

Playa de Varadero, península de Hicacos, Cuba: formación y evolución de su relieve y experiencias ambientales de su regeneración artificial

José Ramón Hernández Santana*
Ramiro Reyes González**

Recibido: 4 de julio de 2002
Aceptado en versión final: 29 octubre de 2002

Resumen. Uno de los sistemas más frágiles de la superficie terrestre lo constituye el litoral, fundamentalmente en sus sectores acumulativos, como las playas. Las regeneraciones artificiales, como los vertimientos de arena, representan una de las vías para su enriquecimiento sedimentario y estabilidad temporal, propicias para su protección medioambiental y desarrollo sustentable.

Este trabajo amplía los conocimientos esenciales sobre la estructura, morfología, morfometría, génesis y dinámica del relieve peninsular de Hicacos, en particular en su sector más septentrional, para su uso y manejo optimizado; propone un modelo evolutivo de su consolidación geomorfológica; presenta y trasmite las experiencias ambientales del vertimiento de arena de la playa de Varadero de 1998, como medida regenerativa cardinal de la recuperación de la playa; y dicta un conjunto de medidas preventivas y correctivas, que favorecen la estabilidad de las condiciones geomorfológicas, en armonía con las obras hoteleras y de servicios construidas, en construcción y proyectadas.

Palabras clave: Evolución geomorfológica, sistemas costeros, regeneración de playas.

Varadero Beach, Hicacos Peninsula, Cuba: relief génesis and evolution, and environmental experience linked to its artificial regeneration

Abstract. The coastal system constitutes one of the most fragile systems of the Earth's surface, specially in cumulative areas such as beaches. Dumping sand is one of the main ways to artificially promote the sedimentary enrichment and temporary stability of beaches, thus contributing to their environmental protection and sustainable development.

The present work improves our knowledge on the structure, morphology, génesis and dynamics of the peninsular relief of Hicacos, Cuba, fundamentally at its northern sector, focusing on its use and optimized management. The study proposes an evolutionary model for its geomorphological consolidation; it describes the environmental experiences related to dumping sand in Varadero beach in 1998 as a beach-recovering measure, and suggests a number of preventive and corrective measures that favor geomorphic stability, in harmony with current and projected resorts and services.

Key words: Geomorphological evolution, coastal systems, beach regeneration.

INTRODUCCIÓN

Cuba, con un excelente patrimonio natural, integrado por más de 3 000 km de costas y más de 300 playas, posee una evidente aptitud para el desarrollo turístico, lo que, unido a la voluntad política gubernamental, permite vislumbrar para su economía nacional rápidos y grandes ingresos en moneda

libremente convertible.

Paralelamente a esas oportunidades económicas existen serias amenazas, tanto de carácter natural como antrópico, que deben considerarse por los inversionistas y proyectistas durante la planificación y construcción de la infraestructura de servicios en tan sensibles y frágiles geosistemas litorales.

* Instituto de Geografía, UNAM, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F.

** Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Calle 13 No. 409 esquina a F, Vedado, C. P. 10 400, La Habana, Cuba.

En primer lugar, es imprescindible conocer profundamente la estructura y funcionamiento entre los diferentes componentes naturales (características lito-estratigráficas, estructurales y geotécnicas del sustrato geológico; rasgos morfológicos, morfométricos, genéticos, morfoestructurales y dinámicos del relieve, tanto emergido como submarino; régimen climático anual y estacional, y susceptibilidad a procesos y fenómenos hidrometeorológicos peligrosos, su vulnerabilidad y riesgos; regularidades del escurrimiento superficial y subterráneo; relaciones entre los tipos de suelos y la vegetación, la flora y la fauna, y sus hábitats; las interrelaciones funcionales entre los distintos geosistemas, entre otros aspectos del entorno y socioeconómicos (sistema de asentamientos, características demográficas de su población, peculiaridades de la organización espacial y ramal de la economía, infraestructura de transporte y otras actividades humanas) del medio ambiente del gran sistema litoral.

En este sentido, y como requisito indispensable pre y post-vertimiento, los autores ejecutaron el levantamiento detallado del relieve frágil de la península, con vistas a conocer su estructura, morfología y dinámica, y sentar las bases para adecuados trabajos de proyectos constructivos, que garanticen el desarrollo sostenible del denominado Polo Turístico.

En segundo orden y a partir de ese nivel cognoscitivo, se deben precisar las bases del adecuado ordenamiento ambiental, incluidas las concepciones de las obras infraestructurales previstas, de forma que las modificaciones ingenieras y constructivas de los proyectos en el territorio no rompan el equilibrio dinámico de su autodesarrollo y autorregulación, y estén sustentadas sobre una plataforma ambientalista.

Como parte de esa voluntad nacional por el desarrollo sustentable del sistema litoral, y a partir de investigaciones morfodinámicas

desarrolladas por el Instituto de Oceanología de Cuba, durante el período 1978-1996, Juanes *et al.* (1998) fundamentaron el proyecto científico-técnico para el vertimiento de arena de la playa de Varadero (Figura 1) en 1998, ejecutado por la Compañía Holandesa de Dragado Internacional IDC D. Blankevoort, contando con el arbitraje internacional de la empresa española GENECA, S.A. y la consultoría ambiental de la empresa mixta cubano-española CESIGMA, S.A. El autor principal de este trabajo representó a la referida empresa ambiental, bajo contrato de la IDC D. Blankevoort, entre el 29 de junio y el 26 de agosto de 1998.

