

Dinámica de los sedimentos en la Península de Hicacos, Cuba. II. Efecto de las olas de viento en la zona costera

JOSÉ L. JUANES, ELÍAS RAMÍREZ, MATILDE CABALLERO,
V. S. MEDVEDIEV, y M. G. YURKEVICH

RESUMEN

En base de las observaciones de velocidad y dirección del viento obtenidas diariamente a las horas 02:00, 08:00, 14:00, y 19:00, en el aeropuerto de Varadero Cuba, durante los años 1978 y 1979, se determinan las características del régimen de vientos en la región. Con la aplicación del método de Knaps, se establece una relación entre los parámetros del viento (velocidad, dirección, frecuencia y alcance), que resulta un índice de la energía que es transferida a la superficie del mar cuando se generan las olas de viento y, en consecuencia, un índice de la tendencia del movimiento de sedimentos en la zona litoral. Para la parte N de la Península de Hicacos (Playa de Varadero), se demuestra que la tendencia principal del arrastre de sedimentos es del NE al SW, en correspondencia con el predominio de los vientos del primer cuadrante. También se comprueba que durante algún tiempo el arrastre se dirige del SW al NE, en dependencia de que ocurran vientos del cuarto cuadrante, asociados, con mucha frecuencia, a la entrada de los frentes fríos.

1. INTRODUCCIÓN

En las playas de costas abiertas, con pequeñas fluctuaciones en la marea, las olas generadas por el viento constituyen el principal factor que provoca el arrastre de sedimentos.

Para el estudio de las olas de viento y su influencia en la deriva litoral se han utilizado diversos métodos, basados principalmente en las mediciones de los parámetros de las olas o en experimentos con diferentes tipos de trazadores (ZENKOVICH, 1962; KOMAR, 1976). En ausencia de condiciones para la ejecución de esos trabajos, se recurre con frecuencia a la utilización de métodos indirectos, basados en la relación existente entre las características del viento y los parámetros de las olas generadas por él. A través de estos métodos se

Manuscrito aprobado el 20 de julio de 1985.

J. L. Juanes, E. Ramírez, y M. Caballero pertenecen al Instituto de Oceanología, de la Academia de Ciencias de Cuba. V. S. Medvediev y M. G. Yurkevich pertenecen al Instituto de Oceanología, de la Academia de Ciencias de la URSS.

obtiene un índice adimensional de la energía con que inciden las olas de viento sobre el litoral, y, por tanto, se convierte en un índice de la tendencia del arrastre de sedimentos.

El presente trabajo persigue como primer objetivo señalar las características del régimen de vientos en la Península de Hicacos, a partir de los datos recogidos en los años 1978 y 1979. Como segundo objetivo, se propone mostrar cuál es la tendencia del arrastre de sedimentos en la Playa de Varadero mediante la aplicación de un método indirecto, y, por último, destacar la correspondencia existente entre la tendencia del arrastre de los sedimentos y las variaciones morfológicas temporales del perfil de playa a lo largo de la Península.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La Península de Hicacos está situada en la región *NW* de Cuba y su parte *N* (Playa de Varadero) se encuentra expuesta a las aguas adyacentes del Estrecho de la Florida. Presenta una orientación geográfica de 70° de acimut y tiene una longitud de 22 km.

Para el estudio del comportamiento del viento en la región se utilizaron los parámetros de velocidad y dirección del viento registrados en el aeropuerto de Varadero, ubicado en el extremo *W* de la Península, a 750 m de la línea de costa. El registro de los datos se hizo con un anemógrafo de cazoleta situado en la torre de control, a 20 m de altura, y se utilizaron las lecturas correspondientes a las 02:00, 08:00, 14:00, y 19:00 horas, obtenidas de manera continua durante los años 1978 y 1979. Los datos se procesaron de acuerdo al método de Knaps (YURKEVICH, 1965), con el cual se establece una relación semiempírica entre los parámetros del viento. Esta relación resulta un índice adimensional y direccional de la energía con que se producen los procesos de deriva litoral. Esta relación se representa matemáticamente mediante la expresión:

$$e = f(V^3) D^{1/3}$$

donde:

e = índice adimensional de energía en una dirección determinada

f = frecuencia del viento, en porcentaje

V = velocidad media en m/s
ambas en la misma dirección

D = alcance o "fetch", medido en km, desde Varadero hasta las costas más próximas, en el mismo rumbo.

