

CLIMATOLOGÍA DEL VIENTO Y OLEAJE FRENTE A LAS COSTAS DE COSTA RICA

*Omar G. Lizano R.**

Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)
Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR)
Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria (DFAOP), Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. 2060. San José, Costa Rica. Fax: (506) 234-2703 o 207-5619.

Abstract

The climatologically behavior of the wind and waves is studied around the Costa Rica's coasts using re-analysis data from wave forecasting numeric model. It is found that the wind in the Caribbean coasts of Costa Rica is predominantly from northeast direction all the year. This wind is projected to the north Pacific of Costa Rica through the topographical depression north of Costa Rica and south of Nicaragua generating high wave conditions. The strong trade winds in the boreal winter (north hemisphere) dominate the behavior of the wind in the central and south Pacific coasts of Costa Rica in the first months of the year. This pattern is modified as the Inter-tropical Convergence Zone (ITCZ) migrating to north and then, the westerly wind is intensified over the Pacific coast reaching their maximum expression during September. In respect to waves, it is found that in the Caribbean wave heights are in relationship with the trade wind force over the sea. The relatively short wave period (7 seg) identifies the local wave origin, called "sea", which is chaotic in general and with short wave crests. In the Pacific coast, it is found that the predominant wave direction for all the three distinguishable Costa Rican regions is from the Southwest continued by the south. In the north Pacific, although the predominance of the wind is the zonal component and there is a local wave generation in that direction, it prevails waves with direction from the southwest, indicating that its main wave origin is remote, mainly generated in the south Pacific, like New Zealand, called "swell", which are smooth and long wave crests. The monthly climatological analysis of the wave height shows that the Caribbean waves has more energy as the trade wind is intensified (November to April) in the boreal winter. In this time the wave heights in the Pacific coasts is low, changing their pattern when the Caribbean wind weaken (September to October) and the equatorial tropical western is present.

Key words: climatology, wave and wind, Central America, Costa Rica.

* E-mail: omar.lizano@ucr.ac.cr

I. Introducción

El oleaje que alcanza las costas Centroamericanas puede ser generado por varios fenómenos que pueden ser locales o remotos. Un mecanismo remoto son las tormentas que se generan entre los 40-60° en ambos hemisferios: sur y norte [29]. Aire frío que fluye desde los polos y el aire caliente que fluye desde latitudes medias hacia los polos, genera frentes que generan vientos de gran intensidad, cuyos centros de tormenta son afectados por la rotación de la tierra [13]. Tormentas intensas ocurren a lo largo del año y en intervalos cortos, especialmente durante los inviernos en los respectivos hemisferios. Frecuentemente oleaje de gran altura es generada por el viento sobre la superficie del océano durante estos fenómenos en ambos océanos. Este oleaje remoto que alcanza nuestras costas, conocido como "mar de leva o marejada de fondo", que es de crestas largas y superficie lisa o suave [14], puede llegar con suficiente energía o altura y causar algún impacto, especialmente cuando se presenta en tiempos de mareas altas y/o extraordinarias [17,21]. Los estudios climatológicos de olas reflejan ese patrón de vientos en ambos hemisferios [27, 10].

Adicionalmente, los frentes fríos que descienden del norte sobre el Atlántico generan viento fuerte sobre el Golfo de México y el Mar Caribe, que también se asocian a formación de oleaje de generación local de gran energía o altura en algunas ocasiones, como se pueden observar desde los pronósticos de oleaje de los modelos numéricos de la NOAA (ver pronósticos locales de oleaje en <http://www.cimar.ucr.ac.cr>). Este oleaje es conocido como "mar de viento", usualmente caótico, de crestas cortas y empinadas. El chorro del viento que generan estos frentes a lo largo de los pasos topográficos de Tehuantepec, Papagayo y el Golfo de Panamá [16, 25], genera oleaje tipo "mar de viento" (oleaje caótico), sobre el Pacífico Tropical Este (PTE) [9].