En este sentido, se persiguen los siguientes objetivos: a) Ampliar conocimientos esenciales sobre la estructura, morfología, morfometría, génesis y dinámica del relieve peninsular de Hicacos, fundamentalmente en su sector más septentrional, para su uso y manejo optimizado, b) Proponer un modelo evolutivo de su consolidación geomorfológica. c) Presentar y transmitir las experiencias ambientales del vertimiento de arena de 1998, como medida regenerativa central de la recuperación de la playa, d) Proponer un conjunto de medidas preventivas y correctivas, que favorezcan la estabilidad de las condiciones geomorfológicas, en armonía con las obras hoteleras y de servicios construidas, en construcción y proyectadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis y la interpretación del relieve peninsular de Hicacos, se emplearon los métodos siguientes:

Análisis del relieve emergido mediante el empleo de los mapas hipsométricos y los planos topográficos (1: 5 000 y 1:10 000): permitió obtener una visión cualitativa y una caracterización cuantitativa del relieve, proporcionando

MAPA DE LA REPÚBLICA DE CUBA



Figura 1. Localización geográfica de la playa de Varadero, península de Hicacos, provincia Matanzas, Cuba.

datos sobre la diferenciación de los movimientos neotectónicos, el grado de su disección, las direcciones predominantes de las zonas de fallas y morfoelementos lineales, así como los rasgos generales y locales de sus categorías geomorfológicas. Este método constituye la base principal para los cálculos cuantitativos y una de las primeras etapas del estudio geomorfológico. Para ello, fueron utilizados los planos topográficos 1: 5 000 (hojas 1 y 2) y 1: 10 000 (hoja única), elaborados por la Empresa GEOCUBA de Matanzas en el 2001, con sistema de coordenadas Cuba Norte y el sistema de alturas "Siboney", con curvas de nivel a intervalos de 1 m.

- Análisis de las fotos aéreas: facilitó la caracterización morfológica litoral del relieve, de determinadas formas y complejos geomorfológicos, así como la determinación de los límites de su contraste. En el trabajo de fo-

tointerpretación se utilizaron las fotos a escala 1: 8 000 (números 277-280, 284-286, 291-295, 310-311, 315-316, 325, 304, 307-309, 330 y 388-389) del 15 de junio de 1995, y los materiales a escala 1: 30 000 (líneas de vuelo VG-L87-33/34, VG-L86-29/30/31) del 7 de agosto de 1997.

- Análisis de los elementos lineales del relieve: permitió la determinación de los sistemas de fallas, morfoalineamientos y grietas de distinta orientación, y la formulación de la diferenciación estructuro-geomorfológica del territorio, con base en el enfoque estructuro-geomorfológico de Hernández *et al.* (1994, 1995) -tomando en consideración los resultados geomorfológicos en Cuba occidental (Díaz, 1986).
- Análisis de los niveles de planación (sistemas de llanuras, terrazas y sus fragmentos) del estudio del relieve:

permitió establecer la diferenciación de los bloques morfoestructurales, a partir de la presencia, extensión y distribución de las distintas superficies. Paralelamente, ofreció información sobre el espectro genético de tipos geomorfológicos del relieve.

- Mapeo geomorfológico expedicionario: constituyó el soporte básico de las investigaciones sobre la geomorfología peninsular, fundamentalmente de Punta Hicacos, incluyendo un "bojeo terrestre" a lo largo de todas sus costas, así como transectos internos de orientación noroeste-sureste.

En la preparación del proyecto regenerativo de la playa de Varadero (Juanes *et al.*, 1998) y en las tareas del vertimiento de arena, se emplearon los métodos siguientes:

- Métodos morfodinámicos cuantitativos: durante un periodo de 18 años (1978-1996), incluyendo la etapa post-vertimiento, Juanes *et al.* (1998) iniciaron investigaciones sobre la transportación de sedimentos a lo largo de la costa, sobre los cambios morfológicos derivados de dicho proceso en verano e invierno, mediante el empleo de nivelaciones geodésicas del perfil terrestre en 11 puntos en la península.
- Método regenerativo de playa mediante vertimiento de arena con draga de succión en marcha: en la ejecución del proyecto inicial de vertimiento de 1 000 000 de m³ de arena a lo largo de 12 km de playa (desde los hoteles Meliá Sol-Palmeras, Varadero y Las Américas hasta el Hotel Oasis), -finalmente se vertieron 1 087 835 m³ (GENECAR, 1998)-, fue utilizada la draga de succión en marcha ALPHA -B, la que en

las tareas del vertimiento realizó un total de 285 viajes con una media de cantara de 3 817 m³, entre la zona de préstamo de la Cuenca de Mono, localizada a unos 20 km al NE de la playa, dentro de la plataforma occidental del archipiélago de Sabana-Camagüey.

EVOLUCIÓN CUATERNARIA TARDÍA DE LA PENÍNSULA DE HICACOS

Desde el punto de vista estructuro-geomorfológico, la formación de la península de Hicacos ha estado condicionada por el control tectónico de la falla Hicacos, de dirección NE y de extensión regional, pues atraviesa diagonalmente, hacia el SW, la porción centro-oriental de la provincia La Habana, configurando el eje de la bahía de Matanzas y cortando las alturas de Bejucal - Madruga - Coliseo (en las cercanías del poblado de Madruga), hasta su proyección hacia el extremo noroccidental de la provincia Matanzas. Esta falla está claramente trazada en el mapa de alineamientos del Nuevo Atlas Nacional de Cuba (Pérez, 1989). Este notable elemento tectónico determina el diseño del pie del talud insular, del borde de la plataforma y de las líneas costeras antigua y actual de la península. Además, constituye el límite estructural occidental del gran archipiélago septentrional cubano Sabana-Camagüey.

De acuerdo con las investigaciones de Orbera (1989), esta estructura disyuntiva mantuvo gradientes geodinámicos intensos durante la etapa neógeno-cuaternaria de su consolidación y ha reportado ligera actividad sísmica en los últimos años (González, comunicación personal).

Durante el Cuaternario, a lo largo de la falla Hicacos se manifestaron movimientos tectónicos verticales diferenciados, los cuales determinaron contrastes geomorfológicos en los elementos del relieve submarino de la

plataforma insular, con la formación alineada, siguiendo el sentido de la falla, de pequeños cayos e islas en su sector frontal, los cuales durante la etapa pleistocénica tardía y holocénica de la evolución, fueron unidos a la isla de Cuba por los procesos acumulativos marinos (Figura 2). Estos depósitos se estabilizaron bajo evidente tendencia emergente de la región, la protección y defensa de la vegetación de los complejos de costa arenosa y de manglares, así como se enriquecieron por los aportes biogénicos de las comunidades coralinas y las algas calcáreas, productoras de arenas.