La Fig. 1 muestra que la orientación geográfica de la Península de Hicacos provoca que ésta sea afectada por las olas generadas por los vientos de las direcciones *W*, *WNW*, *NW*, *NNW*, *N*, *NNE*, *NE* y *ENE*, que son denominados en el presente artículo "rumbos de trabajo." Para cada uno de estos rumbos se hace el cálculo de e y los resultados se descomponen trigonométricamente en dos direcciones principales, la perpendicular y la paralela a la costa.

En la Fig. 2 se observa que las componentes de e perpendiculares a la costa se calculan mediante la expresión $b = e \cos \alpha$, y α es el ángulo determinado

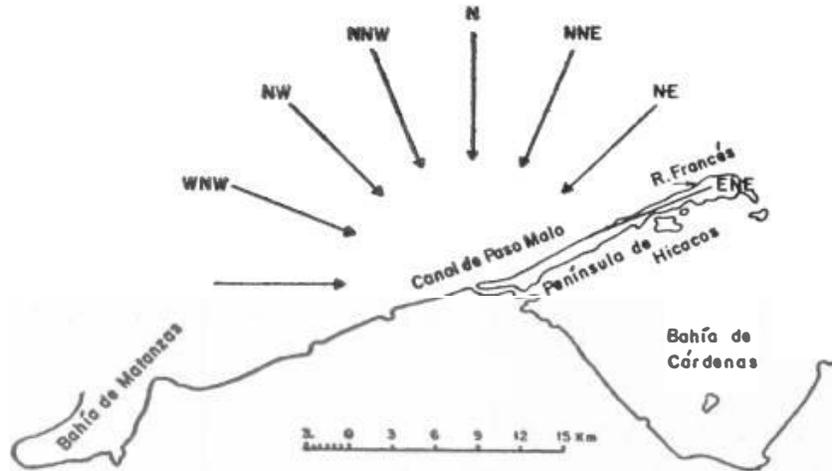


FIG. 1. Direcciones del viento que inciden sobre la línea de costa, y generan deriva litoral.

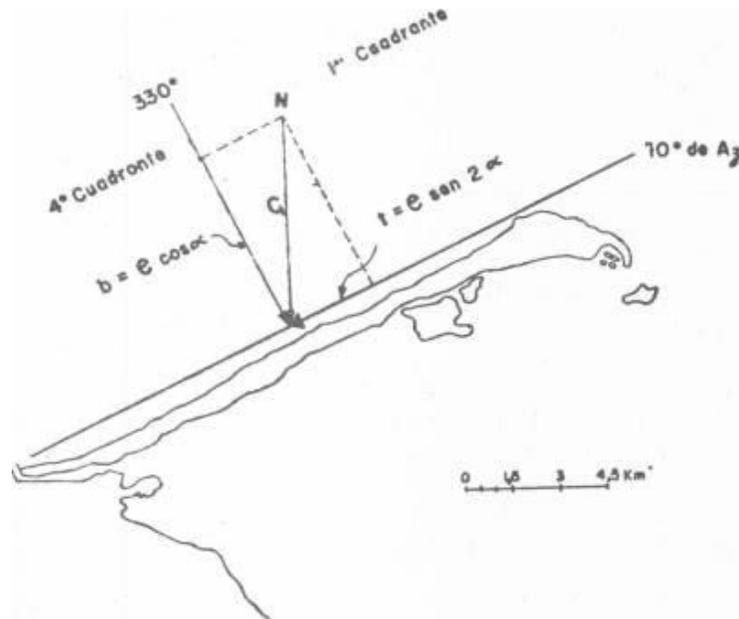


FIG. 2. Tratamiento trigonométrico del índice adimensional de energía (e) para el cálculo de las componentes perpendiculares y paralelas a la línea de costa.

