los trabajos. Con esta filosofía, en 1999 se realizó el estudio de factibilidad para la regeneración de la playa de Juan Dolio.

Consciente de la gravedad del problema, en 2006 el gobierno de la República Dominicana revitalizó el programa de regeneración de las playas utilizando la Alimentación Artificial de Arena. Con estos nuevos esfuerzos serían regeneradas las playas Cabarete y Long Beach en la costa norte y Juan Dolio en la costa sur del país.

La playa Cabarete está localizada a unos 30 km de la ciudad de Puerto Plata en la costa norte de la República Dominicana. Se muestran dos imágenes de la zona occidental de la playa de los años 1984 y 2005, respectivamente (Imagen VII.1). En ellas se puede apreciar el importante retroceso que experimentó la línea de costa durante ese período, así como la aparición de pronunciados escarpes en las dunas litorales.

Para convivir con este proceso se tomaron en aquel entonces medidas locales, entre las que se encontraban la construcción de muros, revestimientos con escolleras y la reubicación de instalaciones hacia tierra. Ninguna de estas medidas logró detener el proceso erosivo, y algunas de ellas por el contrario contribuyeron a su aceleración.

Por esta razón, la solución que se aplicó para mitigar el proceso erosivo se basó en la identificación de las causas de la erosión. Igualmente, se debía armonizar su implantación con el entorno, de manera que no se produjeran afectaciones a las playas vecinas. En 1999, la Secretaría de Estado de Turismo de la República Dominicana, apoyó la realización de una serie de estudios orientados al mejoramiento y regeneración de un conjunto de playas severamente afectadas por la erosión, entre las cuales estaba la de Cabarete. Como resultado de las investigaciones realizadas quedó demostrado que el deterioro de las playas estaba relacionado con el déficit de los ingresos naturales de arena, agravado en la mayoría de los casos, por acciones antrópicas inadecuadas. Entre estas acciones se destacaban la incorrecta ubicación de muros e instalaciones sobre la playa y las dunas, las extracciones de arena, la destrucción de los arrecifes coralinos y la construcción de obras de ingeniería incorrectamente diseñadas.

Para dar solución a estos problemas se propuso como acción priorizada la alimentación artificial de arena con el objetivo de suplir el déficit de la producción natural de los sedimentos, unida a un adecuado programa de ordenamiento y manejo del litoral. En el caso de Cabarete se propuso la eliminación de algunos muros y otras instalaciones construidas sobre la playa y la reconstrucción de las dunas de acuerdo con su morfología natural. También se propuso garantizar un entorno agradable y seguro. Durante los años transcurridos entre 1999 y 2006 los procesos de erosión prosiguieron en aumento, lo cual agravó notablemente la situación de la playa. En el 2006 la Secretaría de Estado de Turismo, con el apoyo del gobierno de la República Dominicana, logró finalmente la ejecución del Proyecto de Regeneración de la Playa de Cabarete (Imagen VII.2.).

El proyecto comprendió el diseño y ejecución de dos actuaciones fundamentales. La primera de ellas consistió en la demolición de las obras hidrotécnicas construidas en el extremo este de la playa, las cuales interrumpían el ingreso natural de sedimentos a la



Imagen VII.1 Vistas de la zona occidental de la playa en 1984 (superior) y del 2005 (inferior).



Imagen VII.2 Vistas de la zona central y del extremo oriental de la Playa Cabarete, en 2006.

playa y el excedente que no se depositaba frente al hotel El Velero, se desviaba hacia las profundidades del mar, produciéndose un balance negativo de sedimentos en la playa.

La segunda actuación comprendió la alimentación artificial de arena. La otra medida implementada para mejorar la estabilidad de la playa regenerada fue un

reforzamiento de los arrecifes coralinos en el extremo oeste de Punta Goleta. Tanto la demolición, como el reforzamiento de los arrecifes coralinos, formaron parte de los trabajos de acondicionamiento del litoral.

La arena para el vertimiento en la playa se obtuvo de dos cuencas ubicadas en la plataforma submarina a unos 4 Km al noreste de Río San Juan, provincia María Trinidad Sánchez, a una profundidad entre 20 y 45 m. La arena de estas cuencas no interfiere en el transporte litoral de sedimentos pues constituyen yacimientos receptores de los sedimentos que se producen en sus proximidades.

Para definir las acciones del proyecto fue necesario realizar una caracterización hidrodinámica (parámetros habituales y extremos del oleaje, marea, corrientes y la modelación de la refracción y difracción del oleaje en el proceso de su propagación hacia la costa); caracterización morfológica y sedimentológica de la costa (análisis de los elementos morfológicos, levantamiento topográfico y de perfiles de playa y muestreo de los sedimentos y análisis de laboratorio); caracterización morfológica de la pendiente submarina (reconocimiento mediante buceo autónomo de los elementos morfológicos, levantamiento batimétrico); funcionamiento del sistema costero (tendencia en el transporte de sedimentos, respuesta del perfil de playa ante diferentes condiciones de oleaje); caracterización de las cuencas sedimentarias marinas (localización, propiedades de los sedimentos y evaluación de reservas); y diseño de la solución para el mejoramiento de la playa.

A continuación se presentan los estudios anteriormente mencionados que se realizaron en 2006 para la playa Cabarete y las cuencas sedimentarias.

Corrientes litorales y mareas

Los movimientos de las masas de agua en el mar responden a la presencia de gradientes de presión, temperatura y salinidad, entre otros. A nivel oceánico se monitorean continuamente los parámetros de las corrientes que circulan por el mar Caribe, lo cual permite describir su comportamiento. Esta información resulta de mucha utilidad para el transporte marítimo y la pesca.

Sin embargo, en la zona costera tienen lugar procesos de carácter local en los cuales las corrientes marinas son inducidas fundamentalmente por la marea. En litorales abiertos como la playa Cabarete la marea genera movimientos a lo largo de la costa, los cuales oscilan, en uno u otro sentido, en correspondencia con los ciclos de vaciante o llenante.

En la gráfica siguiente se muestra un ciclo de la marea en Puerto Plata (Fig. VII.1). En este sitio la marea tiene un ciclo típico mixto semidiurno con dos pleamares y dos bajamares diarias. La amplitud entre la bajamar más baja y la pleamar más alta es de 73

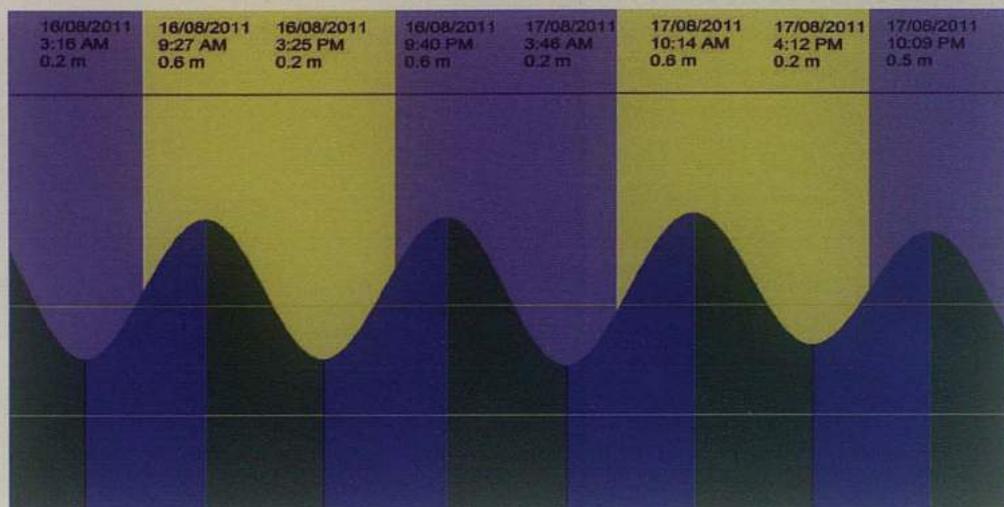


Fig. VII.1. Ciclo típico diario de la marea en Puerto Plata. (Fuente: WXTide32 versión 3.1 Copyright © 1998-2003 by Michael Hopper).

cm y la amplitud entre la bajamar más alta y la pleamar más baja es de 13 cm. Para conocer la velocidad, dirección y otros parámetros oceanográficos de las corrientes marinas en la playa Cabarete y las cuencas de arena, se colocaron equipos de medición que estuvieron registrando en el período comprendido entre el 1 y el 16 de enero de 2006. Los correntómetros se ubicaron en la posición que se muestra (Fig. VII.2) a una profundidad promedio de 20 metros y separados 1 metro del fondo.

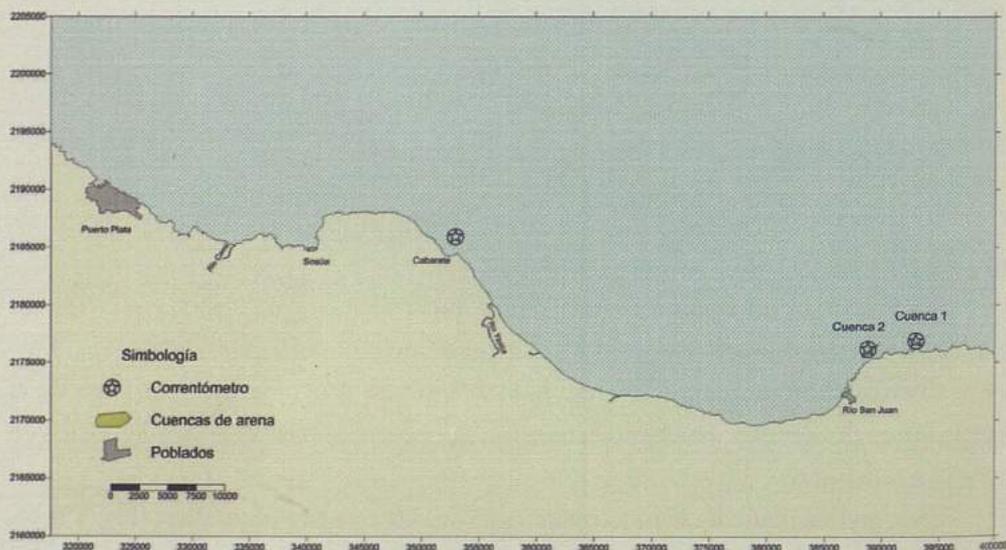


Fig. VII.2 Ubicación de las estaciones de correntometría.

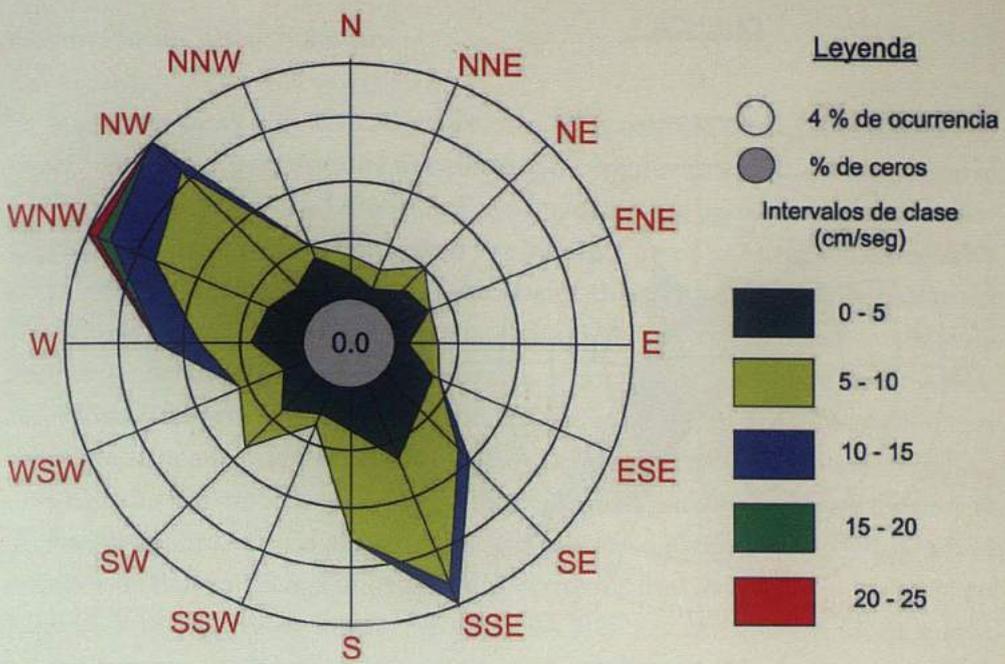


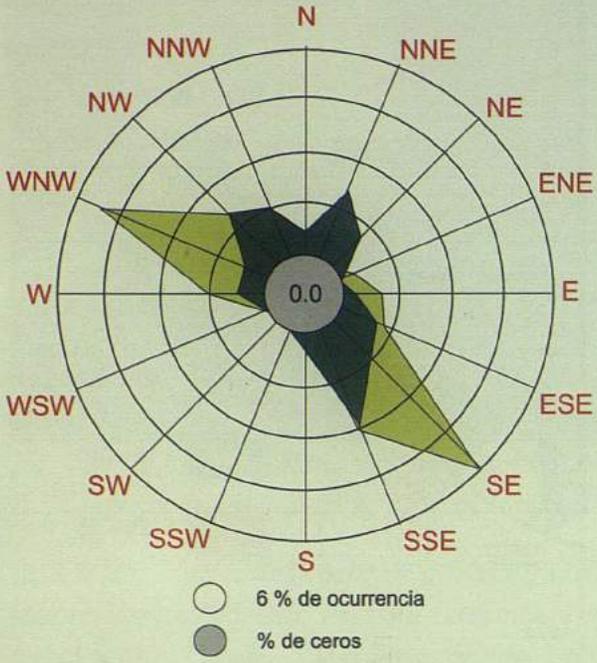
Fig. VII.3. Rosa de corrientes en la playa.

En la (Fig. VII.3) se muestra la rosa de corrientes que integra los resultados de las mediciones de la velocidad y dirección de la corriente. Como se puede apreciar existe un amplio predominio del movimiento a lo largo de la costa el cual tiene lugar en dirección noroeste-sureste. Las velocidades mayores se registraron hacia el noroeste. El análisis estadístico de la data indica que el valor de velocidad máxima registrado fue de 21.2 cm/s con un valor promedio de 6.4 cm/s.

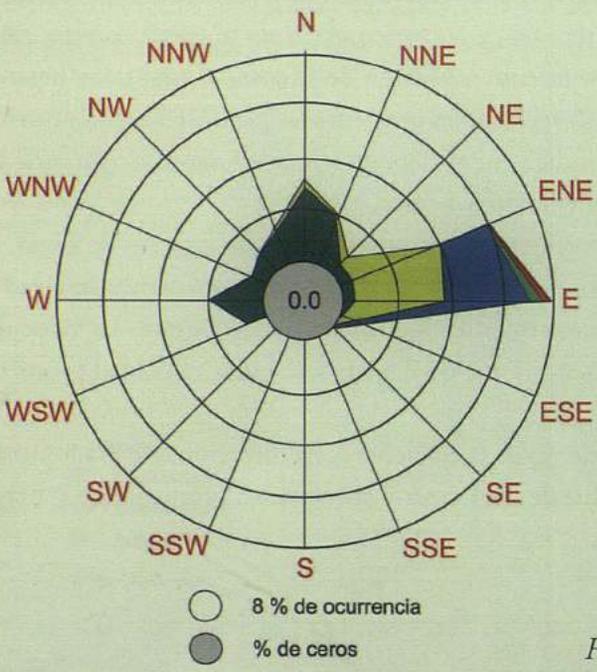
Se presentan las rosas de corrientes correspondientes a las cuencas de arena. En el caso de la cuenca 1 se observa la existencia de un movimiento claro a lo largo de la costa en uno u otro sentido, o sea, entre oeste noroeste y sureste. La velocidad máxima de la corriente en la cuenca 1 fue de 7.8 cm/s con una velocidad promedio de 4.5 cm/s.

Para la cuenca 2, el movimiento de la corriente es en dirección este predominantemente, la velocidad máxima fue de 20.1 cm/s y la velocidad promedio de 7.1 cm/s (Fig. VII.4).

CUENCA 1



CUENCA 2



Leyenda



Fig. VII.4. Rosa de corrientes de las cuencas.

Estimación del oleaje oceánico

En la costa norte de República Dominicana no se realizan mediciones directas de oleaje, sin embargo se dispone de información estadística acerca del oleaje que se produce en los mares que la rodean. Estas estadísticas se sustentan en observaciones sistemáticas de la dirección y altura de las olas a partir de estimaciones directas desde embarcaciones y los registros del National Weather Service's y la National Data Buoy Center (NDBC). En muchos casos también se consideran modelos de pronóstico del proceso de generación de las olas a partir de los registros de velocidad y dirección del viento. Entre las fuentes que suministran una información más completa se pueden citar las bases de datos del *WIS* (Waves Information Studies) desarrolladas por el Coastal & Hydraulics Laboratory, el *Sea and Swell Charts* y el *Global Waves Statistics*. En particular, el *WIS* cuenta con la estación L1-7 ubicada al noroeste de Puerto Rico, a unos 200 kilómetros del área del proyecto. La estación *WIS* L1-7 se localiza en los 68° W y 19° N, y es característica del oleaje que se produce en aguas profundas. Para esta estación se dispone de información estadística del período 1980-1999 y las características del oleaje se presentan por bandas direccionales de 22.5°.

A partir de la información suministrada por el *WIS* (Waves Information Studies) se puede llegar a una descripción completa del oleaje. En condiciones de oleaje irregular existen diferentes vías para describir estadísticamente las olas. El CEM (2002) reconoce que los parámetros más utilizados son la altura media, la altura de la raíz media cuadrática y la altura media de un tercio de las olas más altas de todas las olas registradas, que se conoce como altura significativa. Entre todos estos parámetros, el más utilizado es la altura significativa que se denota por H_s o $H_{1/3}$ y que se corresponde aproximadamente con la altura visual estimada por un observador experimentado.

Al hacer un análisis por rumbos se obtiene que las direcciones más probables de incidencia del oleaje son el ENE (40.97 %) y el E (22.33 %), seguidas por el NE (21.64 %) y el NNE (9.08 %). Las olas procedentes del N son menos frecuentes (3.42 %) y las del NNW tienen una frecuencia extremadamente baja (0.87 %) y responden fundamentalmente a eventos meteorológicos extremos.

Las olas procedentes del NNW, N y NNE, a pesar de ser poco frecuentes (13.37 % en total) son las de mayor energía y su $H_{1/3}$ toma valores superiores a 2 metros. Las olas procedentes del NE, ENE, E y ESE, son las de mayor frecuencia (86.04 % en total), pero su energía es algo menor ($H_{1/3} < 2$ metros).

Al analizar el comportamiento estacional del oleaje se tiene que en los meses de verano (mayo, junio, julio y agosto) el oleaje es de energía relativamente baja y procede del primer cuadrante (N, NNE, NE, ENE y E). En contraste con este comportamiento, los primeros meses del año (correspondientes a la temporada invernal) se caracterizan por presentar picos con alta energía del oleaje, donde la altura significativa supera los 4 metros con períodos de más de 12 segundos. En los meses finales del año (septiembre, octubre, noviembre y diciembre) ocurre algo similar y es frecuente que se produzcan olas superiores a 4 y 5 metros, con períodos pico de hasta 16 segundos. En cuanto a la dirección, las olas de mayor energía, por lo general se asocian con los rumbos entre 270° y 360° (entre el W y el N), lo que confirma que el oleaje procedente de estos rumbos, a pesar de ser de baja frecuencia, puede tener una significativa participación en la dinámica sedimentaria.

Este elemento debe ser cuidadosamente evaluado, tanto al diseñar el apoyo de la playa, como al estudiar el comportamiento de la misma, pues estas olas llegan a provocar importantes cambios en la forma del perfil y la configuración de la costa en cortos intervalos de tiempo ((Tabla VII.1).

Tabla VII.1.

Resumen de los cálculos de los parámetros del oleaje en aguas profundas.

Rumbo	Frecuencia (%)	H_{rms} (m)	H_s (m)	T_p (s)
NNW	0.87	2.23	2.16	10.85
N	3.42	2.52	2.41	11.29
NNE	9.08	2.36	2.27	10.68
NE	21.64	2.05	1.97	9.60
ENE	40.97	1.88	1.81	7.81
E	22.33	1.63	1.58	6.55
ESE	1.10	1.63	1.53	6.47

Por su elevada frecuencia, así como por el impacto que sobre la zona costera en la región generan los huracanes, resulta necesario tenerlos en cuenta para la estimación de los parámetros extremos del oleaje. Aunque se reporta el paso de un número considerable de huracanes por República Dominicana, hay dos que se destacan tanto por su cercanía a la zona de estudio como por el efecto de las olas generadas por los mismos, ellos son el Georges en 1998 y el Jeanne en 2004. El huracán Georges pasó por el centro del país con una presión mínima de 964 hP y una velocidad de los vientos de

105 nudos. Jeanne, por su parte, bordeó toda la costa norte del país con una presión central de 984 hP y vientos máximos sostenidos de 70 nudos. Estos huracanes dejaron a su paso intensas lluvias (15 pulgadas, promedió Jeanne en los pluviómetros de Puerto Rico y 18 pulgadas Georges en el oriente cubano) y generaron olas de más de 4 m de altura las cuales provocaron diversos daños a lo largo del litoral norte dominicano.

Propagación del oleaje en la zona costera

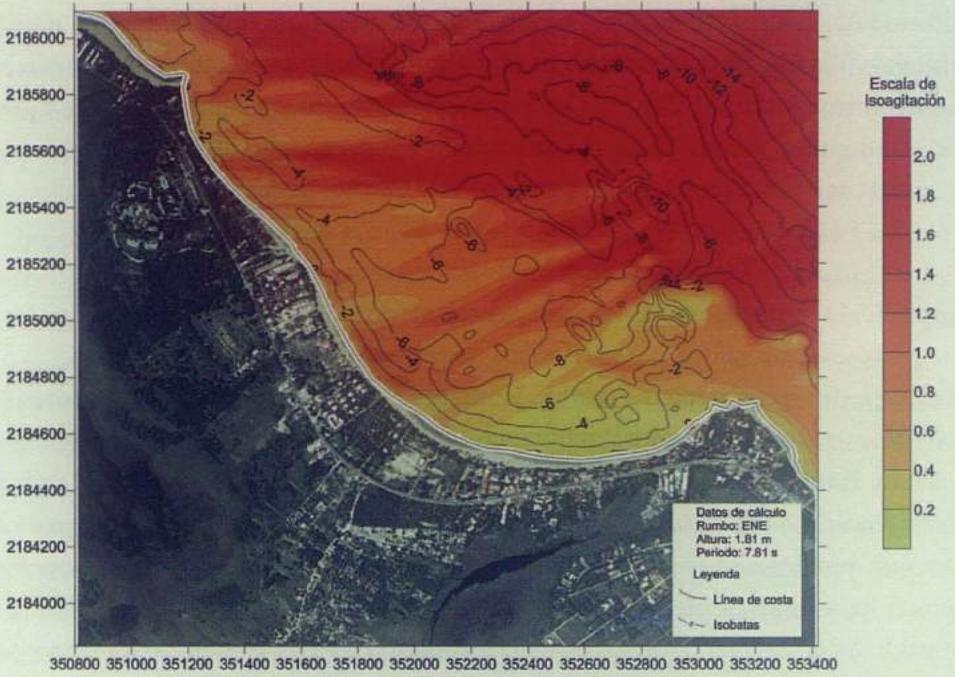
El oleaje en su aproximación a la costa interactúa con el fondo y los diversos obstáculos que encuentra en su recorrido, produciéndose cambios en su dirección de propagación y su altura. Estos cambios crean focos locales de concentración y disipación de la energía. Dicho fenómeno puede ser abordado desde el punto de vista ondulatorio y ser resuelto como un problema de refracción y difracción de ondas en un medio continuo. Para conocer los ángulos de incidencia y la agitación del oleaje se realizaron los cálculos de su propagación en la zona costera aplicando el modelo REFDIF10 y tomando como base los parámetros de oleaje en aguas profundas estimados en el epígrafe anterior:

- 1^{er}. Oleaje más frecuente: altura 1.81 m, período 7.81 s, rumbo ENE.
- 2^{do}. Oleaje extremo: altura 5 m, período 16 s, rumbos N, NE, E.

Se muestran los resultados de los cálculos de propagación del oleaje en la playa Cabarete para las condiciones habituales. El plano de isoagitación constituye una representación de las alturas máximas que se alcanzan en cada punto. La superficie libre del mar representa la forma en que los frentes de olas arriban a la costa (Fig. VII.5). En las condiciones habituales, el oleaje rompe en la zona arrecifal que se encuentra frente a los extremos de la playa. Hacia el centro, el oleaje penetra libremente a través del canal que en dicha zona corta la cresta arrecifal. En el extremo oriental, la rompiente se produce a una distancia variable entre 200-500 m de la línea de costa, en esta porción la playa se encuentra muy protegida del oleaje y solo se alcanzan alturas de ola inferiores a 0.4 m.

En toda la parte central y occidental, después de pasar los arrecifes, el oleaje tiende a recomponerse y la superposición de sus ondas crea un patrón complejo en el cual se alternan, zonas de mayor concentración de energía, con zonas de menor concentración. Desde el centro y hacia el occidente se alcanzan alturas de ola entre 0.4 y 1.0 m llegando en algunos puntos a 1.4 m.

Isoagitación



Superficie libre



Fig. VII. 5. Cálculos de la propagación del oleaje en las condiciones más frecuentes.

La forma de incidencia del oleaje sobre la costa es oblicua en el extremo oriental. El ángulo formado entre los frentes de olas y la línea de costa es igual o menor que 60° . Hacia la porción central la incidencia del oleaje es perpendicular, pues la ruptura de la cresta arrecifal se convierte en un foco emisor de ondas esféricas, las cuales alcanzan esta zona de manera frontal.

Ya hacia el extremo occidental el ángulo de incidencia se indefine, pues se produce una superposición de ondas de carácter complejo, que da como resultado un patrón de incidencia desorganizado.

Ello está en correspondencia con los resultados de los cálculos de la agitación del oleaje, pues en un sitio con incidencia oblicua se produce una menor disipación de energía por unidad de área y por el contrario, en un sitio de incidencia perpendicular, la disipación de energía por unidad de área es la mayor posible.

Desde el punto de vista de la dinámica de los sedimentos, la incidencia oblicua del oleaje genera un movimiento neto de los mismos en una dirección a lo largo de la costa y la incidencia perpendicular genera movimientos en la dirección transversal a la costa y su sentido estará determinado por la relación que se establece entre la longitud de onda y el período del oleaje con la profundidad del sitio en cuestión.

A continuación se muestran los resultados de los cálculos de propagación del oleaje en la zona costera para las condiciones de oleaje extremo. En esta situación los cálculos se han realizado para los rumbos norte, noreste y este (Fig. VII.6).

En el caso del temporal procedente del norte se produce una disipación intensa de la energía del oleaje en la zona de los arrecifes coralinos. A lo largo de la costa occidental se obtiene una agitación bastante homogénea con alturas de ola que oscilan entre 1.0 y 1.5 m. En la parte central y casi toda la oriental se obtienen alturas de hasta 2.5 m muy cerca de la costa. En el extremo oriental, la agitación vuelve a ser baja debido a la protección que brindan los arrecifes. Se puede apreciar la forma de arribo de los frentes de olas al litoral para un temporal procedente del norte. Se nota que en la mayor parte de la playa occidental la incidencia es oblicua y en la parte oriental también, pero en sentido contrario, lo cual trae como consecuencia que hacia el centro se produzca una confluencia turbulenta.

Con el temporal procedente del noreste, al igual que sucedía con el del norte, se genera una intensa disipación de energía en la zona de los arrecifes. En este caso se produce una mayor agitación del oleaje a lo largo de la parte oriental de la playa con alturas entre 1.0 y 2.0 m y alcanzando en algunos sitios hasta 3.0 m. El oleaje procedente de esta dirección, al rebasar los arrecifes, no llega a reorganizarse de una manera perfecta en la parte occidental de la playa, aunque si permite afirmar que incide sobre

Isoagitación

Superficie libre

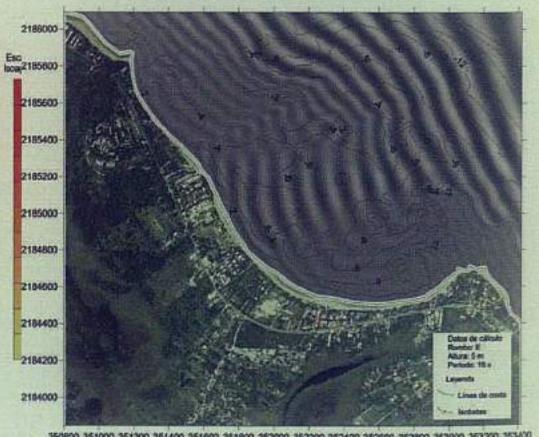
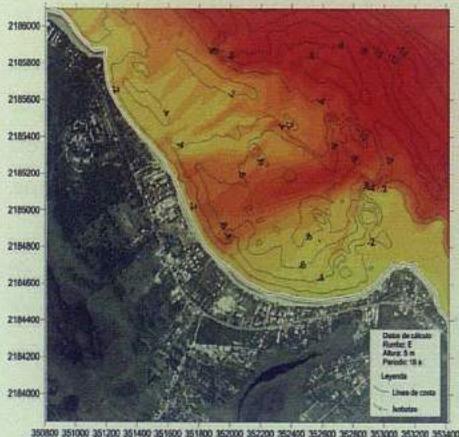
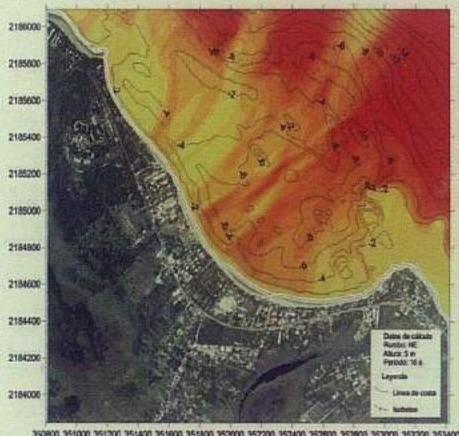
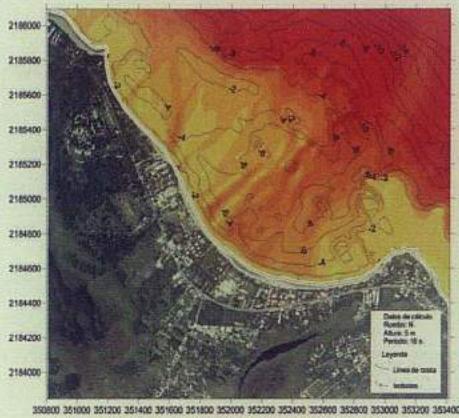


Fig. VII.6. Cálculos de la propagación del oleaje en las condiciones extremas.

la costa de forma perpendicular en casi toda su extensión. En la parte oriental el oleaje penetra a través del canal y alcanza la costa con bastante organización e intensidad, es de este rumbo que deben esperarse las mayores afectaciones sobre la playa.

Los temporales procedentes del este rompen sobre los arrecifes y en la parte central de la playa penetran al interior con valores de altura de ola considerables. El oleaje proveniente de este rumbo es el que provoca los mayores impactos sobre la parte central de la playa. Los patrones de difracción que tienen lugar en la zona costera condicionan la presencia de valores de altura de ola de hasta 2.5 m en las proximidades del litoral, en el centro de la playa. Ya hacia el extremo occidental y el oriental los efectos son menores, pues la protección que brindan los arrecifes coralinos se hace más efectiva. Este temporal penetra de manera oblicua en casi toda la playa, con un ángulo inferior a 30 grados aproximadamente. El oleaje proveniente de este rumbo genera un transporte a lo largo del litoral en dirección oeste. La unidad físico-geográfica, donde se ubica la playa Cabarete, definida entre el Cabo Francés Viejo y la bahía de Sosúa, con unos 72 Km de extensión, responde a las características de un sistema donde interactúan un conjunto de procesos y elementos presentes en la zona costera, en la cual se produce un equilibrio permanente de la masa de sedimentos (Fig. VII.7).

El balance sedimentario de esta unidad físico-geográfica incluye todos los ingresos y salidas, considerándose que su suma algebraica es igual a cero, de manera que se establece un funcionamiento autorregulador del sistema.

En la parte central de la unidad físico-geográfica, a lo largo de unos 40 Km, el litoral se caracteriza por playas que sólo se individualizan al ocurrir pequeños cambios en la orientación de la línea de costa o al aparecer la desembocadura de los ríos.

Este sector forma parte de los llanos costeros del Atlántico descrita por Troncoso (1986) y la integran las cuencas de los ríos Yásica, Joba y San Juan, los que constituyen los principales aportadores de arena a las playas de la unidad físico-geográfica.

Como parte de la estructura de esta franja costera destacan las dunas que acompañan a las playas a lo largo de todo el sector. Las nivelaciones topográficas realizadas en dos estaciones ubicadas entre el río Yásica y la ensenada de Cabarete, muestran la existencia de un perfil de playa bien desarrollado con una duna de 50-60 m de ancho y 3-4 m de altura (Fig. VII.8). Sin embargo, la formación de escarpes de erosión al pie de la duna que se advierte en el perfil 2, pone de manifiesto la ocurrencia de un proceso erosivo actual.

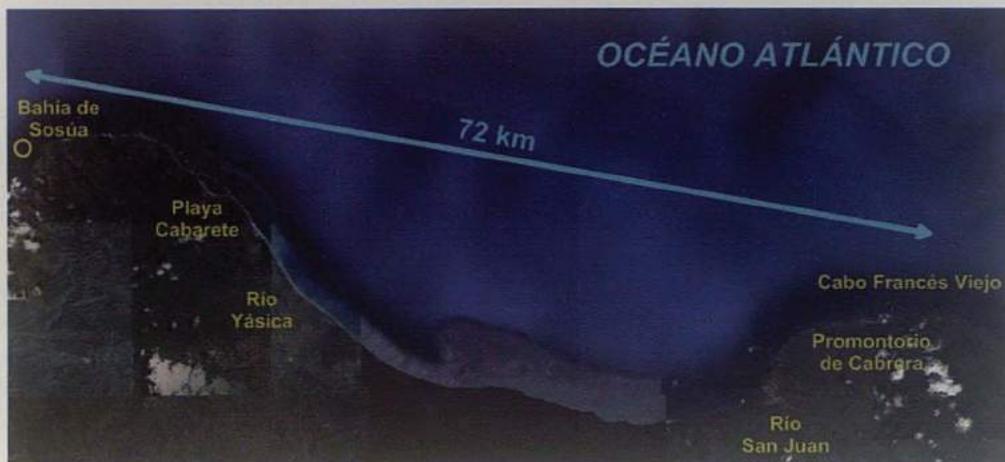


Fig. VII.7. Unidad físico-geográfica donde se ubica la playa Cabarete.

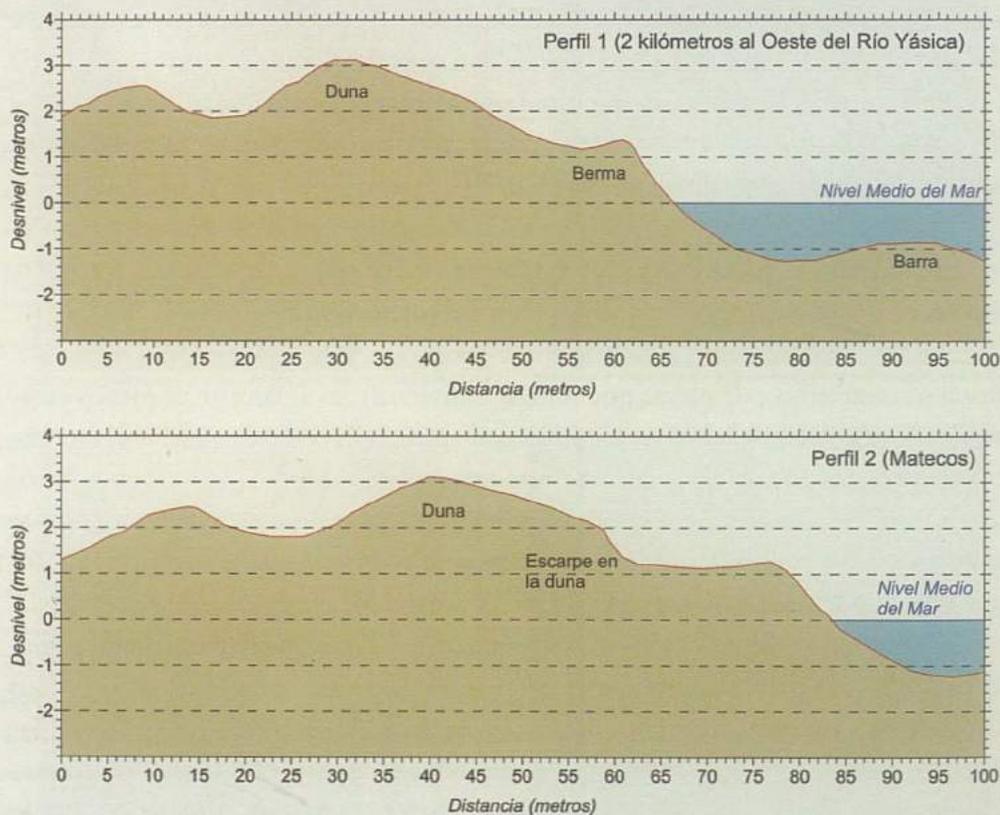


Fig. VII.8. Perfiles topográficos al este de la playa Cabarete.

Las fotos fueron tomadas en diferentes partes de la playa desde Bahía Príncipe hasta Cabarete, muestran imágenes del deterioro físico del litoral y permiten afirmar que el proceso erosivo se presenta de manera generalizada en los 40 Km que cubren este sector, aunque no con la misma intensidad en todos los puntos (Foto VII.3 y 4).

El estudio realizado desde el río Yásica hasta la ensenada de Cabarete, pone de manifiesto que el proceso erosivo se intensifica en la medida que aumenta la distancia a la desembocadura del río. Si se tiene en cuenta que el transporte principal de arena se produce de este a oeste, en correspondencia con la incidencia del oleaje generado por los vientos alisios, la intensificación de la erosión en esa dirección pone de manifiesto la incapacidad del transporte actual para mantener las playas.

De hecho se puede afirmar que el déficit en los ingresos de arena al balance sedimentario está siendo compensado en la actualidad por la erosión de las playas y las dunas. Al oeste de este sector central aparece la ensenada de Cabarete, que funciona como un elemento morfológico de transición entre el típico sector de playa de la llanura costera y la parte oeste de la unidad físico-geográfica caracterizada por la terraza carbonatada. La ensenada presenta una línea de costa semicircular con una longitud de 2.5 Km y formada por sedimentos arenosos terrígenos que dan origen a la playa Cabarete. Hacia el oeste de Cabarete continúa una playa bien desarrollada de 2 Km de longitud y una duna de 4 m de altura, marcada también por los escarpes de erosión. Al igual que lo observado en el sector costero Yásica-Cabarete, la erosión en esta playa responde al insuficiente ingreso de arena al transporte longitudinal, y la duna se ha convertido en una importante fuente de abastecimiento de arena a la playa. Hacia tierra se puede comprobar la existencia de un campo de dunas que se extiende varios centenares de metros, constituyendo una potente reserva de arena.

Pendiente submarina

En la carta de navegación escala 1: 145 257, edición de 1978, hoja 251761, se puede apreciar que entre la desembocadura del Yásica y la ensenada de Cabarete, la plataforma submarina se estrecha con respecto al resto del sector y la barrera arrecifal aparece de forma irregular, lo que está en correspondencia con la mayor intensidad de la acción erosiva de las olas que se observa en esa área. Si se tiene en cuenta que este sector se encuentra expuesto a las aguas del océano Atlántico, puede comprenderse el papel que desempeña la barrera arrecifal como el rompeolas natural que garantiza la existencia de la playa y la duna, así como del depósito de arena formado entre la propia barrera y la costa, el cual forma parte del perfil submarino de la playa.



Imagen VII.3. Escarpe en la duna al oeste del río Yásica.



Imagen VII.4. Escarpe de erosión en la playa, sector Yásica-Cabarete.

Las inmersiones realizadas mediante buceo autónomo en varias estaciones, localizadas al oeste del Yásica, con el objetivo de ubicar depósitos de arena disponibles para los trabajos de regeneración de playas, permitió comprobar la existencia de una terraza submarina en la profundidad de 15 m, la cual se proyecta hasta los 20 m a través de una pared casi vertical donde aparecen formaciones coralinas, algas y gorgonáceos. Al pie de la terraza aparece un depósito de sedimentos arcillosos con dispersas poblaciones de algas calcáreas. La matriz arcillosa de las muestras tomadas en el lugar, está formada por minerales de origen terrígeno, lo que indica el largo proceso de transportación al que estuvo sometido este material antes de su deposición.

En las observaciones submarinas y el sondeo general realizado en la ensenada de Cabarete, se pudo constatar que la barrera arrecifal que franquea la ensenada es discontinua, y aflora en numerosos lugares llegando a extenderse hasta la profundidad de 5 m, alcanzando un ancho considerable. La barrera yace sobre una superficie abrasiva que se conecta a la misma costa en ambos extremos de la ensenada. El canal que divide la barrera en dos partes tiene un ancho de 300 m y 9 m de profundidad, el cual se convierte en una posible vía de fuga de sedimento (Fig. VII.9). El relieve interior de la ensenada es accidentado combinándose fondos arenosos con afloramientos de rocas. Sin embargo, la disposición de las isobatas indica la existencia de una depresión en su parte central con profundidades entre 7 y 9 m, en las zonas más profundas.

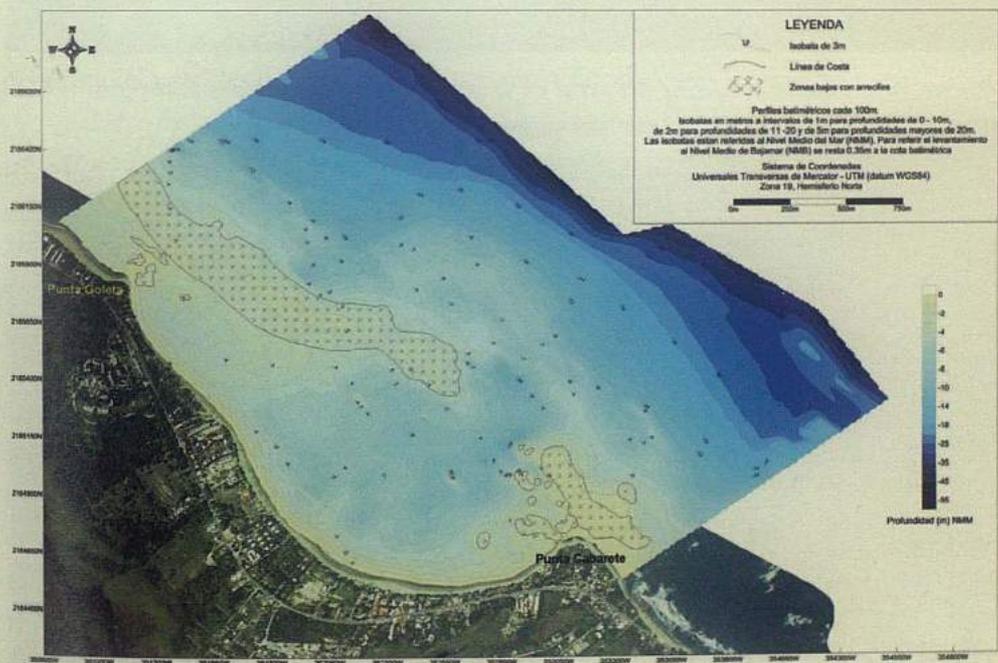


Fig. VII.9. Batimetría de la ensenada de Cabarete.