Las calizas organógenas y arenas del Grupo Jaimanitas y las calcarenitas de la Formación Varadero constituyen el sustrato geológico joven, sobre el cual se depositaron los sedimentos sueltos, que actualmente yacen sobre la superficie del territorio. Son rocas porosas, con presencia de oquedades y en ocasiones recristalizadas y agrietadas.

El diseño estructural longitudinal y diagonal noreste del relieve de la península, controlado tectónicamente por la falla Hicacos, determina una zonación geomorfológica, de NW a SE, para casi todo el territorio: sector

de playa; sector de cadenas de dunas; superficie aplanada arenosa de la llanura abrasivo-acumulativa holocénica tardía de 0.5-1.0 m de altitud y superficie pantanosa de la llanura palustre holocénica tardía de 0.5 a 1.0 m de altitud. Este esquema cambia en aquellos lugares donde los ascensos tectónicos pleistocénicos fueron más intensos, destacándose un espectro más amplio de llanuras, terrazas y sus fragmentos de edades pleistocénicas tardías (10-15, 5-7 y 2-3 m), como ocurre en el sector Hicacos, en el extremo norte de la península.

Esta diferenciación transversal de los movimientos neotectónicos pleistocénicos encuentra reflejo en el desarrollo morfoestructural marino (espectro de terrazas) de la península. El análisis geomorfológico del perfil longitudinal muestra los máximos ascensos en los sectores del antiguo acueducto Dupont-Hoteles Meliá, y en Punta Hicacos; los ascensos moderados en los sectores del Parque Josone y del Gran Hotel-Ambrosio; y los débiles en los sectores de la Dársena-Pueblo de Varadero, las parcelas de Los Taínos-Marina Chapelín y el de la Marina Puerto Sol, de Punta Hicacos.

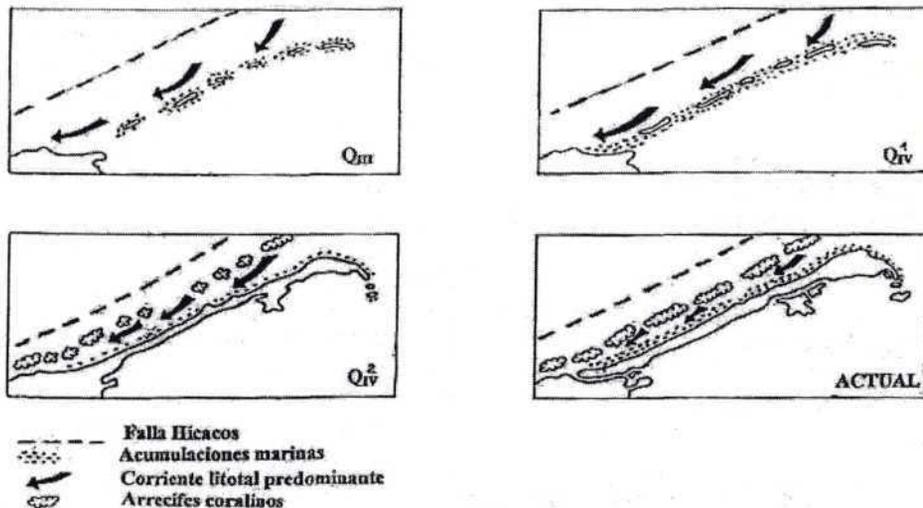


Figura 2. Evolución cuaternaria de la península de Hicacos.

Este análisis fundamenta la consolidación de la península bajo la influencia diferenciada de los movimientos tectónicos cuaternarios tardíos y la acción de los procesos de acumulación marinos durante el Holoceno. La dinámica transgresiva del mar contribuyó, tanto a la unión entre los promontorios abrasivos como al desarrollo de llanuras abrasivo-acumulativas periféricas a ellos.

MORFOESTRUCTURA Y MORFOESCULTURA PENINSULAR: PRINCIPALES TIPOS Y FORMAS DEL RELIEVE

Atendiendo a las etapas evolutivas, a la constitución geológica, al plano estructural y a los espectros de niveles geomorfológicos marinos, la morfoestructura de la península de Hicacos se puede clasificar como un sistema diferenciado de bloques morfoestructurales alineados por el rumbo (falla Hicacos) y alterno de geoformaciones peninsulares cuaternarias tardías (Pleistoceno superior, piso medio-tardío al Holoceno).

En general, de acuerdo con el grado de reelaboración morfoescultural o modelado geomorfológico exógeno, sobre esta morfoestructura joven se encuentran dos niveles básicos de tipos de relieve:

- Las llanuras, terrazas y fragmentos formados por débiles ascensos pleistocénicos, con un carácter estructuro-abrasivo con manifestaciones kársticas, sobre rocas calcáreas (calizas, calcarenitas) del Pleistoceno medio-superior.
- Las llanuras formadas por muy débiles ascensos pleistocénicos tardíos-holocénicos, transgresivas, acumulativas (marinas y palustres), sobre formaciones arenosas y arcillo-turbosas jóvenes del Pleistoceno superior tardío al Holoceno.

Dada la edad del sustrato geológico y del espectro geomorfológico de superficies marinas y palustres, se encuentran como cate-

gorías básicas del relieve sólo las llanuras más jóvenes, con una génesis abrasiva y abrasivo-acumulativa marina, y acumulativas marina y palustre.

Como se puede observar en el mapa geomorfológico del extremo norte de la península a escala 1:10 000 (Figura 3), dentro de los principios clasificativos clásicos se adoptaron también la génesis, el grado de disecación y fragmentación, el piso altitudinal, la morfología, la presencia de otros procesos del modelado, la edad y el complejo poligenético de formas del relieve (marinas, tectónicas, kársticas, denudativas, fluviales, biogénicas y antrópicas).