entre el rumbo correspondiente y la línea de costa. Los componentes de e paralelas a la costa se calculan mediante la expresión $T = e \sin 2\alpha$. La sumatoria de los valores de b es un índice de la tendencia del arrastre de sedimentos hacia la costa y se representa como $B = \Sigma b$.

Por otra parte, las componentes de e paralelas a la orilla se orientan en dos direcciones opuestas. Las componentes que se obtienen del cuarto cuadrante (W , WNW , NW , NNW) se orientan hacia el NE y se representan por $T^- = \Sigma t^-$, y las correspondientes al primer cuadrante (N , NNE , NE , ENE) se orientan hacia el SW y se representan por $T^+ = \Sigma t^+$. El valor de $T_r = T^+ + T^-$ es el índice de la tendencia del arrastre de sedimentos a lo largo de la costa. El sentido de T_r está en dependencia de la magnitud de T^+ y T^- .

El valor $E = \sqrt{B^2 + T_r^2}$ resulta un índice sin dirección de la intensidad con que se produce el arrastre de sedimentos, y se utiliza en el análisis comparativo de varios años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción del comportamiento del viento para 1978 y 1979

En la Fig. 3 se observa que el porcentaje de ocurrencia de los vientos del primer cuadrante fue de 30% en los años 1978 y 1979, y para los vientos del cuarto cuadrante sólo de 4% y 3%, respectivamente, por lo que la ocurrencia de los vientos de los rumbos entre el N y el ENE fue ocho veces mayor que la de los vientos de los rumbos entre el W y el NNW . El predominio de los vientos del primer cuadrante se hace más evidente si se destaca que el máximo porcentaje registrado en el cuarto cuadrante fue menor que el mínimo obtenido en el primero para los dos años.

Los valores de velocidad del viento, según lo observado en la playa de Varadero, comienzan a tener interés para el estudio de deriva litoral cuando son superiores a los 5 m/s. En la misma Fig. 3 se nota que las mayores frecuencias están dadas en el intervalo de velocidades de 5 a 9 m/s para ambos cuadrantes, lo que crea condiciones propicias para que se genere deriva litoral. En la Fig. 4 se destaca que los mayores valores de \mathbf{V} corresponden, en general, a los rumbos del cuarto cuadrante. En 1978, el máximo valor de \mathbf{V} fue de 7,56 m/s en la dirección WNW , con un porcentaje de ocurrencia menor que 1%. Sin embargo, en las direcciones ENE y NE , con los máximos porcentajes de ocurrencia de 8% y 12%, respectivamente, los valores de \mathbf{V} fueron de 6,47 m/s y 5,39%, es decir, mayores de 5 m/s, y, en consecuencia, favorables a la generación de deriva litoral.

De esta forma se observa que en el cuarto cuadrante se alcanzan los máximos valores de \mathbf{V} en direcciones con poca frecuencia, mientras que los máximos valores de \mathbf{V} en el primer cuadrante aparecen en las direcciones ENE y NE , que son, a su vez, las de mayor frecuencia. A partir de la interpretación hecha de los gráficos de las figs. 3 y 4, se infiere que las características del viento en la Península de