Los ciclones tropicales son los otros mecanismos que generan oleaje significativo sobre las costas de Centroamérica, algunas veces de carácter local y otro remoto. Las condiciones atmosféricas y oceánicas durante el verano del hemisferio norte son apropiadas para la formación de ciclones en el PTE y sobre el Atlántico [15, 19, 20, 32, 33] que pueden generar oleaje y afectar nuestra región. Ciclones generados en el Caribe, o que atraviesan el Caribe, generan oleaje local con suficiente energía para alcanzar nuestras costas [19, 20]. Estos ciclones también pueden generar oleaje sobre el Pacífico y/o tener influencia en los patrones de olas que se propagan a través del PTE. Como es usual en estos sistemas de baja presión del Caribe, el viento es succionado desde el Pacífico hacia el centro de la tormenta. Este viento puede tener suficiente alcance para desarrollar oleaje con suficiente energía, generalmente tipo mar de viento, con posible impacto costero sobre ciertas regiones.

Ningún estudio climatológico de oleaje y viento sobre el mar se ha publicado en nuestra región. La mayoría de estudios sobre climatología de viento que se han realizado en Costa Rica, se han hecho sobre datos de estaciones en el interior del país. [34, 35, 2, 27]. Estudios sobre su comportamiento en las costas han sido escasos y limitados a períodos cortos. La mayoría son principalmente elaborados como requerimiento de

estudios ambientales dirigidos a orientar la construcción de estructuras costeras, resultados que usualmente no son publicados por su carácter de informe y/o por considerarse privados [18, 12, 3, 4]. Estudios del comportamiento climatológico del oleaje en nuestras costas es también escaso, y de la misma manera, la mayoría en respuesta a estudios ambientales, los cuales también, son de carácter privado y/o no publicados [18, 12, 3, 7, 6]. Algunas de las mediciones de viento que se realizan en la costa, e inclusive oleaje, tienen su carácter local y son solo aplicables en esa zona [4]. Características más generales y aplicables a mayores regiones costeras se consiguen solamente desde simulaciones de modelos numéricos [24, 22, 9] o mediciones de satélites. Esta información es importante como condiciones de frontera para modelos regionales [24, 31], también como información científica básica en la elaboración de proyectos de investigación, para estudios de impacto ambiental, en apoyo a operaciones marinas, o como información turística en general. En respuesta a esta falta de información costera se realizó el presente estudio en el cual se analizan las características de las series de datos de viento y oleaje con mayor resolución que existen frente a las costas de Costa Rica desde los re-análisis de modelos numéricos. Se elaboró una climatología de estas variables a nivel regional y local, y se discuten las fuentes locales y remotas de generación de oleaje y viento.

II. Materiales y métodos

El análisis de datos históricos de oleaje y viento fueron extraídos de los reanálisis de los pronósticos de oleaje del modelo WAVEWATCH III de la NCEP-NOAA. Estos datos se tienen desde 1997 hasta el presente, cada 3 horas y en una resolución de 1×1.25 grados a nivel mundial. Para este estudio se analizaron los datos de estas series desde 1997 hasta el 2004. Los datos incompletos del mes de enero del 1997 de características de oleaje de estas series fueron reconstruidos desde los promedios climatológicos elaborados con los eneros de 1998 hasta el 2004. Datos de los vectores de las olas fueron construidos desde los datos de la magnitud de la altura de ola y de la dirección. Los datos de viento son dados en componentes u (zonal) y v (meridional), por lo que la magnitud y dirección del viento fueron elaborados desde estas componentes. El promedio de velocidad del viento fue obtenida promediando las magnitudes del viento para cada 3 horas. El promedio de la dirección del viento se obtuvo promediando las respectivas componentes u y v de estas series. La siguiente Fig. 2.1 muestra las zonas y resolución espacial del presente estudio para la región Centroamericana. Específicamente para Costa Rica se muestran los cuadros y la resolución que abarca las tres zonas representativas del Pacífico y la correspondiente del Caribe. Programas en Fortrán 90, y paquetes como Matlab 5.3 y Microsoft Excel, fueron usados para el análisis y graficación de los datos.