Dada la juventud geomorfológica de la península se ha introducido, por primera vez en la historia del mapeo geomorfológico nacional, la edad histórica en años antes del presente (a.p.) de las formas antrópicas, junto a las edades geológicas de los tipos y formas del relieve. Este aspecto puede contribuir en el futuro a las reconstrucciones paleogeográficas e históricas del medio ambiente en el territorio.

El relieve emergido, al norte, presenta un sistema de morfoelementos, formados por la acción conjunta de los procesos marinos litorales, los eólicos, los gravitacionales y los biogénicos, reflejados en la playa, la berna y las cadenas de dunas, los cuales descansan sobre la llanura abrasivo-acumulativa holocénica tardía.

En algunas áreas, como en el sector occidental del Gran Hotel-Ambrosio, a la llanura abrasivo-acumulativa del Holoceno tardío se adosa paragenéticamente una llanura palustre de idéntica edad. Cabe destacar la existencia en este sector de los restos de la llanura abrasiva baja del Holoceno temprano, sobre los cuales descansa el Gran Hotel y de otros restos cercanos al futuro Hotel Hicacos.

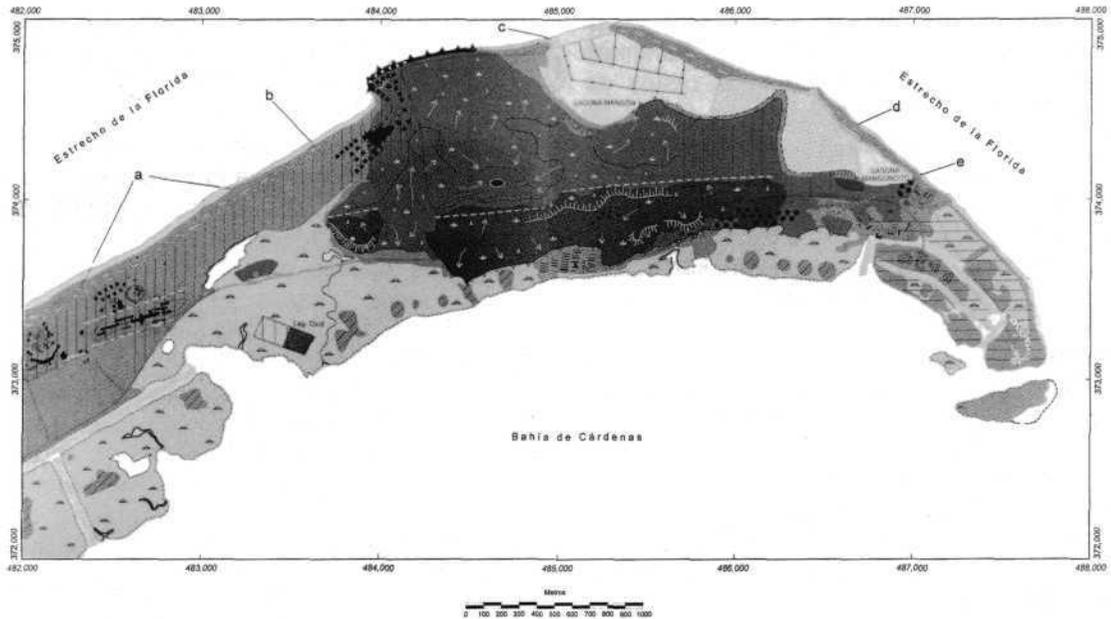
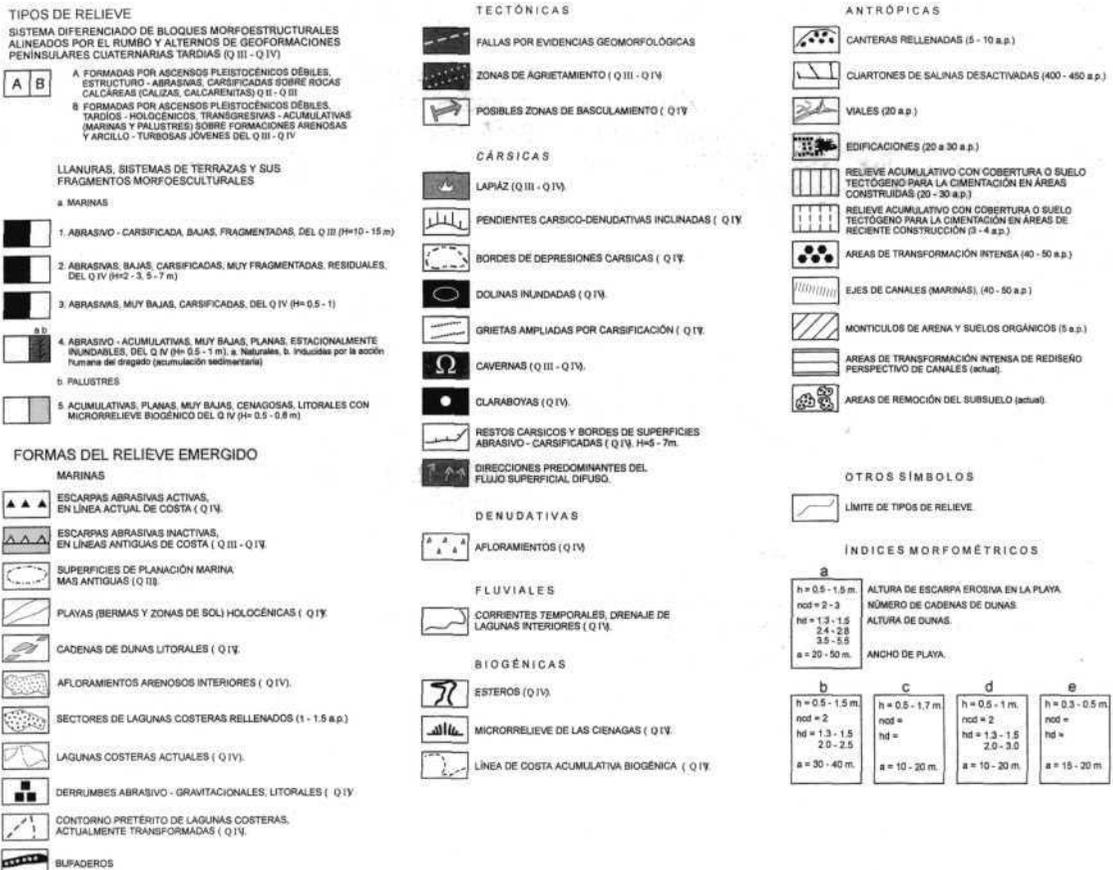


Figura 3. Geomorfología del sector nororiental de la península de Hicacos.