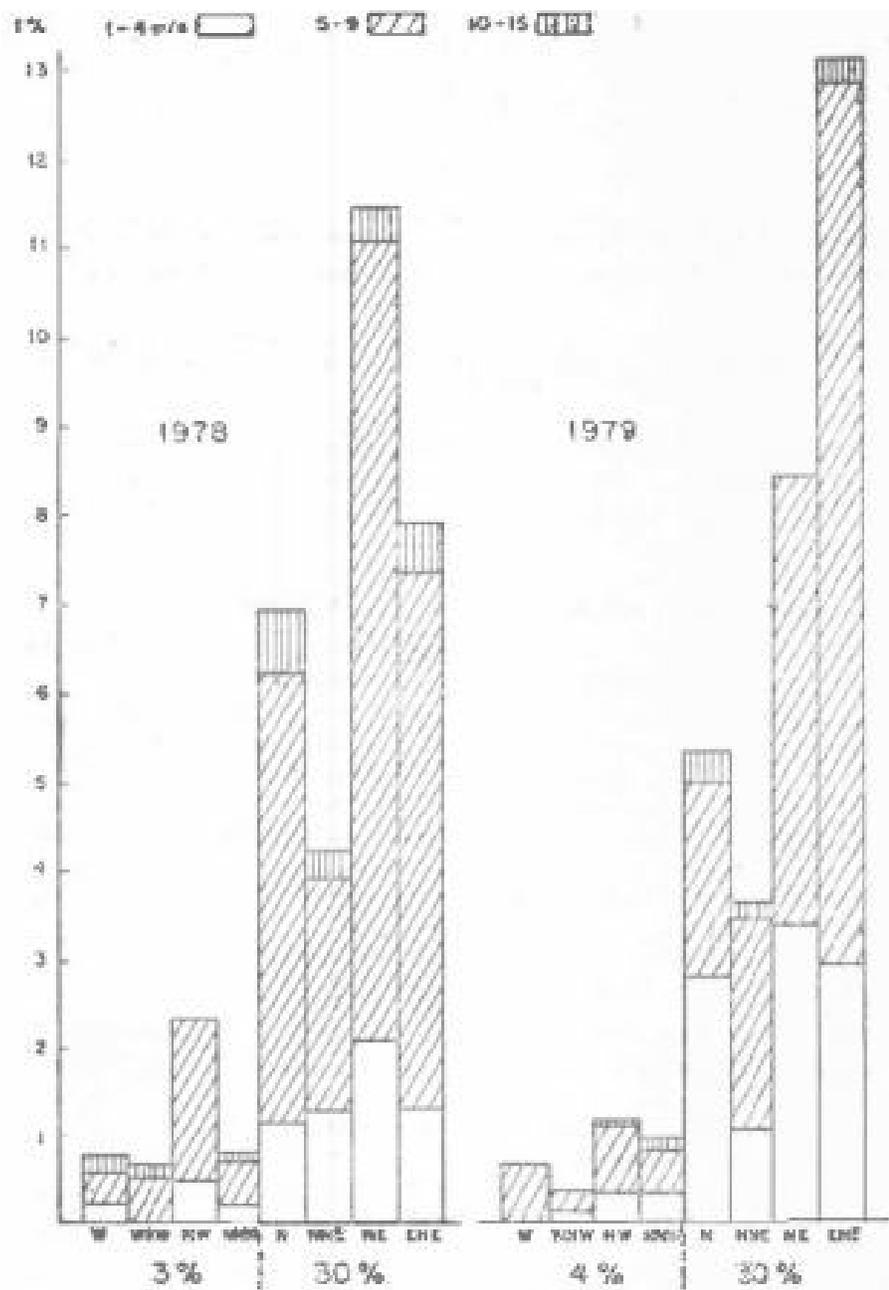


FIG. 3. Frecuencia del viento por rumbos de trabajo en la Playa de Varadero, en 1978 y 1979.