Resulta notoria la disposición de la isobata de 5m, la cual se acerca mucho más a la línea de costa en la parte central de la ensenada que hacia sus extremos, por lo que es apreciable la diferenciación que ocurre en el nivel de energía de las olas que arriban a la costa, siendo más atenuada en la parte oriental de la ensenada, dada la protección que ofrece la barrera arrecifal a los oleajes generados por los vientos alisios, y más intensa en la parte occidental, donde las olas penetran a la ensenada a través de la abertura del arrecife y viajan hacia la costa por la depresión central. Precisamente en esta zona es donde se producen fuertes cortes en la duna litoral marcados por escarpes de erosión (Imágenes VII.5 y 6).



Imagen VII.5. Suave pendiente del perfil en la zona oriental de la playa Cabarete.



Imagen VII.6. Escarpes de erosión y fuertes pendientes en la zona occidental de playa Cabarete.

Dinámica del perfil de playa

En la descripción de la unidad físico-geográfica se ha señalado que el insuficiente transporte longitudinal de arena ha sido la causa principal de la erosión en las playas y las dunas. Resulta un hecho que el volumen de material arenoso arrastrado por la deriva litoral no garantiza el mantenimiento de las playas, debido, quizás, a las siguientes causas:

- 1) Los ríos han disminuido sus aportes.
- 2) Se ha intensificado la acción erosiva del oleaje.

La disminución de los aportes fluviales está directamente relacionada con la extracción de arena para la construcción, que se realiza en los ríos Yásica, Joba y San Juan. Aunque no existen datos precisos acerca de la magnitud de las extracciones, todo parece indicar que por su sistematicidad y extensión representan una de las causas de erosión en las playas. Con respecto a la intensificación de la acción erosiva del oleaje debe señalarse que es un fenómeno generalizado a nivel mundial y estrechamente relacionado con los cambios climáticos globales. En el caso de la zona de estudio, los marcados escarpes de erosión que se observan en la duna natural, permiten considerar que el incremento del efecto erosivo de las olas debido a la elevación del nivel del mar, resulta una importante causa de erosión.

Dentro de la zona de trabajo, y particularmente en Cabarete, se producen acciones antrópicas que contribuyen a incrementar el efecto erosivo del oleaje, como son la construcción de instalaciones turísticas sobre la duna y la construcción de espigones. Debe señalarse que si bien estas acciones son incorrectas, sus efectos son locales y no pueden ser identificadas como las causas de la erosión generalizada que se observa en la unidad físico-geográfica. Sin embargo, atendiendo a la presión inversionista que existe sobre el área, las construcciones sobre la duna pueden pasar a convertirse en la principal causa de erosión, si no se toman con prontitud medidas regulatorias.

La playa Cabarete presenta una configuración en forma de ensenada protegida contra el oleaje por una barrera arrecifal. Como se ha señalado, en su zona costera emergida, se diferencian perfectamente dos sectores. El primero ocupa la mitad oriental de la ensenada y se caracteriza por la ausencia de dunas y la presencia de un significativo número de instalaciones turísticas. El segundo, se extiende en la mitad occidental, donde se aprecian dunas de unos 4 m de altura, cortadas prácticamente en su eje por escarpes de erosión.

Los sedimentos más finos se observan en la pendiente submarina oriental de la ensenada, la cual se encuentra protegida a la sombra de los espigones situados en punta Cabarete, así como por la barrera arrecifal que en parte aflora en el lugar.

En la ensenada, la distribución de los sedimentos de arena fina muy compactada, es de forma general homogénea, aunque hacia la zona occidental el sedimento es ligeramente más grueso, poco erodado, con restos de corales asociados a la presencia de una superficie abrasiva en el límite arena-roca de la pendiente submarina.

Para el análisis granulométrico se colectaron muestras de sedimentos en los perfiles 5, 20, 28 y 39 (Fig. VII.10) y los resultados de los análisis se presentan en la Tabla VII.2.

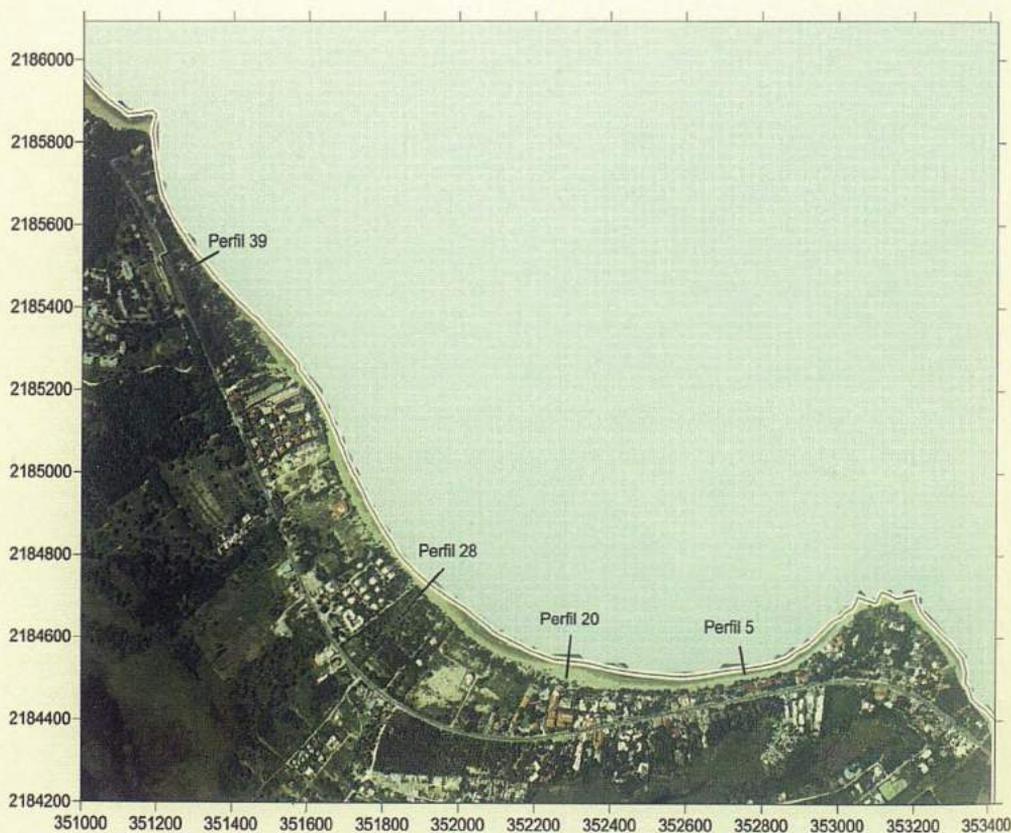


Fig. VII.10. Ubicación de los puntos de muestreo sedimentológico en la playa.

Se escogieron estos perfiles por ser los más representativos de los tramos de costa, y por estar a distancias que permitieran la caracterización de toda la longitud de la playa a caracterizar, el del extremo oeste de la playa se escogió por una pequeña diferenciación en los sedimentos como se ha dicho anteriormente son sedimentos un poco más gruesos.

Tabla VII.2.

Resultados del análisis granulométrico de las muestras tipo de la playa Cabarete.

Muestra	Rango de Tamices								M		Desv. Estand (Ø)	Clasificac. Wentworth
	>4	4-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	0.125-0.062	< 0.062	(mm)	(Ø)		
P-5	--	--	0.5	4.6	16.9	60.2	15.9	0.5	0.19	2.39	0.76	Arena Fina
P-20	--	--	--	3.8	37.2	53.5	4.1	--	0.24	2.09	0.63	Arena Fina
P-28	--	--	0.4	5.0	38.1	51.0	3.8	--	0.24	2.04	0.67	Arena Fina
P-39	--	0.12	2.5	10.8	38.9	44.9	1.86	0.16	0.28	1.83	0.81	Arena Media

Pueden apreciarse los resultados del análisis granulométrico de las muestras de sedimentos colectadas en la playa, donde el valor del diámetro medio (M) de la muestra tipo del perfil 5, ubicado en la parte más oriental de la playa, resulta inferior al resto de los perfiles de muestreo localizados en la parte central y occidental de la playa, lo que guarda relación con el nivel de energía y ángulo de incidencia con que las olas actúan sobre la costa.

Los sedimentos más gruesos aparecen en la parte más occidental de la playa, donde se ubica el perfil de muestreo 39, con un valor del diámetro medio de la muestra tipo de 0.28 mm, por lo que clasifica como arena media. La composición del material sedimentario que alimenta la playa es terrígena, como se aprecia en la Tabla VII.3, donde los porcentajes de los restos inorgánicos superan de forma significativa a los restos orgánicos.

Tabla VII.3.

Resultados del análisis de composición de las muestras tipo de la playa Cabarete

MUESTRA	FRACCION GRANULOM. (MM)	RESTOS ORGANICOS (*) (%)	RESTOS INORGANICOS (**) (%)	CROMATISMO
P-5	2-1	10	90	Pardo
	1-0.5	10	90	
P-20	2-1	10	90	Pardo
	1-0.5	10	90	
P-28	2-1 ^o	10	90	Pardo
	1-0.5	10	90	

(*) Restos Orgánicos (RO): incluye restos calcáreos de especies marinas como corales, algas calcáreas, foraminíferos, moluscos, opérculos, espinas de equinodermos, alcionarios, ostrácodos, briozoos, anélidos, muélas y espinas de peces.

(**) Restos Inorgánicos (RI): incluyen fragmentos de rocas de diferentes orígenes y minerales como la calcita, cuarzo, leucoceno, circón, epidota y algunos litoclastos calcáreos.

La observación directa de los fragmentos que componen el sedimento de la playa permitió identificar escasos restos calcáreos provenientes de organismos marinos, así como abundantes cantos rodados de rocas y minerales muy pulidos, exhibiendo un marcado deterioro de su morfología original, signo de avanzada madurez sedimentaria, lo que indica que los ingresos actuales de arena a la playa son reducidos. Estas características del sedimento contribuyen a entender que la migración de arena desde la duna hacia la playa y la pendiente submarina, es el resultado del reacomodo del material sedimentario que está ocurriendo en la actualidad y una forma de manifestarse el proceso erosivo. Debe destacarse que este proceso ocurre a lo largo de todo el sector de playa e indica que el transporte de sedimentos en dirección perpendicular a la costa es significativo, produciéndose el ingreso de arena a la costa y la pérdida hacia la pendiente submarina. Con respecto al transporte de sedimentos, tanto en el sector oriental como en el occidental, se aprecia el mismo patrón, caracterizado por una mayor tendencia del acarreo de arena en dirección perpendicular a la costa y una deriva litoral débil con predominio de dirección este-oeste.

En sentido general, la pendiente de la playa Cabarete es suave, así lo atestiguan las nivelaciones topográficas que aparecen a continuación (Fig. VII.11) y las exploraciones mediante buceo autónomo. Todas estas nivelaciones demuestran que las pendientes submarinas presentan valores bajos con tangentes entre 0.01 y 0.02, apropiadas para el desarrollo de los procesos de acumulación y la formación de playas, sin embargo la pendiente de la parte emergida de los perfiles marcan cierta diferenciación entre el sector oriental y el occidental.

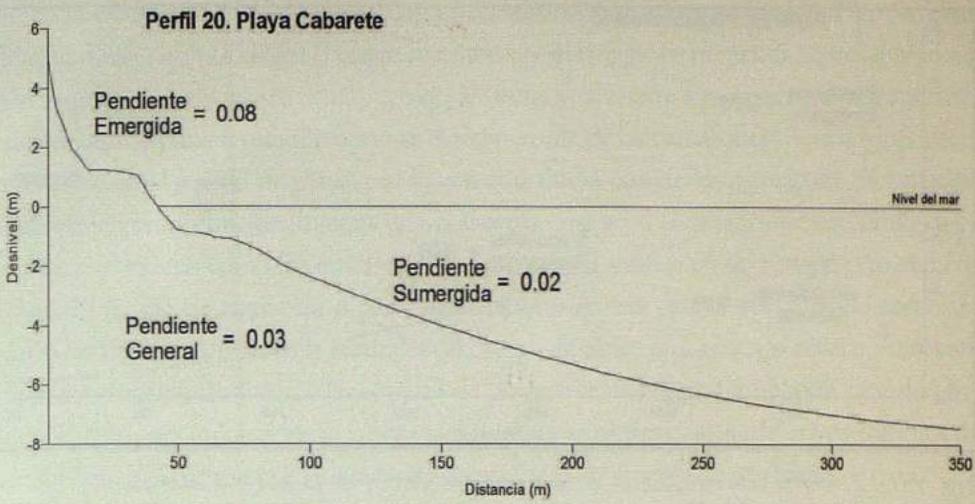


Fig. VII.11. Perfil representativo de la parte oriental de la playa Cabarete.

En la figura VII.11 se representa uno de los perfiles topográficos obtenidos en la parte oriental de la playa y pueden apreciarse los bajos valores de pendiente y la regularidad de la morfología del perfil en la parte submarina, teniendo un comportamiento similar la pendiente emergida, la que llega a alcanzar valores de tangente de 0.08. Dicha pendiente favorece la estabilidad del perfil en la zona oriental de Cabarete, la cual está condicionada por la orientación de la línea de costa y por la protección que le ofrece el promontorio rocoso que aflora en la parte submarina, unido a los espigones construidos en la costa, que por refracción del oleaje influyen en la sedimentación que se observa en esta área. El ingreso de arena transportada por el viento hacia la playa por encima de los espigones mencionados, resulta una importante vía de ingreso a la playa, contribuyendo en particular a mantener la estabilidad del sector oriental a pesar de la fuerte antropización que presenta, con instalaciones turísticas y de otros fines.

En esta parte de la playa no se aprecia la formación de dunas y el área de sol alcanza unos 25 m, manteniéndose con esas características hasta la parte central, donde está ubicado el hotel Ocean Dream.

En la Fig. VII.12 aparece un perfil representativo de la parte occidental de la playa, donde puede notarse un incremento de la pendiente emergida a causa de la presencia de los fuertes escarpes de erosión que caracterizan este sector de costa.

La pendiente submarina muestra valores de tangente en el orden de 0.01, inferiores al del perfil oriental, sin embargo, el fondo esta constituido no sólo por

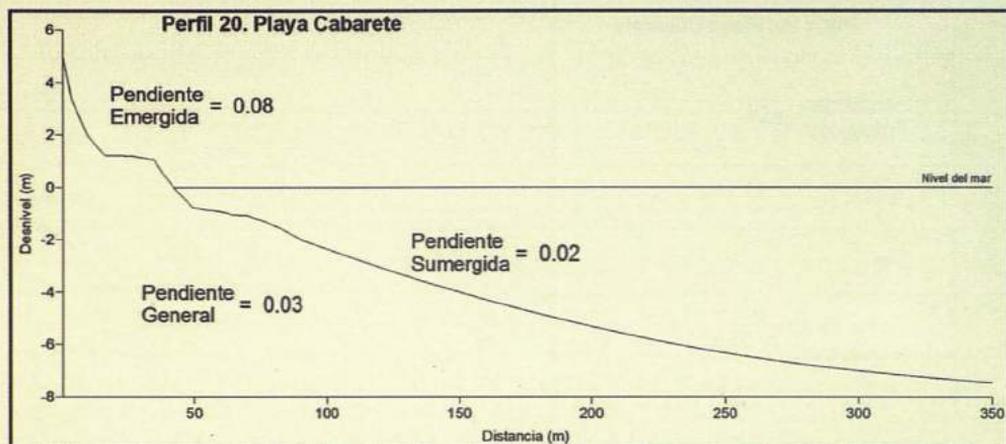


Fig. VII.12. Perfil representativo de la parte occidental de la playa Cabarete.

arena, sino además, por el afloramiento de superficies rocosas que se aprecian desde la costa hasta la barrera arrecifal. El área de sol de este sector está en el orden de los 15 m de ancho, alrededor de la mitad del que se aprecia en la parte oriental. El comportamiento morfodinámico de la playa Cabarete, independientemente de sus particularidades, que la diferencian del resto del sistema costero estudiado, evidencia que existe un déficit actual de ingreso de material terrígeno, a partir de los índices de erosión mostrados, sobre todo en su parte occidental.

Perfil de equilibrio de la playa

Desde hace varias décadas se desarrollan modelos matemáticos, cuyo objetivo principal es realizar predicciones confiables de la evolución de la costa y determinar las consecuencias de las tormentas y la elevación del nivel del mar. Idealmente, esos modelos permiten, con un oleaje y batimetría iniciales apropiados, simular el comportamiento de la línea de costa y del relieve del fondo marino en un período dado. Además, pueden ser utilizados para el diseño de estructuras costeras y/o vertimientos de arena como evaluadores de su efectividad y funcionalidad en un período de tiempo determinado. En el funcionamiento dinámico de la playa uno de los aspectos esenciales es el transporte de sedimentos. Para esto se parte del criterio de que éste se produce en dos direcciones fundamentales: perpendicular (onshore -offshore) y a lo largo de la costa (longshore). En la naturaleza, ambas direcciones pueden ser verificadas, e inclusive el predominio de una con respecto a la otra, lo cual simplifica el desarrollo de las investigaciones teóricas en este campo.

El transporte a lo largo de la costa ocurre fundamentalmente debido a las corrientes longitudinales inducidas por el oleaje, mientras que el transporte perpendicular es el resultado del movimiento de las partículas debido al oleaje y la resaca. En esencia, el transporte de sedimentos, en una u otra dirección es el responsable de las variaciones morfológicas y sedimentológicas del perfil de playa, por lo que constituye uno de los principales procesos que intervienen en el funcionamiento de un sistema costero. Los estados de equilibrio de un sistema se definen como los estados a los que tiende el mismo en un tiempo relativamente largo. El estado de equilibrio o perfil de equilibrio en este caso es considerado como una cantidad dinámica, pues en la naturaleza el campo de oleaje incidente y el nivel del mar cambian continuamente y con ellas el perfil de playa. Sin embargo, frente a un tren de oleaje estacionario, sin muchas variaciones en el tiempo, se obtiene un perfil cuyos cambios son pequeños en el tiempo y pueden despreciarse. Este será el perfil de equilibrio.

Leontiev (1985) describe una de las posibles formas en que se alcanza el perfil de equilibrio: En el proceso de interacción entre el oleaje y el fondo de arena, la pendiente del perfil de playa tiende a adquirir una forma estacionaria correspondiente a un régimen de oleaje determinado. Durante la acción de las olas en un tiempo relativamente largo se establece un perfil de equilibrio que permanece sin presentar cambios significativos, hasta que el régimen de oleaje varíe. Según Dean (1990), el perfil de equilibrio es el resultado de un balance que se establece entre las fuerzas que llevan el sedimento hacia el mar (destructoras) y las que lo transportan hacia la costa (constructivas). Dicho de otro modo, el logro del equilibrio significa que la razón de disipación de energía en el fondo es constante a lo largo del perfil. Entre las fuerzas destructoras más importantes se encuentran: la gravedad y las altas turbulencias caóticas debido a las fluctuaciones de la ola en la zona de rompiente. Algunas de las fuerzas constructivas son: el tensor de fuerzas de rozamientos netos por el fondo hacia la costa, la velocidad de la corriente por el fondo (disipación de energía) y la suspensión intermitente y transporte selectivo bajo la cresta de la ola hacia la costa.

En cualquiera de las definiciones descritas se tiene en cuenta que la forma del perfil de equilibrio es función de los parámetros del oleaje y de las características físicas de los granos del sedimento. El funcionamiento de la playa Cabarete puede ser caracterizado por medio de dos perfiles ubicados uno en la porción occidental y otro en la oriental. Por eso, para calcular el perfil de equilibrio se seleccionaron las condiciones existentes en los perfiles 39 y 20. En la Fig. VII.13 se presentan los resultados de los cálculos del perfil de equilibrio empleando el modelo propuesto por Dean (1995) y su comparación con el perfil 39 medido en el terreno. Como se puede apreciar, el perfil de equilibrio intercepta con el fondo marino a unos 200 m de la línea de costa y se encuentra en todo ese intervalo entre

1.0 y 1.3 m por encima del perfil actual. Esto indica que el perfil de la playa se encuentra por debajo de las condiciones de equilibrio esperadas para el mismo, o lo que es igual, presenta un déficit de arena. El volumen de arena requerido para alcanzar la condición de equilibrio en la situación actual es de $197 \text{ m}^3/\text{m}$ lineal de playa.

En la figura VII.14 se presenta la comparación del perfil de equilibrio con el perfil 20. El perfil de equilibrio en este caso intercepta con el fondo a apenas 50 m de la línea de costa, por lo cual en esta parte del perfil, se puede plantear que el sedimento es estable. La diferencia entre el perfil actual y el de equilibrio es apenas 5 m^3 . Sin embargo al avanzar hacia el mar el perfil de equilibrio se encuentra por encima del perfil actual. Esto constituye un resultado de mucho interés pues indica que los sedimentos que caen en dicha zona no alcanzan una situación de equilibrio y por lo tanto pueden continuar viajando hacia profundidades mayores desde las cuales no retornan a la playa. Luego las condiciones morfológicas de esta zona favorecen las pérdidas de sedimentos de la playa.

Los cálculos del perfil de equilibrio realizados y su comparación con los perfiles actuales confirman la presencia de un proceso erosivo en la playa Cabarete.

Perfil de equilibrio en condiciones de tormenta

La playa está sometida ocasionalmente a la ocurrencia de eventos extremos, que producen transformaciones en el perfil de la playa en cortos intervalos de tiempo, cuya predicción resulta de gran interés práctico.

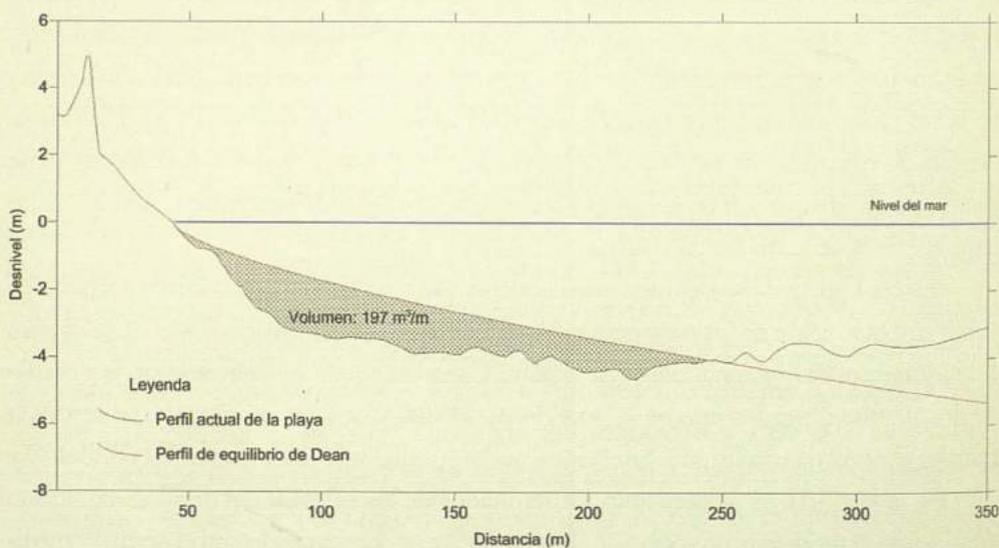


Fig. VII.13. Comparación entre el perfil de equilibrio de Dean y el perfil actual de la playa en la zona occidental.

Para evaluar los cambios que tienen lugar en el perfil de playa ante la ocurrencia de eventos extremos se tiene en consideración el perfil actual de playa, los resultados del análisis del oleaje generado por los temporales y las características del sedimento.

El modelo empleado en este trabajo fue inicialmente propuesto por Moore (1982), y más tarde modificado por Kriebel (1985). Se basa en el concepto de perfil de equilibrio explicado anteriormente. De tal manera que si para un régimen de oleaje determinado la playa no se encuentra en la posición de equilibrio entonces los niveles de sedimento en cada punto estarán cambiando hasta que la razón de disipación de energía sea constante y se logre el perfil de equilibrio. Para la aplicación del modelo de Kriebel (1985) se utiliza el programa SBEACH 2.0, consultable en el sitio web del US ARMY CORPS OF ENGINEERINGS: <http://hlnet.wes.army.mil/software/sbeach> (Register to Sbeach / Public release version / user number 1N410).

Este modelo fue corrido para una tormenta intensa de manera que pudieran determinarse, de forma acelerada, los cambios en el perfil de playa. Los parámetros de la tormenta se muestran a continuación (Fig. VII.15) y fueron determinados a partir de un análisis estadístico realizado a los datos de las tormentas que han pasado por la zona en los últimos 105 años. La tormenta tiene una duración de 72 horas, alcanza una altura de ola de 5 m y un período de 16 segundos.

Al igual que en el epígrafe anterior, atendiendo a la morfología de la playa, el análisis se realizó para la zona occidental y la oriental, tomándose los perfiles 39 y 20 para los cálculos del

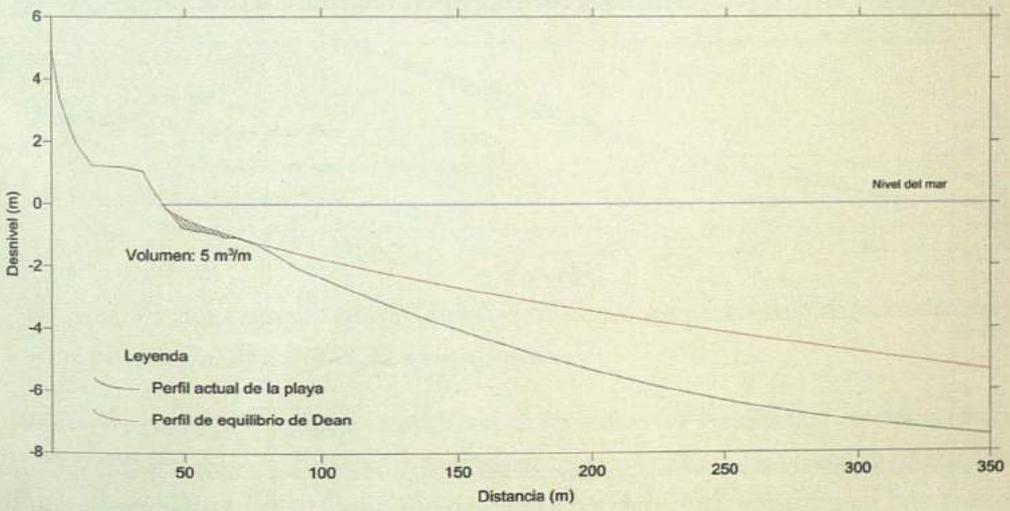


Fig. VII.14. Comparación entre el perfil de equilibrio de Dean y el perfil actual de la playa en la zona oriental.

modelo. En el perfil 39 se muestran los resultados de los cálculos de las transformaciones que tienen lugar en el perfil con el paso de una tormenta (Fig. VII.16). El resultado más importante es que se erosionan totalmente los restos de la primera duna existente y el material es depositado en una barra submarina próxima a la línea de costa. El volumen de sedimentos removidos asciende a $38.7 \text{ m}^3/\text{m}$ lineal de playa. La línea de costa experimenta un retroceso de 4.5 m. Resulta interesante destacar que la mayor parte del movimiento de sedimentos, que ocurre en la pendiente submarina durante el paso de este evento, tiene lugar en profundidades inferiores a los 4 m. En el caso del perfil 20, como se puede apreciar los principales cambios, tienen lugar en la playa emergida y los primeros 50 m del perfil submarino. (Fig. VII.17). La altura de la berma se reduce en 1.2 m y tiene lugar un retroceso de la línea de costa de 14 m. De esta parte del perfil se remueven 59 m^3 que se distribuyen en una capa uniforme en la pendiente submarina hasta la profundidad de 6 m. En esta zona de la playa el movimiento de los sedimentos ocurre a profundidades inferiores a los 6 m.

Los resultados que se obtienen con la simulación del perfil de tormenta, tomando como base las condiciones actuales del perfil de playa, indican la necesidad de aplicar la alimentación artificial de arena como alternativa para la protección y mejor funcionamiento del sistema costero ante eventos erosivos extremos.

Funcionamiento del sistema costero

En la ingeniería de costas actual y en las investigaciones dirigidas a realizar modificaciones en el litoral, resulta esencial la correcta interpretación del funcionamiento del

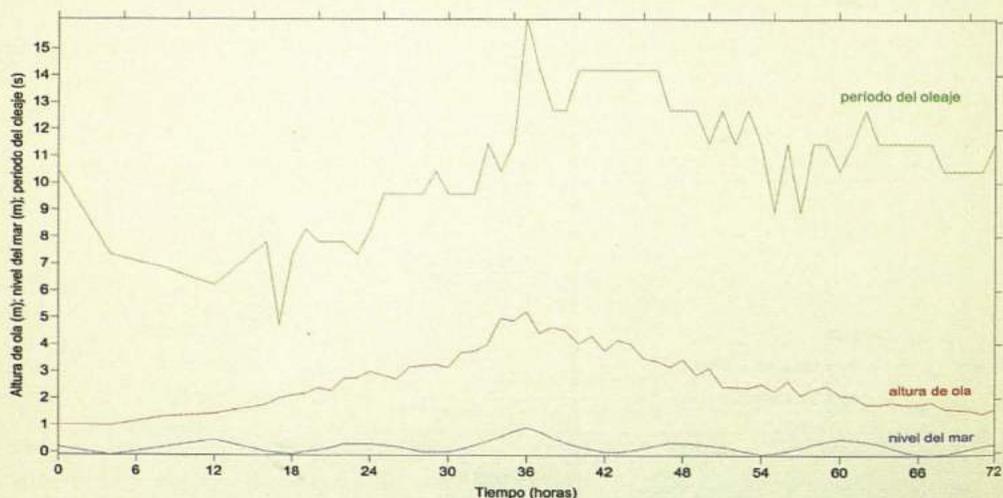


Fig. VII.15. Parámetros del oleaje correspondientes a la tormenta intensa empleada en las simulaciones.

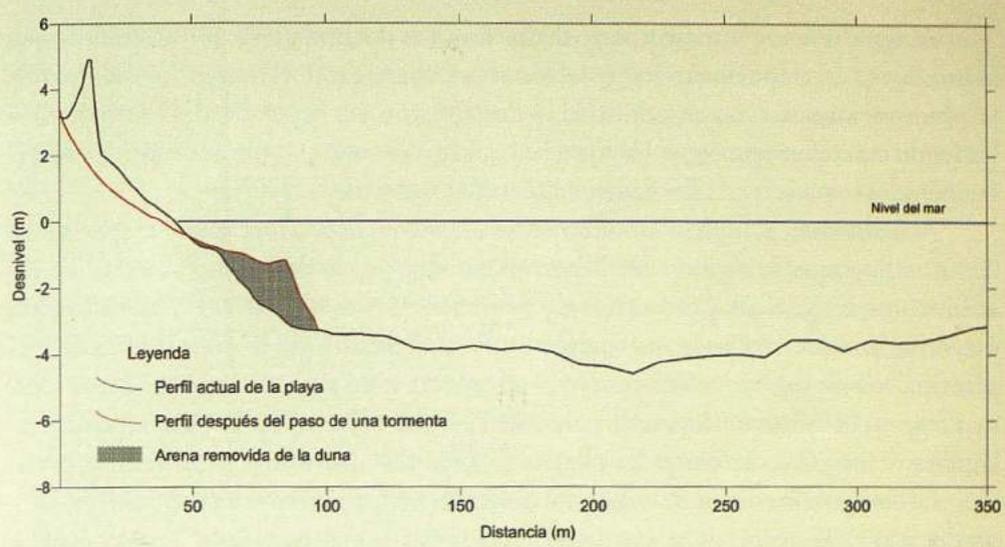


Fig. VII.16. Comparación entre el perfil que se forma después del paso de una tormenta y el perfil actual de la playa en la zona occidental.

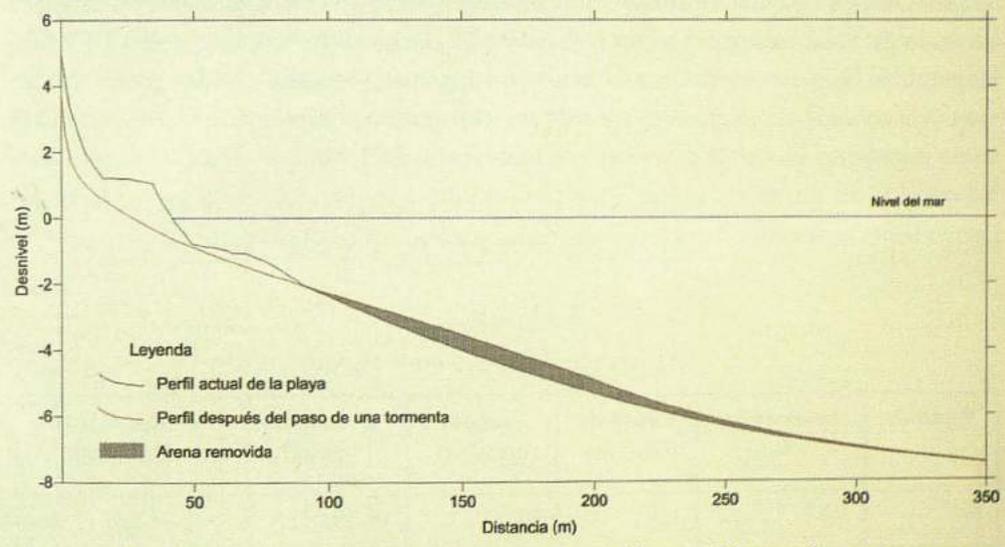


Fig. VII.17. Comparación entre el perfil que se forma después del paso de una tormenta y el perfil actual de la playa en la zona oriental

sistema costero para trabajar en armonía con el entorno y para lograr la máxima efectividad de los trabajos. El concepto de sistema costero se refiere a la compleja interacción que se establece entre un conjunto de procesos y elementos presentes en una unidad morfodinámica enmarcada en la zona costera y que da lugar al equilibrio permanente de la masa de sedimentos (Balance sedimentario).

Al igual que en la mayor parte de los litorales acumulativos, los elementos que más influyen en el funcionamiento del Sistema Cabarete son: el relieve, los sedimentos y la hidrodinámica. Con anterioridad se describieron por separado cada uno de ellos haciendo una referencia breve a la forma en que interactúan y a continuación se presenta una valoración integral del funcionamiento del sistema.

Actualmente, el ingreso de sedimentos al sistema se produce desde el mar, tanto de los sedimentos terrígenos que llegan arrastrados por la deriva litoral como de los sedimentos biogénicos producidos en la plataforma submarina. La composición mayoritariamente terrígena que presentan los sedimentos de la playa indica que la principal vía de ingreso lo constituye el transporte a lo largo de la costa. Estos sedimentos son llevados al mar por los grandes ríos que tributan en las proximidades de la playa, y luego las corrientes litorales se encargan de distribuirlos por toda la costa.

La distribución espacial de todos estos materiales responde a la distancia de sus fuentes de producción y a la energía de las olas como responsables de transportarlos. Considerando las estadísticas presentadas en el acápite de oleaje y la simulación matemática del proceso de transformación realizada con el REFDIF10, se calcularon las tasas de transporte sólido longitudinal aplicando la fórmula semiempírica propuesta en el Coastal Littoral Transport. En la Tabla VII.4, se muestran los resultados del cálculo del transporte potencial sólido longitudinal Q en las condiciones de oleaje de rompiente, para cada uno de los rumbos que afectan la costa. Por convenio, los rumbos con componente hacia el sureste se han tomado como negativos y los rumbos en sentido opuesto (noroeste) positivos. También se muestran los cálculos del transporte sólido. La última columna muestra el transporte teniendo en cuenta la frecuencia anual de ocurrencia de los parámetros de oleaje para cada rumbo.

Tabla VII.4.
Transporte de arena en la playa

Rumbos	Frecuencia %	Altura de Ola (m)	Angulo (grados)	Transporte anual	Transporte con frecuencia
N	3.42	1.3	55	- 5 191 128	- 177 536
NNE	9.08	0.6	10	- 273 431	- 24 827
NE	21.64	0.5	35	+ 476 243	+ 103 058
ENE*	40.97	1.0	0	0	0
E	22.33	1.2	12.5	+1 911 256	+ 426 783

* Como resultado del fenómeno de refracción y difracción, los frentes de ondas procedentes del ENE tienden a ponerse paralelos a la costa por lo que no tienen una influencia clara sobre la deriva litoral.

El transporte total anual hacia el noroeste es $+ 529\ 841\ \text{m}^3$ por año y el transporte total anual hacia el sureste es de $- 202\ 363\ \text{m}^3$ por año. Teniendo en cuenta la frecuencia anual del oleaje para cada rumbo, se pudo comprobar que las tasas de transporte sólido hacia el noroeste ($+529\ 841\ \text{m}^3/\text{año}$) son superiores a las tasas calculadas hacia el sureste ($- 202\ 363\ \text{m}^3/\text{año}$), de lo que resulta un transporte potencial neto de sedimentos de $(+ 327\ 478\ \text{m}^3/\text{año})$, en dirección sureste - noroeste.

Es bueno aclarar que estas tasas de transporte tienen un carácter local y están condicionadas por fenómenos que ocurren asociados a las características particulares del relieve y el régimen hidrodinámico de la zona de estudio. Estas tasas de transporte potencial reflejan los movimientos de arena a lo largo de la costa y están en correspondencia con la descripción general del funcionamiento del sistema costero en la unidad físico geográfica. La digitalización de la línea de costa en la fotografía aérea de marzo de 2000 permitió determinar la tendencia evolutiva que ha tenido la playa en los últimos 6 años. Al comparar la línea de costa de marzo de 2000 con el levantamiento topográfico obtenido en enero de 2006, se pudo medir un retroceso promedio de 19 m y un retroceso máximo hacia el centro de 40 m. Sin embargo la línea de costa es un elemento morfológico de elevada inestabilidad, pues responde muy rápidamente a los cambios hidrodinámicos que tienen lugar a corto plazo (Fig. VII.18 y 19). Un indicador confiable de la presencia de los procesos erosivos o acumulativos en las playas es la posición que ocupa el límite de los escarpes en la duna litoral. Esto se debe, en buena medida, a que los cambios que tienen lugar en la duna marcan de forma progresiva el retroceso de la costa.

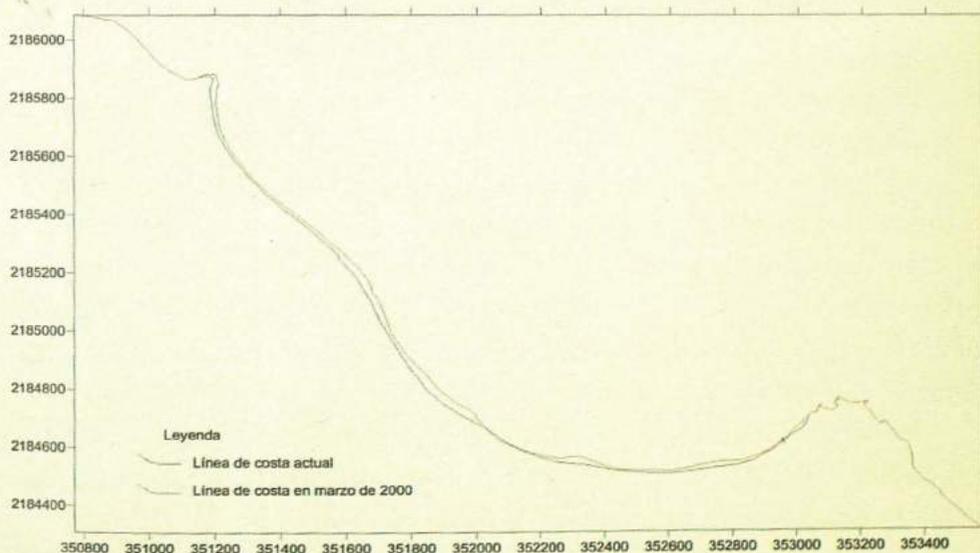


Fig. VII.18. Comparación de la línea de costa en febrero de 2006 con la de marzo de 2000. La línea de costa retrocedió 19 m como promedio en los últimos 6 años.

En la playa Cabarete las dunas estaban ocupadas en la mayor parte de su extensión por infraestructuras hoteleras, restaurantes u otros servicios turísticos, encontrándose en estado natural sólo en el sector de playa frente al hotel Punta Goleta. La comparación del límite, en 2006, de la duna hacia el mar con el límite digitalizado a partir de la foto aérea de marzo de 2000 en dicho sector, permitió calcular un retroceso uniforme de 22 m en los últimos 6 años. Este resultado confirma el proceso erosivo que tiene lugar en la zona.

A partir de los cálculos del retroceso de la duna que se han realizado, se puede estimar un ritmo promedio de erosión de 3.7 m por año para el período 2000-2006. Extrapolando este ritmo de erosión a un período mayor se puede plantear que la playa en los últimos 20 años puede haber retrocedido más de 70 m.

Las principales limitantes estéticas y funcionales del lugar, son el resultado, por una parte, de la propia naturaleza del litoral. En particular, la erosión que se observa de la parte noroeste de la playa responde a un insuficiente ingreso de arena ya sea por la corriente litoral o debido a que no existe una población de organismos bentónicos capaces de suministrar la cantidad necesaria de sedimentos biogénicos. Por otra parte, desde el centro y hacia el sureste de la playa la presencia de más de 40 instalaciones sobre las dunas constituye un elemento negativo que perjudicaba la estabilidad de la playa antes de los vertimientos de 2006. En el pasado, los ingresos masivos de sedimentos a la playa procedían de los ríos Yásica y Jova. El aporte de arena de estas fuentes al sistema costero se había reducido, ocupando un papel predominante el transporte de arena desde las dunas litorales a consecuencia de los procesos de erosión. Los espigones construidos en punta Cabarete, extremo este de la playa, dificultan los ingresos de arena al sistema, al constituir un obstáculo a la deriva litoral.