Al norte, pero al este de este sector, en la Punta Rincón Francés, actual asentamiento del Hotel Paradisus, afloran los restos de una llanura abrasiva activa, baja, litoral, de edad Holoceno tardío. Una de las características significativas de este tipo de relieve es la existencia de profundos nichos abrasivos con bufaderas a unos 3-5 m de la costa, ampliados por la disolución kárstica, y que bajo el influjo de la fuerza de gravedad contribuyen a la formación de derrumbes litorales. En las cercanías de dicho Hotel (al igual que en el sector Hoteles Meliá), se aprecian generaciones de este tipo de formas con diferentes dimensiones, motivado por el basculamiento de la superficie de la llanura hacia ENE-E, con una diferencia altimétrica que oscila entre 0.5 y 1.5 m. Sobre la superficie de esta llanura se desarrollan intensos procesos disolutivos que determinan la presencia de lápez o "dientes de perro" agudos, con una profundidad de disolución entre 10-20 cm.

Al sur de la Laguna Mangón existen los fragmentos de la llanura más antigua de todo el territorio con una edad del Pleistoceno superior tardío ($H = 10-15$ m) y la mayor amplitud de las llanuras del Holoceno temprano ($H = 2-3, 5-7$ m), sobre la cual existe amplio desarrollo del *karst*. Por su parte meridional, se extienden grandes y profundos nichos abrasivos, que atestiguan la gran energía del mar en el Holoceno temprano. Estos nichos, actualmente pasivos, presentan un carácter de continuidad a lo largo de toda la antigua línea de costa.

Entre esta llanura pleistocénica tardía y las llanuras más bajas del Holoceno tardío, se desarrollan dos niveles de terrazas del Holoceno temprano con altitudes de 2-3 y 5-7 m, sobre las cuales se desarrollan intensos procesos de karstificación. Este nivel de llanuras es el más generalizado a lo largo de toda la península, desde el Parque Josone hasta la Punta de Hicacos.

REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LA PLAYA DE VARADERO: TECNOLOGÍA DEL DRAGADO Y VERTIMIENTO DE ARENA

Las investigaciones realizadas desde 1978 reportaban una tendencia erosiva irreversible con una pérdida de arena promedio de $50\ 000\ m^3$ /año (Juanes, 1996). Entre las principales causas de dichas pérdidas se sitúan, según Juanes *et al.* (1998), la extracción de la plataforma submarina, entre 1968 y 1978, de unos $990\ 000\ m^3$ de arena para las actividades constructivas; el establecimiento inadecuado de instalaciones sobre las dunas, lo que favorece la acción erosiva del oleaje; la proyección hacia el mar profundo de los flujos sedimentarios del litoral, por los diseños perpendiculares a la costa de los espigones del canal de Paso Malo; y el ascenso del nivel medio oceánico, que afecta a gran parte de las playas del mundo.

En este sentido, se definieron dos tipos de medidas: las correctivas y las regenerativas. Entre las primeras está la supresión de todas aquellas causas degenerativas, tales como, la prohibición de extracciones de arenas de la plataforma; la demolición de las instalaciones sobre las dunas y su reconstrucción, tierra adentro, por detrás de ellas; entre otras medidas. En cuanto a las segundas, se iniciaron las acciones de alimentación artificial, en dos momentos: entre 1987 y 1997, con $763\ 000\ m^3$ (Juanes *et al.*, 1998); y en el verano de 1998, con el vertimiento de $1\ 087\ 835\ m^3$, desde Punta Chapelín hasta la playa del Oasis, con una longitud total de 12 km.

Como fundamento científico-técnico de la referida alimentación artificial, el Instituto de Oceanología, como proyectista de la ejecución, elaboró el proyecto para el vertimiento (Juanes *et al.*, 1998), basado en las investigaciones siguientes:

- Estudio morfodinámico durante 18

años, con la elaboración de los perfiles de playa en 11 puntos clave del monitoreo, dos veces al año (verano e invierno).

Análisis de los efectos de eventos meteorológicos extremos (huracanes y frentes fríos severos).

Fundamentación teórica de la efectividad del vertimiento, practicando varios escenarios: comparación evolutiva del perfil de playa con y sin vertimiento; perfil conformado inmediatamente después de concluido el vertimiento; comparación de la evolución del perfil de playa con y sin vertimientos y con construcciones. Semejante análisis permitió a los referidos autores establecer el volumen medio de arena por metro lineal de playa, que aunque fue diferenciado, alcanzó un máximo entre 100 y 120 m³. Este parámetro es de vital significado para el control del vertimiento de arena y el alcance de la efectividad del mismo en el futuro.

Selección y delimitación de la zona de préstamo en la cuenca de Mono, al sur de Cayo Mono. Para ello se estudiaron sus características batimétricas y factibilidad para las operaciones del dragado. Paralelamente, el Departamento de Procesos Costeros del Instituto de Oceanología elaboró el mapa de espesores de sedimentos a escala 1: 5 000, para el sector definido para la extracción, con 1.7 km² con espesores superiores a 2 m y un volumen general de reserva equivalente a 5 000 000 m³ de arena.