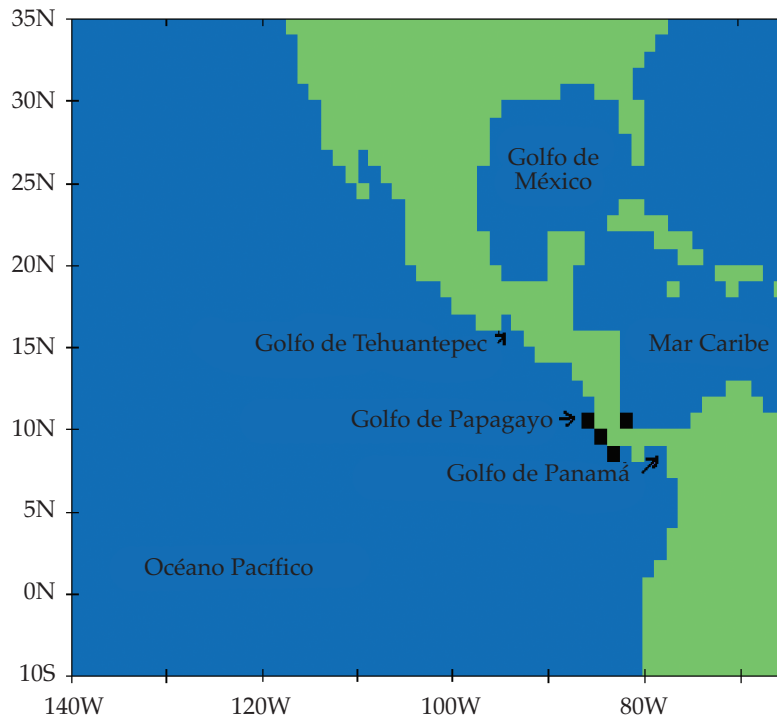


Figura 1. Área de estudio y ubicación de sitios (cuadros negros) analizados alrededor de Costa Rica.

III. Resultados y discusión

Características generales de las series de datos

Algunas características generales básicas de estas series se resumen en el Cuadro 1 siguiente:

Cuadro 1
ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LAS SERIES DE VIENTO Y OLA
DE LOS DATOS DE NOAA-NCEP

	Pacífico Norte			Pacífico Central		
	Min	Promedio	Max	Min	Promedio	Max
H1/3 (m)	0,38	1,46	3,28	0,19	1,33	2,81
Tp (seg)	2,94	11,34	19,88	2,58	12,34	19,84
θH (°)		1,12			26,48	
W (m/seg)	0.02	5.20	15.03	0,3	3,2	12,57
θW (°)		52.55			263.99	

	Pacífico Sur			Caribe		
	Min	Promedio	Max	Min	Promedio	Max
$H_{1/3}$ (m)	0,25	1,36	2,77	0,08	1,37	3,87
T_p (seg)	3,04	12,13	19,89	2,55	7,28	13,29
θ_H (°)		26,27			241,34	
W (m/seg)	0.01	3.72	13.70	0.03	3.92	16.57
θ_W (°)		262.54			28.84	

$H_{1/3}$: altura significativa (o significativa) de ola, definida como el promedio de la tercera parte más alta en un registro de olas. [14]

T_p : período de pico de la ola.

θ_H : dirección respecto al norte de la ola hacia donde van (convención oceanográfica).

W : magnitud de la velocidad del viento.

θ_W : dirección respecto al norte del viento desde donde viene (convención meteorológica).