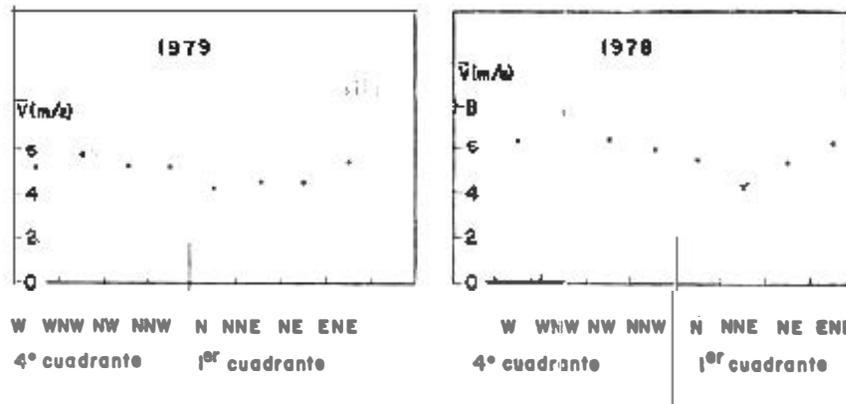


FIG. 4. Velocidad media del viento en los diferentes rumbos de trabajo, en 1978 y 1979. Nótese que los valores máximos corresponden a rumbos del 1er cuadrante.

Hicacos favorecen la generación de olas provenientes del primer cuadrante, con el consecuente arrastre de sedimentos desde esa dirección. Esta idea se ve fortalecida matemáticamente mediante la aplicación del método de Knaps.

3.2 Resultados de la aplicación del método de Knaps

En la Fig. 5 se muestra que, tanto para 1978 como para 1979, la dirección de T_r estuvo determinada por el mayor valor de T^+ , lo que indica que la tendencia del arrastre de sedimentos a lo largo de la costa se produce preferentemente del NE al SW. La suma de los valores absolutos de T^+ y T^- , que se expresa con la letra A, es un indicador de la intensidad total con que se generan los procesos a lo largo de la costa, independientemente de su dirección. La relación entre T_r y A

se establece por medio del indicador $i = \frac{T_r}{A}$. Se ha demostrado en

la práctica que cuando $i > 0,5$, se establece movimiento estable de sedimentos en la dirección de T_r (YURKEVICH, 1965).

En la Tabla 1 se observa que, para 1978, el valor de T_r fue mayor que para 1979 y, sin embargo, los valores de i fueron de 0,4 y 0,6 res-

TABLA 1. Índices calculados por el método de Knaps.

| Años | Índices | | | | | | |
|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | B | T^+ | T^- | T_r | E | A | X |
| 1978 | 31,70 | 24,80 | 10,10 | 14,80 | 35,50 | 34,50 | 0,11 0,40 |
| 1979 | 15,80 | 15,30 | 3,30 | 11,50 | 19,50 | 19,10 | 0,70 0,60 |

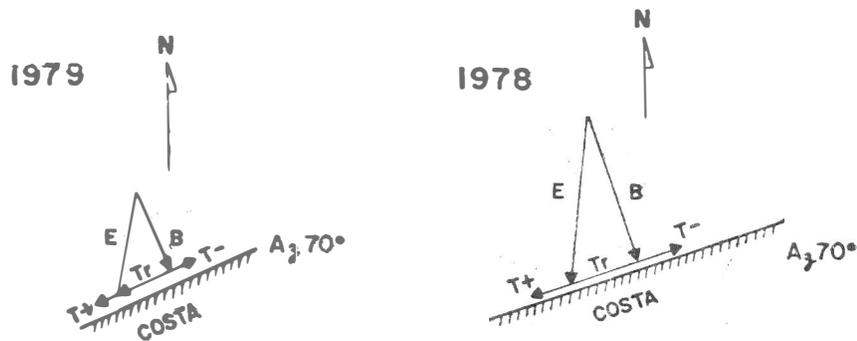


FIG. 5. Aplicación del método de Knaps, donde se pone de manifiesto que, para ambos años, predominó la tendencia del arrastre de sedimentos del NE al SW.

pectivamente, indicando mayor estabilidad en la dirección de T_r para 1979.