Muestreo sistemático de la calidad de arena nativa de la Playa de Varadero y de la arena a introducir desde la cuenca de Mono. Ambos

tipos de sedimentos poseen un origen biogénico común, pero sus diámetros son ligeramente diferentes, la nativa con Md. 0,26 mm y la introducida con Md. 0.38 mm. La composición de la arena nativa arrojó 40% de algas calcáreas, 20% de restos de moluscos y 25% de foraminíferos, mientras que para la introducida 41% de algas calcáreas, 28% de restos de moluscos y 23% de foraminíferos, lo que las acerca desde el punto de vista de su composición.

- Sondeo del área del proyecto de vertimiento entre el Instituto de Oceanología y la empresa belga Declodt en Zoom durante 1997, mediante una ecosonda DESO-10 con transferencia a una computadora y bajo el control de posicionamiento de los perfiles de control y los puntos con un equipo GG-24, que facilitó la ubicación precisa de las coordenadas geográficas (GPS). En total, se realizaron 21 perfiles de control perpendiculares a la costa, desde profundidades de 2-3 m en fondo arenoso hasta 13-15 m en la zona rocosa.

El proceso de vertimiento de arena se caracterizó por el empleo de una alta tecnología ingeniera y ambiental en grandes escalas operacionales. Este proceso ejecutivo consistió de varias etapas, a saber:

Etapas organizativas, de movilización y preparatoria: contempló la elaboración de un cronograma detallado, tanto de esta etapa preparatoria como de las ulteriores, ejecutiva y de desmovilización. En esta primera etapa, los trabajos fueron escalonados, arribaron al puerto de Cárdenas la patana y el remolcador VIKING, transportando todo el equipamiento, vehículos de carga, bulldozers, tanques móviles de reserva de

combustible, materiales e insumos, talleres, etc. Desde el referido puerto, distante unos 15 km de Varadero, se transportaron las tuberías y todo los contenedores hasta la playa de Punta Hicacos, extremo norte de la península, para el ensamblaje, por soldadura eléctrica, de 1 km de tubería metálica de 0.8 m de diámetro, en condiciones de una playa de perfil suave y con una distancia rectilínea que permitiese el trabajo, evitando la combadura de la estructura de tubería. El soporte para garantizarla estabilidad horizontal durante la unión de los tubos fue creado con bancos de la propia arena de la playa, con lo cual no se introdujeron elementos y materiales ajenos a la naturaleza del litoral, el cual mantuvo sus condiciones iniciales.

El 25 de junio de 1998, coincidiendo con el arribo y fondeo de la draga de succión en marcha ALPHA-B en Varadero, la estructura soldada de tubería metálica fue inyectada con aire a presión por dos compresores, con vistas a su arrastre por flotación desde el remolcador y a su acople con la tubería de caucho flotante y a la draga. Ya en condiciones perpendiculares a la costa, se sumergía el sistema de tubería metálica y la etapa ejecutiva había comenzado.

Etapa ejecutiva, con la presencia de la draga ALPHA-B y el ensamblaje del sistema de tuberías submarinas y flotantes, se inició la etapa de ejecución del proyecto. Bajo estrictas normas ambientalistas, para cada posicionamiento del vertimiento se procedía al arrastre por el remolcador del sistema de tuberías, su inmersión cuidadosa, evitando el microrrelieve submarino abrupto, su consolidación a tierra y su paulatino crecimiento en forma de T, con tuberías y codos suplementarios, a lo largo de la playa y en ambas direcciones, en una distancia de 2 km a cada lado, con lo cual se garantizaba la óptima distribución de la arena, de acuerdo a las densidades establecidas por metro lineal de playa en cada sector, se aumentaba la eficiencia del trabajo con la reducción del

tiempo de distribución por acomodo de arena con los *bulldozers* y se reducía el riesgo de accidente por la transportación de la tubería, al disminuir el número de los cambios de puntos de vertimiento. Además, con este procedimiento, se redujeron las acciones mecánicas y de recarga automotor sobre el perfil de la playa, evitando la ruptura de su equilibrio.

Una vez descargado el volumen de arena proyectado, los *bulldozers* se ocuparon del modelado del nuevo perfil de playa, reconstruyendo la duna y acumulando en ellas y en el sector de post-playa y berma, grandes volúmenes de arena, que después serán remodelados por el oleaje en su acción de restablecer un nuevo perfil de equilibrio.

Para cada viaje de vertimiento, se controlaba la hora de salida a la cuenca de préstamo, el tiempo de navegación vacía, la hora de inicio del dragado, la duración del llenado de la cantara de la draga, la hora de salida hacia el punto de vertimiento, el tiempo de navegación cargada, la hora de acople entre la draga y el sistema de tuberías, el tiempo total de acople, la hora de inicio del bombeo de arena, la duración del bombeo, la hora de desacople del sistema de tuberías con la draga, la duración del desacople, el volumen total cargado y el tiempo total del ciclo de vertimiento. Todas estas acciones se realizaron con una elevada eficiencia ejecutiva.

Para el arbitraje internacional del control del vertimiento, se estableció el registro por viaje, en los 12 puntos de control, marcados en la cantara de la draga y con el empleo del plano de cubicaje, para calcular la media, y a través de las tablas de registro, obtener el volumen de la cantara por cada viaje concreto. Para el control del vertimiento y garantizar el justo cumplimiento de lo establecido en el proyecto técnico y en el contrato, se registraba diariamente, el volumen vertido y su acumulado.