La existencia de un escape neto de sedimentos hacia el mar antes de los vertimientos, combinada con la reducción del ingreso, provoca un balance sedimentario negativo, lo cual conlleva a un proceso natural erosivo. Indicadores de este proceso son la erosión de la duna frente al Hotel Punta Goleta (Fig. VII.19) y la estrechez que ha sufrido la playa a lo largo de toda su extensión. El retroceso de la playa calculado a partir de la destrucción de la duna es de 22 m, para un promedio anual de 3.7 m.

En la Fig. VII.20 se muestra el esquema de funcionamiento del sistema costero, elaborado sobre la base del análisis de la dinámica de los sedimentos en la playa Cabarete. En el mismo las flechas indican las direcciones del transporte de sedimentos.

Como se observa en la figura, las flechas color amarillo indican el intercambio que se produce entre las diferentes partes de la playa a través del movimiento de los sedimentos a lo largo de la costa, las flechas magenta representan el transporte que

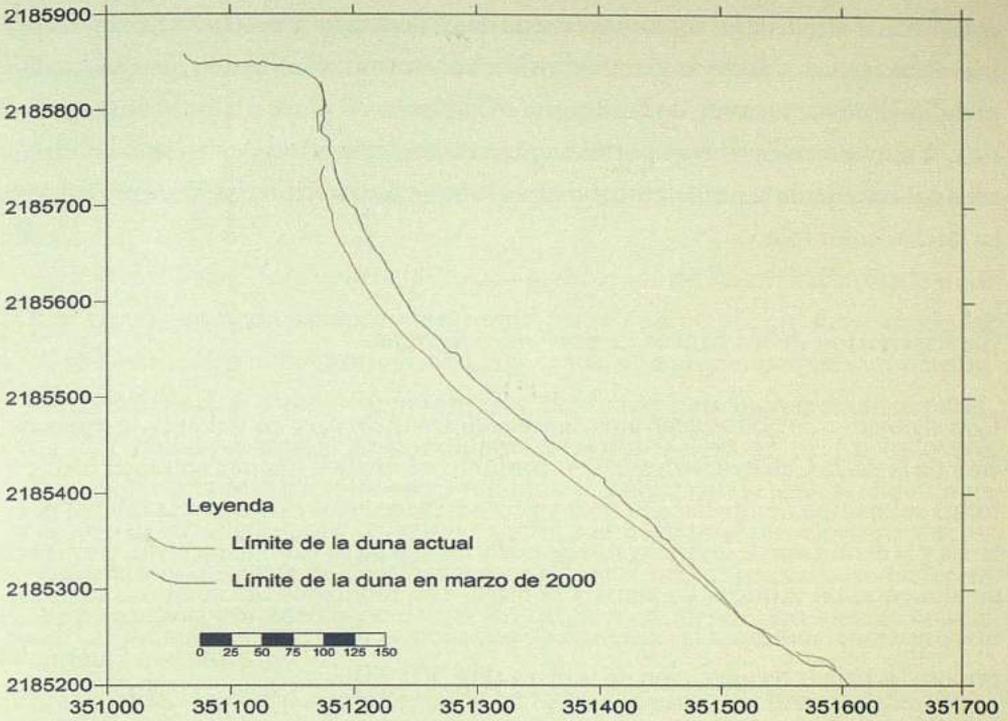


Fig. VII.19. Límites de la duna, en 2006 y en marzo de 2000, en el sector frente al hotel Punta Goleta.

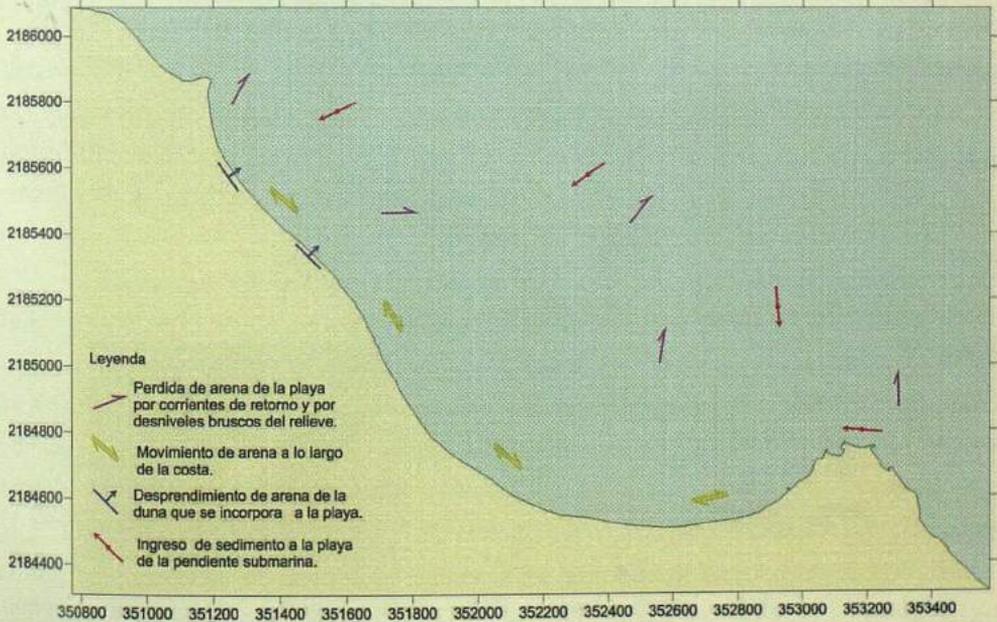


Fig. VII.20. Dinámica de los sedimentos en la playa Cabarete.

ocurre con el efecto de las corrientes de retorno en dirección hacia el mar reforzadas por la existencia de desniveles bruscos del relieve submarino, y las azules, marcan los desprendimientos de arena de la duna que se incorporan a la playa y la pendiente submarina. A estos procesos de transporte se agrega el desplazamiento de determinado volumen de arena desde la pendiente submarina hasta la playa y viceversa, representada por las flechas color rojo.

Caracterización de los bancos de préstamo de arena

Con el objetivo de ubicar depósitos de arena disponibles para los trabajos de regeneración de la playa Cabarete se realizó un conjunto de mediciones de campo en la plataforma submarina destinadas a evaluar y precisar las reservas existentes, la calidad de la arena y la definición de los polígonos de extracción, para su utilización en los proyectos de alimentación artificial de arena a la playa. Los resultados del conjunto de estas investigaciones indicaron la existencia de dos cuencas de arena con factibilidad de ser explotadas para la recuperación de la playa (Fig. VII.21).

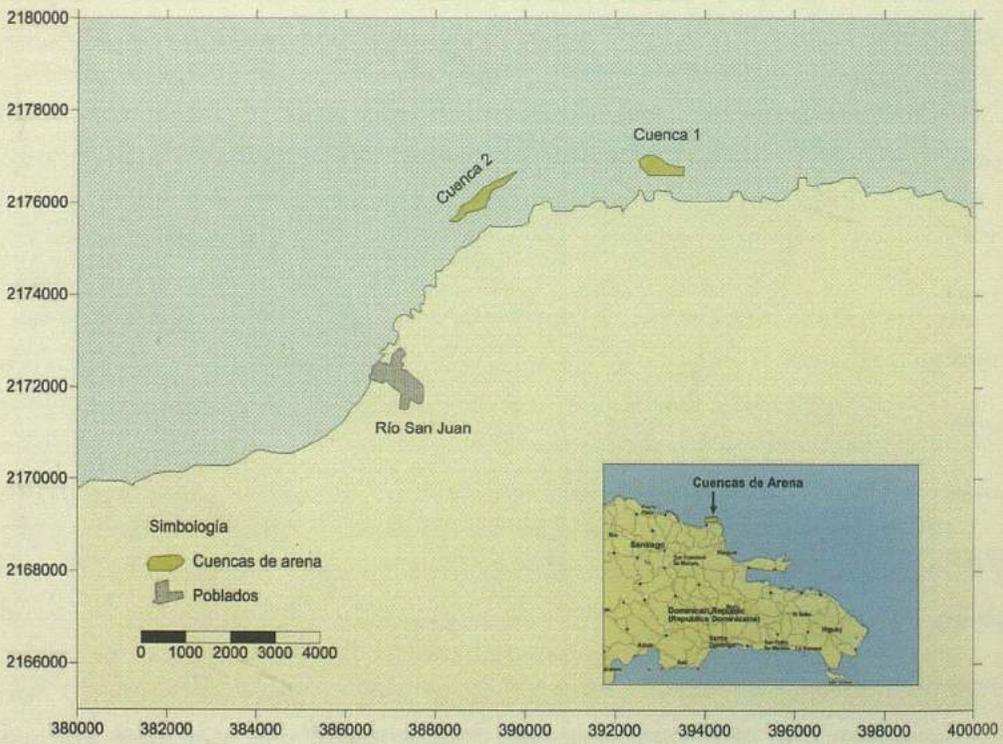


Fig. VII .21. Ubicación de las cuencas de arena.

Se valoraron las dos cuencas de arena encontradas frente a las costas rocosas y acantiladas al nordeste de río San Juan. La cuenca 1, ubicada a unos 6.5 Km de la desembocadura del río, y la cuenca 2, a unos 2.7 Km. Estas cuencas, tanto por la calidad de sus arenas, como por sus espesores y la profundidad a que se encuentran, resultan yacimientos apropiados para los trabajos de recuperación de la playa.

El área donde se encuentra la cuenca 1, separada de la costa acantilada unos 200 m como promedio, presenta un fondo plano con pendiente suave desde los 17.5 m hasta los 33 m de profundidad, marcando una primera terraza submarina, a partir de la cual se produce una inflexión del fondo para incrementar su talud, hasta caer rápidamente, en profundidades superiores a los 45 m. En todo este espacio existe una superficie de arena totalmente limpia con la presencia de ripple mark bien desarrollados, que constituyen indicadores de potentes espesores de arena y además, desprovista de cabezos rocosos y crestas arrecifales cercanas, facilitando su extracción por medio de dragas de succión en marcha sin afectaciones al ecosistema marino.

La realización de estaciones de buceo, en las cuales se hicieron perforaciones con el uso de una barrena helicoidal de 3.2 m de longitud, permitió determinar la existencia de espesores en el orden de los 2.4 y 3.2 m, aunque el espesor promedio de arena fue de 2.8 m, para un volumen de 794 000 m³.

A pesar de que este fue el estrato arenoso verificado, la realización de perfiles sísmicos en toda el área de la cuenca permite deducir en algunos puntos la posible existencia de espesores de arena superiores, cuya limitante de extracción estaría en la profundidad que alcanzan. En el registro sismoacústico obtenido en la pendiente exterior de la primera terraza submarina, se observan espesores de hasta 4 m (Fig. VII.22).

La arena que constituye la cuenca 1 es predominantemente biogénica, color beige claro, con reducida presencia de restos calcáreos inorgánicos. Por su parte, los resultados del análisis granulométrico de las muestras de arena colectadas en la cuenca, indican que el diámetro medio de las partículas oscila entre 0.22 y 0.31 mm, por lo que el sedimento clasifica como arena fina a media según la clasificación de Wentworth. (Shore Protection Manual, 1984).

La similitud de los valores de la Desviación Estándar por debajo de 1 de todas las muestras, indica que el material de la cuenca mantiene en toda su extensión una distribución granulométrica homogénea, lo cual asegura el empleo de una arena con características granulométricas equivalentes en el relleno de las playas.

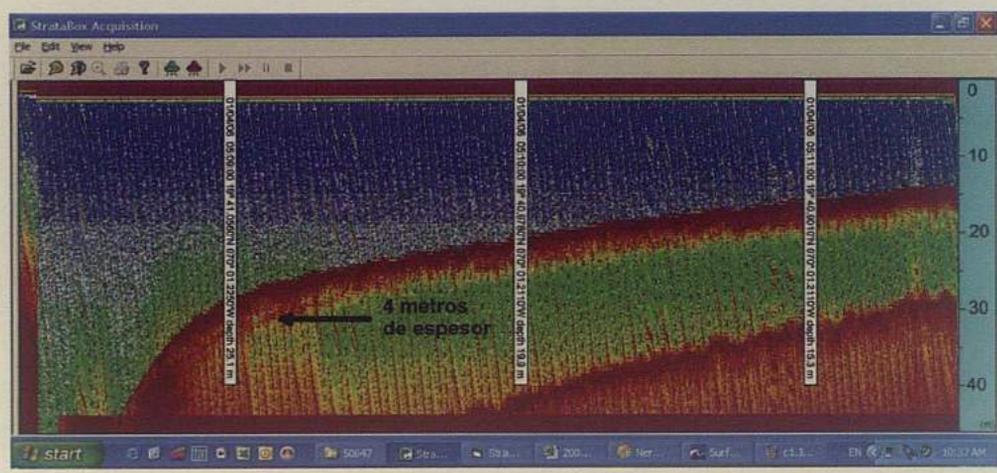


Fig. VII.22. Perfil sismoacústico donde se muestran espesores de arena de hasta 4 m.

Un aspecto importante a señalar es la posible relación que pudiera existir entre la cuenca 1 y Playa Grande, único litoral arenoso que se abre espacio entre la costa acantilada ubicada relativamente próxima a la misma. Dicha cuenca constituye un área receptora de los sedimentos que escapan del balance sedimentario de la playa, en forma de pérdidas, unido al producido por los procesos de abrasión del acantilado y por las poblaciones bentónicas de organismos de caparazón calcáreos existentes en la vecindad. Otro elemento a considerar son las profundidades en que se encuentra la cuenca y la presencia de formaciones rocosas que afloran en el fondo desde los 15 m y hasta la propia costa, indican que las condiciones morfológicas propician la retención de arena, no existiendo relación alguna entre la arena de la cuenca con las fuentes naturales que alimentan a la playa.

La cuenca 2, también separada de la costa acantilada unos 200 m, se caracteriza por una pendiente suave y regular que se extiende desde 18 hasta 35 m de profundidad sobre la primera terraza submarina, solo apareciendo un declive en su flanco este, coincidiendo con la isobata de 30 m y donde se alcanza la profundidad máxima de la cuenca, 38 m.

El análisis de composición de las muestras de arena tomadas en la cuenca 2, arrojó como resultado la predominancia de restos biogénicos color beige claro a gris oscuro, aunque debe destacarse la presencia de un porcentaje mayor de litoclastos, provenientes de formaciones terrígenas, quizás relacionado con que esta cuenca se encuentra más cercana a la desembocadura del río San Juan que la cuenca 1, cuyos aportes en momentos de grandes avenidas pudieran contribuir a la deposición de las arenas en las áreas más deprimidas del relieve de la plataforma submarina.

Por su parte el análisis granulométrico de las muestras, brinda como resultado que el diámetro medio de los granos que componen el sedimento de la cuenca 2 fluctúa entre 0.26 y 0.53 mm, lo que clasifica como arena media a gruesa, con un tamaño de las partículas superior que el de la cuenca 1.

En la medición de los espesores de sedimentos a través de las perforaciones, se pudieron verificar estratos arenosos en el orden de los 3.20 m y en la medida que se profundizaba en las calas, la arena mantiene la calidad, en cuanto a composición y granulometría, para ser utilizada en los vertimientos de arena en las playas objeto de estudio.

Diseño de las actuaciones

Los estudios realizados en la playa permitieron confirmar la presencia de un proceso erosivo, luego las acciones que se diseñaron estuvieron dirigidas a mitigar los efectos de dicho proceso. Para el control de la erosión en las playas, se trabaja a nivel internacional en dos direcciones principales: jurídica e ingenieril.

Con el establecimiento de normas, regulaciones y leyes, las acciones jurídicas persiguen el objetivo de garantizar que la utilización de las playas se produzca sin la ejecución de acciones que provoquen erosión y eliminándolas o reduciéndolas en el caso de que ya existan. Además, se establecen los procedimientos para los trabajos de restauración de playas, con el objetivo de asegurar su efectividad y evitar afectaciones ecológicas y paisajísticas. Teniendo en cuenta que en República Dominicana se produce la intensificación del uso de la zona costera en función del desarrollo turístico, las medidas regulativas juegan un papel esencial en el control de la erosión y tiene ante todo un carácter preventivo.

En el caso de la playa Cabarete se sugirió aplicar de manera inmediata las siguientes medidas regulatorias:

- 1-) Prohibir la extracción de arena en los ríos Yásica, Joba y San Juan, así como todo tipo de acción que pueda alterar el régimen natural de dichos ríos. Esta medida será igualmente beneficiosa para las demás playas de la unidad físico-geográfica.
- 2-) Declarar área protegida a la primera duna litoral, prohibiendo las construcciones con cimentación y las extracciones de arena. Esta medida debe extenderse a las dunas de toda la unidad físico-geográfica.

En este sentido, una acción técnica inmediata debía ser el deslinde y señalización de las dunas. Por otra parte, la aplicación de soluciones ingenieriles resultaría inevitable cuando el equilibrio dinámico de la playa estaba afectado de manera irreversible y sólo con actuaciones costeras era posible su recuperación y mantenimiento. De acuerdo con la evaluación de los problemas de erosión en Cabarete, realizada anteriormente, resultaba evidente que para su mitigación no bastaba con la aplicación de medidas normativas, sino que también era necesaria la introducción de medidas ingenieras. El déficit de arena se identificaba como el problema esencial que presentaba la playa Cabarete. Esta escasez de sedimentos estaba provocada por una reducción de los ingresos de arena a la playa. Para mitigar dicho fenómeno se propuso como alternativa principal la alimentación artificial de arena.

Otras acciones fueron la demolición de los espigones en el extremo este de Cabarete y la reconstrucción artificial de los arrecifes existentes en el extremo oeste de la playa. Estas acciones complementarias tuvieron como objetivo propiciar una mayor estabilidad para la playa regenerada.

Obras de apoyo para la regeneración de la playa

La regeneración de la playa requirió de un conjunto de obras de apoyo entre las que se destacan:

- 1^{ero}. Demolición de un campo de espigones ubicado en el extremo sur de la playa
- 2^{do}. Reforzamiento del arrecife en el extremo norte de la playa
- 3^{ero}. Limpieza del litoral

En el extremo sur de la playa existía un campo de espigones que interrumpía el ingreso de la arena a la playa, lo cual era considerado una causa de erosión, por lo que se eliminó. En las siguientes fotos se presentan vistas de las obras que se demolieron. El volumen de material demolido ascendió en total a 270m³ (Foto VII.7).

El reforzamiento del arrecife en el extremo norte de la playa implicó la construcción de una escollera semisumergida en Punta Goleta, cuya ubicación se señala (Imagen VII.8).



Imagen VII.7 Vistas de las obras demolidas.



Imagen VII.8. Ubicación de la escollera de Punta Goleta.



Foto VII.9. Troncos de árboles retirados de la playa antes del vertimiento artificial de arena.

Por último la limpieza de la playa implicaba la retirada del litoral de todos aquellos elementos que se consideraban ajenos al mismo, entre los cuales estaban troncos de árboles arrastrados por el mar hacia la orilla y otros desechos sólidos de diferente procedencia (Imagen VII.9).

Alimentación artificial de arena

La alimentación artificial de arena como alternativa para el control de la erosión ha sido aplicada con éxito en la regeneración y creación de playas a nivel mundial. En la región del Caribe destacan los sobresalientes resultados alcanzados con el vertimiento de 1 000 000 de m³ de arena en la playa Varadero, Cuba en 1998. Como resultado de los trabajos de monitoreo de esta playa se pudo comprobar un porcentaje de retención de la arena vertida superior al 80% transcurridos 5 años de ejecutado el proyecto. El proyecto de alimentación artificial de arena, concebido para la regeneración de la playa de Cabarete, incluyó el vertimiento de un volumen

de arena en la duna, que permitió su reconstrucción en el caso de la parte occidental, y su creación en la oriental. Con la recuperación de las dunas, además de eliminar los escarpes que afectaban la zona costera desde el punto de vista estético, se conformó una unidad funcional de vital importancia para la playa. Las dunas juegan un papel esencial dentro del funcionamiento del sistema costero, y en particular en la evolución del perfil de playa. Ellas constituyen una reserva de arena, que en momentos de erosión es capaz de alimentar naturalmente a la playa de manera que posibilitan la formación de un perfil de equilibrio arenoso que conecte las partes emergida y sumergida.

El proyecto incluyó también un incremento del área de sol de hasta 25 m de ancho por metro lineal de playa, mediante el vertimiento de arena sobre la berma. El incremento del área de sol permite ampliar la capacidad de uso de la playa, de modo que pueda recibir más turistas simultáneamente. Igualmente, una playa más ancha protege con mayor efectividad los terrenos que se encuentran al sur de la misma.

Con esta propuesta se logró devolver a la playa mejores condiciones de las que tenía en el 2000, pero con una estabilidad mayor, pues se han eliminado algunas de las causas de la erosión.

La alimentación artificial de arena en Cabarete se consideró factible dado que:

1. No introducía cambios en las condiciones naturales de la playa.
2. Restablecía la arena perdida durante varios años, por lo que era de esperar una durabilidad aceptable de la arena introducida.
3. Existían reservas potenciales de arena en el mar.
4. Los impactos ambientales en la playa eran mínimos pues sólo se trataba de restablecer sus condiciones naturales con el aporte de nueva arena.
5. Los impactos ambientales en las áreas de dragado eran mínimos pues se trataba de depósitos situados por debajo de la primera terraza submarina y en profundidades superiores a los 20 m, por lo que estos sedimentos no intervenían en el balance sedimentario de las playas.

Definición del perfil y la forma en planta de la playa

Para el diseño del perfil a conformar se dividió la playa en dos zonas: oriental y occidental. En el caso de la zona occidental se tomó como base para el diseño el perfil 39 y para la oriental, el perfil 20.

El diseño propuesto para la reconstrucción de la duna en la parte occidental consistió en completar hacia el mar el espacio de las dunas, que se estimó que había perdido en los últimos 6 años. Para alcanzar dicho espacio se requirieron 26.2 m^3 de arena por metro lineal de playa. Además, en este sector es necesario, el vertimiento de determinado volumen de arena en la playa con el objetivo de incrementar el ancho del área de sol. El cálculo del volumen de arena que se necesita para lograr un avance de 25 m en la línea de costa se hizo aplicando la siguiente expresión propuesta por Dean (1995).

$$\ddot{A}V = \ddot{A}Y (B + h_c)$$

Donde $\ddot{A}Y$: distancia que avanza la línea de costa

$\ddot{A}V$: incremento del volumen de arena

B: altura de la berma

h_c : profundidad de cierre del perfil

Esta expresión permite determinar el volumen de arena $\ddot{A}V$ que se necesita aportar para lograr el avance de la línea de costa a una distancia $\ddot{A}Y$. Dean (1995) supone que el perfil se traslada sobre si mismo manteniendo la morfología de equilibrio. Para un avance deseado de 25 m, una altura de berma de 1 m similar a la del perfil 4 y una profundidad de cierre del perfil de 4 m se obtiene que el volumen de arena requerido sea de 125 m^3 por metro lineal de playa.

Teniendo en cuenta la reconstrucción de la duna y el avance de 25 m de la línea de costa, la densidad del vertimiento para la zona occidental es de 151.2 m^3 por metro lineal de playa. Dado que la longitud de este sector es de 750 m se obtuvo que el volumen que se tenía que verter era de $113\,400 \text{ m}^3$ de arena. En la figura VII.23 se presenta el perfil diseñado para la playa en la parte occidental.

En la parte oriental de Cabarete las características del perfil de la playa son diferentes. En primer término, las dunas naturales fueron aplanadas y el territorio correspondiente a las mismas estaba ocupado por instalaciones de servicios diversos. Por esta razón se propuso la creación de una duna pequeña, que sin limitar las visuales y los accesos al mar, cumpliera su función propiciando una estabilización del perfil de la playa regenerada.

En la figura VII.24 se presenta la morfología de la duna que se propuso crear en esta zona. Esta forma se ha definido a partir de la generalización de estudios realizados de la morfología de dunas en las playas naturales de República Dominicana por Troncoso, 1986. El volumen de arena necesario para la conformación de la duna es de 7 m^3 por metro lineal de playa.

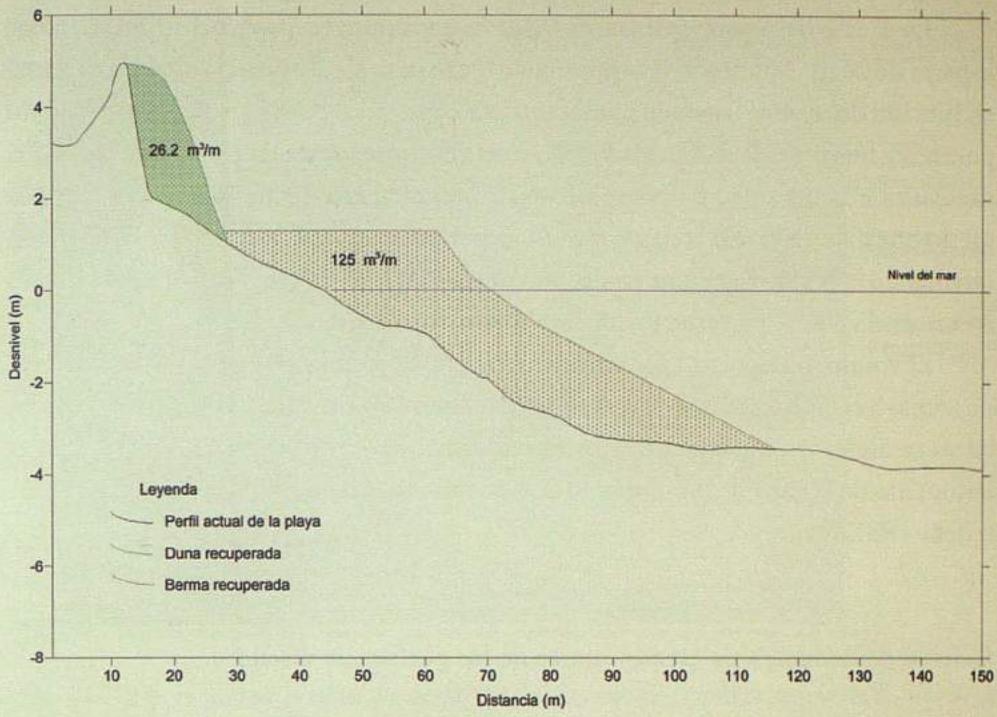


Fig. VII .23. Perfil diseñado de la duna y la playa para la zona occidental de la playa Cabarete.

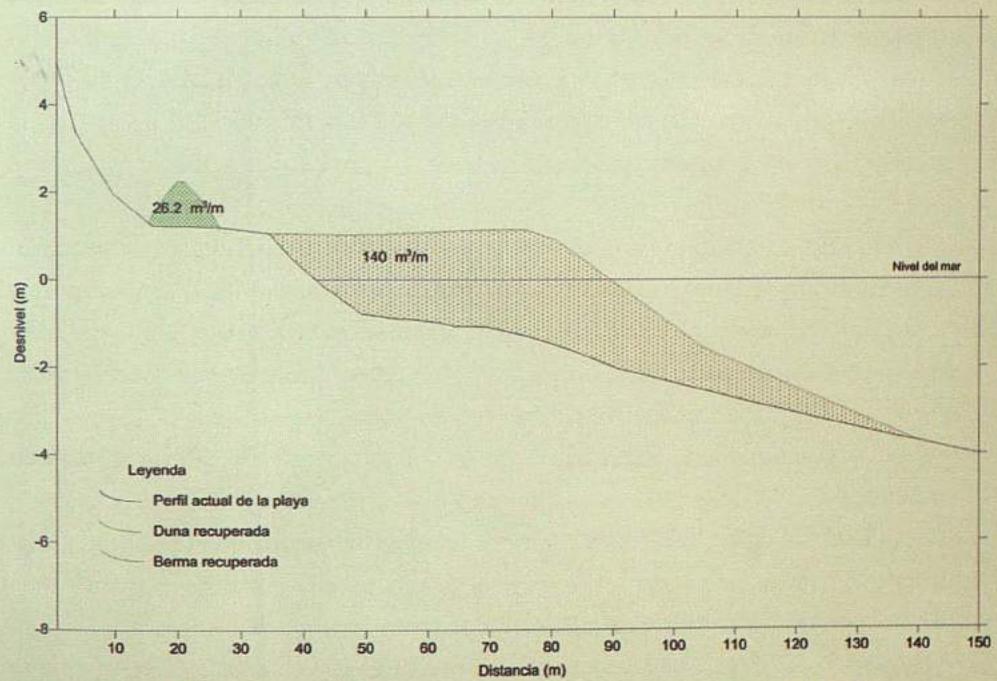


Fig. VII .24. Perfil diseñado para la duna y la playa en la zona oriental de la playa Cabarete.

En el caso de la parte oriental de la playa se propuso un incremento del ancho de la playa de 20 m. Aplicando la expresión de Dean para el cálculo del volumen de arena en función del avance esperado para la línea de costa, se obtuvo un volumen de 140 m^3 por metro lineal de playa. Teniendo en cuenta el volumen para la creación de la duna se obtuvo que la densidad del vertimiento de arena en este sector era de 147 m^3 por metro lineal de playa. En la figura VII.25 se presenta el perfil diseñado para la porción oriental de la playa. Teniendo en cuenta que la longitud de este sector es de 1 800 m entonces el volumen a verter era de $264\,600 \text{ m}^3$ de arena.

El volumen calculado para la regeneración de toda la playa fue de $378\,000 \text{ m}^3$ de arena. Sin embargo, este volumen no es el que definitivamente se vertió, pues las cifras se ajustaron a partir de la compatibilidad del sedimento de la playa con el sedimento de la zona de préstamo, lo cual se expresa mediante el coeficiente de sobre relleno (Ra).

Cálculo del volumen de arena y ajuste de los perfiles de diseño

La arena depositada en las cuencas proviene de la producción de fuentes terrígenas y biogénicas de la región. Su composición es similar a la de la playa, estando formada por la combinación de materiales terrígenos y biogénicos. Por lo cual, desde el punto de vista de la génesis del sedimento, estos bancos resultan idóneos para la alimentación artificial de la playa. Sin embargo, el sedimento en su tránsito de las playas hacia las cuencas, ha modificado sus propiedades físico-mecánicas y en especial, su granulometría.

En el análisis realizado a las muestras de sedimento de las cuencas se encontró que el diámetro medio de las partículas es mayor al de la playa. Luego, para compensar las diferencias granulométricas existentes entre el sedimento nativo de la playa y el sedimento de las zonas de préstamo, se hizo necesario la introducción del coeficiente de sobre-relleno (Ra) en el análisis de la idoneidad de las cuencas.

Este coeficiente aporta una medida de en cuantas veces debe ser incrementado el volumen de arena diseñado para que, con el vertimiento, quede en la playa el volumen deseado. Además ofrece un criterio cualitativo acerca de la estabilidad del sedimento vertido en la playa.

Este método fue creado por James y se presenta en el Shore Protection Manual (1984), para la aplicación del mismo se ha empleado el Software ACES, el cual se obtuvo en la página de internet: <http://hlnet.wes.army.mil/software/>.

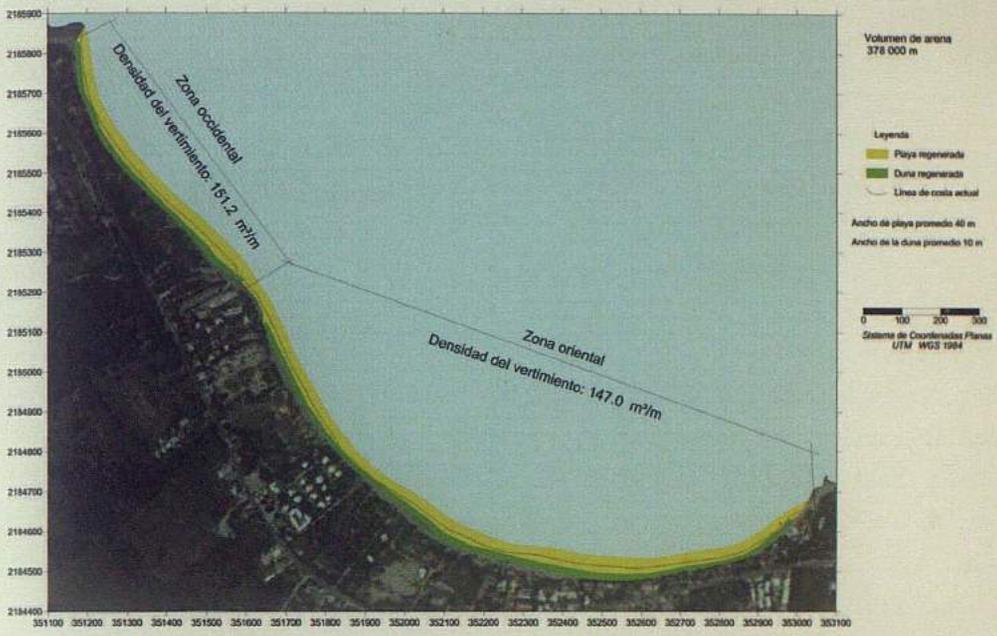


Fig. VII. 25. Esquema general de la forma en planta de la playa regenerada, donde se reflejan los resultados de los diseños realizados para los perfiles de playa. En los mismos se muestra la ubicación de las dunas y el ancho de playa esperado.

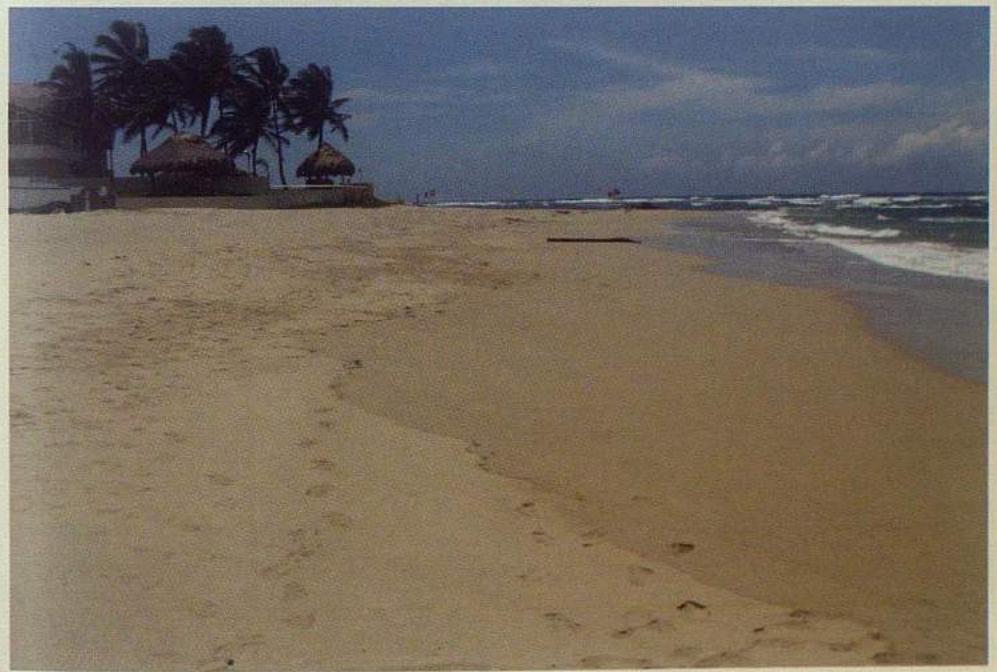


Imagen VII.10. Resultados alcanzados con las demoliciones.

Para el caso de la playa Cabarete, las características de las muestras tipo de la playa y la zona de préstamo son:

$M_{Fn} = 2.09$ (mediana de la granulometría de la playa)

$M_{Fb} = 1.70$ (mediana de la granulometría de la zona de préstamo)

$s_{Fn} = 0.78$ (desviación estándar de la mediana de la granulometría de la playa)

$s_{Fb} = 0.89$ (desviación estándar de la mediana de la granulometría de la zona de préstamo).

Utilizando estos parámetros se obtiene un coeficiente de sobre-relleno de 1.001, o sea, para lograr una unidad de incremento en el volumen de la playa es necesario verter 1.001 unidades de arena. Estos resultados indican que la playa conformada será muy estable pues existe una alta compatibilidad entre la arena nativa y la introducida. Aplicando el coeficiente Ra al volumen de arena calculado se obtiene que el volumen requerido por la playa es 378 500 m³. La diferencia entre el volumen de arena esperado y el de diseño es de 500 m³ los cuales deben ser repartidos a lo largo de los 2 500 m de longitud que tiene la playa. Esto equivale a incrementar la densidad del vertimiento en 0.2 m³ por metro lineal de playa, que como se puede apreciar resulta prácticamente insignificante y no introduce cambios en el perfil de diseño propuesto originalmente.

Ejecución

La primera acción ejecutada en este proyecto fue la demolición de las obras de retención construidas en el extremo este de la playa, conjuntamente con la limpieza de la playa. Estas obras se ejecutaron entre los meses de abril y junio de 2006. En la Imagen VII.10 se presenta una imagen del trabajo terminado. En este sentido se llevaron a cabo todas las demoliciones previstas en el proyecto cumpliéndose satisfactoriamente los objetivos planteados.

Posteriormente se procedió a la reconstrucción de los arrecifes coralinos ubicados en el extremo oeste de la playa. Esta acción se llevó a cabo entre los meses de mayo y junio de 2006. Se emplearon rocas de entre 0.5 y 1 tonelada, que se transportaron por tierra desde la cantera de la Loma de la Bestia, ubicada en el extremo oeste de la ciudad de Puerto Plata. Se presenta una imagen de los resultados del trabajo terminado. Esta obra satisface los requerimientos, tanto de diseño, como funcionales, previstos en el proyecto (Imagen VII.11).



Imagen VII.11. Arrecife artificial terminado.

Una vez realizadas las demoliciones y la reconstrucción del arrecife se llevó a cabo el vertimiento de arena. Esta acción se ejecutó entre los meses de septiembre y noviembre de 2006. La arena para el vertimiento en la playa se obtuvo de las zonas de préstamo estudiadas para el proyecto y fue dragada, transportada y vertida por la draga Barent Zanen de la compañía holandesa Royal Boskalis Westminster.

La draga utilizada es de succión en marcha autopropulsada con cántara propia y puede extraer la arena hasta 49 m de profundidad (Imagen VII.12.). Cuenta con dos tubos de 1 m de diámetro cada uno con los cuales succiona los sedimentos del fondo marino. La capacidad de la cántara es de 8 100 m³ que es el volumen máximo que puede transportar en cada viaje. Esta draga tiene una eslora de 133 m, una manga de 23 m y un calado cargada de 10 m. La velocidad con que se desplaza a plena carga es de 13.5 nudos ([www.Royal Boskalis Westminster nl\content.htm](http://www.RoyalBoskalisWestminster.nl/content.htm)). A continuación se describe cómo se llevó a cabo el proceso de dragado, transporte y vertimiento de la arena.



Imagen VII.12. Draga Barent Zanen de la compañía Royal Boskalis Westminster.

La draga se desplaza hacia la zona de préstamo y dentro del polígono seleccionado realiza recorridos succionando una mezcla de arena-agua desde el fondo con dos tuberías que están colocadas una a babor y otra a estribor. La mezcla arena-agua va a la cántara, en la cual la arena decanta y el agua regresa al mar por unos aliviaderos colocados en la parte superior de la misma.

La explotación de las cuencas se realizó de este a oeste atendiendo a la forma alargada de las mismas y comenzaron a barrer franjas paralelas desde el sur hacia el norte para aprovechar al máximo el volumen disponible.

Cada vez que la draga llena su cántara, se mueve hacia la playa siguiendo el recorrido que se señala más abajo (Fig. VII.26). La distancia desde la cuenca hasta la playa es de 81km y constituye un recorrido libre de obstáculos para la navegación. En la misma se presenta el punto de aproximación a la playa. El calado de la draga cargada no le permite acercarse a la orilla a menos de 12 m de profundidad.

Como resultado de un análisis detallado del plano batimétrico, se diseñó la vía de ingreso de la draga a la plataforma interior, así como la ruta hasta el punto de aproximación. El seguimiento de esta ruta por la draga, garantizó la navegación por los sitios libres de obstáculos y de arrecifes a más de 12 m de profundidad.

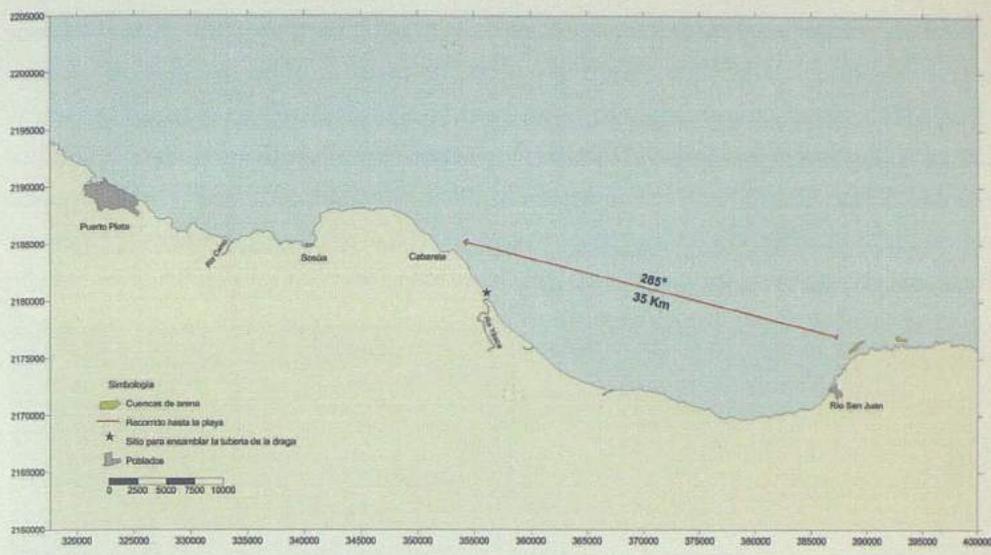


Fig. VII. 26. Recorrido de la draga entre la playa y la zona de préstamo de arena.

En el punto de aproximación se conecta a una tubería a través de la cual bombea el sedimento hacia la playa. La longitud de la tubería es de 620 m (Imagen VII.13). Esta tubería fue ensamblada en la propia playa Cabarete donde existe el espacio suficiente y las condiciones apropiadas para tirarla al mar.



Imagen VII.13. Dragas conectada a la tubería en el punto de bombeo de arena hacia la playa.

Para el bombeo de la arena hacia la playa la draga inyecta agua en la cántara hasta lograr una mezcla adecuada de arena y agua, de modo que las bombas de succión colocadas en la misma, puedan impulsar la mezcla hacia la playa. Cuando la mezcla llega a la playa, el agua regresa al mar y la arena permanece en la orilla. Para la conformación del perfil de diseño se emplearon bulldozers, palas mecánicas y otros equipos que realizan el acomodo de la arena (Imagen VII.14 y 15). En las fotos se presentan imágenes de este proceso.



Imagen VII.14. Arribo a la playa de la mezcla agua-arena.



Imagen VII.15. Conformación del perfil de diseño.