Por otra parte, tanto en la Fig. 5 como en la Tabla 1 se puede comprobar que en ambos años el índice B , que indica la tendencia del arrastre de sedimentos perpendicular a la costa, fue mayor que T_r . La relación matemática entre B y T_r está dada por el índice $\tau = \frac{T_r}{B}$.

Cuando τ toma valores menores de 0,5 significa que es mayor la tendencia del movimiento de sedimentos hacia la costa que paralelo a ella (YURKEVICH, 1965). De los valores de τ en ambos años se desprende que la tendencia del movimiento a la costa fue mayor en 1978 que en 1979.

Los valores del índice E en 1978 y 1979 fueron de 35,0 y 19,5 respectivamente, lo que demuestra que en 1978 la intensidad de los procesos de arrastre de sedimentos fue el doble que en 1979.

El análisis descriptivo de las características del viento y la utilización del método de Knaps sugieren que la tendencia principal del arrastre de sedimentos en la Península de Hicacos se genera del NE al SW, o sea, desde Rincón Francés hacia el canal de Paso Malo. A pesar de esto, los valores de T^- sugieren un movimiento de menor importancia en la dirección NE en alguna época del año.

Estos resultados están en correspondencia con la hipótesis del movimiento de arena para la Península de Hicacos, propuesta a partir del estudio de las variaciones morfológicas del perfil de playa (JUANES *et al.*, 1985). En ese trabajo se explica que, para el tramo de costa entre Rincón Francés y el canal de Paso Malo, con una orientación de 70° de acimut (Fig. 6), los perfiles de playa demuestran que durante el invierno se produce la erosión de la playa como con-

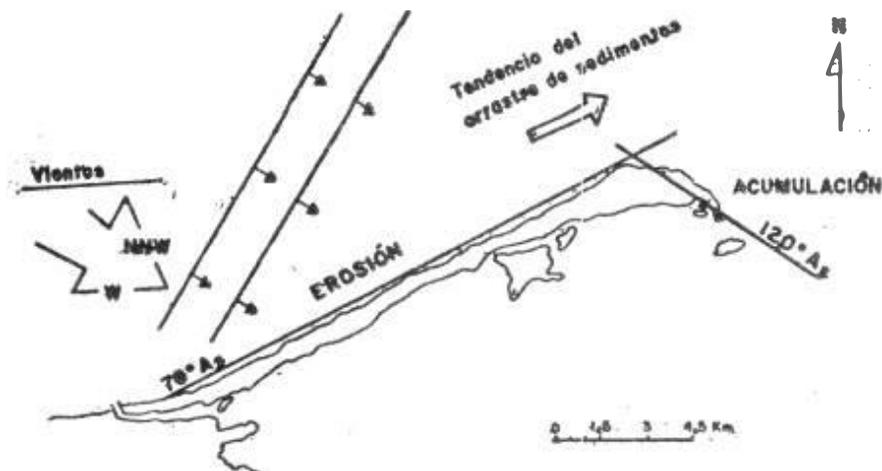


FIG. 6. Representación gráfica de la hipótesis del arrastre de sedimentos en invierno, a partir de las variaciones morfológicas del perfil de playa.

secuencia de la incidencia directa de las olas de tormenta. Sin embargo, en el tramo de costa entre Punta Molas y Punta Hicacos, en el extremo E de la Península, con una orientación de 120°, los perfiles ponen en evidencia la acumulación de arena en ese mismo período.

La Fig. 7 muestra el comportamiento inverso que se produce en el verano. El comportamiento de las variaciones morfológicas de los perfiles sugiere que, durante el invierno, la arena erosionada en la zona entre el canal y el Rincón Francés es transportada hacia el NE, mientras que, en verano, la arena erosionada en el extremo E de la Península se mueve hacia el SW en dirección al canal.