La dirección del viento en el Caribe es el típico viento aliso con componente noreste (28.84°). El oleaje también va hacia el suroeste, lo que refuerza el carácter local de este mismo. En el Pacífico Norte de Costa Rica sin embargo, ocurre lo contrario: el viento promedio va hacia el suroeste, pero el oleaje viene desde el suroeste, lo cual también refuerza el carácter remoto predominante de este oleaje promedio en estas

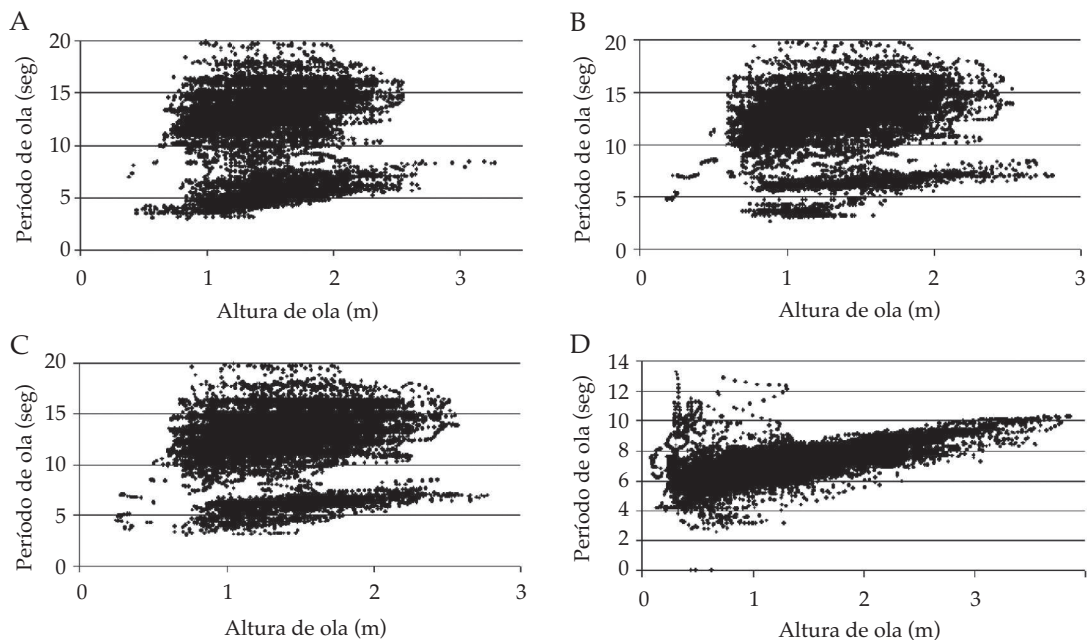


Figura 2. Diagramas de dispersión de período (seg) y altura (m) de ola para A: Pacífico norte, B: Pacífico central, C: Pacífico sur y D: Caribe de Costa Rica.

regiones. En el Pacífico Central y Sur, el viento promedio es del suroeste, lo mismo que la dirección promedio del oleaje.

Es claro desde el cuadro anterior, que la mayor altura promedio de ola y viento se da en el Pacífico norte de nuestro país, seguida por el Caribe, luego el Pacífico sur y Pacífico central respectivamente. La altura promedio de ola en el Pacífico central y sur de Costa Rica es muy similar, como lo es también el período promedio de las olas. Los períodos promedio de ola del Caribe (7.38 seg) refleja el carácter local de este oleaje. Es en esta región donde se puede alcanzar las máximas altura de ola significativa, cuyos valores puede alcanzar hasta los 4 m. Recordemos que cuando se tiene una altura significativa, la altura máxima de ola [13] puede ser $1.5 \times H_{1/3}$, que lo que da la probabilidad de tener una ola de 6 m de altura en el Caribe.