Dadas las dimensiones de la playa sólo fue necesaria la colocación de la tubería submarina en una posición, de manera que el vertimiento pudo extenderse desde ese punto a toda la zona prevista. Desde esta posición de la tubería submarina, el sedimento fue depositado a lo largo de la costa mediante la adición de secciones de tuberías desmontables, como se puede apreciar en la imagen VII.16. Durante la ejecución del vertimiento se realizó la supervisión y control de la densidad de los volúmenes de arena por metro lineal de playa, establecidos en el proyecto, así como la forma en que debía quedar finalmente dispuesta la arena. Simultáneamente un equipo de topografía, conjuntamente con el ingeniero principal, controló la morfología del perfil de playa, los volúmenes de arena depositados, así como las densidades del vertimiento. El replanteo en el terreno del perfil de diseño en el momento de la ejecución se realizó con empleo de un sistema de GPS diferencial y se colocaron una serie de estacas con marcaciones que definieron las cotas correspondientes al perfil de diseño (Imagen VII.17).



Imagen VII.16. Adición de tramos de tubería para llevar el sedimento a toda la playa.



Imagen VII.17. Estacas con las cotas a alcanzar en cada sector del vertimiento de arena.

Se llevó un estricto control de los perfiles topográficos y de la forma en planta de la playa con el objetivo de garantizar la máxima efectividad de los trabajos. Todo el control se realizó tomando como referencia los monumentos establecidos en la línea base topográfica del proyecto. También se mantuvo un estricto control de la calidad del material extraído por la draga en las zonas de préstamo para evitar la llegada a la playa de sedimentos con granulometría o color inapropiados. Los resultados obtenidos con la ejecución de las acciones propuestas satisficieron las expectativas del proyecto. Se logró incrementar el ancho de playa en más de 50 metros como promedio, con arenas de color blanco. En las fotos se presentan composiciones de imágenes tomadas en tres sectores de la playa, antes y después de la ejecución del proyecto de regeneración de la playa Cabarete (Imagen VII.18, 19 y 20).

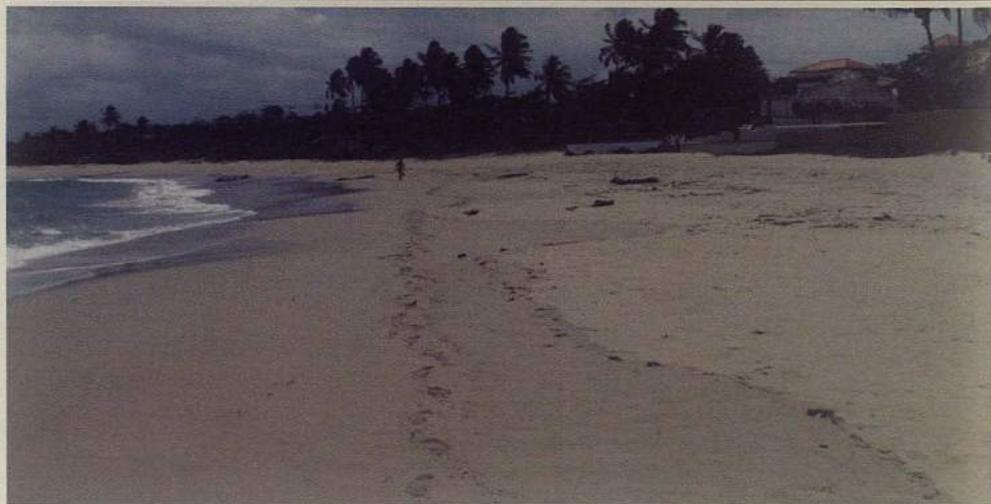
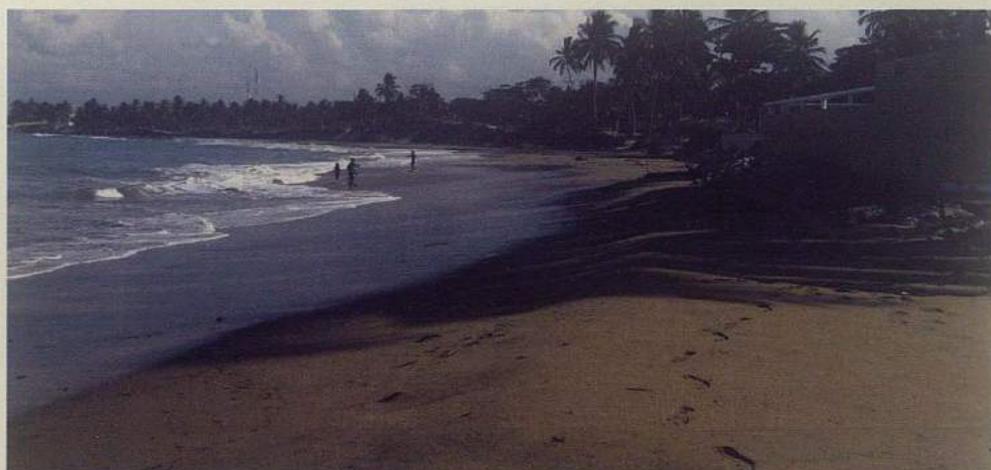


Imagen VII.18. Zona central de la playa.



Imagen VII.19. Extremo sur de la playa.

Efectividad del proyecto

Después de realizado el vertimiento, con el paso del tiempo, la arena se moverá en el perfil hasta alcanzar su posición de equilibrio. En las figuras VII.27 y VII.28 se muestra la configuración esperada para los perfiles de playa en las zonas occidental (perfil 39) y oriental (perfil 20), de acuerdo con la condición de equilibrio.

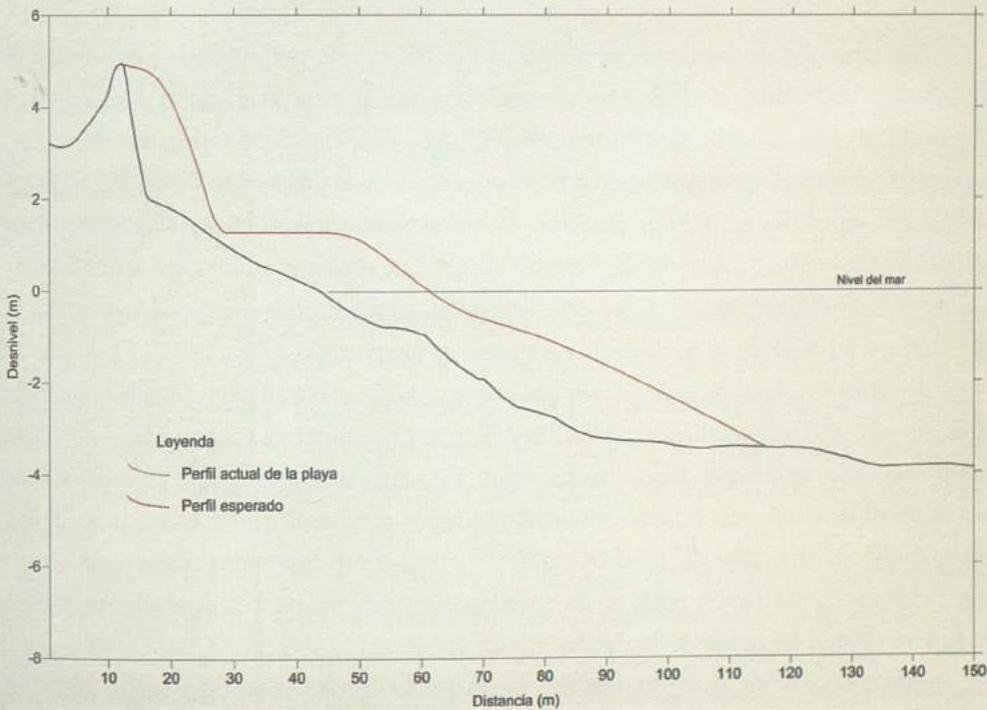


Fig. VII.27. Perfil esperado de la duna y la playa para la zona occidental.

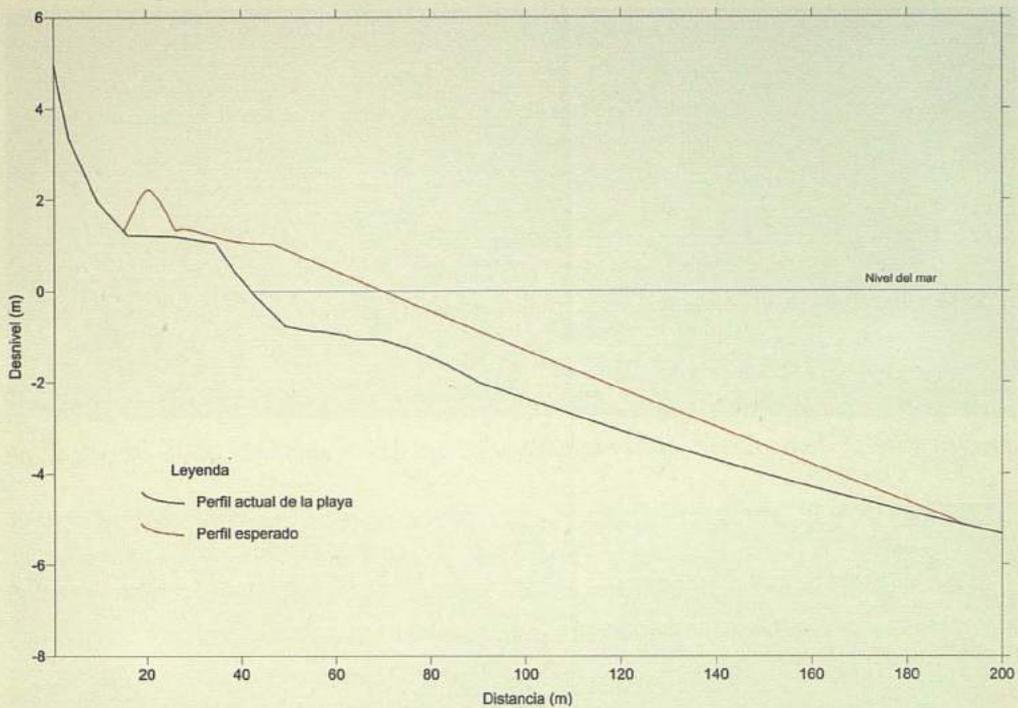


Fig. VII .28. Perfil esperado para la playa en la zona oriental.

Sin embargo, la forma de equilibrio del perfil es sólo un indicador de su estado habitual y realmente, las máximas afectaciones que se producen en la playa tienen lugar durante la ocurrencia de tormentas y otros eventos meteorológicos extremos que provocan cambios significativos en cortos intervalos de tiempo y son los responsables del retroceso de la línea de costa. Por este motivo, para evaluar la efectividad esperada del proyecto, además de simular el perfil de equilibrio se realizó una detallada modelación matemática de los cambios en la morfometría del perfil que pueden producirse a partir de la incidencia de sucesivas tormentas.

Idealmente, esos modelos permiten con un oleaje y batimetría iniciales apropiados, simular el comportamiento de la línea de costa acumulativa (playa) y la batimetría en un período de tiempo dado. Los modelos para simular el transporte de sedimentos en el perfil de playa son fundamentalmente usados para determinar el impacto de las tormentas y la elevación del nivel del mar. Además, si son diseñados estructuras costeras y ejecutados vertimientos de arena, pueden ser utilizados para evaluar su efectividad y funcionalidad en un período de tiempo determinado.

Los cálculos de la evolución del perfil se realizaron tomando como base de partida el perfil de diseño. En este caso para los cálculos se ha considerando el perfil

39, pues la tendencia evolutiva del mismo es representativa de lo que puede ocurrir en la playa, en el peor escenario, después del vertimiento de arena. Se simuló su comportamiento frente a dos tormentas, una con período de retorno de 5 años y otra, con características similares a un huracán intenso, los parámetros principales de estas tormentas se muestran en la figura VII.29.

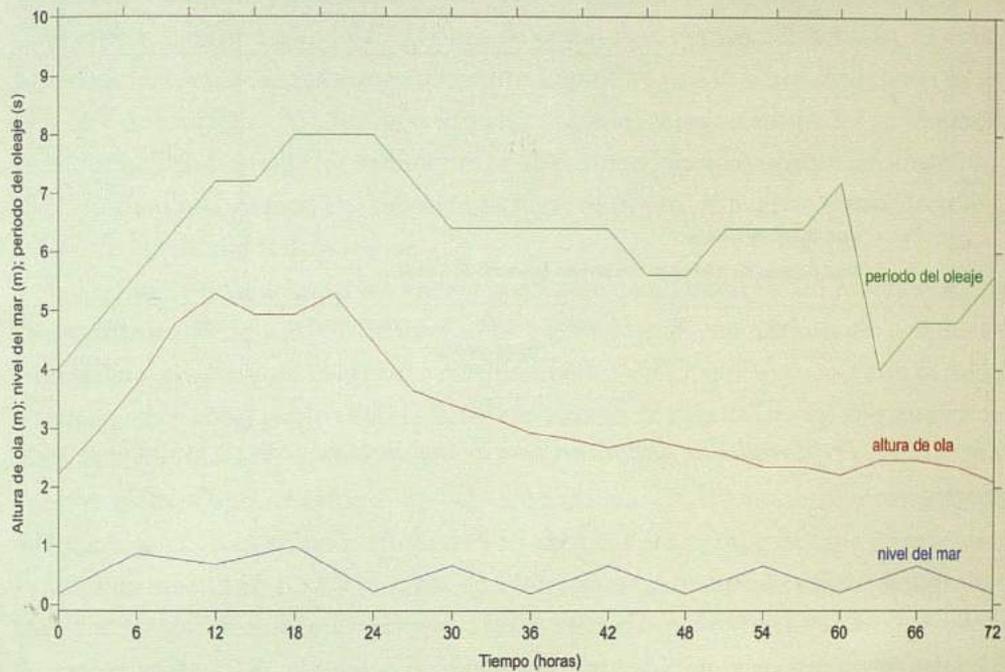


Fig. VII.29. Parámetros del oleaje correspondientes a la tormenta con período de retorno de 5 años empleada en las simulaciones.

En la figura VII.30 se muestran los perfiles resultantes después del paso de las tormentas. Se nota, en el caso de la tormenta con período de retorno de 5 años, cómo se produce una redistribución del sedimento en el perfil de playa, donde una parte del mismo se adosa al pie de la duna y otra parte desciende hacia la pendiente submarina, registrándose un retroceso neto de la línea de costa de 9.8 m.

En el caso del huracán se produce una remoción neta de determinados volúmenes de arena hacia la pendiente submarina con un retroceso de la línea de costa de 11.5 m. Este volumen se acumula en barras de arena muy próximas a la orilla. También ocurre un reacomodo del sedimento en la duna, de manera que la misma retrocede hacia tierra unos 8 m aproximadamente. (Fig. VII.31).

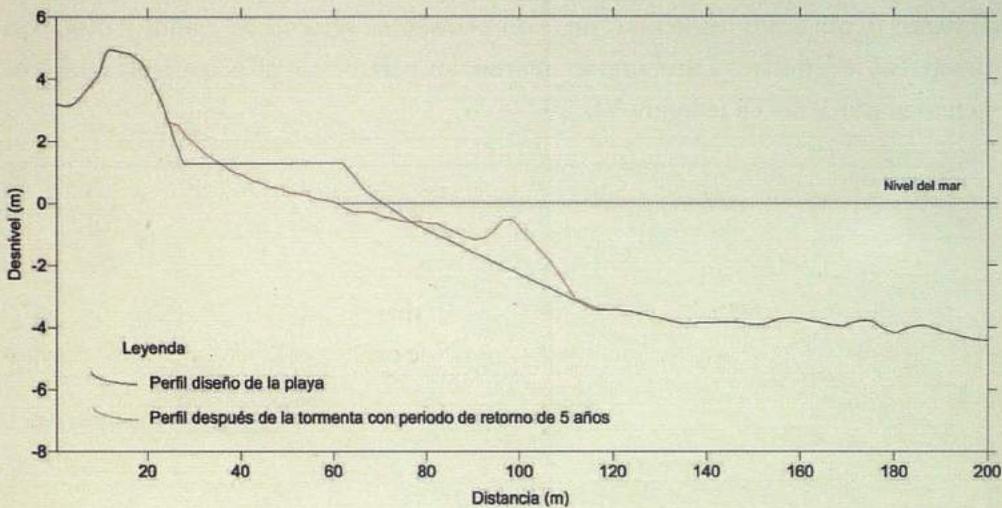


Fig. VII.30. Perfil resultante después del paso de una tormenta con período de retorno de 5 años.

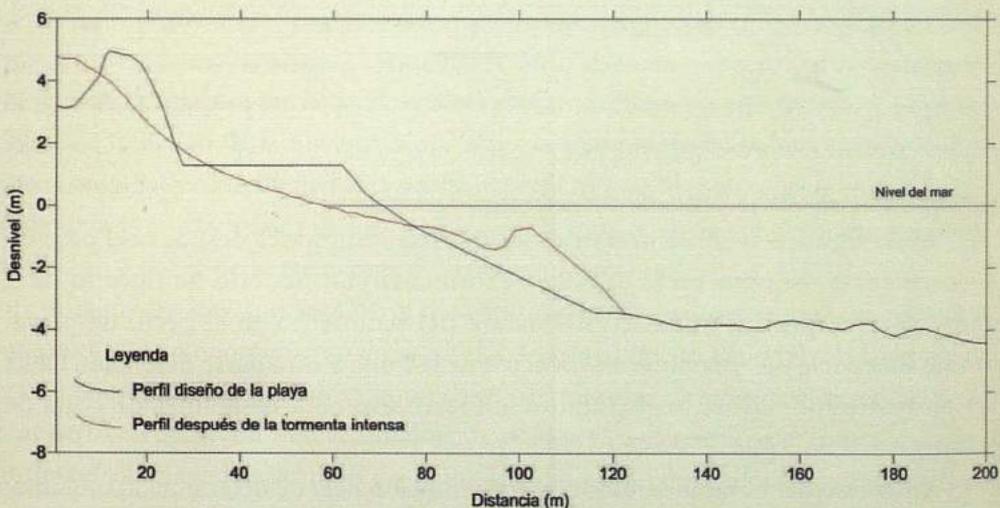


Fig. VII.31. Perfil resultante después del paso de una tormenta intensa.

Resulta interesante destacar la diferencia existente en la morfología resultante de los perfiles de playa con el paso de los dos eventos, aún cuando los volúmenes de arena que se remueven de la berma son similares al igual que los retrocesos esperados para la línea de costa. En el caso de la tormenta con período de retorno de 5 años el volumen de arena removido de la berma es de 30.2 m^3 por m lineal, de los cuales 4.8 m^3 se depositan junto a la duna en la parte emergida de la playa y 25.4 m^3 en la pendiente submarina próxima a la línea de costa. Para el caso del huracán, el volumen de arena removido por metro lineal y acumulado en la barra submarina es de 37.4 m^3 , de los cuales 35.2 m^3 pertenecen a la berma y los restantes 2.2 m^3 escapan de la duna. Una parte de los sedimentos que escapan hacia las profundidades marinas, demoran más tiempo en retornar a su lugar de origen, lo cual no quiere decir que se consideren perdidos del sistema.

Como se puede apreciar los impactos del paso de un huracán son superiores a los de una tormenta con período de retorno de 5 años, lo cual está relacionado con que la intensidad simulada para el huracán resulta superior a la de una tormenta con período de retorno de 5 años, por lo cual el cálculo del tiempo de vida útil se realizó atendiendo a la influencia de los huracanes.

La zona objeto de estudio ha sido afectada por 25 huracanes y tormentas de diferentes categorías, en un período de 115 años con un tiempo de espera entre uno y otro: máximo de 13 años y mínimo de 1 año, para un tiempo de espera más probable de 4.8 años. Atendiendo a que el ancho de playa que se conformará según este proyecto será de 25 m; el tiempo de espera más probable entre el paso de un huracán y el siguiente en la zona es de 4.8 años, considerando el peor escenario posible en el cual ocurre un retroceso de 11.5 m por evento y además que la playa no se recupere entre un temporal y otro, el tiempo de vida útil del vertimiento de arena se puede estimar en 10.5 años. Este es el período mínimo en que se espera que la playa pueda retornar a su situación actual.

No obstante, es de esperar que a partir de las consideraciones con que se ha realizado el diseño de la playa, la misma se comporte de una manera más estable y conserve sus condiciones de uso por un tiempo superior al pronosticado.

En la actualidad, después de 4 años de ejecutados los trabajos, la playa se encuentra en muy buenas condiciones, con una morfología muy próxima a la de equilibrio prevista en el proyecto. Resulta válido destacar que en este período no han arribado a la zona huracanes ni tormentas severas, lo cual sin lugar a dudas ha sido un elemento favorable que ha propiciado la consolidación y estabilización de la playa. Esto se aprecia en las imágenes de diferentes sectores de la playa tomadas en 2009 (Imagen VII.20),

en las que destacan los anchos de playa superiores a los 40 m, así como la coloración blanca de la arena.

La implementación del proyecto de regeneración de la playa Cabarete, con una extensión de 2.5 Km, puede considerarse satisfactoria, pues se han obtenido los resultados esperados a partir de las acciones diseñadas y ejecutadas.

Los resultados del avance del perfil de la playa tanto en volumen de arena como en espacio ganado por el perfil se ponen de manifiesto en los perfiles medidos en la playa Cabarete (Fig. VII.32 y VII.33), dos años después (2008) de ejecutado el vertimiento. Los perfiles de playa después del vertimiento ponen de manifiesto el crecimiento y estabilidad de la playa. Las imágenes VII.21 y 22 muestran los sitios donde llegaba el mar en el momento de la ejecución de los vertimientos de arena, las vistas son más que elocuentes de la mejora experimentada por la playa. El perfil trazado con línea roja es el nativo y el trazado con línea negra es del 2009, obtenido con los vertimientos artificiales de arena (Fig. VII.32 y VII.33).





Imagen VII.20. Vistas de la playa Cabarete, 2009.



Fig. VII.32. Perfil de playa medido dos años después de los vertimientos de arena en playa Cabarete.



Imagen VII.21 Señalización en la playa donde llegaba el mar en el momento de los vertimientos de arena, 2006.



Imagen VII.22. Punto donde llegaba el mar en el momento de los vertimientos ya cubierto por la arena, 2009.

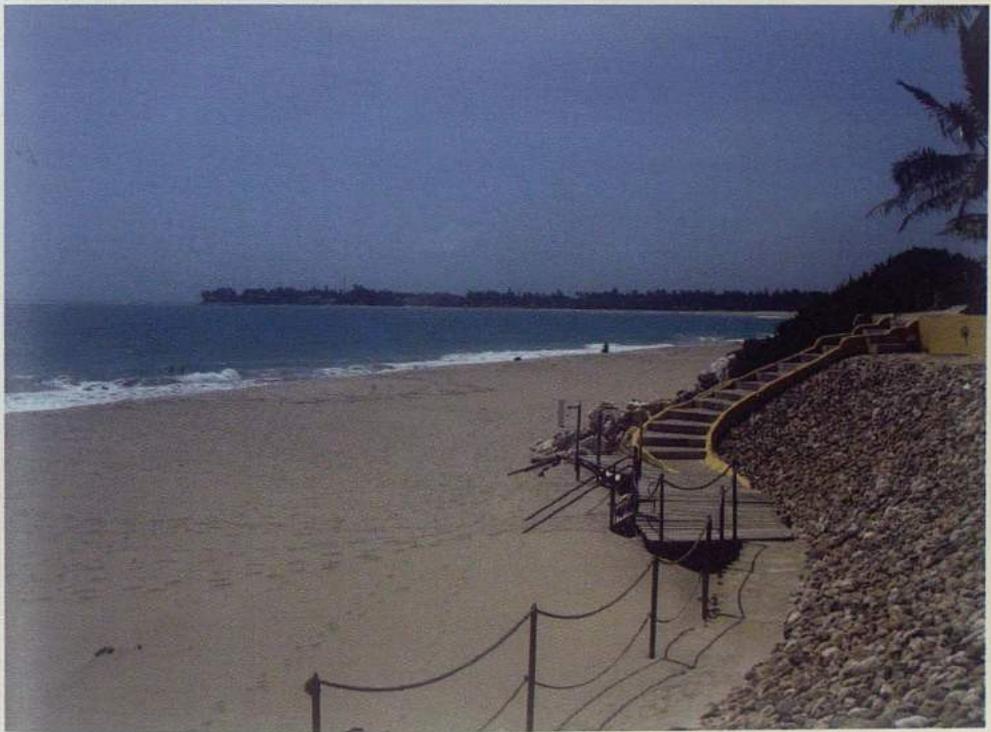


Fig. VII.33. Perfiles en el extremo oeste de playa Cabarete a los dos años de terminados los vertimientos de arena, 2009.



Capítulo VIII

Restauración de la playa Juan Dolio

En 2006, la playa Juan Dolio se encontraba severamente afectada por la erosión, como resultado de acciones antrópicas inadecuadas y factores naturales entre los que se debe mencionar el ascenso del nivel del mar y el deterioro de los arrecifes coralinos y otros ecosistemas costeros. A lo largo de todo el litoral, la línea de costa había experimentado un marcado retroceso, que había traído como consecuencia, la pérdida de partes de su perfil de equilibrio natural, acentuado principalmente con la desaparición total de las dunas costeras.

La franja litoral estaba ocupada por instalaciones turísticas y privadas, acompañadas de obras de defensa para evitar el efecto del oleaje. La Secretaría de Estado de Turismo (actual Ministerio) con el apoyo del gobierno central y los hoteleros la incluyeron también en el conjunto de playas para las que se diseñó y ejecutó un proyecto de regeneración. El proyecto de la playa Juan Dolio comprendió la demolición de las obras hidrotécnicas construidas que interrumpían la dinámica natural de sedimentos, la limpieza de la playa y la alimentación artificial de arena.

Para definir las acciones del proyecto, al igual que en el caso de la playa Cabarete fue necesario realizar caracterizaciones de la hidrodinámica, morfología y sedimentología de la costa y de la pendiente submarina, del funcionamiento del sistema costero, de las cuencas sedimentarias marinas, y el diseño de la solución para el mejoramiento de la playa.

La playa Juan Dolio se localiza en la provincia San Pedro de Macorís, 60 kilómetros al este del Distrito Nacional. Geográficamente se encuentra en la costa sur de República Dominicana, integrando un mosaico de geosistemas formado por llanuras y humedales costeros que se caracterizan por la presencia de un nivel de terrazas marinas compuestas por calizas organodetríticas arrecifales que se originaron en el Pleistoceno.

En la formación de la playa Juan Dolio han intervenido la dinámica marino-costera y en menor medida los vientos. Los depósitos costeros pueden considerarse depósitos fluvio-marinos y su dinámica litoral resulta extremadamente compleja.

La existencia de una extensa barrera arrecifal paralela a la costa determina que las olas rompan antes de llegar a la orilla y sufran un cambio en su altura y dirección de propagación. En la figura VIII.1 se presenta una imagen aérea de la playa, superpuesta al esquema tridimensional del relieve donde se pueden observar sus principales elementos morfológicos.

La playa Juan Dolio constituye una formación acumulativa protegida por barreras coralinas continuas. El desarrollo de la playa en este sitio ha estado favorecido durante años por los aportes de arena biogénica producida en los arrecifes coralinos, a los que se suman los materiales terrígenos que vierte al mar el río Higuamo. La protección que ofrece a la costa la barrera coralina ha permitido que en este sitio se deposite la arena y se formen playas en forma de concha.

Aunque en condiciones naturales este tipo de playas resulta muy estable, en las últimas décadas se produjeron una serie de acciones antrópicas que condujeron a un inevitable deterioro de sus condiciones recreativas y estéticas. Entre las acciones de carácter local que han tenido un mayor impacto destaca la edificación de casas y hoteles sobre la playa y las dunas, la construcción de espigones y rompeolas que interrumpían el transporte litoral y la destrucción de los arrecifes coralinos para la construcción de canales de navegación (Imagen VIII.1).

A continuación se presentan los resultados de los estudios anteriormente mencionados que se realizaron en 1999 en el estudio de factibilidad y en 2005 en el proyecto ejecutivo para la playa Juan Dolio y las cuencas sedimentarias.

Levantamiento topográfico

Como se ha mencionado, la costa de la playa Juan Dolio se caracteriza por la alternancia de pequeñas ensenadas enmarcadas por salientes al abrigo de las barreras arrecifales. En el mapa se representa la ubicación de los perfiles topográficos utilizados para el levantamiento de la playa que fueron la base principal de la presente caracterización (Fig. VIII. 2).

Los perfiles del 1 al 7, realizados en el interior de la ensenada de Punta Garza, tienen una pendiente submarina fuerte que conduce a profundidades superiores a

1.5 metros a corta distancia de la costa y su extensión en la parte emergida es de entre 14 y 20 metros como promedio. Continuando al este, entre los perfiles del 8 hasta el 11, aparece una barrera arrecifal próxima a la orilla, al abrigo de la cual se produce la acumulación de arena y el avance de la costa hacia el mar. La morfología de esta ensenada es una constante que se repite a todo lo largo de la playa Juan Dolio.

Al este de Punta Garza el entorno costero está ocupado por residencias privadas. El sector en general está representado por los perfiles 13, 14, 15 y 16 con un comportamiento muy similar al observado en la caleta de Punta Garza. El fondo es rocoso y en algunos sitios se presenta una ligera capa de sedimentos sueltos que alterna con parches de *Thalassia* y piedra. La parte emergida de los perfiles se estrecha un poco con valores entre los 8 y 11 metros.

La morfología descrita en el estudio de factibilidad realizado en 1999 se mantiene en toda la playa en sentido general y en particular en la zona que ocupan los perfiles 10, 14 y 26, realizados todos en los salientes rocosos que separan las caletas. Estos constituyen hemitómbolos separados de la barrera arrecifal por un fondo bajo, donde aparece arena en la zona próxima a la costa y continúa en dirección al mar aparece la roca hasta llegar a la barrera arrecifal.

Los sectores de playa situados en los hoteles Costa Caribe, Decameron y algunas residencias particulares, se encontraban privados del ingreso natural de arena por los espigones construidos al este.

Frente al hotel Costa Caribe la escollera artificial, creada para provocar con su abrigo la formación de playa, propició la erosión de la zona costera y de la pendiente submarina donde afloraba la roca, lo que evidenció que no existían condiciones apropiadas para la estabilidad de la arena.

Hacia el este de Costa Caribe, desde el perfil 38 hasta el 40, es una zona desprotegida con pendiente fuerte, donde las construcciones muy próximas al mar contribuyeron a acelerar la erosión. La franja de arena es más estrecha con fuertes escarpes (Foto VIII.2), mientras que la pendiente submarina estaba formada por una superficie rocosa de pendiente pronunciada con la presencia de surcos profundos que prácticamente llegaban a la costa.

Frente a los hoteles Decameron y Talanquera, se mantiene una franja de arena aceptable en la parte emergida con una pendiente submarina suave. El perfil 47 refleja en el relieve el efecto de la barrera arrecifal en la pendiente submarina al provocar la rotura de la ola a una distancia de la orilla mayor que en otras zonas desprovistas de esa defensa.

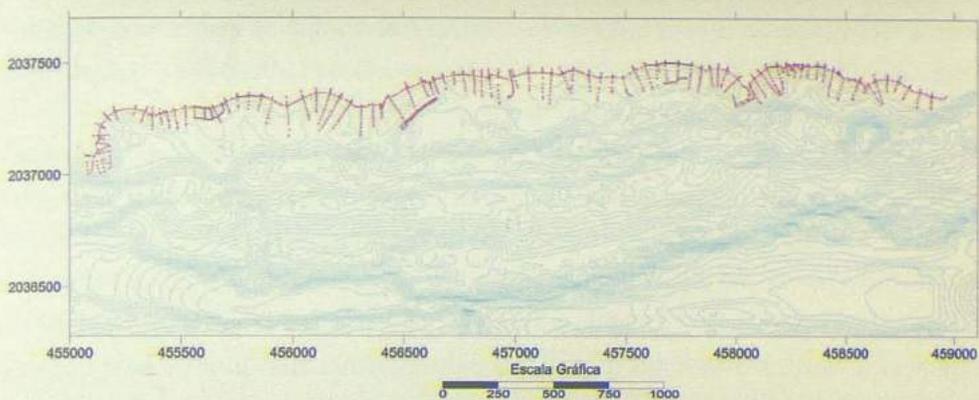


Fig. VIII. 2. Ubicación de la red de perfiles topográficos en la playa Juan Dolio.

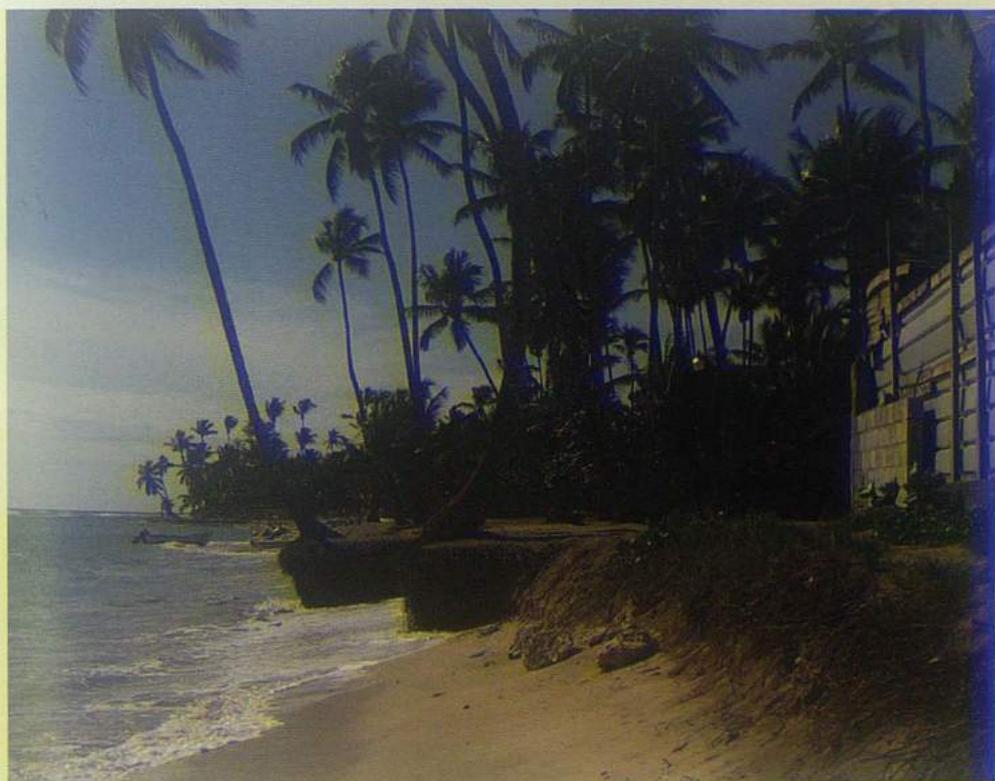


Imagen VIII.2. Intensa erosión costera acelerada por construcciones, antes del vertimiento artificial de arena.

La ensenada que se extiende desde el perfil 50 hasta el perfil 63 forma una playa de configuración en media luna en la que se colocó una escollera paralela a la costa con la finalidad de proteger la playa del oleaje, sin embargo, a pesar de la existencia de la escollera, el perfil de playa en este sector era completamente erosivo con afloramientos rocosos desde la propia línea de costa, situación que se mantuvo en la pendiente submarina, por lo que no existían condiciones adecuadas para el baño, hasta que se realizaron los vertimientos de arena.

Tal como se analizó en el estudio de factibilidad realizado en 1999, se infiere que lo anterior se debió a la falta de sedimentos en la zona a causa, por una parte, de la interferencia de la isla artificial del hotel Metro que se interponía a la llegada de arena a este sitio proveniente del este, y por otra parte, los sedimentos que lograban rebasar la isleta quedan atrapados en el canal de entrada a la base náutica del Metro, impidiendo su transporte natural a lo largo de la costa para alimentar las playas de los hoteles Barceló y Talanquera (Imagen VIII.3).



Imagen VIII.3. Escarpes de erosión en la playa Juan Dolio, antes de la ejecución del vertimiento de arena.

En la ensenada situada al este del hotel Metro la erosión provocó que algunas instalaciones tuvieran que ser protegidas por gaviones situados sobre la antigua duna y en la misma línea de costa era característico en el perfil de playa la presencia de una terraza abrasiva. La pendiente es pronunciada con arena en la parte superior de la pendiente submarina de la playa pero inmediatamente continúa una superficie rocosa desprovista de sedimento. Entre los elementos de mayor relevancia en la playa Juan Dolio se encuentran: la forma sinuosa de la línea de costa con entrantes y salientes, la pendiente submarina suave cerca de la costa y más abrupta en la medida que nos alejamos de ella, la ausencia de la duna y el desarrollo coralino cerca de la costa con surcos perpendiculares a la costa. El levantamiento topográfico de la playa Juan Dolio cubrió una longitud de 5000 metros y quedaron establecidos diversos puntos de control debidamente señalizados en el terreno. A partir de esta red se realizó el levantamiento de la línea de costa, las estructuras de ingeniería actuales y 81 nivelaciones del perfil de playa.

Aunque las causas del deterioro de la playa Juan Dolio respondían a una combinación de factores naturales y antrópicos, es incuestionable que los mayores daños han sido provocados por acciones irreflexivas del hombre.

Ante la ausencia de un adecuado programa de ordenamiento del litoral, durante años se construyeron instalaciones hoteleras y de otro tipo de obras sobre las dunas y la playa. Antes del vertimiento de arena, los cimientos de muchas de estas instalaciones estaban siendo lavados por las olas y los propietarios habían colocado defensas con las que además de interponer nuevos obstáculos al funcionamiento dinámico del perfil, provocaban la contaminación de la arena (Imagen VIII.4).



Imagen VIII.4. Restos de construcción que contaminaban la arena de la playa.

A excepción de las acciones individuales en la playa Juan Dolio nunca se habían acometido trabajos para devolverle sus condiciones recreativas y estéticas hasta que en 2006, con el vertimiento de arena, se concibieron los trabajos de restauración con una visión integradora de todo el sistema playa. Los perfiles de playa 20 y 21 presentan un ancho de la zona emergida de 34 y 29 metros respectivamente, con una pendiente submarina suave y en general los perfiles de esa ensenada presentan características morfológicas muy similares a los dos mencionados por lo que este entorno costero es una de las zonas de playa de mayor ancho en su parte emergida de toda la línea de costa levantada. En la mayoría de los perfiles realizados en la playa Juan Dolio, antes del vertimiento artificial de arena, no existía área de exposición solar y en muchos lugares la anteplaya alcanzaba apenas entre 6 y 10 metros durante la marea baja. La pendiente submarina de todos los perfiles era suave y poco pronunciada, cubierta por lo general por una capa muy fina de arena en correspondencia con el poco ingreso a la playa en ese momento. Los perfiles 32, 33, 34 y 35 situados en la ensenada de playa del hotel Metro mostraban un ancho de playa de 10 ó 13 metros en la zona emergida y tenían una pendiente submarina confinada por la barra arrecifal que se acercaba bastante a la costa, además de encontrarse a la sombra de un espigón perpendicular a la costa que cortaba el suministro de arena a la playa. Para paliar el déficit de ingreso de arena en las playas se hacían vertimientos artificiales de arena con la finalidad de incrementar el ancho y ganar área de exposición solar en sectores aislados y confinados por espigones y escolleras.

En los perfiles realizados en los sitios de playas protegidos por espigones perfiles 39, 49 y 61, se observaba un incremento en el ancho de la playa, que era el resultado de la retención por parte del espigón de los sedimentos que se mueven en dirección este-oeste con el efecto de la deriva litoral, aunque tenía una incidencia negativa para otros sectores de playa aledaños (Imagen VIII.6).

Los perfiles 53, 54 y 55 por su ubicación en un sector de playa protegido con una escollera reflejaban los efectos de la misma. Como resultado de la erosión en toda la línea de costa afloraba la terraza abrasiva que formaba parte del área de sol limitada entre 10 y 23 metros, como ancho máximo de la anteplaya, con poco sedimento arenoso suelto en la pendiente submarina. A manera de síntesis general, se puede afirmar que la playa no conservaba adecuadas condiciones recreativas ni estéticas y la zona emergida se encontraba cubierta en casi su totalidad por instalaciones rígidas que afectan el funcionamiento dinámico del perfil. Además, en sitios donde el ancho de la playa es aceptable se encontraban árboles (Imagen VIII.7) y otros obstáculos que impedían el desarrollo normal del perfil de la playa.



Imagen VIII.5. Muro de contención que rompe el perfil de la playa en la actualidad como resultado de los vertimientos artificiales de arena estos muros están cubiertos.



Imagen VIII.6. Espigón perpendicular a la costa cerca del perfil 61. Este espigón fue demolido.



Imagen VIII.7. Presencia de troncos de árboles caídos que entrampaban la arena.

El levantamiento topográfico realizado en la playa Juan Dolio puso de manifiesto en todos los perfiles el retroceso marcado de la línea de costa, asociado a acciones antrópicas y naturales, pero principalmente de las obras realizadas a lo largo de la costa para defender las construcciones que afectaban el normal desarrollo del perfil natural de playa. Es significativo que para una longitud de playa tan extensa, el ancho mayor de la parte emergida de la playa era de apenas 34 metros mientras que el promedio general del ancho de la faja de sol era de 10 metros.

Desde el punto de vista morfológico se destacó que las playas situadas para el sector oriental son caletas más extensas que las del sector occidental y a su vez estaban menos antropizadas por lo que conservaban mejores condiciones estéticas y un sedimento con menos mezcla, o sea, más cercano al nativo de la playa.

Levantamiento batimétrico

El levantamiento batimétrico en la playa Juan Dolio se realizó en dos partes; la primera incluyó la pendiente en el exterior de la barrera arrecifal, para lo cual se empleó una ecosonda Lowrance LMS-480, mientras que para las aguas someras del interior de la

barrera se utilizaron técnicas topográficas con la ayuda de una estación total Trimble TC 5600.

Para el levantamiento de la pendiente exterior se realizaron 93 líneas de sondeo perpendiculares a la costa y tres de control. La frecuencia entre líneas fue de 50 metros y se registraron 39 627 puntos en un área de 4.26 km². La profundidad mínima fue de 2.09 metros y la máxima 31.35 metros, para una profundidad media de 11.35 metros.

Como regularidad, la profundidad de 10 metros se encuentra entre 300 y 400 metros del borde exterior de la cresta arrecifal, aunque en el extremo oeste de la playa esta distancia disminuye hasta los 200 m, para una pendiente general de 0.033. Entre 12 y 15 metros se produce un aumento brusco de la profundidad hasta los 20 y 25 m, donde se puede encontrar entonces un fondo arenoso aplanado con un ancho que puede variar desde unos pocos metros hasta 100 y 200 metros. Una vez sobrepasadas estas cuencas de arena la profundidad vuelve a disminuir bruscamente hasta alcanzar los 14 ó 15 metros e inmediatamente se encuentra el borde del talud que conduce a profundidades de 40 y 50 metros, a una distancia media de la costa de 1000 metros.