Etapa de desmovilización: como etapa final

del vertimiento, consistió en la concentración, acomodo y transportación de todo el equipamiento, así como los materiales e insumos no utilizados, propiedad de D. Blankevoort, para su traslado a Holanda.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES DE LA REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LA PLAYA POR EL VERTIMIENTO DE ARENA

El vertimiento de arena de la playa de Varadero reportó, tanto por el método de ejecución como por los beneficios alcanzados, un modelo positivo de regeneración, bajo la óptica de un desarrollo sustentable, entre los que podemos relacionar los siguientes:

- Los sectores de playa aumentaron, como promedio, en unos 40-50 m, con relación a su estado inicial, antes del vertimiento (Figura 4), lo que ha permitido una utilización cualitativamente superior del recurso recreativo durante los últimos cuatro años.
- El vertimiento desde el mar conserva los valores naturales e incluso antrópicos, al aumentar la velocidad de recuperación y propiciar la conservación del sistema litoral en su conjunto, por la ausencia total de modificaciones en los sectores de dunas y de berma. Estos morfoelementos del relieve de la playa fueron beneficiados por la regeneración, ganando en estabilidad y en consolidación.
- La existencia de un monitoreo morfodinámico sistemático durante 18 años, realizado por el Instituto de Oceanología, constituyó uno de los principales soportes para los cálculos de la densidad de las deposiciones de arena por metro lineal de playa, lo que garantiza una mayor estabilidad del litoral y una vida útil mayor de los efectos agradativos del vertimiento.
- La selección de la zona de préstamo sedimentario cumplió con los requisitos técnicos de análisis batimétrico y granulométrico de los sedimentos. Durante las labores de succión de la draga, fue trazada una malla de extracción lineal con control de GPS, que garantizó mínimas alteraciones al relieve acumulativo submarino de la plataforma, propiciando el desarrollo gradual de compensación de los sedimentos dentro de la cuenca de extracción,
- El carácter granulométrico cercano y genético idéntico entre las arenas nativa e introducida, garantiza la estabilidad del perfil de playa y preserva la estética de su percepción.
- Las mediciones topográficas iniciales, antes del vertimiento, con vistas al control de los niveles de deposición y conformación de la nueva superficie artificial, no dañaron la vegetación de playa ni del cordón de dunas, pues las señales de la nivelación se realizaron con cintas adhesivas reflectorizantes, cuidando evitar modificaciones en los ecosistemas.
- El modelado final (post-vertimiento) del relieve de la playa, se realizó tomando en consideración los gradientes de reposo de las arenas, evitando superficies pronunciadas y eliminando las huellas del equipamiento pesado, empleado en toda la etapa ejecutiva.
- En las operaciones marítimas y terrestres del vertimiento fueron empleadas tecnologías limpias, carentes de todo tipo de contaminación, como residuos sólidos y líquidos, afectaciones sonoras y daños mecánicos a los ecosistemas.

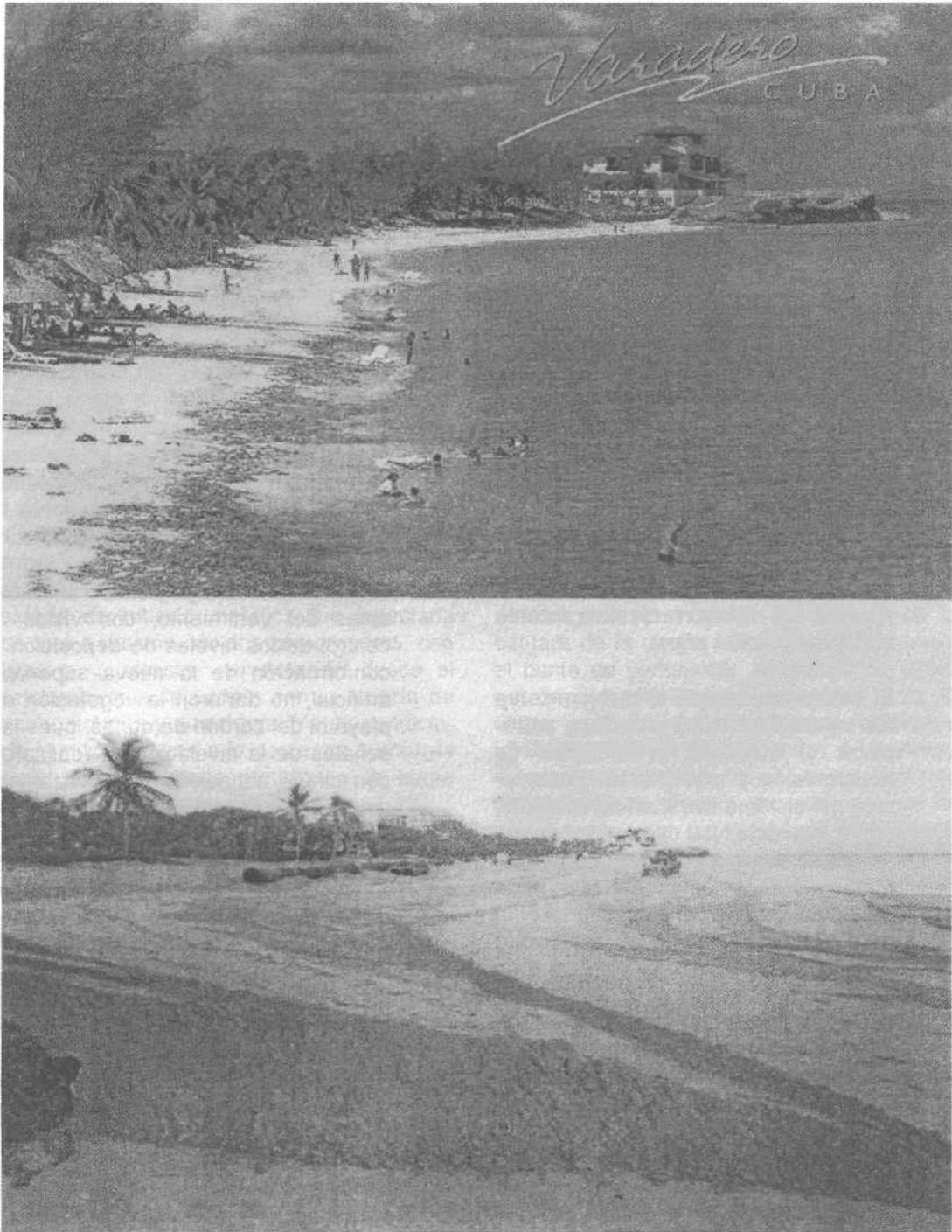


Figura 4. Vista general de la playa entre los hoteles Meliá Varadero y Sol Palmeras, antes (arriba) y después (abajo) del vertimiento de arena (foto: J. R. Hernández Santana, 1998).

MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE DEL SISTEMA LITORAL

Considerando la existencia de áreas con el manto freático poco profundo y la presencia de un subsuelo joven, friable, muy poco consolidado, en virtual equilibrio dinámico con los procesos litorales actuales, se recomienda la prohibición total de construcciones en los morfoelementos más frágiles, representados por la faja de playa, las cadenas de dunas y la llanura palustre.

Se recomienda aplicar sistemáticamente el Decreto-Ley de Protección de las Costas de la República de Cuba, referente al respeto de los 40 m entre el borde interior de la duna y el límite de la construcción proyectada, en el caso de costas acumulativas. Garantizar la presencia y contribuir a la extensión de la vegetación de playa arenosa, como medio de estabilizar el principal recurso natural de la misma.

Evitar las construcciones sobre la llanura abrasiva activa de Punta Rincón Francés, altamente vulnerable a los peligros de derrumbe, condicionados por el desarrollo de profundos nichos abrasivos, por debajo de su superficie y conectados a bufaderas y sistemas de grietas de despegue.

Mantener la protección de las cavernas marinas de Ambrosio, de los Musulmanes y otras, pues constituyen patrimonios arqueológicos y espeleológicos cubanos.

Bajo la amenaza futura del ascenso del nivel medio del océano mundial, es imprescindible el estudio del régimen de los movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre, con vistas a detectar posibles subsidencias de la península o de sectores diferenciados de la misma. La correlación de estos resultados con las variaciones dinámicas del per-

fil de playa, facilitaría la protección oportuna de este preciado entorno geográfico.

Para los futuros trabajos de dragado y ampliación de la Marina Puerto Sol de Punta Hicacos, se deben realizarse estudios de monitoreo morfodinámico, pues el extremo de la península se caracteriza por altos gradientes de migración de la línea costera actual (Juanes, comunicación personal).

CONCLUSIONES

El relieve de la península de Hicacos es muy joven, con edades entre el Pleistoceno superior tardío y el Holoceno, lo cual advierte su reciente consolidación y elevada fragilidad. Es por ello que, en territorios peninsulares e insulares, es recomendable la ejecución de levantamientos geomorfológicos previos y posteriores a los vertimientos de arena, como el que se muestra en este artículo.

Desde el punto de vista morfoestructural constituye un sistema diferenciado de bloques morfotectónicos alineados por el rumbo (falla Hicacos) y alterno de geoformaciones peninsulares cuaternarias tardías.

Por su notable juventud, en su relieve sólo aparece la categoría básica de llanuras (llanuras, terrazas y sus restos), con una génesis típica de morfoesculturas virtualmente insulares (marina: abrasión y acumulación; eólica: acumulación; biogénica: acumulación).

La morfodinámica litoral es muy intensa, bien diferenciada estacionalmente, y demanda un monitoreo continuo, fundamentalmente en el extremo más septentrional, donde la línea costera migra continuamente, debido a los procesos litorales.

Para garantizar la eficiencia en el aprovechamiento del vertimiento de arena de 1998, se recomienda la prohibición total de cons-

trucciones en los morfoelementos más frágiles, representados por la faja de playa, las cadenas de dunas y la llanura palustre; se deben respetar los 40 m entre el borde interior de la duna y el límite de la construcción proyectada; se tiene que garantizar la presencia de la vegetación de playa arenosa, como medio de estabilizar las pérdidas de arena.

De acuerdo con las características morfo-métricas de la playa en el sector Punta Hicacos, donde se aprecia un estrechamiento de la misma y la presencia de escarpas erosivas, crecientes, en general, de este a oeste, se requerirá en el futuro de un vertimiento de arena para garantizar la regeneración de la playa.

AGRADECIMIENTOS

A Manuel Figueroa Mah-Eng y a la Biól. Ana Patricia Méndez Linares por el procesamiento digital de las figuras y la preparación final del texto.

REFERENCIAS

- ☞ Díaz Díaz, J. L. (1986), *Morfoestructuras de Cuba occidental y su dinámica reciente*, tesis de Doctorado, Instituto de Geografía de Rusia, Moscú.
- ☞ GENECAR, S. A. (1998), *Control volumétrico de la cantara de la draga holandesa ALPHA-B, en el vertimiento de la playa de Varadero en la República de Cuba en 1998*, Madrid.
- ☞ Hernández Santana, J. R., A. R. Magaz, M. A. Ortiz Pérez y J. J. Zamorano Orozco (1995), "Clasificación morfoestructural (tipológica) y morfotectónica (regional) del relieve oriental cubano: modelo insular de transición interplacas", *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. especial 3, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 13-35.
- ☞ Hernández Santana, J. R., M. A. Ortiz Pérez, A. R. Magaz García, J. L. Díaz Díaz y J. J. Zamorano Orozco (1994), "Estilos geotectónicos bidimensionales y tridimensionales interbloques: una nueva categoría neotectónica para la determinación de morfoestructuras montañosas", *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 28, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 9-32.
- ☞ Juanes, J. L. (1996), *La erosión en las playas de Cuba*, tesis de Doctorado, Instituto de Oceanología, La Habana, Cuba.
- ☞ Juanes Martí, J. L, C, García Hernández, A., Álvarez Cruz et al. (1998), *Proyecto vertimiento de arena en Varadero*, Instituto de Oceanología, La Habana, Cuba.
- ☞ Núñez, A. (1985), *Varadero y su entorno maravilloso*, Ed. Instituto del Turismo, La Habana, Cuba.
- ☞ Orbera, L (1989), "Neotectónica", en *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Ed. Inst. Geog. Nac. España, III. 2.4-8, Madrid.
- ☞ Pérez, C. (1989), "Alineamientos", en *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Ed. Instituto Geográfico Nacional de España, III. 3.1-11, Madrid.