Los diagramas de dispersión de la figura anterior muestran los tipos de oleaje que podemos tener en estas regiones. En el Pacífico por ejemplo (Fig. 2-A, B y C), se notan claramente que hay dos grupos identificables de olas: una de períodos más largos, y otro grupo de períodos más cortos, ambos grupos, de nuevo, asociados a tormentas locales y a generación remota de oleaje. Las de mayor altura, y menos frecuentes, son de períodos cortos, muy probablemente de generación local, algunas asociadas a tormentas tropicales cercanos a nuestras costas.

En el Caribe no hay 2 grupos distinguibles; es más bien un solo tipo de oleaje cuya altura crece en promedio linealmente con el período. Un pequeño porcentaje de las olas tienen un período largo (12-13 seg), probablemente asociadas a tormentas distantes de la costa de Costa Rica, pero siempre en el interior del Mar Caribe.

Climatología de viento:

A. Pacífico de Costa Rica

Las siguientes Figs. 3 muestran el análisis climatológico del viento alrededor de nuestra región. Se nota que para enero (lo cual en promedio es también válido para los meses de entre noviembre y abril) existe un aceleramiento del viento alisio en el Caribe al norte de Colombia-Venezuela. La presencia de frentes del norte, sistemas de alta presión en el Atlántico norte y bajas presiones locales al norte de Suramérica, producen este aceleramiento sobre el Caribe [34, 27], con un máximo al norte de Colombia (Fig. 2-A y B) [5]. Este viento alisio pasa a través de las llanuras al norte de nuestro país y se proyecta hacia el Pacífico norte convirtiéndose en una corriente en chorro [16, 25, 8, 9], como muestra claramente la Fig. 3-A y B al frente del Golfo de Papagayo. La influencia de este viento alisio se puede sentir en toda la costa del Pacífico como muestran también las Figs. 4.

En el Pacífico norte de nuestro país el viento sigue siendo de componente noreste incluso hasta agosto (Fig. 4-A). En julio se intensifica coincidiendo con el “veranillo de San Juan” [8]. En setiembre el viento cambia de dirección, con componente oeste, y en noviembre, vuelve en promedio el viento alisio (Fig. 4-A). Este patrón de viento es similar al reportado para el Aeropuerto de Liberia [35, 2]. Sin embargo, en algunas regiones