Las cuencas de arena que existen frente a la playa Juan Dolio fueron contempladas en el estudio de factibilidad que se realizó en 1999. Como parte de los trabajos de campo del proyecto actual se valoraron nuevamente y se pudo comprobar que su ancho es insuficiente para la maniobrabilidad de las dragas de porte mediano y grande, y en gran parte de ellas ha aumentado significativamente la cantidad de fango y cieno, indicador de que los aportes de arena hacia la pendiente submarina en los últimos años han disminuido. Es por estas razones que quedaron descartadas como zonas de préstamo para la regeneración actual. No obstante podrán ser tenidas en cuenta para futuros trabajos de mantenimiento.

El levantamiento con técnicas topográficas de la cresta del arrecife y las zonas someras del interior de la laguna arrecifal cubrió un área de 0.93 km² y la máxima profundidad medida fue de 2.5 metros.

En la figura VIII.3 se presenta el plano batimétrico 1: 5 000, donde se han integrado las mediciones realizadas con sondeos batimétricos y técnicas topográficas. Adicionalmente, se muestran los resultados de los levantamientos superpuestos a la imagen aérea de la playa Juan Dolio. Para completar la descripción morfológica, se presentan 14 perfiles de la playa, desde la zona emergida hasta el borde exterior del talud. Las secciones se obtuvieron integrando los perfiles topográficos con los registros batimétricos obtenidos durante los sondeos.

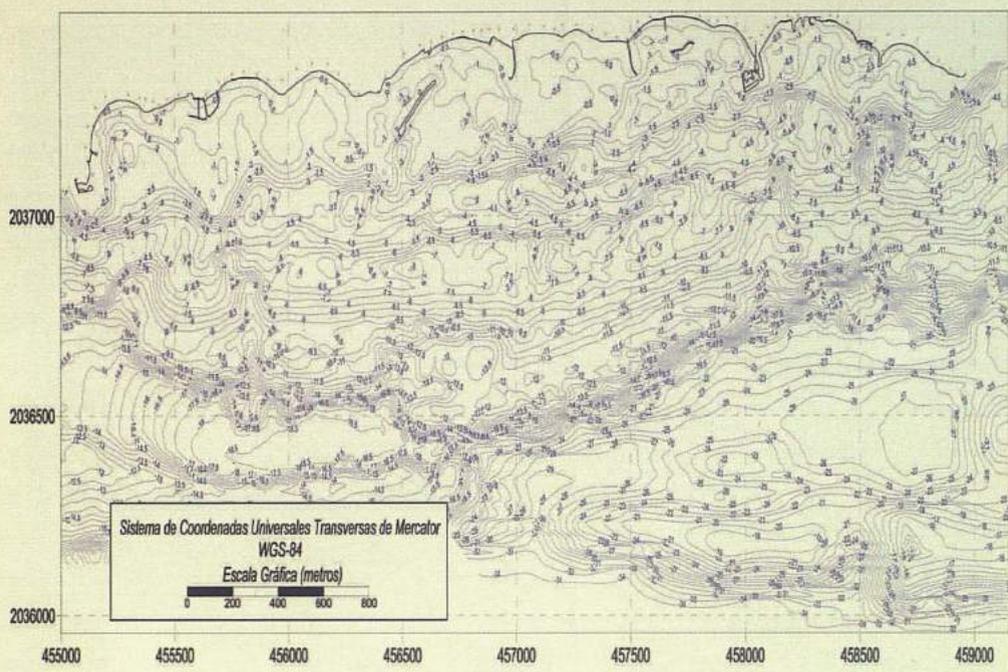


Fig. VIII.3. Plano batimétrico de la playa Juan Dolio.

En la representación de las secciones de la figura VIII.4 se puede observar la similitud que existe entre las secciones de 1-4, correspondientes al extremo occidental de la playa. En esta zona el arrecife más cercano a la orilla y que delimita la laguna interior se encuentra a una mayor profundidad que en el resto de la playa, donde casi emerge en marea baja. Igualmente se delimita con claridad a una distancia de 750 m de la costa aproximadamente, una depresión entre montículos arrecifales que forman las cuencas de arena mencionadas a una profundidad aproximada de 20 m. En la sección 1 es donde esta depresión tiene su mayor ancho con 300 m y va disminuyendo progresivamente hasta 150 m en la sección 4.

Las secciones de 5-8, representativas del centro de la playa, muestran a la barrera arrecifal que delimita la laguna costera más emergida. Por su parte, la depresión entre montículos arrecifales que se observaba a una profundidad de 20 m en las secciones anteriores desaparece (Fig. VIII. 5).

Por otro lado, las secciones entre la 9 y la 14 presentan las mismas características descritas con la diferencia que en este sector oriental de playa vuelve a aparecer a una profundidad promedio de 25 m una nueva depresión entre arrecifes. Esta cuenca, ubicada a unos 1 000 m de la costa, tiene una ancho que varía entre 150 m y 300 m en dirección oeste-este. Es de señalar que una vez sobrepasada esta depresión, sobre todo

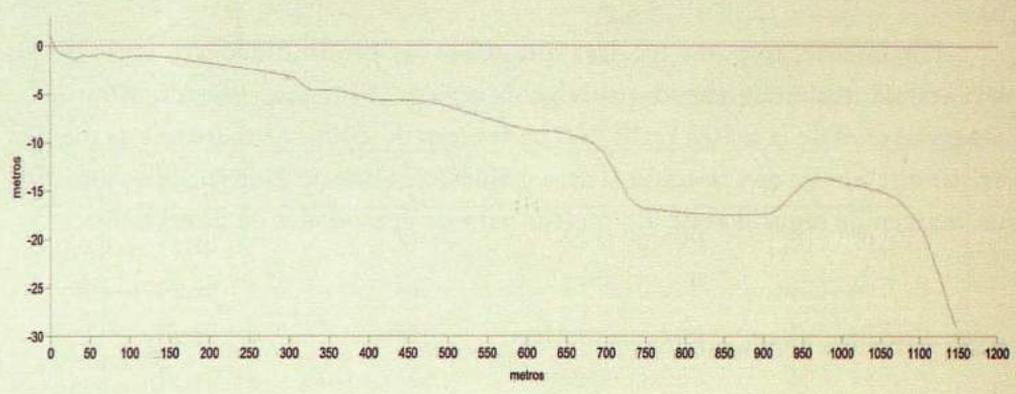


Fig. VIII. 4. Perfil tipo de la pendiente submarina en las secciones 1-4.

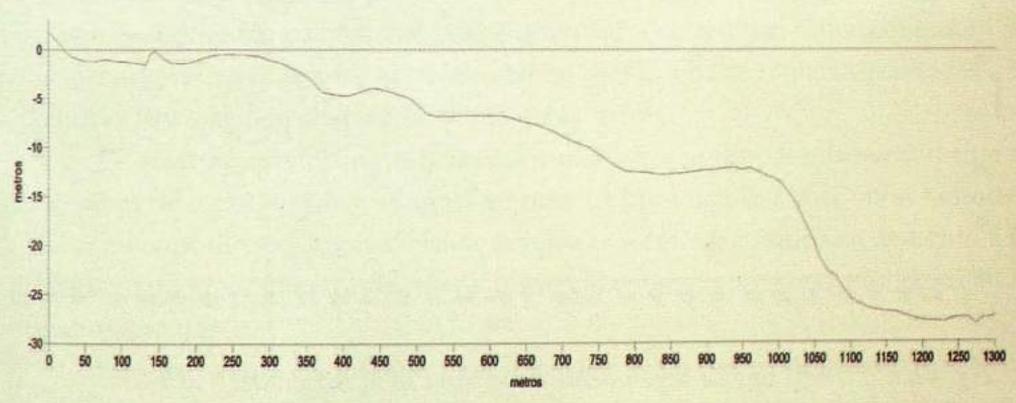


Fig. VIII. 5. Perfil tipo de la pendiente submarina en la sección 5-8.

en las secciones 13 y 14, el montículo arrecifal que la limita hacia el sur se eleva hasta alcanzar profundidades entre 15 y 13 m.

Esta característica del relieve submarino del extremo oriental de la playa Juan Dolio debe ser tenida en cuenta para la navegación en esta zona (Fig. VIII. 6).

Finalmente, importa recalcar que todas las profundidades y cotas de los levantamientos están referidas al Nivel Medio del Mar determinado durante las observaciones de la marea realizadas en febrero de 2006, de manera que pueden existir diferencias con relación al cero geodésico. Por este motivo, se recomienda un margen de seguridad de 0.5 metros para las actividades de navegación.

Caracterización sedimentológica

El estudio de los sedimentos que forman la playa es un elemento esencial para la elaboración del proyecto. En el caso de Juan Dolio, para lograr esta caracterización se colectó un total de 20 muestras de sedimentos asociadas todas a los perfiles topográficos. En cada sitio se tomó una muestra de la anteplaya y de la pendiente subma-

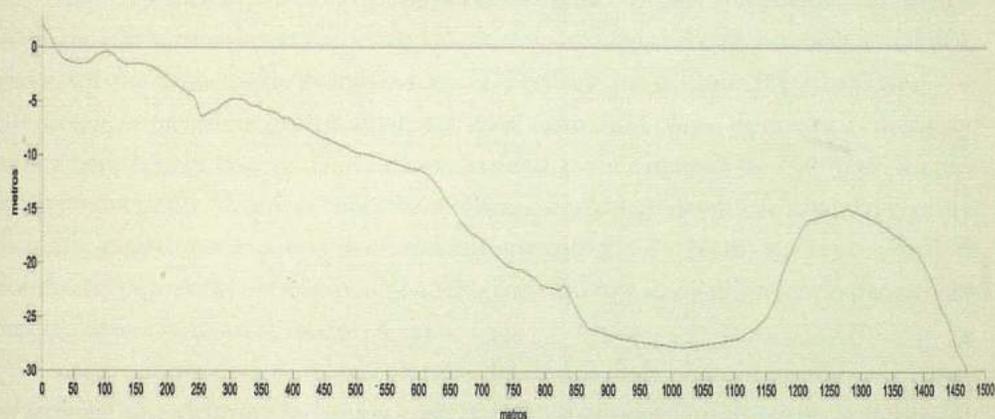


Fig. VIII. 6. Perfil tipo de la pendiente submarina en la sección del 9 al 14.

rina y adicionalmente se tomó una en la duna y otra en la postplaya del perfil 47. El análisis granulométrico de la arena se realizó por tamizado en seco, utilizando los diámetros de malla 4000 μm , 2000 μm , 1000 μm , 500 μm , 250 μm , 125 μm , 62 μm y 31 μm (Tabla VIII. 1).

Tabla. VIII. 1.

Puntos de colecta de muestras de sedimentos en la playa Juan Dolio

PERFILES	MUESTRAS	X	Y
Perfil 4	M 1	455198.499	2037302.42
Perfil 14	M2	455640.009	2037307.13
Perfil 30	M3	456507.364	2037407.36
Perfil 34	M4	456673.031	2037449.1
Perfil 47	M5	457262.048	2037479.36
Perfil 60	M6	457963.239	2037482.33
Perfil 64	M7	458098.851	2037473.09
Perfil 73	M8	458455.196	2037483.28
Perfil 79	M9	458752.299	2037444.03

Sin embargo, una vez procesadas estas muestras se pudo comprobar que en su mayoría clasificaban como arena gruesa o muy gruesa, resultados que contrastan de manera significativa con los obtenidos en los estudios de factibilidad realizados durante el 1999 cuando clasificaron como arena media.

La causa de esta incongruencia en los resultados se debe fundamentalmente al deterioro de numerosas instalaciones en primera línea de playa y de obras hidrotécnicas como escolleras, islas artificiales, rompeolas y espigones, que han aportado a la playa escombros y material de relleno, trayendo consigo un incremento lógico en la granulometría.

Otro factor que ha influido significativamente en este fenómeno son los vertimientos de arena que se han ejecutado para mejorar pequeños sectores de playa como es el caso de los hoteles Costa Caribe y Metro.

La erosión constante a que ha estado sometido el sistema costero también puede ser señalada como causa de este problema, pues bajo estas condiciones las partículas más finas son las primeras en escapar del perfil natural de la playa por la acción del oleaje y las corrientes, quedando solamente las partículas más gruesas. Sin dudas este

proceso de cambio en las características de la arena es una evidencia más del déficit de aportes de sedimentos a la playa (Tabla VIII. 2).

Tabla VIII.2.
Material retenido (%) por fracciones granulométricas.

Muestra	>4	4-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	0.125-0.062	<0.062
M1 (AP)	0.4	6	35.9	45	10.8	0.1	0	0
M2 (AP)	0.5	4.7	20	56.3	8.7	9.3	0	0
M3 (AP)	9	12.2	25.7	43.4	4.6	5	0	0
M4 (AP)	0	0.7	10.2	57	29	1.8	0.9	0.3
M5 (AP)	0.2	1	3.1	6.6	42.6	43.3	2.8	0
M7 (AP)	2.5	2.9	5.9	30.3	39.7	15.4	1.1	0.1
M1 (PS)	4	6	33.9	50	8.8	0.1	0	0
M2 (PS)	0.5	4.7	28.7	56.3	9.3	0	0	0
M3 (PS)	11	10.2	30.7	46.4	1.6	0	0	0
M4 (PS)	0	0.7	10.2	57	29	1.8	0.9	3
M5 (PS)	0.5	2.1	6.7	9.6	10.6	46.6	23.2	0.1
M7 (PS)	8.4	10.4	16.5	9.9	14.8	36.2	2.6	0
M8 (PS)	0	0.3	0.3	0.9	1.2	18.3	75	3.3
M9 (PS)	0	0	0.5	19.7	48.9	29.6	0.6	0
M5 Duna	2.5	2.9	4.9	36.3	39.7	10.4	1.1	0.1
M5 (PP)	2.5	2.9	4.9	26.3	46.7	11.4	0.1	0.1

*AP: Anteplaya PS: Pendiente Submarina PP: Post Playa

Los resultados del análisis granulométrico mostraron de manera general que existía arena gruesa en la anteplaya de los perfiles situados en la parte occidental (perfiles 4, 14, 30, y 47), con la excepción del perfil 34 que clasificó como arena media, mientras que hacia la zona oriental los sedimentos en los perfiles 64 y 79 clasificaron como arena media. En el Perfil 30, ubicado frente al hotel Costa Caribe, se reportó la arena de mayor diámetro, tanto en la playa emergida ($D_{50}=1\ 123.6\ \mu\text{m}$) como en la pendiente submarina ($D_{50}=1\ 226.9\ \mu\text{m}$). Estos resultados estaban alterados por detritos de construcción y materiales introducidos artificialmente. La playa en este

sector era muy estrecha y se habían acometido varias acciones para protegerla del oleaje, lo que ha conllevado a una confinación del material arenoso cortando toda evolución natural de su perfil natural.

Los lugares que mejor describían la arena nativa de la playa son la anteplaya del perfil 34 y los perfiles 64 y 79 con arena media. Resalta, por otra parte, que en una sola muestra la resultante de la granulometría era de arena muy fina en la pendiente submarina del perfil 73.

Como se puede apreciar, estos resultados confirman la explicación dada anteriormente. Teniendo en cuenta estos elementos, para determinar la muestra tipo se promediaron los pesos por fracciones granulométricas de los sedimentos colectados en 5 muestras seleccionadas por ser las más representativas de los sedimentos nativos de la playa (Tabla VIII.3).

Tabla VIII.3
Material retenido (%) por fracciones granulométricas para la Muestra Tipo de la playa Juan Dolio

Muestra	>4	2 - 4	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	0.125-0.062	<0.062
M4 (AP)	0	0.7	10.2	57	29	1.8	0.9	0.3
M1 (AP)	0.4	6	35.9	45	10.8	0.1	0	0
M3 (AP)	9	12.2	25.7	43.4	4.6	5	0	0
M5 (AP)	0.2	1	3.1	6.6	42.6	43.3	2.8	0
M9 (B)	0	0.2	1.1	25.1	56.4	13.9	2.9	0.3
Muestra Tipo	1.92	4.02	15.2	35.42	28.68	12.82	1.32	0.66

A continuación se presenta un resumen de los estadígrafos que caracterizaron la Muestra Tipo de la playa.

Mediana (D_{50})	568.3 μ m	0.815 $\hat{\sigma}$	
Media	569.6 μ m	0.812 $\hat{\sigma}$	Arena gruesa
Varianza ($\hat{\sigma}$)	2.265 μ m	1.180 $\hat{\sigma}$	Mal clasificada

A pesar de la selección hecha al muestreo, aún la muestra tipo clasifica como gruesa. En la (Tabla VIII.4) se presentan los resultados de la muestra tipo obtenidos a partir del análisis a 20 muestras en los estudios de factibilidad realizados en 1999, así como sus estadígrafos.

Tabla VIII.4.

Resultados de la muestra tipo de la playa en el estudio de factibilidad de 1999.

Muestra	Rango de tamices						
	4-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	<0.05
Muestra Tipo	2.05	6.65	31.51	34.03	19.95	5.91	0.0025
Mediana (D ₅₀)	409.2 μm		1.289 Φ				
Media			381.2 μm	1.391 Φ	Arena Media		
Varianza (σ)	2.323 μm		1.216 Φ		Mal clasificada		

Como se puede apreciar hay una diferencia de más de 100 μm entre ambas muestras tipo y un cambio de clasificación de media a gruesa, originado por las causas descritas en este acápite. Tomando en consideración que el muestreo de 1999 describe de manera más real la arena nativa de la playa fueron tomados estos valores para el cálculo de los perfiles de diseño de la nueva playa así como de la efectividad esperada de este proyecto.

En cuanto a la composición, la arena nativa estaba formada básicamente por fragmentos biogénicos producidos en el arrecife y de las comunidades bentónicas de la pendiente submarina, con una mezcla considerable de sedimentos terrígenos por el aporte natural de los ríos y la introducción artificial de materiales de la construcción. La proporción de esta mezcla de materiales se encuentra distribuida homogéneamente en todos los tamices.

En los granos de sedimentos de génesis biogénicas predominan los restos de corales, algas calcáreas, moluscos y otros restos.

Como conclusión se puede decir que la arena de Juan Dolio clasificó como gruesa y es una mezcla de sedimentos de origen biogénico, terrígeno y restos de rellenos de viejas estructuras. Además la continua erosión a que estaba sometida la playa ha provocado una selección del sedimento, quedando solo en gran parte el material más grueso.

Dinámica litoral

La dinámica litoral de la playa Juan Dolio resulta extremadamente compleja. La existencia de una extensa barrera arrecifal prácticamente paralela a la costa determina

que las olas rompan antes de llegar a la orilla y sufran un cambio en su altura y dirección de propagación. Este fenómeno se produce por la interacción entre las olas y el fondo y se conoce en la ingeniería costera como “refracción”, “difracción” y “shoaling”.

Cuando las olas alcanzan un peralte crítico (H_0/L_0) se produce la rotura. Dentro de la zona de rompientes se genera un movimiento orbital de las partículas de agua que provoca un transporte de masa en superficie hacia las playas que es compensado por un flujo de retorno en los niveles inferiores. Para el caso de la playa Juan Dolio el agua que rebasa la barrera sólo es capaz de retornar hacia el mar por los canales donde se encuentra cortada la barrera y en esos sitios se producen corrientes muy fuertes dirigidas hacia el mar que han sido identificadas en estudios previos como una de las principales vías de fuga de arena.

Además de las corrientes perpendiculares, cuando las olas tienen una incidencia oblicua (lo que ocurre frecuentemente en la naturaleza), se da una componente de energía paralela a la costa que da lugar a las corrientes longitudinales.

En el caso de las playas, el movimiento orbital de las olas, las corrientes y en particular la turbulencia, provocan que en la zona de rotura los sedimentos se pongan en suspensión y queden a merced de las corrientes litorales. De acuerdo con la energía de las olas, su dirección de incidencia y las propiedades de los sedimentos, se establece entonces un esquema de erosión, transporte y sedimentación que es el responsable de los cambios morfológicos y sedimentológicos de las playas.

A continuación se presenta un análisis del proceso de transformación de las olas al acercarse a la barrera coralina que protege a la playa Juan Dolio, la forma en que las ondas alcanzan a la orilla y el transporte de sedimentos que generan, hecho en 2006 para el proyecto de generación. Finalmente se discute el efecto que tiene el transporte de sedimentos en la evolución del perfil y la forma en planta de la playa.

Transformación del oleaje

Las transformaciones que sufren las olas al penetrar en aguas someras afectan su altura, la longitud de onda y la dirección de propagación, lo que repercute en la velocidad de la corriente litoral y el transporte de sedimentos.

A pesar de que estos fenómenos han sido estudiados profundamente por la ingeniería, la complejidad del proceso hace que la mayoría de los modelos consideren de forma simplificada que las batimetrías son regulares y de contornos paralelos. Sin embargo, como se ha mencionado, para la playa Juan Dolio la transformación del oleaje

es mucho más compleja debido a la existencia de una extensa barrera coralina además de un gran número de obras hidrotécnicas.

Cuando las olas procedentes de aguas profundas se acercan a la barrera y experimentan la fricción con el fondo, se produce un incremento de la altura en detrimento de la longitud de onda. Esto hace que la ola se peralte hasta que se alcanza un valor crítico y se produce la rotura. En este proceso, una parte de la energía se disipa y otra se transfiere hacia las aguas tranquilas que se encuentran en el interior de la barrera.

Para describir numéricamente este proceso, se acude a la conocida ecuación de Berkhoff o ecuación de la "mild slope" y en una aplicación combinada de la teoría lineal del oleaje y los criterios de rotura de Munk (1949).

Teoría lineal del oleaje

Para los cálculos basados en la teoría lineal, se utilizó la metodología propuesta en el Automated Coastal Engineering System (ACES, 1992) desarrollado por el Coastal Engineering Research Center sobre la base de los resultados de Dean y Dalrymple (1984) y Sarpkaya e Isaacson (1981). La teoría se sustenta en la de Snell y fue planteada por primera vez por Airy (1845).

Usando como referencia las condiciones de oleaje en aguas profundas, la forma general de la ley de Snell se expresa como:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0}$$

Donde:

c, c_0 = velocidad de las ondas en determinada profundidad

μ, μ_0 = ángulo entre la onda y el contorno de profundidad

Para lo cual se asume que la razón de transferencia de energía entre las ortogonales de las olas permanece constante y está dada por el flujo de energía medio:

$$\bar{P}_0 = \bar{P}$$

Se analiza lo anterior en condiciones de aguas profundas y para aguas someras, sustituyendo por los valores de flujo de energía, distancia entre ortogonales, densidad media de energía, velocidad de grupo.

De manera simplificada, se puede considerar una relación geométrica simple entre b y μ que conduce a la expresión de Kr.

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

Donde la expresión simplificada resultante sería:

$$\frac{H}{H_0} = K_r K_s$$

Para determinar las características de la ola en el punto de rotura, se consideran los criterios de Weggel (1972) referidos en el SPM (1984) y que tiene en cuenta de forma cualitativamente correcta el efecto de la pendiente (m). La expresión utilizada es:

$$\frac{H}{d} = b - a \frac{H}{gT^2}$$

Donde a y b son funciones de m

$$a = 43.8(1 - \exp(-19m))$$

$$b = 1.56(1 + \exp(-19.5))^{-1}$$

T representa el período de la ola, d la profundidad y g la aceleración de la gravedad.

Se presentan los resultados de aplicar la teoría lineal a un perfil tipo de la playa Juan Dolio (Sección S6). El perfil seleccionado se encuentra al este del hotel Costa Caribe, aproximadamente en la parte central de la playa. La dirección, altura media cuadrática (H_{ms}) y período pico (T_p) de las olas se corresponden con los datos del Global Waves Statistics resumidos. (Fig. VIII.7, 8 y 9)

ACES	Mode: Single Case	Functional Area: Wave Transformation					
Application: Linear Wave Theory / Snell's Law							
Item	Units	Known Wave		Subject Wave	Deepwater Wave		
Wave Height	m	H1:	1.72	H2:	1.47	H0:	1.75
Wave Period	sec	T:	5.35				
Water Depth	m	d1:	20.00	d2:	5.00		
Crest Angle	deg	01:	45.00	02:	31.80	00:	45.40
Wavelength	m	L1:	44.36	L2:	33.05	L0:	44.67
Celerity	m/sec	C1:	8.29	C2:	6.18	C0:	8.35
Group Veloc	m/sec	Cg1:	4.31	Cg2:	4.88	Cg0:	4.17
Energy Dens	N-m/m ²	E1:	3717.01	E2:	2727.82	E0:	3863.23
Energy Flux	N-m/s-m	P1:	16014.08	P2:	13323.03	P0:	16127.18
Ursell Param		U1:	0.42	U2:	12.88	H0/L0:	0.04
Nearshore Slope (cotan):		58.82					
Breaker Height Hb:		2.02 m					
Breaker Depth db:		2.46 m					

Fig. VIII.7. Cálculo de la transformación del oleaje en la pendiente exterior del arrecife (Oleaje procedente del sureste).

ACES	Mode: Single Case	Functional Area: Wave Transformation					
Application: Linear Wave Theory / Snell's Law							
Item	Units	Known Wave		Subject Wave	Deepwater Wave		
Wave Height	m	H1:	1.40	H2:	1.28	H0:	1.40
Wave Period	sec	T:	4.47				
Water Depth	m	d1:	20.00	d2:	5.00		
Crest Angle	deg	01:	0.00	02:	0.00	00:	0.00
Wavelength	m	L1:	31.18	L2:	26.05	L0:	31.18
Celerity	m/sec	C1:	6.98	C2:	5.83	C0:	6.98
Group Veloc	m/sec	Cg1:	3.49	Cg2:	4.18	Cg0:	3.49
Energy Dens	N-m/m ²	E1:	2462.60	E2:	2052.74	E0:	2462.60
Energy Flux	N-m/s-m	P1:	8589.24	P2:	8589.24	P0:	8589.24
Ursell Param		U1:	0.17	U2:	6.94	H0/L0:	0.04
Nearshore Slope (cotan):		58.82					
Breaker Height Hb:		1.56 m					
Breaker Depth db:		1.92 m					

VIII.8. Cálculo de la transformación del oleaje en la pendiente exterior del arrecife (Oleaje procedente del sur).

ACES	Mode: Single Case	Functional Area: Wave Transformation			
Application: Linear Wave Theory / Snell's Law					
Item	Units	Known Wave		Subject Wave	Deepwater Wave
Wave Height	m	H1:	1.29	H2:	1.12
Wave Period	sec	T:	4.10		
Water Depth	m	d1:	20.00	d2:	5.00
Crest Angle	deg	ó1:	45.00	ó2:	38.35
Wavelength	m	L1:	26.23	L2:	23.02
Celerity	m/sec	C1:	6.40	C2:	5.61
Group Veloc	m/sec	Cg1:	3.20	Cg2:	3.81
Energy Dens	N-m/m ²	E1:	2090.82	E2:	1582.35
Energy Flux	N-m/s-m	P1:	6688.90	P2:	6031.17
Ursell Param		U1:	0.11	U2:	4.76
		H0:		L0:	26.23
		ó0:	45.00	C0:	6.40
				Cg0:	3.20
				E0:	2090.82
				P0:	6688.90
				H0/L0:	0.05
Nearshore Slope (cotan):		58.82			
Breaker Height Hb:	1.41 m				
Breaker Depth db:	1.74 m				

Fig. VIII.9. Cálculo de la transformación del oleaje en la pendiente exterior del arrecife (Oleaje procedente del suroeste).

Generalmente las olas procedentes del sureste son las más energéticas y tienen una altura media cuadrática (H_{rms}) en aguas profundas de 1.72 metros con un período pico (T_p) de 5.35 segundos. Al llegar al borde exterior de la barrera, estas olas rompen a una profundidad de 2.46 metros y alcanzan 2.02 metros de altura. Sin embargo, solamente una parte de esta energía es capaz de rebasar la cresta del arrecife y llegar a la playa.

Para conocer la cantidad de energía que rebasa el arrecife se aplicaron los criterios establecidos por Van der Meer:

Para:

$-2 < Rc/H_i < -1.13$	$K_T=0.80$
$-1.13 < Rc/H_i < 1.2$	$K_T=0.46-0.3(Rc/H_i)$
$1.20 < Rc/H_i < 2.0$	$K_T=0.10$

Donde: Rc es la cota de coronación de la estructura (en este caso el arrecife)
 Hi es la altura de ola incidente
 K_T es el coeficiente de transmisión

Para la Sección 6 de la figura VIII.10, la cresta del arrecife se encuentra 0.5 metros por debajo del Nivel Medio del Mar. Utilizando los resultados del cálculo de la transformación del oleaje de acuerdo con la teoría de Airy ($H_i=2.02$) y asumiendo una cota de coronación (R_c) de 0.5 metros tenemos:

$$\frac{R_c}{H_i} = \frac{-0.50}{2.02} = -0.24$$

De donde se obtiene:

$$Kt = 0.46 - \left(0.3 \frac{R_c}{H_i} \right) = 0.53$$

Multiplicando la altura de ola incidente ($H_b = H_i$) por el coeficiente de transmisión (Kt) tenemos que en el lado interior de la barrera coralina pueden recomponerse olas de 1.07 metros. Estas olas sufren un nuevo proceso de transformación durante su aproximación a la playa y se alcanza una nueva rotura. En la figura VIII.11 se muestra el resultado de aplicar la teoría lineal a una ola que se mueve entre la cresta del arrecife y la playa. Toda la evolución de la ola, desde aguas profundas hasta la orilla se presenta en forma de esquema. Un proceso similar al descrito para los arrecifes coralinos se produce cuando las olas chocan contra las escolleras artificiales. Un ejemplo de este tipo de obras es el rompeolas ubicado frente a la playa del hotel Costa Caribe, que juega un importante papel en la atenuación del oleaje.

Partiendo de las características de las olas procedentes del sureste (las más energéticas) y considerando que la escollera frente a Costa Caribe tiene una cota de coronación media (R_c) de 0.20 a 0.30 metros, entonces la energía que logra pasar a la zona interior está dada por la expresión:

$$\frac{R_c}{H_i} = \frac{0.20}{2.02} = 0.09$$

De donde:

$$Kt = 0.46 - \left(0.3 \frac{R_c}{H_i} \right) = 0.45$$

Consecuentemente, en la zona interior pueden reconfigurarse olas de 0.9 metros de altura. Aplicando los criterios de Munk (1949), estas olas pueden llegar a una profundidad de 1.15 metros, a partir de la cual se produce una nueva rotura:

Item	Units	Known Wave	Subject Wave	Deepwater Wave
Wave Height	m	H1: 1.07	H2: 1.13	H0: 1.03
Wave Period	sec	T: 5.35		
Water Depth	m	d1: 2.00	d2: 1.50	
Crest Angle	deg	01: 0.00	02: 0.00	00: 0.00
Wavelength	m	L1: 22.58	L2: 19.79	L0: 44.67
Celerity	m/sec	C1: 4.22	C2: 3.70	C0: 0.35
Group Veloc	m/sec	Cg1: 3.84	Cg2: 3.45	Cg0: 4.17
Energy Dens	N-m/m ²	E1: 1438.48	E2: 1602.34	E0: 1323.18
Energy Flux	N-m/s-m	P1: 5523.66	P2: 5523.67	P0: 5523.67
UrSELL Param		U1: 68.18	U2: 131.10	H0/L0: 0.02

Nearshore Slope (cotan):	10.00
Breaker Height Hb:	1.43 m
Breaker Depth db:	1.22 m

Fig. VIII.10. Cálculo de la transformación del oleaje en la zona interior del arrecife (Oleaje procedente del sureste).

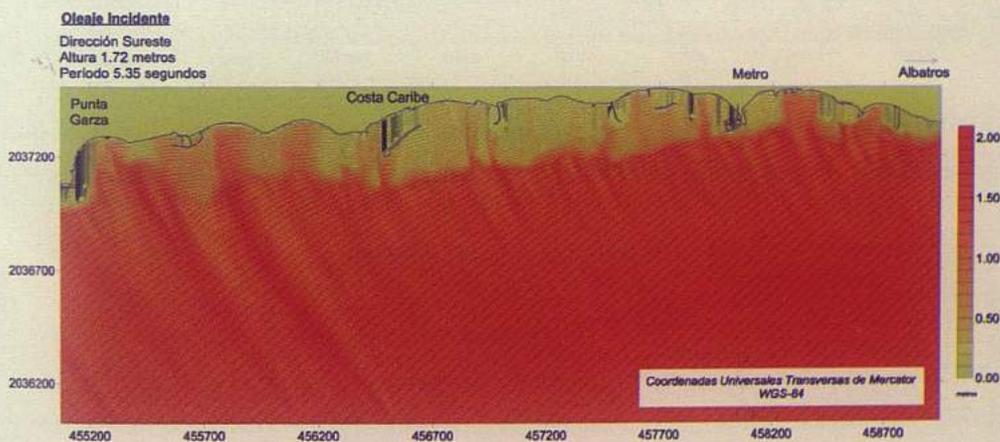


Fig. VIII. 11. Refracción-difracción para las olas habituales del sureste.

Aunque la teoría lineal ofrece una idea general de los procesos que ocurren en la costa, el fenómeno de transformación del oleaje en la playa Juan Dolio es mucho más complejo. Por una parte, las secciones tipo de la playa no son realmente representativas de todo un sector pues a lo largo de un perfil podemos encontrarnos una sólida barrera coralina y apenas un centenar de metros hacia los lados pueden existir canales o cortes en la barrera donde el oleaje se comporta de forma totalmente diferente. Por otra parte, muchas veces no sólo se interpone al oleaje una barrera coralina sino varias barreras e incluso obras hidrotécnicas de diversa índole.

En un análisis más profundo, se realizó una aproximación al estudio de refracción-difracción utilizando la ecuación de Berkhoff o ecuación de la “*mild slope*”, que permite describir la propagación de ondas en un medio continuo.

Ecuación de Berkhoff

El movimiento irrotacional de un fluido incompresible, en función de su campo potencial de velocidades (x, y, z, t) está regido por la ecuación de Laplace, que se expresa en la relación de continuidad para un volumen arbitrario como:

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

Esta expresión conduce a la ecuación de la “*mild-slope*” o ecuación de Berkhoff, que gobierna la propagación de ondas incluyendo fenómenos de refracción y difracción:

$$\nabla_h (CC_b \nabla_h A) + \sigma^2 \frac{C_g}{C} A = 0$$

Para describir el proceso de propagación del oleaje en la playa Juan Dolio, se utilizó el programa REFDIF 10 desarrollado en el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) de la Dirección General de Puertos y Costas perteneciente al Ministerio de Obras Públicas y Transporte de España. La base del método es una aproximación parabólica de la ecuación de Berkhoff que considera los efectos de disipación de la energía, fricción de fondo, ruptura de las olas, interacción con las corrientes y oleaje irregular.

Para resolver numéricamente la ecuación, el modelo considera un esquema de solución en diferencias finitas. La matriz de cálculo se obtuvo por interpolación de los

valores de profundidades utilizando el método Kriggin. Esta matriz tiene 149 filas y 463 columnas, para una distancia entre nodos consecutivos de 10 metros, con lo que se satisface una densidad de 2 ó 3 nodos por longitud de onda. Como resultado de los procesos de refracción, difracción y shoaling, las olas que alcanzan la barrera sufren una significativa reducción en su altura y experimentan un cambio en la dirección de propagación (Fig. VIII.11, 12 y 13). Para la playa Juan Dolio, uno de los efectos que tiene un mayor interés es la difracción que se produce cuando las ondas penetran en los canales y tienden a ponerse paralelas a la costa adoptando una forma de arco.

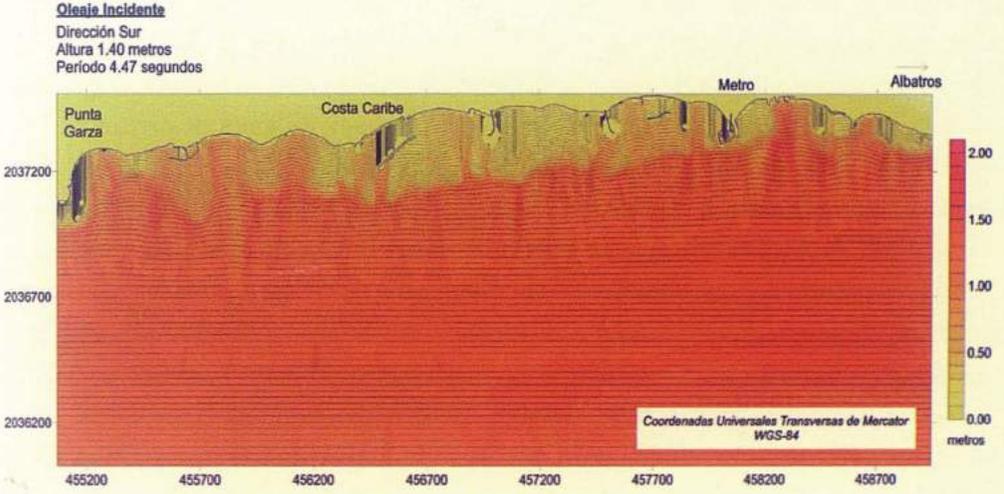


Fig. VIII. 12. Refracción-difracción para las olas habituales del sur.

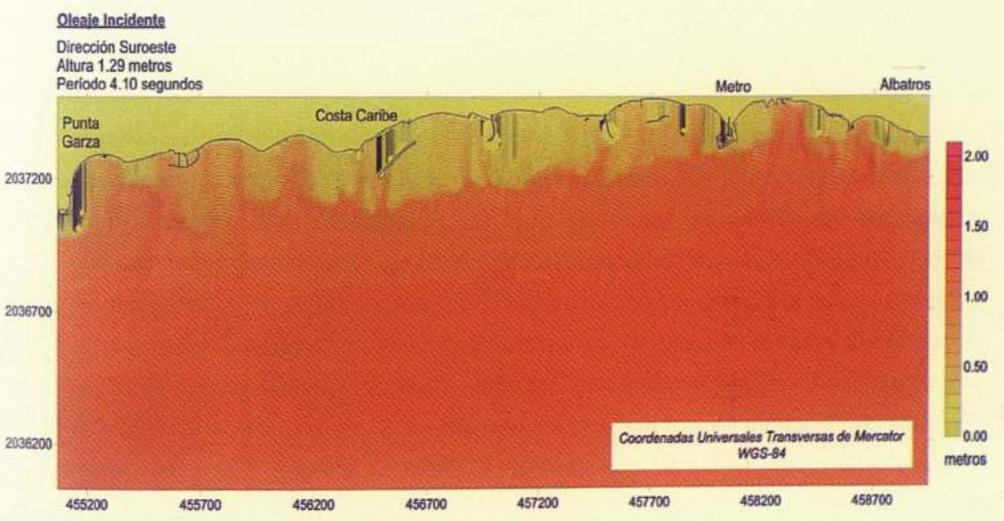


Fig. VIII. 13. Refracción-difracción para las olas habituales del suroeste.

Transporte de sedimentos

En la mayoría de las áreas costeras, las olas alcanzan la orilla desde diferentes direcciones produciendo cambios en el transporte longitudinal. En un sitio específico, el transporte puede ser hacia la derecha (con el observador de frente al mar) durante una parte del año y hacia la izquierda el tiempo restante. Si el transporte hacia la izquierda y hacia la derecha se denotan Q_{IL} y Q_{IR} respectivamente y por convenio a Q_{IR} se le asigna un valor positivo y a Q_{IL} negativo, entonces el transporte neto anual se define como $Q_{INET} = Q_{IR} + Q_{IL}$. Bajo estas consideraciones, el transporte neto de sedimentos es positivo y dirigido hacia la derecha si $Q_{IR} > Q_{IL}$ y dirigido hacia la izquierda y negativo si $Q_{IR} < Q_{IL}$.

En la naturaleza, el transporte neto de sedimentos puede variar desde magnitudes muy cercanas hasta cero para algunas áreas costeras hasta millones de metros cúbicos por año en otras. El transporte bruto anual se define como $Q_{IGROSS} = Q_{IR} + |Q_{IL}|$, o sea la suma de las magnitudes temporales del transporte de sedimentos independientemente de su dirección. Bajo este convenio es posible tener elevadas tasas de transporte bruto con un transporte neto cercano a cero. El movimiento de sedimentos paralelo a la costa se define como transporte litoral y está muy relacionado con la deriva litoral que es la cantidad (volumen) real de arena que es transportada. El conocimiento preciso del transporte litoral es uno de los elementos de mayor importancia en la ingeniería costera. Al ejecutar un vertimiento de arena, los ritmos a que el material puede abandonar el sitio directamente beneficiado dependen tanto del transporte neto como bruto.

Entre las obras de ingeniería que tienen una mayor influencia sobre el transporte están los espigones y diques exentos. En el caso de los espigones, el efecto más frecuente es que se produzca la acumulación de materiales en el lado deriva arriba de la estructura de la que resulta una erosión en las áreas deriva abajo. Los diques exentos o rompeolas, por otra parte, provocan una reducción de la energía de las olas en el área protegida y se reduce el transporte de sedimentos, lo que conduce a una sedimentación adicional y el ensanchamiento de la playa. En el caso de la playa Juan Dolio existe una serie de factores, tanto naturales como antrópicos, que influyen de manera local sobre el transporte de sedimentos. Entre los elementos antrópicos se destacan los espigones y rompeolas construidos para retener la arena y que cortan el suministro natural de sedimentos a las playas que se encuentran al oeste. Entre los factores naturales cabe destacar a los arrecifes coralinos en forma de barreras paralelas a la costa, que son los que dan lugar a la forma de conchas que adopta la playa. Debe señalarse que todos estos elementos tienen una influencia local en el transporte y condicionan el comportamiento espacial y temporal de la playa. Sin embargo, en nuestro estudio se abordó el transporte

a una escala mayor describiendo las cantidades de arena potenciales que participan en el balance sedimentario. Esta forma de calcular el movimiento de la arena se conoce por el término "tasa de transporte de sedimentos potencial" que asume que existe una disponibilidad de sedimentos suficientes para ser transportados y que las obstrucciones, ya sea naturales o artificiales (espigones, rompeolas, canales, cañones etc.) no atenúan o interrumpen el transporte a lo largo de la costa.

Comúnmente, para calcular las tasas de transporte potencial se utiliza la tasa de transporte del volumen Q_t que se expresa en $m^3/día$ o $d^3/año$. Este es el volumen total que puede ser medido e incluye un 40% de espacios vacíos entre las partículas y un 60% de granos sólidos. Otra forma de representación es la tasa de transporte del peso del material inmerso I_t que se relaciona con el volumen de transporte por la expresión:

$$I_t = (\rho_s - \rho)g(1-n)Q_t$$

Donde \bar{n}_s es la densidad de los sedimentos, \bar{n} la densidad del agua, g la aceleración de la gravedad y n la porosidad de los sedimentos in-situ ($nH^{0.4}$). El parámetro n es un factor de espacio de poro, de modo que $(1-n)Q_t$ es el volumen de sólidos transportados únicamente. Una ventaja de utilizar I_t es que las tasas de transporte de peso inmerso incorporan el efecto de la densidad de las partículas de sedimentos. El factor $(\bar{n}_s - \bar{n})$ representa la flotabilidad de la partícula en el agua de mar.