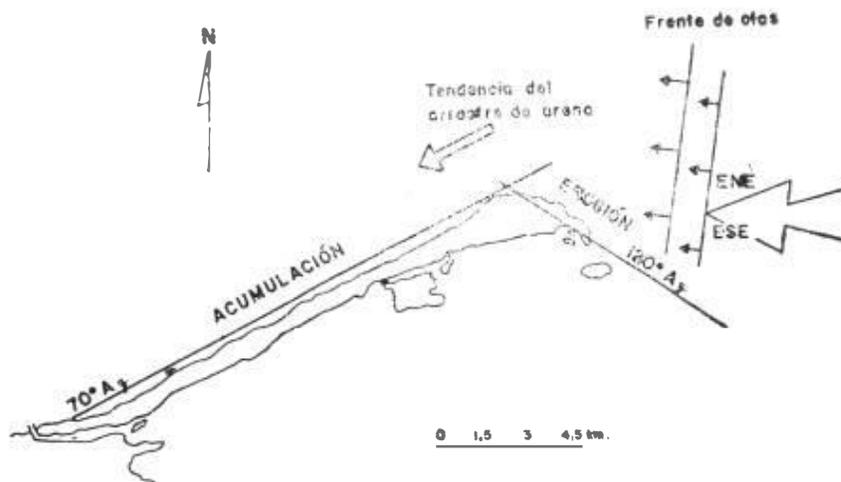


FIG. 7. Representación gráfica de la hipótesis del arrastre de sedimentos en verano, a partir de las variaciones morfológicas del perfil de playa.

4. CONCLUSIONES

- a) Los resultados obtenidos con la aplicación del método de Knaps en el estudio de la tendencia de la deriva litoral a partir de los parámetros del viento, sugieren que el mayor transporte de sedimentos en la Península de Hicacos se establece del *NE* al *SW*, y que existe un arrastre de menor importancia en sentido contrario.
- b) La tendencia de la deriva litoral en la Playa de Varadero, determinada con la aplicación del método indirecto, está en correspondencia con la hipótesis de deriva litoral establecida a partir del estudio de las variaciones morfológicas del perfil de playa.

RECONOCIMIENTO

La obtención de los datos de velocidad y dirección de los vientos en el aeropuerto de Varadero ha sido posible gracias a la colaboración de los técnicos de la estación meteorológica de ese lugar, a quienes agradecemos las atenciones prestadas.

REFERENCIAS

- JUANES, J. L., RAMÍREZ, E., y MEDVEDIEV, V. S. (en prensa): Dinámica de los sedimentos en la Península de Hicacos, Cuba. I. Variaciones morfológicas del perfil de playa. *Cien. Tierra Espacio*, 10.
- KOMAR, P. D. (1976): *Beach processes and sedimentations*. Prentice Hall, Nueva York, 420 pp.
- YURKEVICH, M. G. (1965): *Traslado de los sedimentos y génesis de las fuentes de minerales pesados en las zonas litorales del mar* [en ruso]. Nauka, tomo 76, Moscú.
- ZENKOVICH, V. P. (1962): *Processes of coastal development*. Oliver and Boyd, Edimburgo, 738 pp.

DYNAMICS OF SEDIMENTS AT THE HICACOS PENINSULA. II. EFFECT OF WIND WAVES ON VARADERO BEACH

ABSTRACT

Based on observations of speed and direction of wind, obtained daily at 02:00, 08:00, 14:00 and 19:00 hours at the Varadero Airport, during the years 1978 and 1979, the characteristics of the rating of winds in the region was determined. With the application of Knaps' method, a relation is established between the parameters of wind (speed, direction, frequency and fetch), which results in an index of the energy transferred to sea surface when the wind waves are generated, and, in consequence, an index of the tendency of the movement of sediments in the littoral zone. For the *N* part of Hicacos Peninsula (Varadero Beach, Cuba), it is demonstrated that the main tendency of the hauling of sediments is from *NE* to *SW*, corresponding with the predominance of winds of the first quadrant. It is also proven that during some time the hauling directs itself from *SW* to *NE*, depending on the occurrence of winds of the fourth quadrant, frequently associated with the coming of cold fronts.