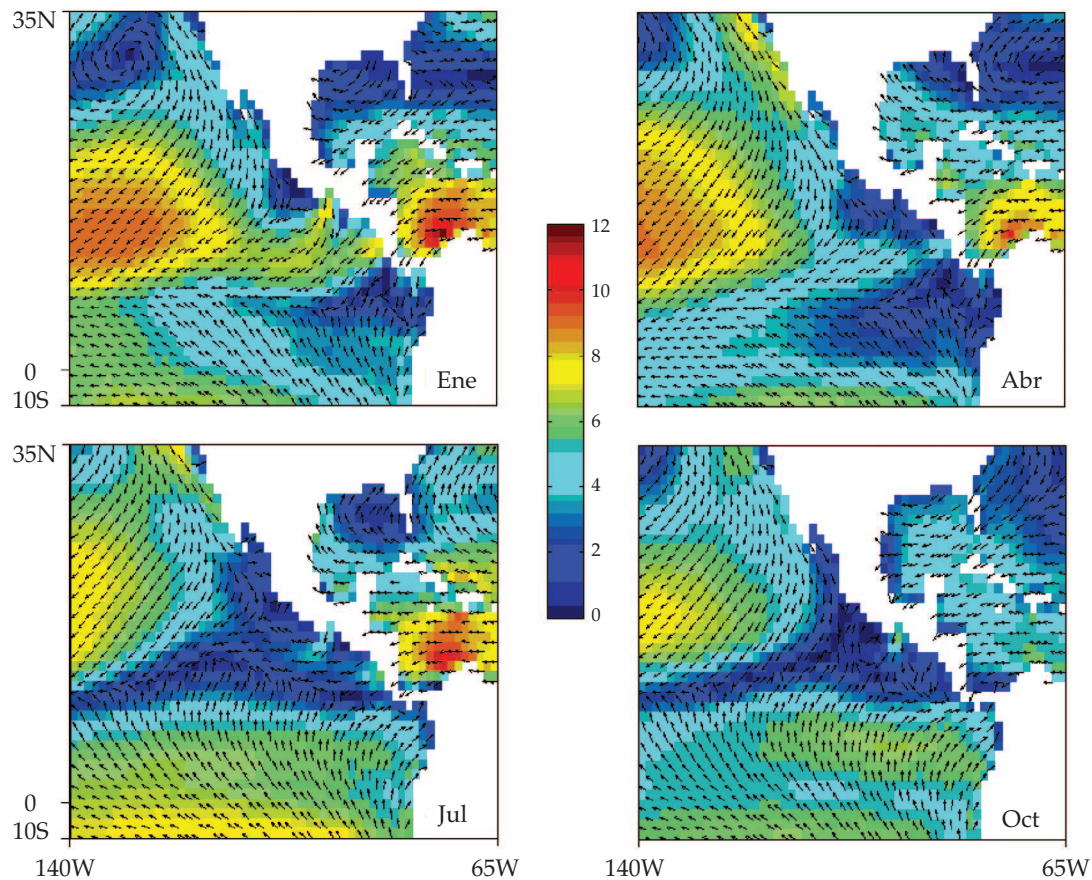


Figura 3. Distribución espacial de la magnitud (m/seg) y dirección del viento en el Caribe y Pacífico Tropical del Este según climatología mensual elaborada de los registros de NCEP-NOAA.

como el Pacífico central y sur, este patrón de viento alisio cambia para abril y comienza a sentirse viento con componente oeste (Fig. 3-B y 4-B y 4-C). Para julio en estas últimas regiones, cuando el viento alisio se acelera nuevamente en el Caribe [34, 35], el viento disminuye ligeramente. En agosto vuelve a acelerarse para alcanzar su máximo en setiembre (Fig. 4-B y 4-C) cuando los oestes ecuatoriales y las brisas marinas también alcanzan su máxima expresión en nuestro país [34, 27].

B. *Caribe de Costa Rica*

Los frentes del norte y los sistemas de alta presión en el Atlántico Norte hacen que en esta región soplen los alisios intensamente desde noviembre hasta abril (Figs. 3 y 4-D). Sobre el Caribe es claro que para todo el año el viento tiene componente noreste (Fig. 4-D). Aumenta significativamente el viento en julio coincidiendo con