Para llegar a una valoración preliminar del transporte longitudinal en ausencia de mediciones directas, con frecuencia se aplica la llamada fórmula del "CERC", que se sustenta en el cálculo del flujo de energía de las olas en la zona de rompientes.

En esencia, el método parte de los resultados de Savage (1962), quien sobre la base del análisis de un gran volumen de información de campo y numerosos ensayos de laboratorio desarrolló una ecuación para calcular las tasas de transporte de sedimentos en función de la energía de las olas. Esta ecuación fue adoptada por el U.S. Army Corps of Engineers (U.S. Army Corps of Engineers, 1966) y se comenzó a identificar como la "fórmula del CERC". Inman y Bagnold (1963) fueron los precursores de proponer el uso de las tasas de transporte del peso inmerso (I_t) en lugar de las tasas volumétricas, que fueron calibradas posteriormente por Komar e Inman (1970) a partir de observaciones de campo y experimentos con trazadores. Utilizando los resultados de Komar e Inman (1970) y datos de campo adicionales, la "formula del CERC" fue actualizada desde su planteamiento original (U.S. Army Corps of Engineers, 1966) a la forma en que se presenta en el SPM (1977), SPM (1984) y CEM (2002).

La fórmula del CERC correlaciona la tasa de transporte a lo largo de la costa con la componente del flujo de energía de las olas (P): $P_t = (EC_g)_b \sin a_b \cos a_b$

Donde E_b es la energía de las olas evaluada en la línea de rompientes:

$$E_b = \frac{\rho g H_b^2}{8}$$

Mientras C_{gb} es la celeridad de grupo, calculada también para el punto de rotura:

$$C_{gb} = \sqrt{g d_b} = \left(g \frac{H_b}{k} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde k es el índice de rotura (H_b/d_b). $(EC_g)_b$ es el "flujo de energía de las olas" evaluado en la zona de rompientes y α_b es el ángulo con que rompen las olas.

Las tasas de transporte de peso inmerso I_l se expresan en las mismas unidades que P_l de donde se da la relación conocida como "fórmula del CERC":

$$I_l = K P_l = K (EC_g)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

Que para las condiciones de aguas someras conduce a:

$$I_l = K \left(\frac{\rho g H_b^2}{8} \right) \left(\frac{g H_b}{k} \right) \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

$$I_l = K \left(\frac{\rho g^{\frac{3}{2}}}{8 k^{\frac{1}{2}}} \right) H_b^{\frac{5}{2}} \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

$$I_l = K \left(\frac{\rho g^{\frac{3}{2}}}{16 k^{\frac{1}{2}}} \right) H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b)$$

La relación para I_l también puede expresarse como Q_l utilizando las fórmulas:

$$Q_l = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1-n)} P_l$$

$$Q_l = K \left(\frac{\rho \sqrt{g}}{16 k^{\frac{1}{2}} (\rho_s - \rho)(1-n)} \right) H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b)$$

Generalmente, para el cálculo del flujo de energía de las olas P_f y la tasa de transporte del peso inmerso I_f , se utiliza la raíz media cuadrática de la altura de ola en el punto de rompiente (H_{brms}). En cuanto al coeficiente K , en el ACES (1990) se recomienda un valor de 0.39 determinado empíricamente para un gran número de playas de diversas características. La (Tabla VIII.5) Siguiente presenta un resumen del oleaje considerado para calcular las tasas de transporte de sedimentos en la playa Juan Dolio.

Tabla VIII.5.
Resumen de las características del oleaje
en el punto de rotura para la playa Juan Dolio

Rumbo	Frecuencia %	Ángulo de incidencia (α_b)	Altura (H_b) metros	Profundidad (d_b) Metros
Sureste	9.72	31.80	2.02	2.46
Sur	2.15	0	1.56	1.92
Suroeste	0.99	-38.35	1.41	1.74

De donde resultan los transportes de sedimentos por rumbos resumidos más adelante (Fig. VIII.14 y 15). Las olas procedentes del sur no se incluyen en el análisis ya que la incidencia de los frentes de ondas con relación a la orilla es 0 (cero) y no se genera una componente de energía a lo largo de la costa.

ACES	Mode: Single Case	Functional Area: Littoral Processes
Application: Longshore Sediment Transport		

Breaking Wave Conditions		
Item	Units	Value
Breaking Wave Height	m	2.020
Wave Crest Angle with Shoreline	deg	31.800
Coefficient K		0.390
Transport Rate	cu m/yr	14892380.

Fig. VIII. 14 Transporte potencial de sedimentos producido por las olas del sureste.

ACES	Mode: Single Case	Functional Area: Littoral Processes
Application: Longshore Sediment Transport		

Breaking Wave Conditions		
Item	Units	Value
Breaking Wave Height	m	1.410
Wave Crest Angle with Shoreline	deg	38.350
Coefficient K		0.390
Transport Rate	cu m/yr	6586550.

Fig. VIII. 15. Transporte potencial de sedimentos producido por las olas del suroeste.

Analizando la frecuencia con que se produce el oleaje desde cada dirección, se obtiene un transporte anual de 620 m³ (Tabla VIII.6).

Tabla VIII. 6.

Transporte potencial de sedimentos a lo largo de la costa (Juan Dolio)

Rumbo	Transporte (m ³ /año)	Frecuencia (%)	Transporte potencial (m ³ /año)
Sureste	14 892 380	9.72	1 447 539
Suroeste	6 586 550	0.99	-65 207
Transporte Bruto			1 512 746
Transporte Neto			1 382 332

Los cálculos realizados demuestran que en el sistema costero al que pertenece la playa Juan Dolio, las tasas de transporte potencial de arena sobrepasan el millón de metros cúbicos. Teniendo en cuenta que el análisis se ha desarrollado para la zona del arrecife que está totalmente expuesta al oleaje procedente de aguas profundas, debe esperarse que en la playa el movimiento de sedimentos sea algo menor.

Funcionamiento del perfil de equilibrio

Los estudios de los cambios en el perfil de equilibrio se orientan a conocer los procesos que ocurren en la zona próxima a la orilla y que modelan la playa a escala espacial y temporal. Para describir la forma de equilibrio de la playa Juan Dolio se utilizó la

conocida fórmula de Dean (1977), que confirma los resultados obtenidos por Brunn (1954): $h(y) = Ay^m$.

De acuerdo con esta expresión, la profundidad de cualquier punto a lo largo del perfil se relaciona con la distancia a la costa a través de un parámetro de escala A y un exponente m . El parámetro A , depende de las propiedades físico mecánicas de los sedimentos, en particular su velocidad de caída (w), mientras que el exponente m , guarda una estrecha relación con la energía del oleaje y la forma en que ésta se disipa durante la aproximación a la costa. En el caso de una disipación uniforme de la energía de las olas por unidad de volumen de agua, Dean (1977) demostró que el exponente m podía igualarse a 0.67.

La selección de la fórmula de Dean respondió a los siguientes criterios:

- 1^{er}. Se trata de una función aceptada universalmente, que describe las principales características de los perfiles equilibrados empleando un número mínimo de parámetros.
- 2^{do}. Hace una clara distinción de los factores que condicionan la forma del perfil, en particular, las propiedades de los sedimentos; que es un elemento de gran interés en muchas playas tropicales donde la génesis de la arena es biogénico-marina.
- 3^{er}. A partir de esta función se han desarrollado numerosas aplicaciones para la ingeniería costera, por lo que al calcular los parámetros de equilibrio los resultados se hacen extensivos a un gran número de aplicaciones prácticas.

El cálculo del parámetro A partió de un cuidadoso análisis de las propiedades del sedimento de la playa. En el muestreo realizado durante los estudios de proyecto (Febrero de 2006), se detectó un incremento en el diámetro de la arena con relación al muestreo efectuado en 1999 (Estudio de Factibilidad). Este cambio en la granulometría es el reflejo de una serie de alteraciones antrópicas a que ha estado sometido el litoral entre las que vale destacar los vertimientos de arena locales para beneficiar pequeños sectores y la contaminación de la arena con escombros y materiales derivados de la construcción de espigones, rompeolas y otras obras de defensa costera. El déficit en los ingresos naturales de arena también puede ser analizado como una causa del incremento en el diámetro de los sedimentos. Con el efecto de la erosión costera los materiales más finos son los primeros que abandonan las playas y sólo las fracciones más gruesas permanecen estables. Si los materiales finos no son remplazados por nuevos sedimentos, se va produciendo un progresivo incremento de la granulometría.

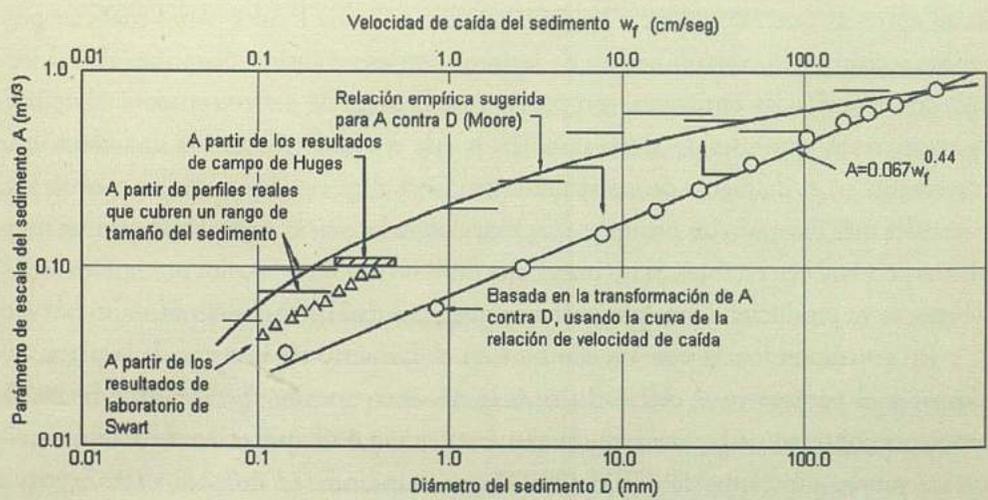
En correspondencia con los cambios en el diámetro de la arena de la playa, al comparar el parámetro A calculado para la muestra tipo de 1999 con la de 2006 también se observan significativas diferencias. Para la determinación de A se utilizaron los valores tabulados del CEM (2002) que se indican en la Tabla VIII. 7.

Tabla VIII. 7.
Valores tabulados del parámetro A en función del diámetro de la arena (CEM, 2002)

D(mm)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.0630	0.0672	0.0714	0.0756	0.0798	0.084	0.0872	0.0904	0.0936	0.0968
0.2	0.1000	0.1030	0.1060	0.1090	0.1120	0.1150	0.1170	0.1190	0.1210	0.1230
0.3	0.1250	0.1270	0.1290	0.1310	0.1330	0.1350	0.1370	0.1390	0.1410	0.1430
0.4	0.1450	0.1466	0.1482	0.1498	0.1514	0.1530	0.1546	0.1562	0.1578	0.1594
0.5	0.1610	0.1622	0.1634	0.1646	0.1658	0.1670	0.1682	0.1694	0.1706	0.1718
0.6	0.1730	0.1742	0.1754	0.1766	0.1778	0.1790	0.1802	0.1814	0.1826	0.1838
0.7	0.1850	0.1859	0.1868	0.1877	0.1886	0.1895	0.1904	0.1913	0.1922	0.1931
0.8	0.1940	0.1948	0.1956	0.1964	0.1972	0.1980	0.1988	0.1996	0.2004	0.2012
0.9	0.2020	0.2028	0.2036	0.2044	0.2052	0.2060	0.2068	0.2076	0.2084	0.2092
1.0	0.2100	0.2108	0.2116	0.2124	0.2132	0.2140	0.2148	0.2156	0.2164	0.2172

Para la muestra tipo de 1999 ($D_{50} = 409.2 \mu\text{m}$) el parámetro A es igual a 0.1466, mientras que para la muestra tomada en el 2006 ($D_{50} = 568.3 \mu\text{m}$) el parámetro A es de 0.1694. Estos resultados son similares a los obtenidos gráficamente por Moore (1982) que establecen una relación empírica entre el parámetro de escala A y el diámetro de los sedimentos (Fig. VIII.16).

Fig. VIII.16.
Variación del parámetro de escala A en función del diámetro del sedimento D (Dean 1987 en CERC, 2002)



Se comparan los perfiles medidos en la playa con las curvas teóricas de equilibrio:

$$h_{(y)} = 0.1466y^{0.67} \quad (\text{Muestra Tipo del año 1999})$$

$$h_{(y)} = 0.1694y^{0.67} \quad (\text{Muestra Tipo del año 2006})$$

En todos los casos las curvas teóricas se encuentran por debajo del relieve real. Esto se debe a la existencia de rocas y superficies cubiertas de vegetación en la pendiente submarina que no permiten que el perfil de equilibrio se desarrolle completamente. Este es un aspecto a tener en cuenta una vez que la playa esté regenerada, ya que a pesar de que se gane un área de sol conveniente, puede que en algunos sitios de la pendiente submarina se mantengan zonas con vegetación y rocas no apropiadas para el baño.

Además, debe señalarse que la curva de equilibrio teórica calculadas a partir de los resultados granulométricos del muestreo realizado en 1999, muestra una mayor cercanía a la forma del perfil real de la playa. Esto conduce a suponer que el sedimento colectado en 1999 es más representativo de la arena nativa de la playa, por lo que en los siguientes capítulos se hará referencia sólo a los resultados de este muestreo para describir el parámetro A_N .

En resumen, los parámetros más convenientes para describir el perfil de equilibrio en la playa Juan Dolio son:

$$D_{50} = 409.2 \text{ }\mu\text{m} \quad 1.289 \text{ }\ddot{\text{O}}$$

$$\text{Media} = 381.2 \text{ }\mu\text{m} \quad 1.391 \text{ }\ddot{\text{O}}$$

$$\sigma = 2.323 \text{ }\mu\text{m} \quad 1.216 \text{ }\ddot{\text{O}}$$

$$m = 0.67$$

$$A_N = 0.1466$$

Forma en planta de la playa

La forma en planta actual de la playa Juan Dolio es el resultado de la combinación de factores tanto de carácter natural como antrópico. En la formación inicial de la playa tuvieron una decisiva influencia los arrecifes coralinos, en los que se produce una importante cantidad de la arena que la alimenta, además de que ofrecen una incuestionable protección frente al oleaje y favorecen la estabilidad del sedimento. Otro

elemento que favoreció la formación y desarrollo de la playa fueron los aportes de material terrígeno procedentes de la cuenca del río Higuamo, que luego de alcanzar el mar eran transportados por la deriva litoral en dirección oeste hasta que encontraban en Juan Dolio condiciones favorables para la deposición.

Sin embargo, tanto los aportes de la barrera coralina como de los ríos se habían visto considerablemente mermados y la playa había pasado de un estadio de acreción a erosión. Al observarse los primeros indicios de retroceso, los propietarios de los hoteles e instalaciones próximas a la costa comenzaron a adoptar medidas de protección locales sin considerar los efectos adversos que podían producirse en los sectores vecinos. Entre estas medidas, las que han provocado un mayor cambio en la configuración de la costa son los espigones y los diques exentos o rompeolas.

En el caso de los espigones, son obras que retienen la totalidad del transporte litoral, y aunque favorecen la acumulación en el lado donde incide la deriva tienen un efecto perjudicial sobre las playas deriva abajo. En la Fig. VIII.17 se presenta un esquema con el funcionamiento típico de este tipo de obras y en la foto se indica un ejemplo en la playa Juan Dolio.

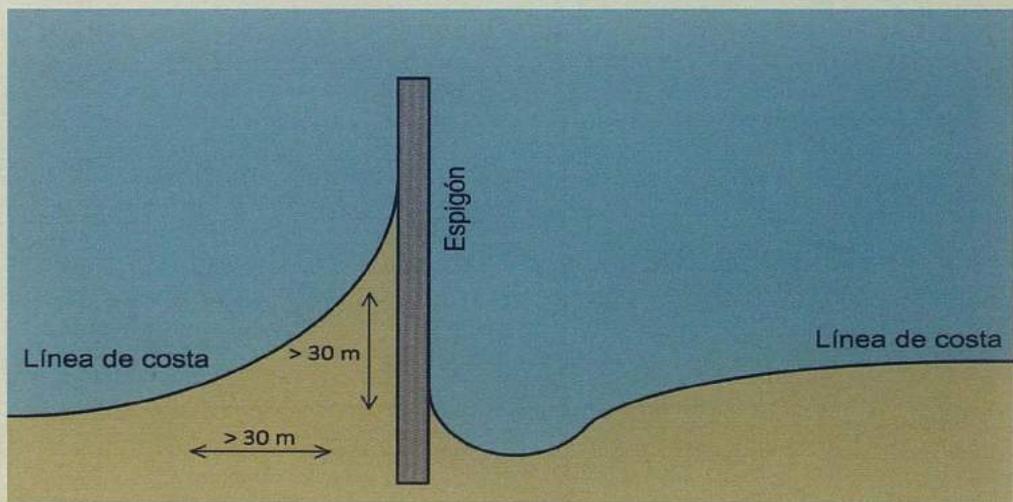


Fig. VIII. 17. Efecto clásico de los espigones en las playas. En el lado deriva arriba se representa la acumulación, mientras que deriva abajo se corta el suministro de arena y la costa retrocede.

No obstante, debe señalarse que para la playa Juan Dolio era frecuente observar sectores de costa que funcionaban a partir de un transporte de sedimentos en celdas, condicionado por la difracción en los arrecifes. Esto hacía que localmente se produjera un transporte de sedimentos en sentido inverso al de la deriva litoral y se observara erosión en el lado este de los espigones (Foto VIII. 10).



Imagen VIII.8. Efecto típico de un espigón que interrumpe la deriva litoral.



Imagen VIII.9. Efecto de la circulación en celdas y los espigones sobre la configuración en planta de la playa. Se observa la fuga de arena hacia los canales donde la barrera coralina se encuentra cortada.

En este punto es importante destacar que muchos de los largos espigones construidos en la playa Juan Dolio, desviaban el transporte de sedimentos a lo largo de la costa y conducían la arena en dirección al mar. Si se tiene en cuenta que la mayor parte del agua que sobrepasa la barrera durante los temporales, retorna hacia el mar en forma de corrientes concentradas en los canales abiertos en la barrera, resulta evidente que el desvío de los sedimentos por parte de los espigones es un factor acelerador de la pérdida de arena y el deterioro de la playa. En la imagen VIII.10 se observa claramente este proceso, aún cuando la imagen fue tomada en un día de condiciones habituales.

Los rompeolas también son obras diseñadas para retener el transporte de sedimentos y favorecer el desarrollo de las playas. Aunque a diferencia de los espigones, la mayoría de estas obras no llegan a interrumpir completamente el transporte de sedimentos, también tienen un efecto erosivo sobre las playas vecinas y alteran el equilibrio natural de la costa (Fig. VIII. 18).

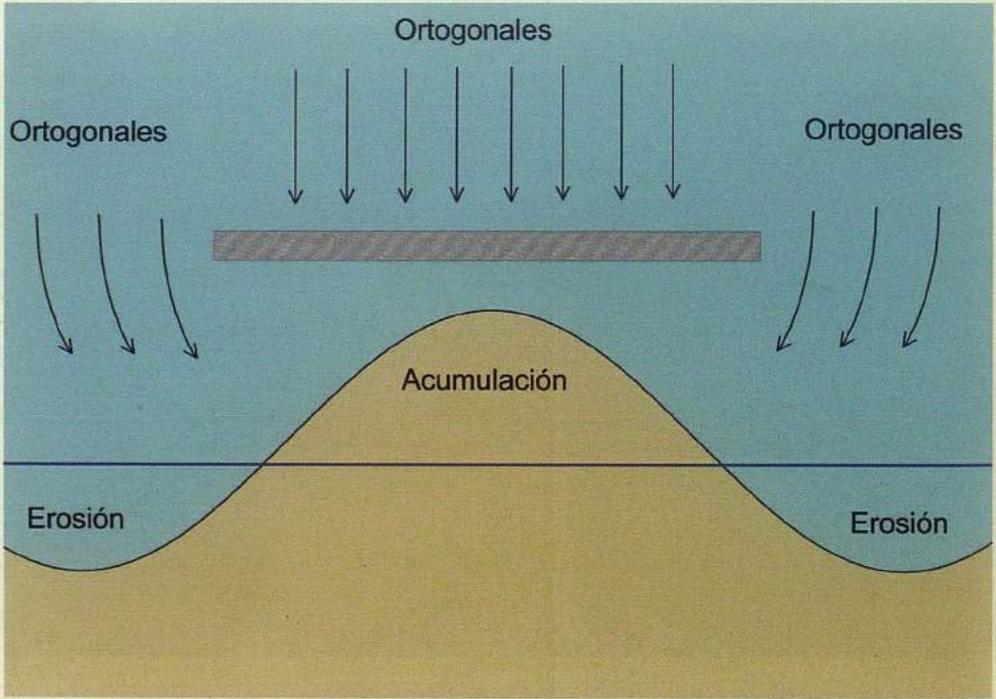


Fig. VIII. 18. Efecto de los rompeolas sobre la costa. Las dimensiones del saliente están en función del coeficiente de transmisión de la estructura (K).

Morfología y Dinámica

En toda la extensión del tramo costero submarino de la playa Juan Dolio se destaca como elemento morfológico de interés la presencia de las estructuras arrecifales bien conformadas y en buen estado de conservación, que forman diferentes niveles de terrazas submarinas y al parecer son las responsables de gran parte del aporte de los sedimentos de la playa, sobre todo las situadas en las isobatas de los 5 y 12 metros de profundidad.

Esta playa se encuentra sobre una superficie de costa abrasivo-acumulativa, regularmente dispuesta en pequeñas ensenadas, de morfología tipo caletas o media luna, protegidas en unos casos por promontorios rocosos costeros de forma natural y en otros, de forma artificial por espigones y obras costeras.

Los numerosos perfiles topográficos realizados perpendiculares a la costa para caracterizar las diferentes ensenadas y salientes que la forman, denotaban la ausencia de las dunas a lo largo de todo el sector, siendo esto un resultado de la antropización causada por el creciente desarrollo de instalaciones duras en la zona costera.



Imagen VIII.10. Afloramiento de la terraza abrasiva sobre la que se desarrolla la playa Juan Dolio, en la actualidad cubierta de arena.



Imagen VIII.11. Construcciones costeras en la cima de lo que fue la duna de la playa.



Imagen VIII.12. Construcciones costeras que interrumpían el suministro de sedimento a la playa y el desarrollo natural de su perfil.

A diferencia de los perfiles topográficos medidos en los estudios de factibilidad desarrollados en esta playa en 1999 por CESIGMA, S. A., la formación en 2005 de los escarpes de erosión de la playa era menor, pero la pendiente era más pronunciada, lo que evidenció la intensidad del proceso erosivo. No obstante existían sitios en los que los escarpes de erosión habían avanzado considerablemente, lo que demostraba el retroceso marcado de la línea de costa. En la imagen VIII.13 se observa en la zona del perfil de playa 14 un escarpe superior a los 40 cm.

En la carta batimétrica de la playa Juan Dolio se observa una pendiente submarina suave con una superficie que se extiende desde los 2 m hasta los 14 m de profundidad a veces interrumpida por pequeñas irregularidades del relieve negativo y positivo con la presencia de montículos coralinos. La pendiente submarina por debajo de los 15 m de profundidad se manifiesta más acusada.

Por encima de la isobata de los 2 m había sitios con un aumento significativo del ángulo de la pendiente del fondo, incluso llegando a formarse verdaderos canales perpendiculares a la costa a través de los cuales se producía escape de sedimentos, este es un elemento morfológico de gran valor para calcular la intensidad de la dinámica costera.

El desarrollo de barreras coralinas con abundante vida bentónica constituye un rasgo característico de toda la superficie de la plataforma marina de este tramo costero, sobresaliendo en la zona más cercana a la playa el desarrollo de corales del género *Acropora*, que junto a otros organismos marinos son los principales proveedores de arena al sector costero.

Las barreras arrecifales desempeñan un papel esencial como rompeolas naturales y proveedoras de arena, con amplias posibilidades de garantizar la existencia de la playa de forma natural si no hubiesen existido los obstáculos que impedían el paso de la arena hasta la costa.

Los vertimientos se realizaron en Juan Dolio porque la tendencia generalizada de la erosión en la playa era a incrementarse, debido entre otros factores a la ausencia de ingresos de sedimentos que equilibraran el balance de la pérdida que existía.

En este sentido el aporte terrígeno del río Higuamo no resultó decisivo para la estabilidad del sistema costero ya que no desempeña un papel significativo en la composición de los sedimentos de la playa Juan Dolio, aún cuando el transporte principal de sedimentos se produce en dirección este-oeste, las características morfológicas de la pendiente submarina favorecen que el mayor volumen de sedimento procedente del aporte de este río ingrese mayoritariamente en la pendiente del talud costero.



Imagen VIII.13 Escarpe de erosión superior a los 40 cm en el perfil 14.



Imagen VIII.14. Retroceso de la costa por erosión en el perfil 34, registrado antes de los vertimientos artificiales de arena.



Imagen VIII.15. Afloramiento rocoso que imperaba por erosión costera en el perfil 37.

En resumen, en la morfología de la playa Juan Dolio destacan la costa sinuosa con entrantes y salientes en forma de conchas que favorecen la acumulación de arena, los cambios de la pendiente submarina suave en zonas someras y abruptas hacia mayores profundidades, los arrecifes coralinos fundamentalmente de *Acropora* en la zona baja, las cuencas de sedimentos entrampadas en superficies de terrazas entre montículos arrecifales orientadas de este a oeste a diferentes profundidades y la ausencia de la duna a lo largo de toda la playa.

El funcionamiento del sistema costero en la mayor parte de los litorales acumulativos está condicionado por varios elementos, entre los que sobresalen el relieve, los sedimentos y la hidrodinámica. Estos elementos, en la naturaleza, no tienen un comportamiento aislado, sino que interactúan provocando un comportamiento típico para cada zona en particular, que a la larga se caracterizan por una mayor o menor pérdida o ingreso de sedimento al sistema.

En los estudios actuales se ratifica que en el lado oeste de la desembocadura del río Higuamo comienza el extremo oriental de la unidad físico-geográfica, con la presencia de una playa en forma de media luna compuesta por sedimentos terrígenos depositados por el río. Esa playa se caracteriza por presentar estabilidad en su perfil, al parecer por la protección que representa el promontorio rocoso La Isleta.

A continuación, en dirección oeste, la costa está formada por una terraza abrasiva de unos 6 km de longitud, con alturas que varían entre los 2 y 3 m sobre el nivel del mar. La plataforma submarina en este sector es relativamente estrecha con una pendiente suave en la superficie de su porción más cercana a la costa, mientras se hace más abrupta en la medida que se aleja de la zona litoral.

La unidad físico geográfica o morfodinámica en la que se encuentra insertada la playa Juan Dolio y Guayacanes, se extiende hacia el oeste, con una longitud de 13 Km, conformado por una terraza carbonatada resistente a la destrucción mecánica del oleaje, con alturas que van desde 1 hasta 3 m de altura. Dicha superficie se extiende hasta la playa Boca Chica.

El ingreso de sedimentos al sistema de la playa Juan Dolio, que era mínimo, se produce desde el mar, tanto de los sedimentos terrígenos que llegan arrastrados por la deriva litoral, como de los sedimentos biogénicos producidos en la plataforma submarina. La composición mezclada de sedimentos terrígenos y marinos que presentaba la playa indicaba que existía un ingreso compartido a través del transporte a lo largo de la costa y perpendicular por el desprendimiento de fragmentos de corales y de otros organismos marinos.

En el registro fotográfico de las construcciones en la playa Juan Dolio al este de Punta Garza, se observó el retroceso de la costa (imágenes VIII.16 y 17, señaladas con una flecha roja) en el déficit de arena en los cimientos de las construcciones, de alrededor de 40 cm de pérdidas de sedimentos y una estrecha playa que provocaba que las construcciones fueran bañadas directamente por el agua. En la actualidad estas construcciones se encuentran alejadas del mar por una amplia faja de arena.

Desde el punto de vista dinámico, la playa Juan Dolio debía presentar un comportamiento homogéneo a lo largo de toda la costa. En la práctica no resultó así, condicionado por las características del relieve, factores hidrodinámicos y además por la fuerte antropización introducida en el litoral que rompió el libre intercambio entre todas sus partes. Las diversas obras y acciones constructivas realizadas en la playa Juan Dolio, en su mayoría por la orientación que tienen, constituyeron fuertes obstáculos para el libre ingreso de arena a la playa. En la imagen VIII.18 se presenta una de las obras que incidieron negativamente en la playa, como resultado de la restauración de la playa fue eliminada.

Si se toma como patrón que un indicador muy confiable de la presencia de un proceso erosivo o acumulativo en una playa es el retroceso o avance del límite de la duna hacia el mar, es obvio que en esta playa su ausencia total explica el grado de deterioro actual y prospectivo de no tomarse medidas apropiadas.



Imagen VIII.16. Período de mayor acumulación de arena en la playa en 1999.



Imagen VIII.17. Pérdida de arena por el retroceso de la costa en 1999.



Imagen VIII.18. Espijón en el hotel Decameron que impedía el ingreso de la arena a la playa.

A la ausencia total de la duna se sumaba un insuficiente ingreso de arena, ya sea por la corriente litoral o porque no existía una población de organismos bentónicos capaces de suministrar la cantidad necesaria de sedimentos biogénicos. Los ingresos masivos de sedimentos a la playa ocurrieron procedentes de la pendiente submarina y del río Higuamo cuando no existían las obras construidas.

La reducción del ingreso y la existencia de un escape de sedimentos hacia el mar provocan un balance sedimentario negativo, lo cual conlleva a un proceso natural erosivo. Indicadores de este proceso eran la erosión en muros construidos para la defensa de diferentes construcciones costeras y la ausencia casi total de arena en la pendiente submarina de la playa.

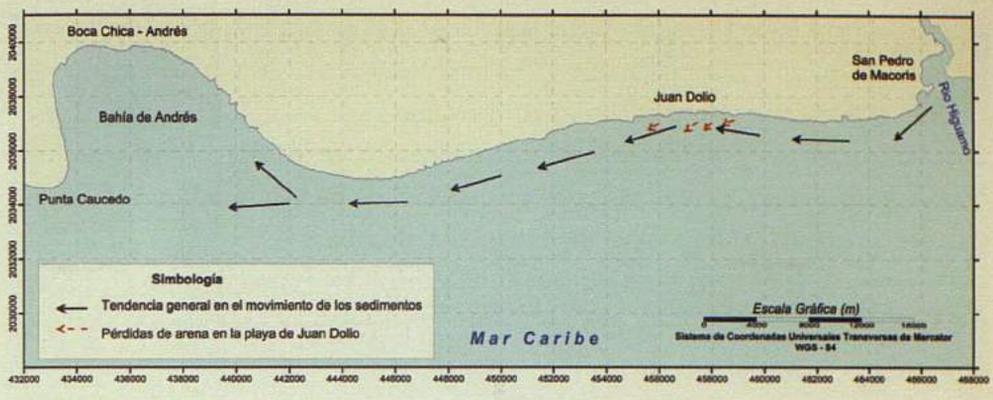


Fig. VIII. 20. Tendencia general del movimiento de los sedimentos en la unidad físico-geográfica a la que pertenece la playa Juan Dolio.

En la figura VIII.20 se muestra el esquema de funcionamiento del sistema costero en la playa Juan Dolio. Las flechas indican las direcciones del transporte de sedimentos. Como se observa están las que indican un movimiento a lo largo de la costa de los sedimentos provenientes del río Higuamo y las pérdidas de sedimentos desde la playa de Juan Dolio. Como resultado del transporte de sedimentos de este río se forman grandes depósitos de sedimento fangoso a lo largo de la pendiente submarina entre los 25 y 30 m de profundidad y solo una porción ínfima alcanza la playa.

Las características de la batimetría de la zona con pendientes pronunciadas favorecen la salida hacia aguas profundas de los sedimentos provenientes del río Higuamo. Por debajo de la pendiente abrupta que se observa a los 25 m de profundidad, se encuentran potentes cuencas de sedimentos terrígenos a lo largo de toda la plataforma, sin posibilidades de ingresar a la playa. Esta morfología es muy similar en toda la pendiente submarina hasta Punta Caucedo por lo que en todo el sector se observan cuencas de gran potencia de sedimentos fangosos como resultante de la deriva litoral.

Propuesta de solución

Desde hace varias décadas, la playa de Juan Dolio había venido experimentando un creciente deterioro de sus condiciones recreativas y estéticas como resultado de la erosión. Aunque este fenómeno respondía a causas tanto de carácter natural como antrópico, la carencia de un adecuado plan de manejo costero propiciaba que se realizaran acciones individuales para beneficiar pequeños sectores en detrimento del funcionamiento integral de la playa.

En el estudio de factibilidad para la regeneración de Juan Dolio realizado por el Grupo CADIC en 1999, se destacaba: “La intensidad alcanzada por el proceso erosivo, hizo que se construyeran defensas costeras (espigones, rompeolas, muros y estacadas) que sirvieron para proteger las instalaciones del embate del oleaje en sectores críticos, pero a su vez, en algunos casos aceleraron la erosión en los sectores colindantes a las estructuras, al impedir el ingreso natural de arena”.

Siguiendo la filosofía establecida en 1999, con el proyecto ejecutivo de 2006 se pretendió eliminar los factores que aceleraban la erosión para rescatar en la medida de lo posible la estabilidad del perfil y la forma en planta de la playa y realizar un vertido artificial de arena que supliera el déficit en los ingresos.

Por ejemplo, la simple observación aérea de la playa Juan Dolio permitió reconocer que de existir un suministro estable de sedimentos a la playa, las barreras coralinas y los salientes rocosos funcionarían de forma análoga a los espigones y rompeolas, pero con una absoluta armonía natural (Imagen VIII.19).



Imagen VIII.19 Configuración en planta de un sector de la costa Juan Dolio.

En la imagen se observa que a la sombra de las barreras coralinas se forman salientes (hemitómbolos) y en los espacios intermedios la costa retrocede dando lugar a grandes ensenadas donde se presentan las mejores condiciones para el baño.

Al introducir obras de defensa costera, este equilibrio dinámico se rompe y cambia la forma en planta y el perfil de la playa.

Los espigones constituyen uno de los elementos que mayores modificaciones introducen a la dinámica litoral al desviar el transporte de sedimentos en dirección al



Imagen VIII.20. Espigón construido en el hotel Decameron que fue retirado.

mar y cortar el suministro de arena a las playas vecinas. Por este motivo, como parte del proyecto de vertimiento de arena se concibió la retirada de la mayor parte de los espigones, rellenos y otras estructuras perpendiculares a la costa. En este caso se encontraban el espigón de bolsacretos (sacos rellenos de hormigón) construido en la playa que utiliza el hotel Decameron y la isla artificial del hotel Metro, por sólo mencionar algunos ejemplos (Imagen VIII.20).

En los trabajos de acondicionamiento para ejecutar los vertimientos de arena se retiraron los muros, gaviones, revestimientos y escolleras sobre la orilla que impedían la libre disipación de la energía de las olas a lo largo del perfil.

Las construcciones sobre la playa y las dunas también tienen el efecto de acelerar el trabajo erosivo de las olas durante las tormentas. En un perfil natural, las olas corren por la pendiente de la playa y disipan su energía por fricción e infiltración. Sin embargo, al interponer una estructura rígida las olas son reflejadas poniendo en suspensión grandes cantidades de arena que son arrastradas hacia el mar por el retorno de la ola hacia profundidades desde las cuales no pueden retornar a la costa bajo las condiciones habituales de oleaje, la figura siguiente explica este fenómeno (Fig. VIII. 21).



Imagen VIII.21. Isla artificial construida al este del hotel Metro que fue retirada antes de los vertimientos de arena.

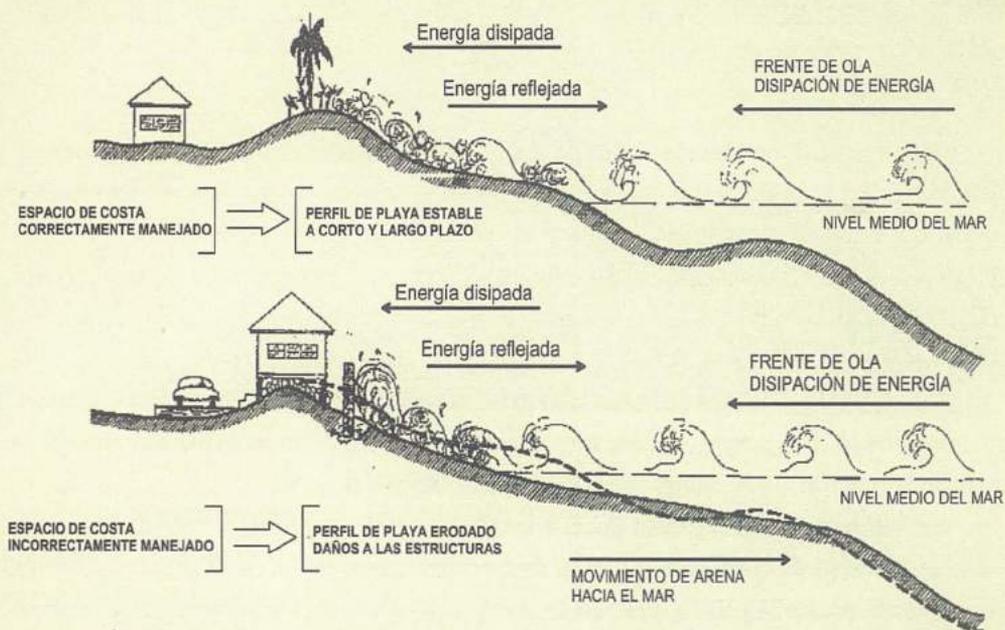


Fig. VIII. 21. Efecto de las construcciones sobre la dinámica del perfil de playa (García y Juanes, 1994).

En la Imagen VIII.22 se indica una de las estructuras de gaviones que se retiraron para garantizar el funcionamiento dinámico del perfil. Una vez que se realiza la regeneración queda restablecido el perfil natural.



Imagen VIII.22. Estructura de gaviones que interfería el funcionamiento dinámico del perfil de playa.

Además de las acciones para eliminar o minimizar los agentes erosivos, para restituir las condiciones recreativas, estéticas y funcionales de la playa en el proyecto se concibió el suministro artificial de arena. Para lograr la máxima efectividad de este trabajo se planificó que todas las construcciones, obras hidrotécnicas u otros obstáculos (troncos, sombrillas etc.), fueran retirados de la playa antes de iniciarse la “Alimentación Artificial de Arena” (Imagen VIII.23), como se hizo finalmente.

De acuerdo con las características de la playa se realizó un suministro continuo de arena, aunque las densidades por sectores fueron ajustadas de acuerdo con las particularidades del perfil y el incremento en el ancho de playa que podía lograrse sin alcanzar los arrecifes o escolleras que permanecieron en el lugar.

Para lograr la máxima retención de arena en la playa Juan Dolío, el proyecto concibió la construcción de un espigón de apoyo en el extremo oeste del sector beneficiado (Punta Garza). Esta obra se fabricó con elementos de escollera.

En la concepción de los trabajos se han seguido los criterios metodológicos establecidos en el Manual on Artificial Beach Nourishment (Center for Civil Engineering Research, 1990).



Imagen VIII.23. Troncos en la playa que fueron retirados antes de iniciar la alimentación artificial de arena.

Zona de préstamo de arena

La correcta identificación y evaluación del banco de préstamo es uno de los aspectos de mayor importancia en la ejecución de un proyecto de “alimentación artificial de arena”. En primer término conocer si el banco es capaz de suministrar la cantidad de arena requerida con la calidad necesaria. También evaluar si en el área a dragar existen las profundidades adecuadas para la operación de los equipos y si existen obstáculos peligrosos para la navegación. Otros aspectos a tener en cuenta son los posibles impactos desfavorables para la morfología o el medio ambiente.

Para todo el análisis se utilizó la información contenida en el trabajo del sondeo batimétrico, las observaciones de buceo y las calas realizadas en toda la zona con perspectivas de explotación como banco de préstamo. En una primera observación y búsqueda de arena para la regeneración de la playa se exploraron las cuencas reportadas en el estudio de factibilidad, las cuales se proponen como reservas de arena para futuros mantenimientos de la playa con dragas adecuadas para su extracción por la estrechez de las mismas, que las clasifica como no factible con la tecnología que se utilizó. El área seleccionada como banco de préstamo se encuentra situada 43 Km al este de la playa Juan Dolio, en el canal que separa la costa firme de la provincia La Romana de la isla

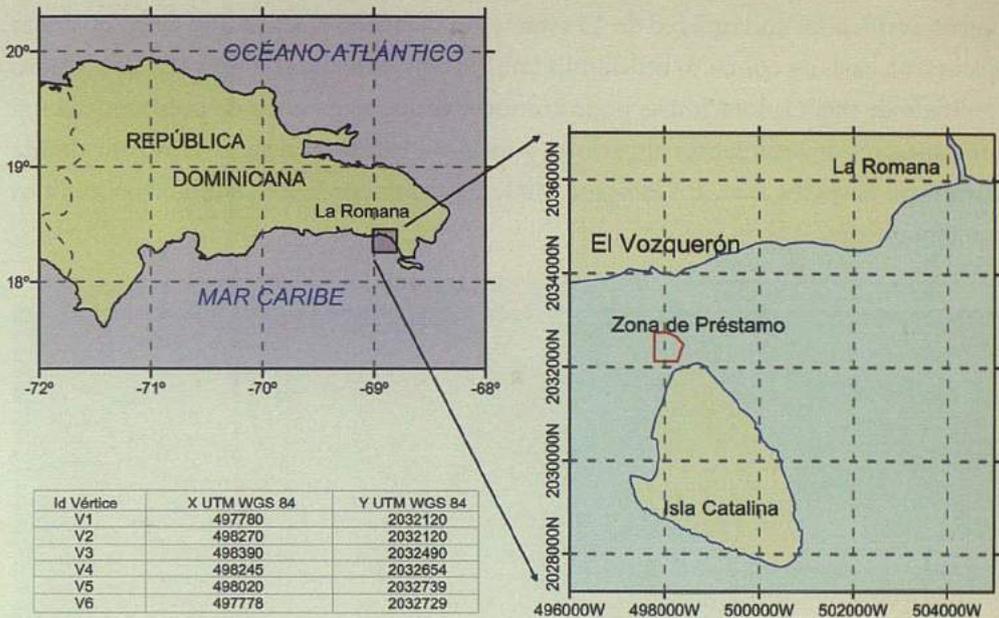


Fig. VIII. 22. Ubicación de la cuenca de préstamo de arena El Vozquerón.

Catalina, frente al poblado de El Vozquerón y en lo adelante se llamará por este nombre (Fig. VIII. 22).

Batimetría

Como parte de la caracterización de este préstamo se realizó un levantamiento batimétrico a escala 1: 2000. En total se cubrió un área de 8 Km² y se ejecutaron en total 43 perfiles (40 perpendiculares a las isobatas y 3 controles) con una longitud cada uno de 1000 m y una separación entre líneas de sondeo de 20 m. Esta cuenca se extiende a una profundidad promedio de 18 metros y sus bordes no presentan dificultades para la navegación debido a que no se levantan montículos rocosos o corallinos a su alrededor. Los límites del polígono de extracción se establecieron por la disminución de los espesores de arena y no por el afloramiento de rocas o cambios bruscos del relieve.

Cálculo de reserva

La evaluación de la cuenca El Vozquerón incluyó un levantamiento sismoacústico con perfiles que se trazaron a una distancia de 100 metros y los espesores registrados

fueron verificados con una red de 13 estaciones de buceo en cada una de las cuales se ejecutaron calas de contacto utilizando una barrena helicoidal (Fig. VIII. 23). Como resultado de esta exploración se pudo comprobar que este banco de préstamo cuenta con espesores de sedimentos superiores a los 3 m, excepto en su extremo sur donde disminuye hasta los 2 m. En la figura VIII. 24 se presentan los resultados obtenidos con este trabajo.

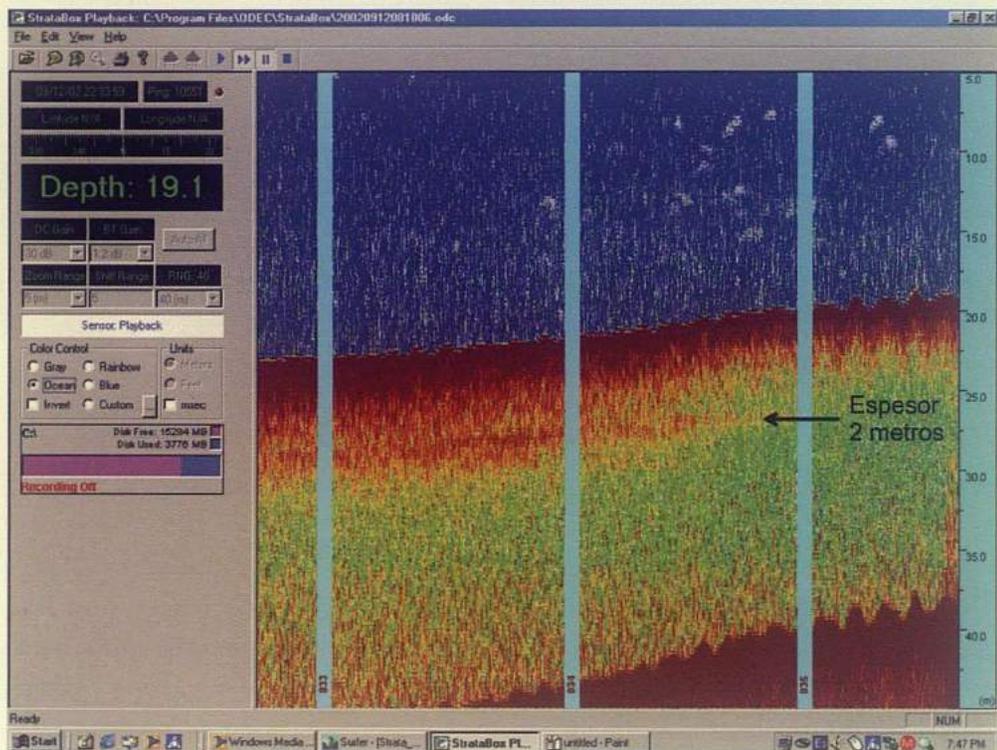


Fig. VIII. 23 Registro sismoacústico en el límite sur del polígono de extracción. Banco de préstamo El Vozquerón.

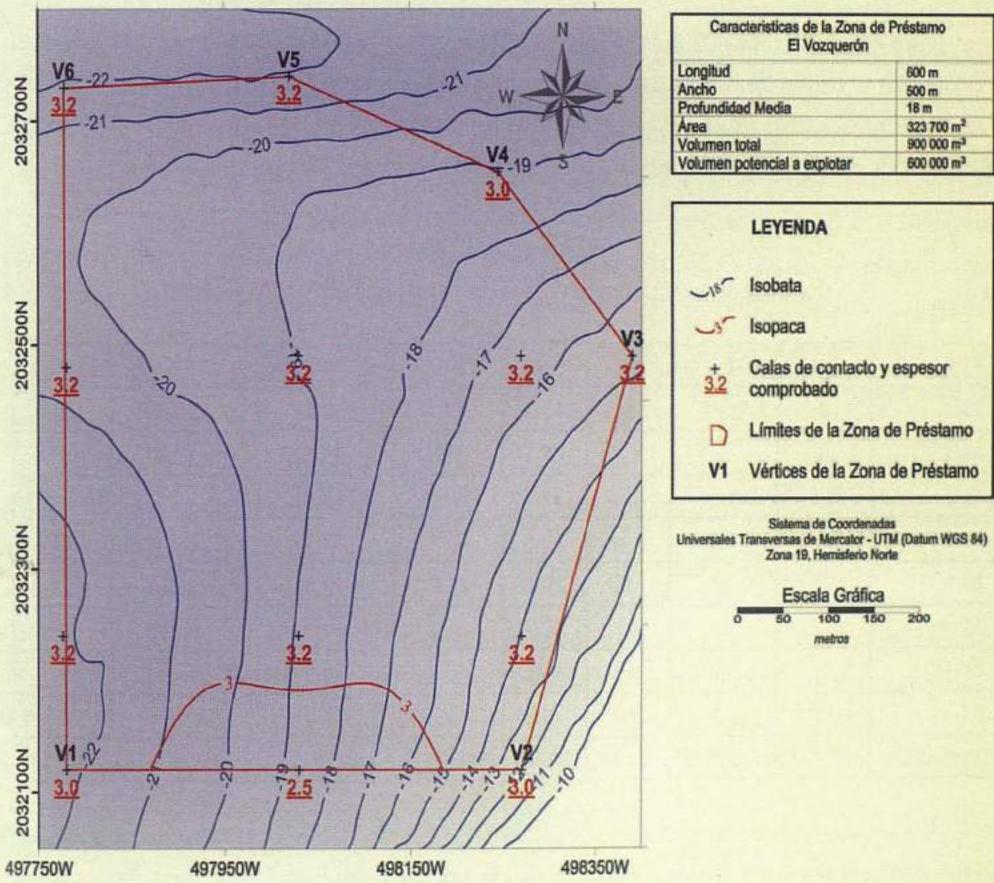


Fig. VIII. 24 Esquema general de la zona de préstamo de arena El Vozquerón.

A partir de los espesores comprobados se pudo asegurar un potencial de arena a explotar en este banco de préstamo de 900 000 m³ en un polígono de 323 700 m², lo que satisfacía la explotación de hasta 600 000 m³.

Sedimentos

Para la caracterización granulométrica y de composición del banco de préstamo El Vozquerón se tomaron 8 muestras de arena distribuidas uniformemente. Las características de los sedimentos de la cuenca se muestran en la Tabla VIII. 8 y en sus resultados se observa que existe un predominio de los sedimentos de granulometría media.

Tabla VIII. 8.
Resultados granulométricos de la cuenca El Vozquerón

Muestra	>4	4-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	0.125-0.062	<0.062
M-4	0	0.05	2	13.2	52.1	30.8	1.1	0.02
M-5	0	1	9.8	25.3	38	21.1	3.1	0.8
M-6	0.3	1.5	12.6	34.9	30.2	18.8	1.6	0.1
M-8	0.3	1.5	7.8	18.5	40.6	27.5	3.5	0.2
M-9	0.8	1.6	8	20.6	33.2	32.8	2.5	0.4
M-10	0.1	1.2	8.2	20.7	31.7	34.2	2.6	0.6
M-12	2	3.1	5.2	9.6	40.2	38.6	0.8	0.1
M-13	2.2	6.8	11.8	16.8	41	21.2	0.1	0
Promedio	0.7125	2.09375	8.175	19.95	38.375	28.125	1.9125	0.2775

En cuanto a la composición sobresalen en un alto porcentaje los sedimentos de génesis biogénica entre los que destacan los corales, los moluscos, las algas *halimedes* y espículas de equinodermos.

En resumen, la muestra tipo de la cuenca “El Vozquerón” clasifica como arena media y está descrita por los parámetros siguientes:

$$\begin{aligned}
 X &= 374.5 \mu\text{m} \\
 &1.417 \phi \\
 D_{50} &= 355.5 \mu\text{m} \\
 &1.492 \phi
 \end{aligned}$$

Parámetros de diseño

Alimentación artificial de arena

Uno de los elementos de mayor importancia en los proyectos de "Alimentación Artificial de Arena" es la determinación del volumen a verter y la forma en que el material debe quedar conformado para satisfacer los requerimientos del proyecto durante un período de tiempo específico.

Al concluir un vertimiento, el material queda sometido a la acción directa de las olas, las corrientes y las mareas. Como resultado, la arena es continuamente remodelada y con el tiempo puede abandonar el área directamente beneficiada.

Para conocer la forma en que el movimiento de los sedimentos influye en la evolución del vertimiento, generalmente se hace una distinción entre el transporte perpendicular a la costa (onshore/offshore) y el transporte a lo largo de la costa (longshore). El transporte perpendicular es el responsable de la remodelación del perfil hasta que se alcanza la condición de equilibrio. Como resultado de este proceso, al concluir los trabajos se debe esperar un retroceso inicial de la línea de costa que se detiene cuando se llega al equilibrio.

El transporte a lo largo de la costa es el responsable de la evolución en planta de la playa. Afectada por este tipo de transporte, la arena puede abandonar el área directamente beneficiada y escapar definitivamente de la playa.

De acuerdo con estos criterios básicos, al diseñar el perfil se está evaluando el ancho de la playa que se va a ganar y el volumen de arena requerido por unidad de longitud de costa. Al analizar la forma en planta se define completamente el volumen de arena necesario para el vertimiento y los beneficios finales del trabajo.

Diseño del perfil a conformar

El diseño del perfil de playa a conformar y la forma en que se realiza el vertido de la arena guarda una estrecha relación con los objetivos que se pretende alcanzar. Generalmente los vertimientos se clasifican según la posición a lo largo del perfil y a lo largo de la costa en que se deposita la arena.

Con relación a la posición a lo largo del perfil, la arena puede ser vertida en la parte posterior y la cima de las dunas, en la pendiente hacia el mar de las dunas, en la playa o en la pendiente submarina. En cuanto a la posición a lo largo de la costa, los vertimientos más frecuentes se practican depositando la arena directamente en

el sitio que se desea beneficiar, aunque también pueden crearse depósitos a lo largo de la costa, desde los cuales la deriva litoral los redistribuye hacia las áreas vecinas.

En el caso de la playa Juan Dolio, el objetivo del vertimiento de arena era lograr un rápido incremento en el ancho de la playa que garantizara una elevación de las potencialidades recreativas, funcionales y estéticas. De acuerdo con estos objetivos, la forma idónea de realizar el vertimiento era colocando la arena directamente en el sitio que se pretendía regenerar.

En la literatura se reconocen varios modelos que permiten evaluar el volumen de arena requerido para garantizar un incremento en el ancho de la playa. Muchos de estos modelos se basan en la descripción del funcionamiento del perfil de equilibrio presentada por Dean (1977) y que hemos utilizado en el capítulo V para describir el funcionamiento del perfil de equilibrio en las condiciones actuales.

Partiendo del principio de que este perfil se mueve paralelo a sí mismo en respuesta a las variaciones en el volumen de arena, Dean (1977) dedujo que el avance o retroceso de la línea de costa en función de los ingresos o pérdidas de material puede describirse por la relación:

Siempre que el sedimento introducido sea idéntico a la arena nativa de la playa.

En esta expresión Δy representa el avance o retroceso que experimenta la costa en función de un cambio de volumen ΔV , asumiendo una altura de berma (B) y una profundidad de cierre (h).

A partir de un análisis más profundo de las propiedades de los sedimentos, Dean (1991) reformuló esta relación e introdujo el efecto de las propiedades de la arena en el caso que el material nativo de la playa y el material introducido fueran diferentes:

$$V = YB + \frac{3}{5} h^{5/2} \left[\left[\frac{Y}{h^{3/2}} + \left(\frac{1}{A_F} \right)^{3/2} \right]^{5/3} A_N - \left(\frac{1}{A_F} \right)^{3/2} \right]$$

En esta expresión la cantidad de arena requerida (V) para lograr un avance (Y) de la línea de costa, también se relaciona con la profundidad de cierre (h) y la altura de la berma (B), pero se incorpora el parámetro A del perfil de equilibrio calculado para la arena nativa (A_N) e introducida (A_F).

Teniendo en cuenta que para la regeneración de la playa Juan Dolio fue utilizada una arena de granulometría ligeramente diferente al material nativo de la playa,

para calcular el volumen de arena necesario se seleccionó la segunda expresión (Dean, 1991).

El análisis se realizó por sectores, prestando atención especial al relieve de la pendiente submarina y la distancia a la costa a que se encuentran los arrecifes para evitar un relleno excesivo. Los sectores fueron numerados en orden consecutivo comenzando por el este y sus límites coinciden aproximadamente con los límites entre las ensenadas que existían en condiciones naturales.

Para el estudio de la playa se dividió en 11 sectores, correspondientes cada uno de ellos a las caletas que forman la playa Juan Dolio.

Esta división fue necesaria debido a la compleja morfología existente en la región que provoca procesos hidrodinámicos no menos complejos. En la (Tabla VIII.9) se presentan las coordenadas límites de cada sector y su longitud.

Tabla VIII. 9.

Límite de los sectores y longitud. (Coordenadas UTM – WGS 84)

Sector	Inicio		Fin		Longitud (m)
	X	Y	X	Y	
I	458942	2037347	458592	2037400	355
II	458592	2037400	458053	2037411	503
III	458053	2037411	457861	2037492	215
IV	457861	2037492	457485	2037453	310
V	457485	2037453	456981	2037549	510
VI	456981	2037549	456389	2037333	603
VII	456389	2037333	456305	2037315	142
VIII	456305	2037315	455966	2037329	300
IX	455966	2037329	455624	2037307	340
X	455624	2037307	455380	2037297	280
XI	455380	2037297	455069	20371139	240

A continuación se presenta un análisis del volumen de arena requerido y la forma del perfil a conformar.

Sector I. Este es el sector más oriental y tiene una longitud de 355 metros (Imagen VIII.24). Los límites están dados por las coordenadas:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
458 942	458 592
2 037 347	2 037 400



Imagen VIII.24. Sector I .

La máxima profundidad del perfil (h) es de 1.5 metros y se propuso que la berma regenerada tuviera una altura (B) de 2.0 metros. Considerando el D_{50} de una muestra tipo de la playa (409.2 μm) que equivale a 1.289 \hat{O} , tenemos un parámetro A_N de 0.14. Considerando que el banco de préstamo "El Vozquerón" tiene un D_{50} de 355.5 μm , que equivale a 1.492 \hat{O} , tenemos que el factor de escala A_F toma también un valor de 0.14. Aceptando como objetivo del proyecto incrementar en 20 metros el ancho de la playa en este sitio, teníamos que se requería verter 75 m^3/m de playa a regenerar.

Sin embargo, debido a que el perfil de la playa se encontraba elevado con relación a la curva de equilibrio teórica, el volumen a verter para alcanzar el resultado deseado era inferior ($67 \text{ m}^3/\text{m}$). En la figura VIII.25 se superpone el perfil de la playa antes del vertimiento de arena y la forma de equilibrio teórica para explicar el cálculo del volumen de arena realizado.

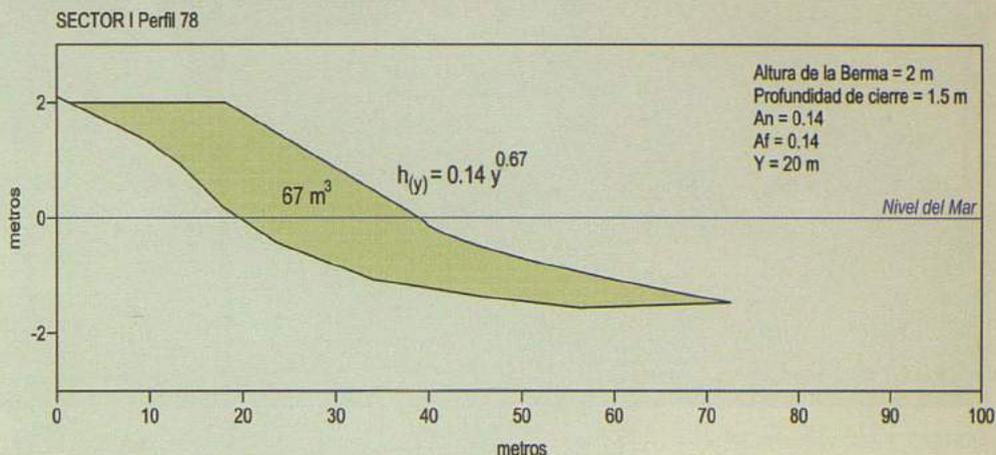


Fig. VIII. 25. Perfil de la playa regenerada en el sector I.

Considerando que la longitud total de este sector es de 355 metros, el volumen total a verter era de $23\,785 \text{ m}^3$.

Sector II. El Sector II tiene una longitud de 503 metros y limita por el este con un espigón que lo separa del Sector I, mientras que hacia el oeste termina en la isla artificial del hotel Metro (Imagen VIII.25).

El sector está delimitado por las coordenadas:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
458 592	458 053
2 037 400	2 037 411

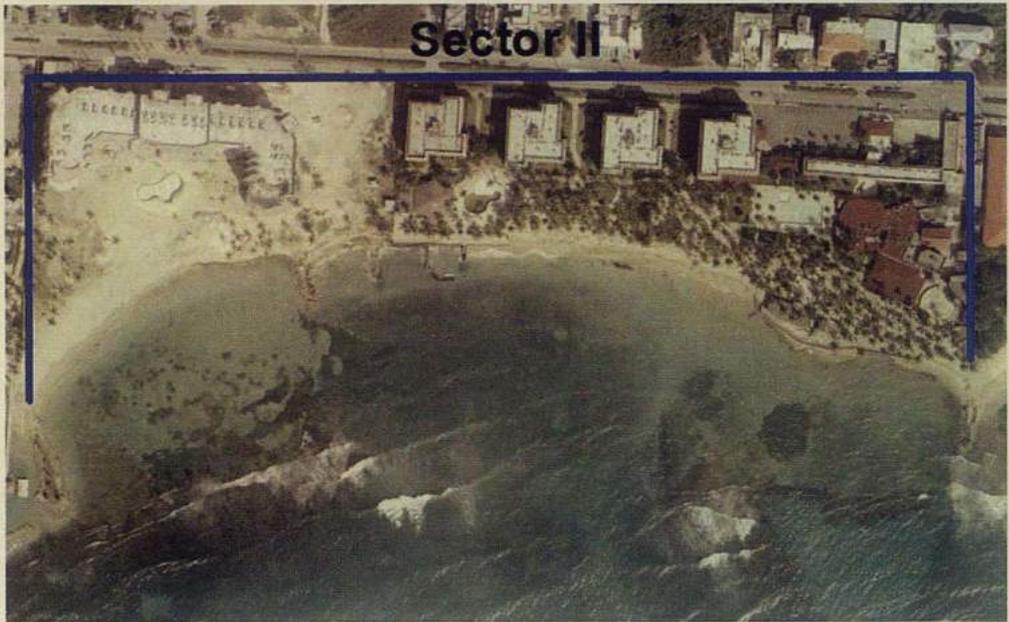


Imagen VIII. 25. Sector II.

En este lugar la máxima profundidad del perfil (h) es de 1.6 metros y se propone que la berma regenerada tenga una altura (B) de 2.0 metros. Para la regeneración de este sector se propuso incrementar el ancho de la playa en 35 metros de donde resultaba un volumen de arena a verter de $141 \text{ m}^3/\text{m}$ (Fig. VIII. 26).

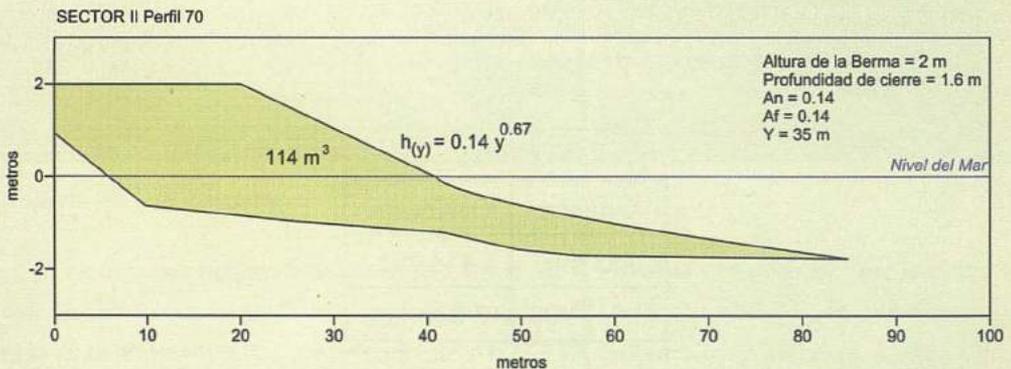


Fig. VIII. 26. Perfil de la playa regenerada en el sector II.

Sin embargo, al superponer la curva teórica con el relieve antes del vertimiento se demuestra que este resultado se logra con $114 \text{ m}^3/\text{m}$. Multiplicando la longitud del sector (503 metros) por la densidad de arena a verter ($114 \text{ m}^3/\text{m}$) se tiene un volumen total de $57\,342 \text{ m}^3$.

Sector III. Es un sector de pequeña longitud (215 metros) y se encuentra al oeste de la isla del hotel Metro.



Imagen VIII.26. Sector III.

Los límites del sector están dados por las coordenadas:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
458 053	457 861
2 037 411	2 037 492

La máxima profundidad del perfil (h) en esta zona es de 1.5 metros y se propuso que la berma tenga una altura (B) de 2.0 metros. Para la regeneración de este sector se estimó incrementar el ancho de la playa en 35 metros de donde resultaba un volumen de arena a verter de $138 \text{ m}^3/\text{m}$ (Fig. VIII. 27).

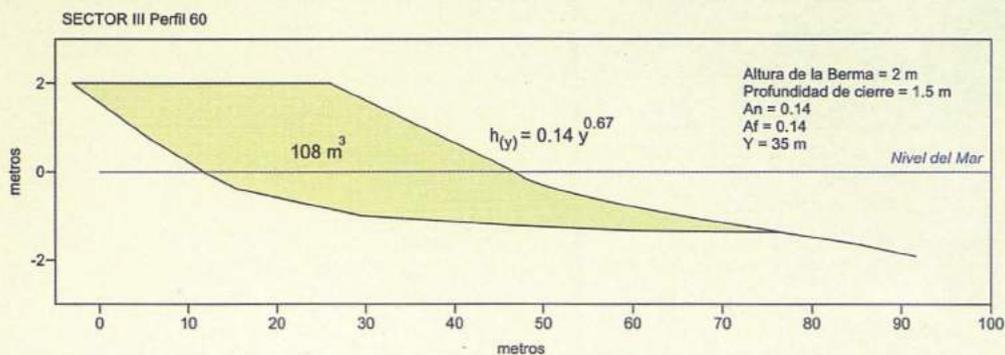


Fig. VIII. 27. Perfil de equilibrio de la playa regenerada.

$$V = 35 * 1.5 + \frac{3}{5} 1^{5/2} \left[\frac{35}{1^{3/2}} + \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} \right]^{5/3} 0.14 - \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} = 138$$

Sin embargo, al igual que en los sectores anteriores, este resultado se lograba con un volumen de arena inferior ($108 \text{ m}^3/\text{m}$). Con la superposición de los perfiles, multiplicando la longitud del sector (215 metros) por la densidad de arena a verter ($108 \text{ m}^3/\text{m}$) se obtuvo un volumen total de $23\,220 \text{ m}^3$.

Sector IV. Tiene una longitud de 310 metros y en el se encuentra el hotel Barceló Capella.



Imagen VIII.27 Sector IV.

El sector está limitado por las coordenadas:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
457 861	457 485
2 037 492	2 037 453

La profundidad de cierre del perfil (*h*) es de 1.2 metros y se propuso que la berma tenga una altura (*B*) de 2.0 metros. Con los vertimientos de arena se estima incrementar el ancho de la playa en 35 metros de donde resulta un volumen de arena a verter de 130 m³/m.

$$V = 35 * 1.2 + \frac{3}{5} 1^{5/2} \left[\left[\frac{35}{1^{3/2}} + \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} \right]^{2/3} 0.14 - \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} \right] = 130$$

En la figura VIII.28 se puede comprobar que la curva de equilibrio para un avance de 35 metros se logra con el suministro de 95 m³/m. Teniendo en cuenta que este tramo de costa mide 310 metros, entonces tendrían que emplearse 29 450 m³ de arena para lograr el incremento del ancho esperado.

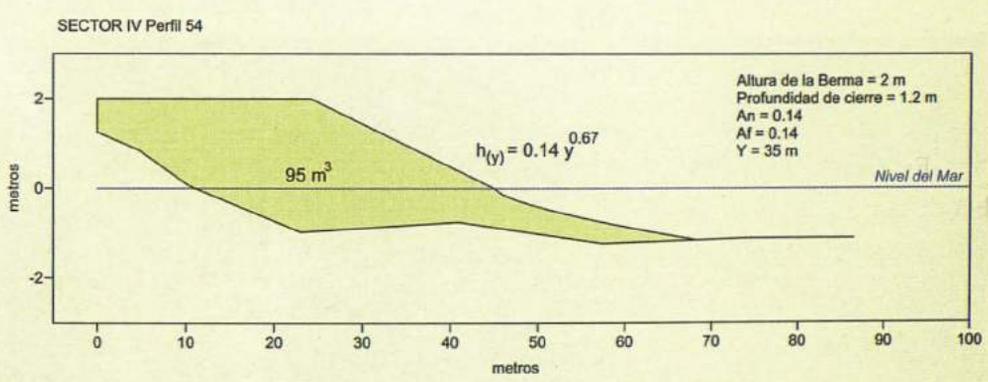


Fig. VIII. 28. Perfil de equilibrio de la playa regenerada.

Sector V. Este sector tiene una longitud total de 510 metros y está confinado en los extremos por dos espigones curvos.



Imagen VIII.28. Sector V.

Los límites del sector son:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
457 485	456 981
2 037 453	2 037 549

En este caso la profundidad de cierre (h) es de 1.3 metros y se propone que la berma tenga una altura (B) de 2.0 metros y se gane un ancho de 40 metros, para lo que se requerirían aproximadamente 150 m^3 de arena por metro lineal.

$$V = 40 * 1.3 + \frac{3}{5} 1^{5/2} \left[\left[\frac{40}{1^{3/2}} + \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} \right]^{2/3} - \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} \right] = 153.78$$

También en este caso se pudo comprobar que la cantidad de arena requerida era mucho menor. El incremento de 40 metros en el ancho de la playa se logra con 95 m^3 de arena por metro lineal. Teniendo en cuenta que este tramo de costa mide 510 metros, la cantidad total a verter sería de $48\,450 \text{ m}^3$ (Fig. VIII. 29).

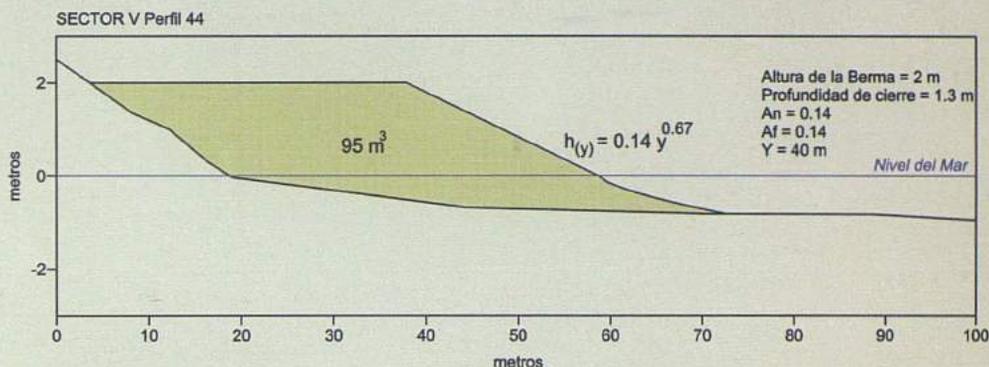


Fig. VIII. 29. Perfil de la playa regenerada en el sector V.

Sector VI. Ocupa el frente de la playa que utiliza el hotel Costa Caribe y las propiedades ubicadas al este.

Al igual que en los restantes sectores, el incremento en el ancho de la playa deseado (40 metros) se lograba con una cantidad menor de sedimentos que la estimada según la metodología de Dean (1991). En la figura VIII.30 se ve que son suficientes $120 \text{ m}^3/\text{m}$ en lugar de $160 \text{ m}^3/\text{m}$, como indica la expresión:



Imagen VIII.29. Sector de playa donde se encuentra el hotel Costa Caribe.

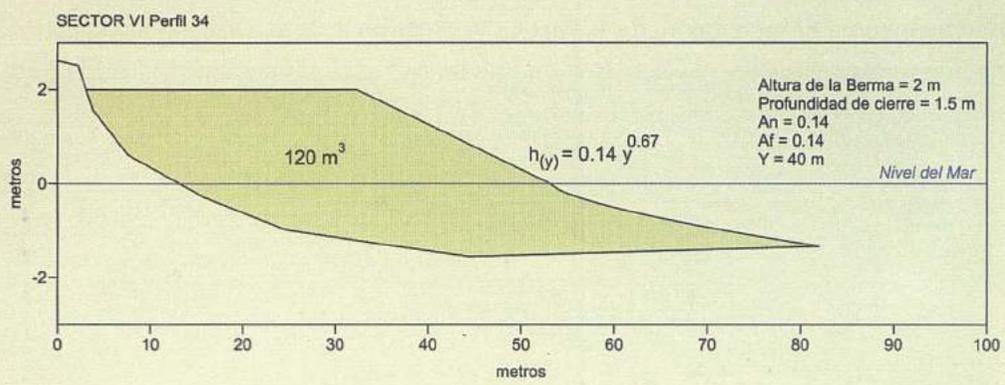


Fig. VIII. 30. Perfil de la playa regenerada en el sector V.

Los límites del sector son:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
456 981	456 389
2 037 549	2 037 333

La longitud del sector es de 603 metros y para regenerarlo serían necesarios 72 360 m³ de arena.

Sector VII. Es el más pequeño de los sectores (142 metros) y por la escasa profundidad que existe en el lugar sólo se puede verter una cantidad mínima de arena. La imagen siguiente muestra la ubicación de este sector.



Imagen VIII.30. Pequeño sector de playa al oeste del hotel Costa Caribe.

En este lugar se decidió verter la arena a razón de 60 m³/m para que luego de ejecutado el vertimiento fuera redistribuida de forma natural por las olas y corrientes hacia los sectores vecinos. Los límites de este pequeño sector son:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
456 389	456 305
2 037 333	2 037 315

El volumen de arena total a verter sería de 8 520 m³.

Sector VIII. Este sector se localiza en la ensenada que se encuentra al oeste del hotel Costa Caribe y está delimitado por las coordenadas:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
456 305	455 966
2 037 315	2 037 329

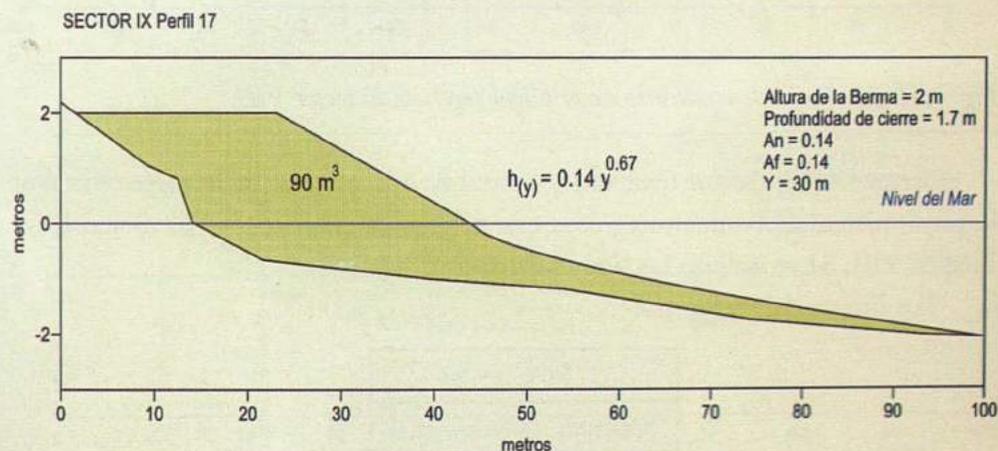


Imagen VIII.31. Sector costero al oeste de la playa que utiliza el hotel Costa Caribe.

En este lugar, el perfil se extiende hasta una profundidad de 1.3 metros y se propuso un incremento en el ancho de la playa de 30 metros. Aplicando la fórmula de Dean (1991) tenemos que la cantidad de arena necesaria era de 110 m³/m aproximadamente.

$$V = 30 * 1.3 + \frac{3}{5} 1^{5/2} \left[\left[\frac{40}{1^{3/2}} + \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} \right]^{5/3} 0.14 - \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} \right] = 111$$

Al igual que ocurre en los restantes sectores al superponer las curvas teóricas al perfil real, se observa en la Figura VIII.31 que la cantidad de arena a verter debería ser menor (90 m³/m) para mantener una profundidad adecuada para el baño. De acuerdo con estos resultados la cantidad de arena óptima que se debía verter en este sector es de 27 000 m³.

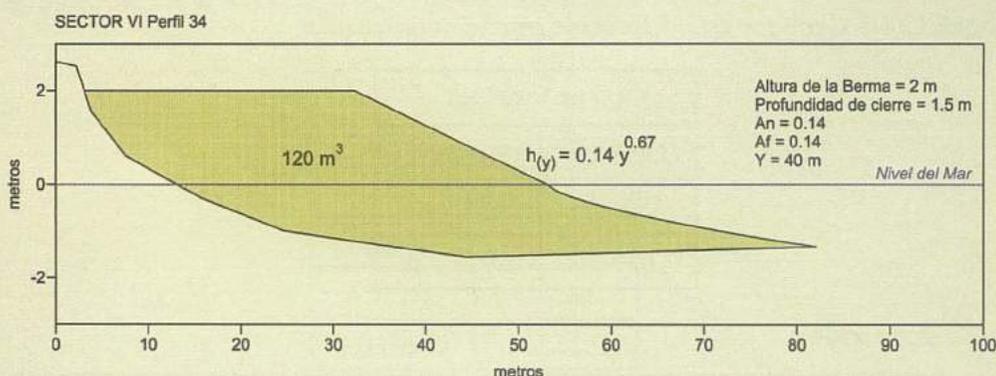


Fig. VIII. 32. Perfil de equilibrio de la playa regenerada sector VIII.

Sector IX. Este sector tiene una longitud de 340 metros. En la parte central de la playa existen afloramientos rocosos que debían ser cubiertos por la arena. En la Imagen VIII. 31 se indican los límites del sector.

Los límites del sector son:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
455 966	455 624
2 037 329	2 037 307



Imagen VIII.31. Ensenada que delimita al sector IX.

En la parte central de la ensenada el perfil alcanza profundidades (*h*) de 1.7 metros y se propuso un incremento en el ancho de la playa de 30 metros. Aplicando la fórmula de Dean (1991) tenemos que la cantidad de arena necesaria era de 122 m³/m (Fig. VIII. 32).

$$V = 30 * 1.7 + \frac{3}{5} 1^{5/2} \left[\left[\frac{40}{1^{3/2}} + \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} \right]^{5/3} 0.14 - \left(\frac{1}{0.14} \right)^{3/2} \right] = 122$$

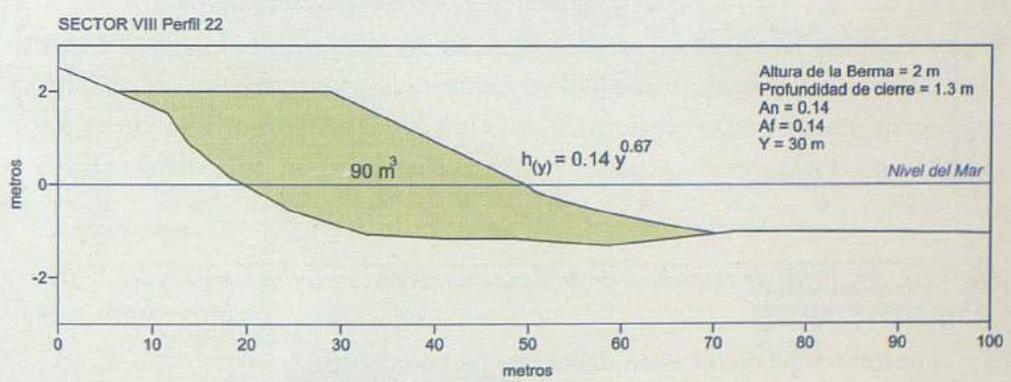


Fig. VIII. 31. Perfil de equilibrio de la playa regenerada sector IX.

Al superponer las curvas teóricas al perfil real se comprueba que la densidad idónea era de 90 m³/m y en esta zona se deben verter 30 600 m³ de arena (Figura VIII.33).

Sector X. Con una longitud de 280 metros, el sector 10 ocupa una pequeña ensenada de fondo somero. La máxima profundidad es de apenas 1 metro (*h*).



Imagen VIII.32. Sector X.

En la figura se presenta la superposición entre la curva teórica de equilibrio de una arena con las características del material del banco de El Vozqueron y la forma del perfil real, de donde se deduce que el volumen óptimo a verter era de $50 \text{ m}^3/\text{m}$, lo que da un volumen de $14\,000 \text{ m}^3$ para todo el sector (Fig. VIII. 33).

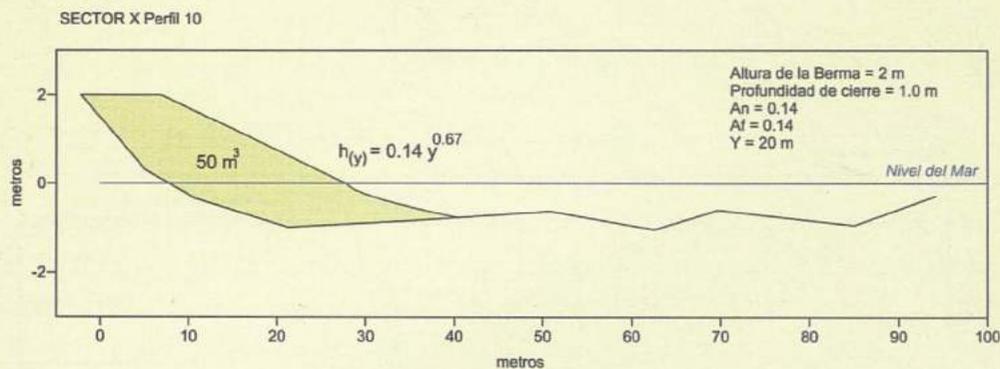


Fig. VIII. 33. Perfil de equilibrio de la playa regenerada en los sectores X y XI.

Los límites del sector están dados por las coordenadas:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
455 624	455 380
2 037 307	2 037 297

Sector XI. El Sector XI se encuentra en el límite occidental del área que fue beneficiada por el vertimiento.



Imagen VIII.33. Sector XI. Límite occidental del área.

Los límites del sector son:

UTM WGS-84	
Oriental	Occidental
455 380	455 069
2 037 297	2 037 139

Por la orientación de la ensenada y las profundidades existentes, las olas penetran con gran energía. El perfil activo en este lugar alcanza 1.5 metros de profundidad y al superponer las curvas de equilibrio teóricas al perfil real se demuestra que con el suministro de 70 m³/m se llega a formar una playa de 20 metros de ancho, lo que se consideraba adecuado para mejorar las condiciones estéticas y recreativas de esta playa (Fig. VIII.34).

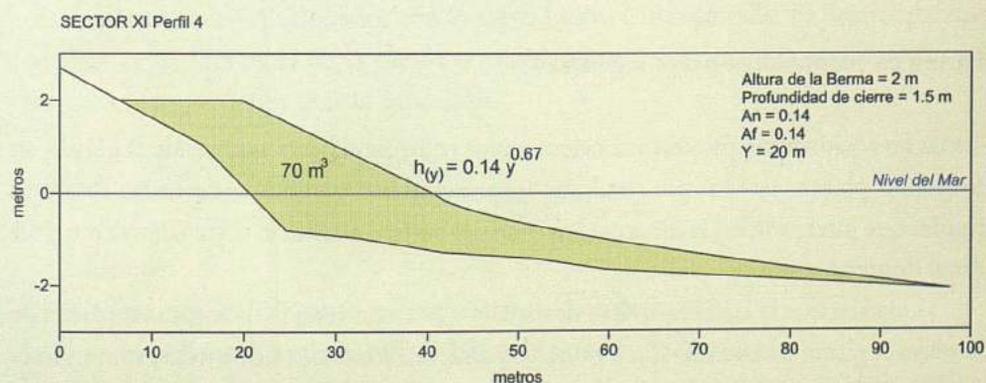


Fig. VIII. 34. Perfil de equilibrio de la playa regenerada en los sectores X y XI.

En la Tabla VIII. 10 se presenta un resumen de la longitud de cada sector y los volúmenes que se estimaron verter para restituir las condiciones estéticas y recreativas de la playa. No obstante, debe señalarse que estos volúmenes tienen que ser ajustados de acuerdo con la compatibilidad de la arena, aspecto que será tratado más adelante.

Tabla VIII. 9

Densidad de arena a verter en la playa Juan Dolio de acuerdo con el ancho de playa deseado y la forma del perfil de equilibrio

Sectores	Longitud m	Densidad m ³	Ancho de playa ganado (m)	Volumen Total (sin ajustar <i>Ra</i>)
Sector I	355	67	20	23785
Sector II	503	114	35	57342
Sector III	215	108	35	23220
Sector IV	310	95	35	29450
Sector V	510	95	40	48450
Sector VI	603	120	40	72360
Sector VII	142	60	20	8520
Sector VIII	300	90	30	27000
Sector IX	340	90	30	30600
Sector X	280	50	20	14000
Sector XI	240	70	20	16800
Total				351 527

Forma en planta de la playa regenerada

Todas las acciones del proyecto se orientaron a restituir el perfil natural de la playa y su forma en planta, por lo que resultaba imprescindible la retirada de todas las obras rígidas que interrumpen la dinámica natural del perfil o alteraban el transporte longitudinal de arena.

Una vez que la costa estuviera despejada y la arena vertida, la forma en planta de la playa seguiría una tendencia a ponerse paralela a los frentes de ondas, tomando la forma de arco típica en el interior de las ensenadas, pero con un ancho mayor.

La figura muestra la configuración que adoptaría la línea de costa al alcanzar la condición de equilibrio. De forma instantánea, el mayor ancho se ganaría hacia la parte central de la playa (Sectores V y VI) pero con el transcurso del tiempo se debía producir un movimiento hacia el oeste, para formar una zona de fuerte acumulación apoyada al espigón construido en Punta Garza.

De acuerdo con la forma que adopta la costa, el área que debe ganar la playa emergida es de aproximadamente 120 000 m².

Compatibilidad de la arena

En los proyectos de "Alimentación Artificial de Arena" uno de los elementos de mayor interés es la compatibilidad de los sedimentos. La compatibilidad se refiere tanto a la calidad estética y recreativa (coloración y textura) como a la estabilidad (factor de sobre relleno). En cuanto a la textura y coloración, la arena de El Vozquerón es muy similar a la que se encuentra actualmente en la playa debido a que está formada por una mezcla de sedimentos biogénicos y terrígenos que le dan una coloración de crema a gris claro. Esta arena tiene una granulometría media ($D_{50}=355.5 \mu\text{m}$).

La estabilidad de la arena es otro factor de vital importancia al evaluar la compatibilidad. Al ejecutar un vertimiento, una parte del material se pierde durante la colocación de la arena y posteriormente como consecuencia del proceso de reacomodo. Esto hace que para lograr el incremento deseado del ancho de la playa, sea necesario verter una cantidad de arena algo superior. En la ingeniería de costas, este ajuste del volumen se trata como factor de sobre- relleno y fue propuesto inicialmente por James (1975) y adoptado por el SPM (1984), ACES (1990) y CEM (2002).

Para el cálculo del factor de sobre-relleno se utilizaron dos parámetros estadísticos fundamentales relacionados con la arena nativa e introducida. El primer parámetro (d), es la diferencia de la media en unidades phi (Φ) entre la arena nativa y la introducida y se define por la expresión:

$$\delta = \frac{M_{\Phi b} - M_{\Phi n}}{\sigma_{\Phi n}}$$

Donde:

b- es un suscrito que se refiere al material de préstamo

n- es un suscrito que se refiere a la arena nativa de la playa

M_{Φ} es la media en phi

$$M_{\Phi} = \frac{(\Phi_{84} + \Phi_{16})}{2}$$

f_{84} - es el percentil de 84 en unidades phi
 f_{16} - es el percentil de 16 en unidades phi
 s_f - desviación estándar

$$\sigma_{\Phi} = \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{2}$$

Existen cuatro combinaciones posibles como resultado de comparar la distribución del tamaño del grano de la arena nativa e introducida (Tabla VIII. 10).

Tabla VIII. 11.
 Comparación de la arena nativa e introducida
 para calcular el factor de sobre-relleno (Ra)

Relación entre la media y la desviación estándar en unidades phi		
Categoría	Media en phi	Desviación estándar en phi
I	$M_{\phi b} > M_{\phi n}$ Material de préstamo más fino que el nativo	$\sigma_{\phi b} > \sigma_{\phi n}$ El material de préstamo está peor clasificado que el nativo
II	$M_{\phi b} < M_{\phi n}$ Material de préstamo más grueso que el nativo	
III	$M_{\phi b} < M_{\phi n}$ Material de préstamo más grueso que el nativo	$\sigma_{\phi b} < \sigma_{\phi n}$ El material de préstamo es mejor clasificado que el nativo
IV	$M_{\phi b} > M_{\phi n}$ Material de préstamo más fino que el nativo	

El factor de sobre-relleno (Ra) está dado por la expresión:

$$\frac{1}{Ra} = 1 - F\left(\frac{\theta_2 - \delta}{\sigma}\right) + F\left(\frac{\theta_1 - \delta}{\sigma}\right) + \left[\frac{F(\theta_2) - F(\theta_1)}{\sigma}\right] \exp\left\{\frac{1}{2}\left[\theta_1^2 - \left(\frac{\theta_1 - \delta}{\sigma}\right)^2\right]\right\}$$

Donde:

F = integral de la curva normal estándar

Para el cálculo de q existen dos casos generales (Tabla VIII.11)

Tabla VIII. 11.
Cálculo de q para la determinación de Ra .

Caso	θ_1	θ_2
I y II	$\text{Max}\left\{-1, \frac{-\delta}{\sigma^2 - 1}\right\}$	∞
III y IV	-1	$\text{Max}\left\{-1, 1 + \frac{2\delta}{1 - \sigma^2}\right\}$

Para el análisis de la estabilidad de la arena se consideraron las características de la muestra nativa tipo de la playa (indicadas por el subíndice n) y la muestra tipo del área de préstamo El Vozquerón (identificadas por el subíndice b).

De acuerdo con el muestreo realizado en 1999, la muestra tipo de la playa se describe por los siguientes estadígrafos:

$$M_{Fn} = 1.391$$

$$s_{Fn} = 1.216$$

Mientras que para "El Vozquerón" tenemos:

$$M_{Fb} = 1.417$$

$$s_{Fb} = 1.116$$

De donde se obtiene un coeficiente de sobre-relleno (Ra) de 1.17 H" 1.2

En este punto debe señalarse que si en lugar de utilizar en los cálculos la muestra tipo obtenida durante el estudio de factibilidad se hubiese utilizado la muestra tipo del muestreo realizado en el año 2006 (Proyecto Ejecutivo) el factor de sobre-relleno sería muy superior:

$$M_{Fn} = 0.812$$

$$s_{Fn} = 1.180$$

Que da como resultado un factor de sobre-relleno (Ra) de 2.2.

Multiplicando el volumen de arena necesario para regenerar la playa por los factores de sobre-relleno tenemos:

$$\text{Muestreo de 1999:} \quad 351\,527 * 1.2 = 421\,832 \text{ m}^3$$

Muestreo de 2006

351 527 * 2.2=773 359 m³

Evidentemente, en las condiciones de 2006, era imposible suministrar a la playa más de 700 000 m³ de arena pues hubiese quedado totalmente cubierta el área de baño. De este modo se recomendó utilizar el factor de sobre-relleno calculado a partir del muestreo de 1999 ($Ra = 1.2$) y eliminar todos aquellos elementos antrópicos que interrumpen la deriva litoral e interfieren el funcionamiento dinámico del perfil, como única vía para garantizar la estabilidad de la arena y la efectividad del trabajo.

En la Tabla VIII. 12 se presenta el resumen de los volúmenes de arena que se propuso verter finalmente en la playa luego de los ajustes necesarios por el Ra y la forma en que el material debe quedar conformado.

Tabla VIII. 12.

Volumen de arena a verter en la playa de Juan Dolio

Sectores	Longitud m	Densidad m ³	Ancho de playa ganado (m)	Volumen Total (Ajustado por Ra)
Sector I	355	80.4	20	28542
Sector II	503	136.8	35	68810.4
Sector III	215	129.6	35	27864
Sector IV	310	114	35	35340
Sector V	510	114	40	58140
Sector VI	603	144	40	86832
Sector VII	142	72	20	10224
Sector VIII	300	108	30	32400
Sector IX	340	108	30	36720
Sector X	280	60	20	16800
Sector XI	240	84	20	20160
Total				421 830

Obras de apoyo

Como se explicó a lo largo de todo el proyecto, en 2006 existía una gran cantidad de factores (fundamentalmente antrópicos) que favorecían la inestabilidad de la arena y en gran medida fueron los causantes del deterioro de la playa. De mantenerse estos factores, la arena que se depositaría durante el vertimiento tampoco sería estable y la efectividad de los trabajos sería muy reducida. Es por ello que antes de iniciar la "Alimentación Artificial de Arena" se propuso realizar las acciones de preparación del litoral y construcción de estructuras de apoyo.

Entre las acciones más importantes que debían hacerse destacan la demolición de espigones que obstruían la deriva litoral y desviaban el movimiento de los sedimentos en dirección al mar, facilitando su fuga a través de los cortes en las crestas de los arrecifes.

Otra acción priorizada fue la construcción de un espigón de apoyo con material de cantera en el extremo occidental de la playa (Punta Garza) para minimizar las pérdidas de arena producto de la deriva litoral. También la conformación de tres rompeolas exentos con material de escollera en aquellos lugares que requerían una protección adicional por estar más expuestos al embate directo de las olas.

Efectividad

Al concluir un vertimiento de arena, el material depositado en la playa queda sometido a la acción de las olas, las corrientes y el viento. Como resultado de estas fuerzas se establece un movimiento de la arena, tanto en sentido paralelo como perpendicular a la playa y el material abandona el sitio directamente beneficiado.

El sistema costero en el que se inserta la playa Juan Dolio se caracteriza por poseer una intensa dinámica sedimentaria. De acuerdo con los cálculos realizados, el transporte a lo largo de la costa en la zona de la barrera coralina puede alcanzar cifras superiores a un millón de metros cúbicos anuales.

A pesar de que en la zona interior de la barrera se debe producir una lógica reducción de estas tasas, si la arena depositada en el perfil abandona la costa y no es repuesta por una cantidad de arena igual o superior, la playa tiende a desaparecer.

Es importante resaltar que el papel de la "Alimentación Artificial de Arena" es restablecer el equilibrio de las playas cuando existen problemas de erosión, y se adiciona a los ingresos naturales propiciando un balance positivo. Sin embargo, no

deben verse como única vía de ingresos, salvo en el caso de las payas totalmente artificiales, pues sería necesario realizar alimentaciones periódicas a un ritmo similar al que se producen las pérdidas, lo que resulta incosteable en la mayoría de los casos.

Partiendo de estos conceptos generales, se imponía como condición indispensable para garantizar la estabilidad de la playa, la retirada de todas las obras de ingeniería que interrumpen el transporte de sedimentos o interfieren el equilibrio dinámico del perfil. Las obras que debían ser retiradas y la forma en que debían realizar los trabajos se explicaron en el proyecto de demolición y construcciones.

Para favorecer la estabilidad de la arena también debía quedar construido un espigón de apoyo en el extremo occidental de la playa y dos diques exentos que fortalecerían zonas donde se ha identificado que la barrera coralina se encuentra severamente afectada.

Además de las pérdidas de arena que se producían con el efecto de la deriva litoral, la arena podía moverse en dirección al mar como resultado del transporte perpendicular. Al concluir un vertimiento es frecuente que se produzca un retroceso inicial de la línea de costa hasta que se alcanza la condición del perfil de equilibrio. Sin embargo, de acuerdo con los resultados, aún después de este proceso de acomodo, la playa mantendría un ancho de 20 a 40 metros adicionales a su ancho actual.

Aunque estos resultados muestran que, en condiciones habituales, la playa puede ser estable, frecuentemente la costa meridional dominicana está afectada por huracanes y otros eventos meteorológicos extremos que pueden producir rápidos cambios en la forma del perfil y pérdidas definitivas de grandes cantidades de arena. Los fenómenos de este tipo que afectaron con mayor intensidad a la playa Juan Dolio en el pasado siglo fueron el huracán David en 1979 y el Georges en septiembre de 1998 que provocaron a su paso efectos devastadores.

Para evaluar los impactos de este tipo de fenómenos se utilizaron los criterios de Dean (1991), que considera las características de la arena y los cambios del nivel del mar debidos a la sobre-elevación y la marea para calcular el retroceso de la costa:

$$\Delta y' + \frac{3}{5B'} [1 + \Delta y']^{\frac{5}{3}} = \frac{1}{B'} \left(\frac{3 - J}{5(1 - J)} \right) - S' - \bar{\eta}'_b$$

En esta expresión, las magnitudes están expresadas en forma adimensional:

$$\Delta y' = \frac{\Delta y}{W_s} \quad \text{Retroceso adimensional de la línea de costa}$$

$$S' = \frac{S}{B} \quad \text{Nivel adimensional alcanzado por la marea}$$

$$B' = \frac{B}{h_*} \quad \text{Altura adimensional de la berma}$$

$$\bar{\eta}'_b = \frac{\bar{\eta}_b}{B} \quad \text{Sobre-elevación adimensional}$$

W_* representa la distancia hasta el límite hacia el mar del perfil activo:

$$W_* = \left(\frac{H_b}{kA} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Mientras h_b denota la profundidad de cierre considerando el efecto de la sobre-elevación ($\bar{\eta}_b$) y el nivel alcanzado por la marea (S):

$$h_* - S - h_b = -\frac{1}{8} \frac{KH_b^2}{\text{Sinh}(2Kh_*)}$$

De donde se deduce la sobre-elevación real:

$$\bar{\eta}_b = -\frac{1}{8} \frac{KH_b^2}{\text{Sinh}(2Kh_*)}$$

Para el cálculo de J se utiliza la expresión:

$$J = \frac{\frac{3k^2}{8}}{1 + \frac{3k^2}{8}} = 0.18$$

Donde k es la constante de rotura asumida como 0.78 y que expresa la relación entre la altura de la ola y la profundidad de rotura, mientras que K es el número de onda:

$$K = \frac{2\pi}{L_0}$$

Para la aplicación de esta fórmula se partió de verificar las garantías del vertimiento por un período de 8 años. Aplicando los criterios de la normativa española ROM 02 90, tenemos que la ola de diseño realmente debe calcularse para un período de retorno (R) igual a 11 años.

$$R = \frac{8}{\ln(1-0.5)} = 11$$

Que se corresponde con una probabilidad de no excedencia de 0.91.

$$F(x) = 1 - \frac{1}{11} = 0.91$$

Teniendo en cuenta que las olas procedentes del sureste son las que afectan con mayor energía a la zona del proyecto, para realizar los cálculos se consideraron los datos recogidos por el Global Waves Statistics para esa dirección. Según los datos de esta fuente, para una probabilidad de no excedencia de 0.91, las olas en aguas profundas pueden tener una altura de 2.5 metros y un período de 7 segundos (Fig. VIII. 35).

Adicionalmente, para igual período de retorno puede esperarse una sobre-elevación del nivel del mar producto del efecto combinado de la marea y el apilamiento de 1.2 metros. Tomando como ejemplo la Sección 3 que se encuentra en una abertura en la barrera, tenemos que la pendiente general del fondo toma un valor de 0.017 Tg. Haciendo uso de la teoría lineal del oleaje tenemos que la rotura se produce a una profundidad (d) de 3.93 metros y la ola llega a alcanzar una altura (H_j) de 3.26 metros de altura.

ACES	Mode: Single Case	Functional Area: Wave Transformation			
Application: Linear Wave Theory / Snell's Law					
Item	Units	Known Wave		Subject Wave	Deepwater Wave
Wave Height	m	H1:	2.50	H2:	2.29
Wave Period	sec	T:	7.00		
Water Depth	m	d1:	20.00	d2:	10.00
Crest Angle	deg	ó1:	45.00	ó2:	35.99
Wavelength	m	L1:	71.96	L2:	59.00
Celerity	m/sec	C1:	10.28	C2:	8.54
Group Veloc	m/sec	Cg1:	6.23	Cg2:	6.50
Energy Dens	N-m/m^2	E1:	7852.67	E2:	6580.34
Energy Flux	N-m/s-m	P1:	48944.66	P2:	42774.70
Ursell Param		U1:	1.62	U2:	8.10
		H0:			2.76
		ó0:			48.72
		L0:			76.47
		C0:			10.92
		Cg0:			5.46
		E0:			9603.39
		P0:			52453.77
		H0/L0:			0.04
Nearshore Slope (cotan):		58.82			
Breaker Height Hb:		3.26 m			
Breaker Depth db:		3.93 m			

Fig. VIII. 35 Parámetros de la ola en el punto de rotura (Parte exterior de la cresta).

Considerando un factor de escala A (0.14) correspondiente al banco de préstamo de El Vozquerón, tenemos:

$$W_* = \left(\frac{H_b}{kA} \right)^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{3.26}{0.78 * 0.14} \right)^{\frac{3}{2}} = 163$$

De acuerdo con la expresión:

$$h_b = h_* - \bar{\eta}_b - S$$

Entonces

$$h_* = h_b + 1.20 = 3.93 + 1.20 = 5.13$$

Mientras que B' es:

$$B' = \frac{B}{h_*} = \frac{2}{5.13} = 0.39$$

Sustituyendo estos valores y asumiendo que la sobre-elevación total (1.2 metros) es igual a $S + \zeta$ tenemos:

$$S' + \eta' = \frac{1.2}{2} = 0.6$$

Resolviendo entonces los ceros de la ecuación:

$$\Delta y' + \frac{3}{5 * 0.39} [1 + \Delta y']^{\frac{5}{3}} = \frac{1}{0.39} \left(\frac{3}{5} - 0.18 \right) - 1.2$$

Se tiene un retroceso adimensional de 0.45, que equivale a un retroceso real extremo de más de 50 metros en los lugares más expuestos al oleaje. Para tener una idea más precisa del tipo de tormenta que puede provocar daños de esta envergadura, se pueden mencionar los huracanes Flora (1963) e Inés (1966) que alcanzaron olas significativas en aguas profundas de 2.1 y 3.8 metros respectivamente. Repitiendo el análisis para una vida útil de 5 años, tenemos que el período de retorno (R) es de 7 años y la probabilidad de no excedencia de 0.85. La altura significativa de las olas puede alcanzar 1.8 metros con períodos de 5 a 6 segundos. Aplicando la teoría lineal del oleaje se tiene que para las ensenadas más expuestas de Juan Dolio la ola rompe a una profundidad de 2.6 metros y alcanza una altura de 2.1 metros, a la que se asocia una sobre-elevación de 0.3 metros.

En este caso:

$$W_* = \left(\frac{H_b}{kA} \right)^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{2.1}{0.78 * 0.14} \right)^{\frac{3}{2}} = 83$$

$$h_* = h_b + 0.3 = 2.6 + 0.3 = 2.9$$

$$B' = \frac{B}{h_*} = \frac{2}{2.9} = 0.69$$

$$S' + \eta' = \frac{0.3}{2} = 0.15$$

Resolviendo los ceros de la ecuación:

$$\Delta y' + \frac{3}{5 * 0.69} [1 + \Delta y']^{\frac{5}{3}} = \frac{1}{0.69} \left(\frac{3}{5} - 0.18 \right) - 0.3$$

Se tiene un retroceso adimensional de 0.18, que equivale a un retroceso real de 15 metros. Teniendo en cuenta que con el vertimiento la playa gana de forma instantánea entre 20 y 40 metros de ancho, en caso de producirse una tormenta de estas características la playa conservaría adecuadas condiciones recreativas, funcionales y estéticas. A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que una vez ejecutado el vertimiento, la playa debía permanecer estable al menos por un período de 5 años, siempre que no se produjeran huracanes u otros eventos hidrometeorológicos extremos que generaran olas con una probabilidad de no excedencia superior a 0.9. A pesar de lo antes expresado ya la playa ha sufrido el paso de un ciclón de fuerte intensidad y se demostró la efectividad de los vertimientos de arena. Se recomendó que al concluir los trabajos se siguiera un monitoreo semestral del comportamiento de la playa para identificar las vías más importantes de fuga de arena y planificar acciones de mitigación. Entre estas acciones podían estar la reconstrucción de la barrera coralina o pequeños trabajos de redistribución de la arena con el uso de equipos de dragado locales.

Finalmente, se recomendó fueran suspendidas todas las actividades de navegación a motor en la zona interior de la barrera coralina y que sólo se utilizaran uno o dos canales para la entrada y salida de las embarcaciones. Con esto se podía comenzar a desarrollar un programa de rehabilitación de los arrecifes y cierre de los canales para devolver a la barrera sus valores naturales y a l mismo tiempo eliminar una importante vía de escape de sedimentos de la playa.

Forma de ejecución

Como resultado de las investigaciones realizadas por el Grupo CADIC, se definieron las siguientes acciones para el mejoramiento de las condiciones estéticas y recreativas de la playa Juan Dolio antes de la ejecución de los vertimientos artificiales de arena.

- 1^{er}. Demolición y retirada de espigones, muros, escolleras y revestimientos que interrumpían el transporte de sedimentos a lo largo de la costa o interferían el comportamiento dinámico del perfil de la playa. Pequeños trabajos de reconformación de escolleras en sustitución de algunos espigones.
- 2^{do}. Limpieza de la zona costera. Incluyó la retirada de troncos, basura, sombrillas y todos aquellos objetos que interfieran la operación de los equipos pesados que serán utilizados en la conformación del perfil durante el vertimiento.
- 3^{er}. Construcción de un espigón en el extremo oeste de la playa Juan Dolio (Punta Garza) para la retención de la arena vertida.
- 4^{to}. "Alimentación Artificial de Arena" a lo largo de toda la playa.

La acción fundamental para lograr la regeneración de la playa Juan Dolio era la "Alimentación Artificial de Arena". Adicionalmente se deberá acometer un grupo de acciones complementarias como son la demolición de viejas obras hidrotecnias y la construcción de un espigón de fin de playa en Punta Garza que sirva de apoyo a la nueva playa. La alimentación artificial de arena constituye hoy en día el método más apropiado y extendido en el mundo para la regeneración de playas naturales. Esto se debe a la efectividad que ha demostrado, la rapidez con que se logran los resultados, la limpieza en la ejecución y compatibilidad con el ambiente natural de la playa. En síntesis, esta acción consiste en devolverle a la playa la arena perdida en un período determinado de tiempo a causa de la erosión, lográndose así en pocos días o meses restituir las condiciones naturales del perfil de playa con un material igual o similar al que siempre existió.

La condición principal para llevar a cabo una obra de este tipo es tener el material suficiente y con la calidad necesaria para restaurar la playa. En el caso que nos ocupa la zona de préstamo que se utilizó se encuentra en el canal que separa la provincia La Romana de la isla Catalina y la llamaremos "El Vozquerón", a una distancia de la zona de vertimientos de 43 Km.

Esta zona de préstamo está definida por un polígono que encierra un área de 323 700 m², a una profundidad media de 18 m y un espesor de sedimentos de 3 m

como promedio. El volumen potencial calculado para este préstamo es de 900 000 m³. Para la extracción de la arena, su traslado y posterior vertido en la playa fue necesaria la utilización de buques especializados en estos trabajos. En la actualidad existe en el mundo una gran variedad de dragas con diferentes características, las cuales han sido construidas según las necesidades y peculiaridades de los trabajos que se realizaron. Para la regeneración de playas las más adecuadas resultan las dragas de succión en marcha, pues estas tienen la capacidad de extraer el sedimento de grandes profundidades, transportarlo a bordo en una cántara y posteriormente depositarlo en la playa.

Para bombear la arena de la draga hacia la orilla se emplea una tubería submarina rígida, la cual tiene una sección flotante de 200 m de largo aproximadamente, en cuyo extremo se acopla la draga para la operación de descarga. En las operaciones de colocación de la tubería se emplea un remolcador auxiliar y para facilitar el remolque esta tubería se llena de aire a presión manteniéndola a flote. Una vez en la posición de descarga esta tubería se llena otra vez de agua hasta quedar en reposo sobre el lecho marino, quedando el extremo flotante a una distancia de la costa que permite las maniobras de la draga.



Imagen VIII.35 Draga de succión en marcha acoplándose a la tubería.



Imagen VIII.36. Trabajo con equipos pesados en el traslado de las tuberías.



Imagen VIII.37 Colocación de la tubería de descarga en la playa con ayuda de equipos pesados de tierra.

Una vez que queda colocada la tubería y acopla la draga con su carga, comienza la descarga a tierra. En la costa el perfil queda conformado con la ayuda de equipos pesados (buldózer), que se encargan de evitar las pérdidas de arena a la pendiente submarina y dar el modelado final a la playa (Imagen VIII.38 a y b). Teniendo en cuenta la cercanía en algunos sectores de la barrera coralina a la costa era imprescindible evitar que la arena mezclada con el agua fluyera libremente hacia la pendiente submarina ya que en lugar de lograrse el ancho de la playa deseado, se produciría un relleno excesivo en la pendiente submarina que limitaría el baño.

Para lograr el avance hacia los lados sin necesidad de mover la tubería submarina, en la medida que avanzaba el vertimiento, se adicionaban secciones de tubería rígida paralelas a la costa hasta completar todo el sector de vertimiento (Imagen VIII.39).

Antes del inicio de los vertimientos se hizo necesario liberar toda la franja de playa que se regeneró. En este período se retiraron de la franja costera todos los obstáculos que impedían el libre movimiento de los equipos. Entiéndase por obstáculos sombrillas, kioscos, restos de antiguas instalaciones, troncos de árboles, etc.

a



b



Imagen VIII.38 a y b. Descarga de arena en la playa y acarreo del material con equipos pesados.

En el caso de Juan Dolio, no se incluyeron los detalles de las actividades de limpieza de la playa y preparación para el vertimiento. Sólo se indicó la ubicación de los obstáculos que debían ser retirados. La longitud de playa que se regeneró es de 3 798 m, con un volumen vertido de 421 832 m³.



Imagen VIII.39 Colocación de secciones de tubería en tierra para lograr el avance dentro del sector de vertimientos.

Tomando en cuenta las posibilidades de este tipo de dragas se planificaron dos puntos de acercamiento a la costa sobre la isobata de los 12 m, a una distancia aproximada cada uno de la costa de 730 m. Los trabajos de vertimiento comenzaron por el sector I, en el extremo oriental de la playa, y desde esa misma posición se ejecutaron los sectores I-V, con un volumen total en este tramo de 218 696 m³. Una vez concluida la ejecución de la mitad oriental de la playa se comenzó a trabajar desde la segunda posición de acercamiento ejecutándose los sectores desde el VI hasta el XI, con un volumen total en este segundo tramo de 203 136 m³.

Una vez concluidos los trabajos de regeneración de la playa el constructor retiró de esta zona todos los equipos, materiales y desechos que se generaron y facilidades temporales. La imagen VIII. 40 muestra el antes y después de los vertimientos, que se explican por sí sola del cambio morfológico tanto en el orden cualitativo como cuantitativo de los diferentes sectores de la playa de Juan Dolio, regenerada con vertimiento artificial de arena en 2006.

Antes



Después



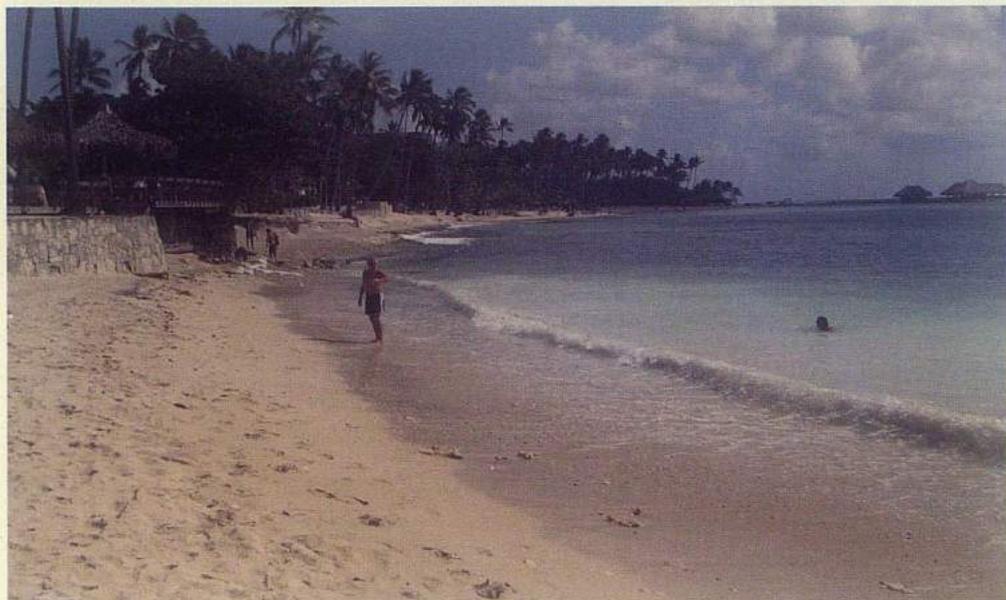
Antes



Después



Antes



Después



Antes



Después



Antes



Después



Imágenes VIII.40. Muestras de diferentes sectores antes y después del vertimiento.

Bibliografía

- Airy, C. B., "On Tides and Waves". Encyclopaedia Metropolitana, 1845.
- Alvarez, V. e I. Bonnelly de Calventy (1978). *Los manglares del sur y su conservación en República Dominicana*. En: Conservación y Ecodesarrollo. CIBIMA. Univ. Aut. De Santo Domingo: 107-147.
- American Society for Testing Materials. Volume 04.08, Soil and Rock (1): D420-D4914, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA., 1994.
- Atlas de Biodiversidad de la República Dominicana (2006) Editora Corripio C.por A. Rep.Dominicana.
- Bodge, K. R., "Representing Equilibrium Beach Profiles with an Exponential Expression," *Journal of Coastal Research*, 8 (1) 47 – 55, 1992.
- Breaker Height," *Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division*, (98), WW4, 1972.
- Bruun, P., "Coast erosion and the development of beach profiles". Tech. Memo. No. 44, Beach Erosion Board, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS., 1954.
- Caballero, V., Juanes, J. L., Izquierdo, M., Hernández, K., Felipe, M., Tristán, E., Peña, L., Guerra, R., Peón, C. y Salazar, H., "Recuperación de la playa en el sector Las Calaveras – Punta Molas", XV Forum de Ciencia y Técnica, Ciudad de La Habana, (89), 2004.
- Cambers, G., "Towards Integrated Coastal Zone Management in Small Island States". Maul, George A. (ed). *Coastal and Estuarine Studies* (51), 238-249. U.S.A., 1996.
- Campbell, T., Dean, R. G., Mehta, A. J. y Wang, H. "Short course on principles and applications of beach nourishment". University of Florida, Florida Shore and Beach Preservation Association and Coastal and Oceanographic Engineering Department, 1990.

Center for Civil Engineering Research, Codes and Specifications/ Delft Hydraulics Laboratory, (ed), "Manual on Artificial Beach Nourishment". Report (130), Holland, 1990.

CERC. (Coastal Engineering Research Center), (ed). "Automated Coastal Engineering System". Technical Reference, 1992.

_____. "SBEACH: Numerical Model for simulating Storm-Induced Beach Change", Technical Report CERC-89-9. U.S.A., 1996.

_____. "Automated Coastal Engineering System". Technical Reference, 1992.

_____. "GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change", Technical Report CERC-89-9. U.S.A., 1991.

_____. "Shore Protection Manual", U.S.A., 1984.

_____. (Coastal Engineering Research Center), (ed). "Coastal Engineering Manual", U.S.A., 2002.

CESIGMA, S. A., "Estudio de factibilidad para la regeneración de la playa de Juan Dolio, República Dominicana". (64), 1999 a.

_____, "Estudio de factibilidad para la regeneración de las playas de Barahona, República Dominicana". (40), 1999 b.

_____, "Estudio de factibilidad para la regeneración de la playa de Long Beach, Puerto Plata, República Dominicana". (39), 1999 c.

_____, "Proyecto ejecutivo. Regeneración de la playa Long Beach. República Dominicana". (27), 1999 d.

_____, "Proyecto Ejecutivo. Regeneración de playa Barahona". (34), 2001.

Coastal Engineering Research Center (1984): "Shore Protection Manual". US Army. Curso Hispano Cubano de Costa(1994)

Dean, R. G. (1990). Equilibrium beach profile: Characteristics & Applications. Coastal and Oceanographic Engineering Department, University of Florida, Sea grant program and national oceanic and atmospheric administration. Technical Report, 70 p.

_____. (1977): Equilibrium beach profile: U.S. Atlantic and gulf coast. Department of Civil Engineering and College of Marine Studio. University of Delaware USA. Ocean engineering technical report N° 12. 37 p.

_____. Maurmeyer, E. M., "Models for Beach Profile Response" *CRC Handbook on Beach Erosion and Coastal Processes*, P. D. Komar, (ed.), Chapter 7, 151-166, 1983.

Dean, R. G. and R. A. Dalrymple (1995): Coastal processes with engineering applications. University of Florida and University of Delaware, Chapters 1-14, 441 p.

- _____, "Coastal Sediment Processes: Toward Engineering Solutions," *Coastal Sediments '87*, American Society of Civil Engineers, New Orleans, LA, 1, 1-24, 1987.
- _____, "Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications", *Journal of Coastal Research*, 7 (1) 53-84, 1991.
- Dustan, P. (1977). Vitality of reef coral populations of key Largo, Florida: Recruitment and mortality. *Environ. Geol.* 2: 51-58. Dean, R. G., y Dalrymple, R. A., "Coastal Processes with Engineering Applications", Cambridge University (ed), New York., 2001.
- Enciclopedia ilustrada de la República Dominicana (2008) Eduprogreso, S, A Sto. Domingo, Rep. Dominicana.
- Folk, R. L. y Ward, W. C., "Brazos River Bar. A Study in the Significances of Grain Size Parameters," *Journal of Sedimentary Petrology*, (27) 3-26, 1957.
- García, C. I. (2001): *La Costa Rocosa*. Departamento de Biología, Colegio Universitario de Humacao, Puerto Rico. En: [http://cuhwww.upr.clu.edu/~cgarcia/ecologia costanera/Clase/rocosa/texto-cr.htm](http://cuhwww.upr.clu.edu/~cgarcia/ecologia%20costanera/Clase/rocosa/texto-cr.htm), [Revisado 19/Marzo/2004].
- García, C. I. y A. Cortés (2001): *Las playas de arena de Puerto Rico*. Departamento de Biología, Colegio Universitario de Humacao, Puerto Rico. En: <http://cuhwww.upr.clu.edu/~cgarcia/ecologiacostanera/Clase/pla-doc/playa-2001.htm>, [Revisado 19/ Marzo/2004].
- García, C., "Actuaciones para el control de la erosión en playas biogénicas. El caso de la playa de Varadero". Tesis de Doctorado. Instituto de Oceanología, 2005.
- García, C., Juanes, J. L., Izquierdo, M., Álvarez, A., Hernández, K., Fonseca, V., Salazar, H., Rivas, L. y Felipe, M. "Alimentación artificial de arena en Varadero. Ejecución y efectividad". Memorias del Congreso MARCUBA' 2000. Ciudad de La Habana. (22), 2000.
- García, C., Juanes, J. L., Izquierdo, M., Álvarez, A., Salazar, H., Felipe, M., Martell, R., Tristá, E., Peña, L., Hernández, K. y Rivas, L. "Recuperación de la playa de Varadero. Proyecto, ejecución y monitoreo". XIV Forum de Ciencia y Técnica, Ciudad de La Habana, (65), 2001.
- García, C.; y col. 1999. Informe de la efectividad de los vertimientos de arena en varadero correspondiente al mes de julio de 1999. Informe inédito. Instituto de Oceanología.
- García, G. y Juanes, J. L., "Beach erosion and mitigation: The case of Varadero beach". Conference Workshop on Small Island Oceanography. UNESCO, Fort de France, Martinique, 1993.

- Geraldes F. (1982), en "Los efectos del Huracán David y la Tormenta Federico en el arrecife de coral de Boca Chica", CIBIMA, Univ. Aut. de Santo Domingo, Contrib. Num 27.
- Geraldes F. e I. Bonnelly de Calventy (1978). Los arrecifes de coral de la costa sur de la República Dominicana. *Ecología y Conservación*: pp 95-107.
- Goda, Y., "A Synthesis of Breaker Indices," *Transactions of the Japanese Society of Civil Engineers*, 2 (2), 1970.
- Grassa, J. M. (1993): Modelo matemático de refracción-difracción REFDIF10. Centro de Estudios de Puertos y Costas de España, Madrid, 42 p.
- Gravens, M. B., Kraus, N. C. y Hanson, H., "GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change - Report 2 Workbook and System User's Manual", Technical Report CERC-89-19, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.
- Hallermeier, R.J., "Fall velocity of beach sands", Coastal Engineering Technical Note, -II-4. Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS., 1981.
- Harris, D.L., "Meteorological Aspects of Storm Surge Generation," *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, HY7 (1859) (25), 1958.
- Heredia F. "Dunas Costeras de la República Dominicana. Biodiversidad y Conservación". Publicaciones de la UASD. Vol. DCCCXC. 1998.
- Gustavo Córdova Narbona (1987). Geodesia tomo 1, 2. Editorial Científico Técnica. Ciudad de la Habana.
- Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, (1983). Instrucción técnica para la mapeación topográfica para las escalas 1/10 000, 1/5000. Cuba.
- Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1983). Manual de Símbolos Convencionales para las escalas 1/10 000, 1/5000. Cuba.
- Irribarren, R. (1964): Corrientes de ola, revista de Obras Públicas.
- Juanes, J. L., García, C., García, G., "Research and measures for beach preservation: the case of Varadero Beach, Cuba". Conference on Coastal Change. Intergovernmental Oceanographic Commission, Workshop Report (105), Bordomer, France, pp. 233 - 241, 1995.
- Juanes, J. L., García, C., y Álvarez, A., "Proyecto vertimiento de arena. Varadero 1998". Instituto de Oceanología. Ciudad de la Habana. (30), 1998.
- Juanes, J.L.; Ramírez, E.; Caballero, M.; Medvediev, V.S.; Yurkevich, M.G. 1986. "Dinámica de los sedimentos en la península de Hicacos, Cuba. II. Efecto de las olas de viento en la zona costera". *Ciencias de la tierra y del espacio*. N° 11.

- Komar, P. D. (1973): Beach processes and sedimentation. Editor Prentice-Hall, USA. 300 p.
- Kriebel, D. L., "Verification Study of a Dune Erosion Model," *Shore and Beach*. 54 (3) 13-21, 1986.
- Kriebel, D. L., and Dean, R. G., "Numerical Simulation of Time-Dependent Beach and Dune Erosion," *Coastal Engineering*, (9) 221-245, 1985.
- Kriebel, D. L., "Beach and Dune Response to Hurricanes," M. S. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, NJ, 1982.
- Krumbein, W. C., "Size Frequency Distribution of Sediments," *Journal of Sedimentary Petrology*, (4) 65-77, 1934.
- Krumbein, W. C., "Size Frequency Distributions of Sediments and the Normal Phi Curve," *Journal of Sedimentary Petrology*, (18) 84-90, 1938.
- Krumbein, W. C., and Sloss, L. L., "Stratigraphy and Sedimentation," (4), *Properties of Sedimentary Rocks*, W. H. Freeman & Company, 93-149, 1963.
- Lake Okeechobee, Florida" Hydrometeorological Report (32), U.S. Weather Bureau, Washington, D.C., 1954.
- Laurence G.R.O. (1971). Métodos cartográficos. Londres.
- Leontev, I. O. (1985): Sediment transport and beach equilibrium profile. *Journal Coastal Eng.* Vol. 9, 277-291 p.
- Longuet-Higgins, M.S. y Stewart, R.W., "A Note on Wave Setup," *Journal of Marine Research*. 21 (1) 4-10, 1963.
- Lugo, A. y S. C. Snedaker (1974). The ecology of mangroves. *Ann. Rev. Ecol. Systematics* 5: 39-64.
- Magellan, (1998). User Manual. Magellan GPS Tracker by Magellan System Corporation. 79pp
- Maiklem W. R., "Some hydraulic properties of bioclastic carbonate grains". *Sedimentology*, (10) 101-109, 1968.
- MATLAB, Versión 5.0.0.4069. MathWorks. Inc.
- Moore, B. D. (1982): Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height. M. Sc. Thesis. Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark. 100 p.
- Munk, W.H., "The Solitary Wave Theory and Its Application to Surf Problems," *Annals of the New York Academy of Sciences*, (51) 376-462, 1949.
- Myers, V.A., "Characteristics of United States Hurricanes Pertinent to Levee Design for Naciones Unidas (1982), Documentos técnicos de la cuarta Conferencia de las Naciones Unidas sobre Normalización de nombres Geográficos. Ginebra.

- NCDC. NOAA <http://navy.ncdc.noaa.gov/products/gtcca/gtccamain.html> Global Tropical Cyclone Climatic Atlas
- Onishenko, E. L., "Acerca de la sedimentación de las partículas sólidas en líquidos viscosos". (en ruso). Revista Meteorología e Hidrografía. (9), 1978.
- PC Global Wave Statistics (1988): Data of waves for Dominicana, squared 47. BMT Ltd.
- Pope, J., "Responding to Coastal Erosion and Flooding Damages", *Journal of Coastal Research*. 13 (3) 704-710, 1997.
- Ramírez, E. "Caracterización geomorfológica del litoral norte Habana Matanzas". Tesis. Archivo Científico. Cuba. Instituto de Oceanología, (100), 1989.
- Ramírez, E., García, C., Martell, R. y Felipe, M., "Estudio de factibilidad para la regeneración de la playa de Juan Dolio. República Dominicana. Memorias del Congreso MARCUBA' 2000. Ciudad de La Habana (23), 2000.
- Ramírez, E.; J. L. Díaz; A. N. Camacho; E. Pérez; L. I. Peña; A. Hernández (2002): Factibilidad Ingeniero-Ambiental para la Restauración de la Playa Corbanitos, Baní, República Dominicana C-2002-A-18.
- Rogers C.S., G. Garrinson, R. Grober, Z-M Hillis y M.A. Franke, (2001). Manual para el monitoreo de Arrecifes de Coral en el Caribe y el Atlántico occidental. The Nature Conservancy and the World Wildlife Fund, Islas Vírgenes.
- Shore Protection Manual. CERC. Corp Army. USA, 1984.
- Shuisky, Y. D. and Schwartz, M. L., "Basic principles of sediment budget study in the coastal zone". *Journal Shore and Beach* (1), 1983.
- STATISTICA, versión 4.2 de StatSoft, Inc.
- Stoddart, D. R., "Coral Reef: Research Methods", Editorial UNESCO, 53-66, 1978.
- Suarez More(1971) Introducción a la Morfología Litoral. Inédito.
- Troncoso, B. (1986.) Regiones Geomorfológicas de la Isla Española o de Santo Domingo. Editora Universitaria. UASD. República Dominicana.
- Valdez, G.Mateo, JM. (1992), Sistema de Áreas Protegidas de República Dominicana. Ed. Taller Isabel la Católica 309, Santo Domingo. Rep. Dominicana.
- Vanoni, V. A., "*Sedimentation Engineering*". American Society of Civil Engineers, Manual 54, 1975.
- Vellinga, P. 1983. "Predictive computational model for beach and dune erosion during storm surges". Proceedings American Society of Civil Engineers, Specialty Conference on Coastal Structures.
- Zenkovich, V. P. y Ionin, A. S. "Breve resumen de las investigaciones de la estructura y dinámica de la zona litoral de la Isla de Cuba". Serie Oceanológica. 8, 1969.



Esta edición de *Geomorfología costera y regeneración de playas en República Dominicana*, con una tirada de 1,000 ejemplares, se terminó de imprimir en el mes de agosto de 2014, en los talleres gráficos de Editora Búho, en Santo Domingo, República Dominicana.



INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
SECCIÓN NACIONAL DE REPÚBLICA DOMINICANA

ISBN: 978-9945-475-27-2