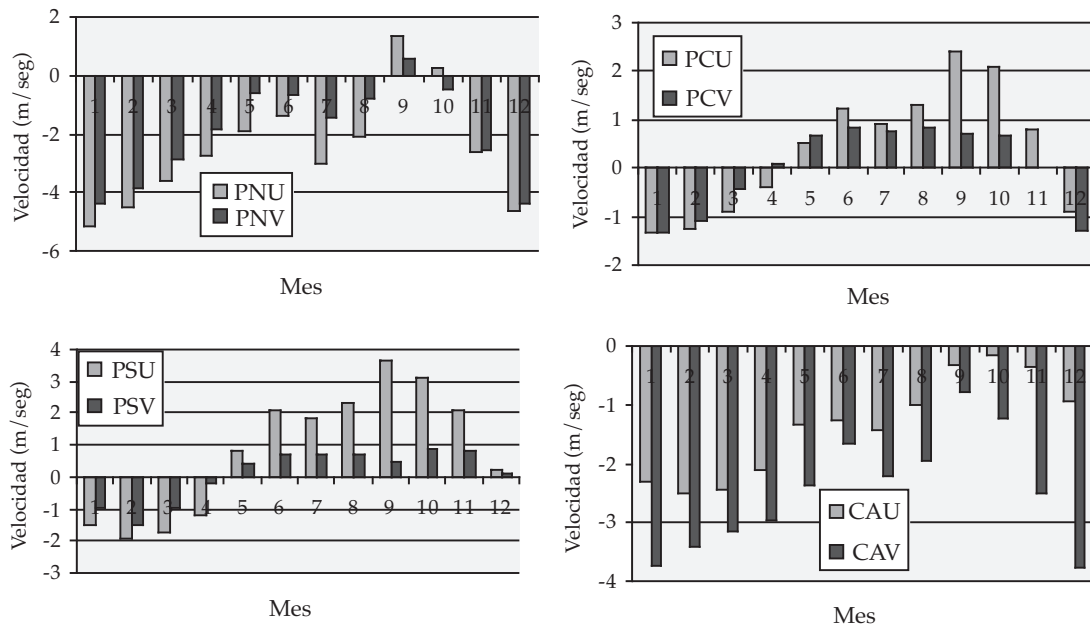


Figura 4. Variación mensual de las componentes u y v del viento en Pacífico norte (A), Pacífico central (B), Pacífico sur (C) y Caribe (D) de Costa Rica.

el “veranillo de San Juan”. Sus mínimos valores los presenta en setiembre octubre cuando los oestes ecuatoriales [34] están bien establecidos en Costa Rica.

Climatología de oleaje:

A. *Pacífico de Costa Rica*

En general, el Pacífico de Costa Rica responde a condiciones locales océano-meteorológicas y a condiciones remotas. Durante el invierno en el hemisferio norte, tormentas generadas en el Océano Pacífico Norte pueden adquirir energía suficiente (Fig. 5-A) como para alcanzar nuestras costas. Durante estos meses también, el viento alisio sobre el Mar Caribe se proyecta hacia el Golfo de Papagayo de Costa Rica generando frecuentemente, mas bien oleaje hacia afuera de la costa, tipo mar de viento (Fig. 5-A). Alguna veces cuando esto ocurre, el viento y el oleaje local generado sobre esta región, modifica las características del oleaje remoto proveniente del Pacífico norte o sur de nuestro planeta, y dependiendo de la intensidad y tiempo que el viento sopla y de la energía del oleaje entrante, se produce oleaje predominante mas bien, que se dirige hacia mar adentro de la costa en esta región.

Cuando el viento alisio disminuye su intensidad sobre el Pacífico de Costa Rica a partir de abril, la energía de oleaje comienza a aumentar (Fig. 6-A) alcanzando su

máximo en setiembre-octubre, coincidentemente con el máximo de los oestes ecuatoriales sobre Costa Rica [34].

Aunque el patrón climatológico promedio de oleaje mostrado en la Fig. 4-A no es muy claro para el mes de enero en el Pacífico norte de Costa Rica, el Pacífico central y sur aún es alcanzado por oleaje desde el suroeste en este tiempo.

Al partir de abril (Fig. 5-B), y para el resto del año (Fig. 5-C y D), se establece un patrón del oleaje en toda la región Pacífica de Costa Rica con direcciones predominantemente del suroeste.

Las siguientes Figs. 6 muestra los promedios mensuales en las cuatro regiones estudiadas alrededor de Costa Rica.

Es evidente de las figuras anteriores, que el menor promedio de las olas en el Pacífico norte, central y sur de Costa Rica, se tiene durante la llamada estación seca de Costa Rica (diciembre-abril) debido a presencia de los vientos alisios en esa región que disminuye la energía de las olas entrantes a la costa. Comienzan a aumentar su altura en mayo y hasta junio. Disminuyen su altura en julio durante el llamado “veranillo de San Juan”, cuando el viento alisio vuelve a acelerarse en el Caribe de nuestro país. El mayor pico de altura de ola lo presenta en setiembre cuando los vientos oestes ecuatoriales y brisas marinas ya están en su máxima expresión en la costa Pacífica [34]. Estos vientos locales incrementan la energía de oleaje que se genera en regiones remotas,

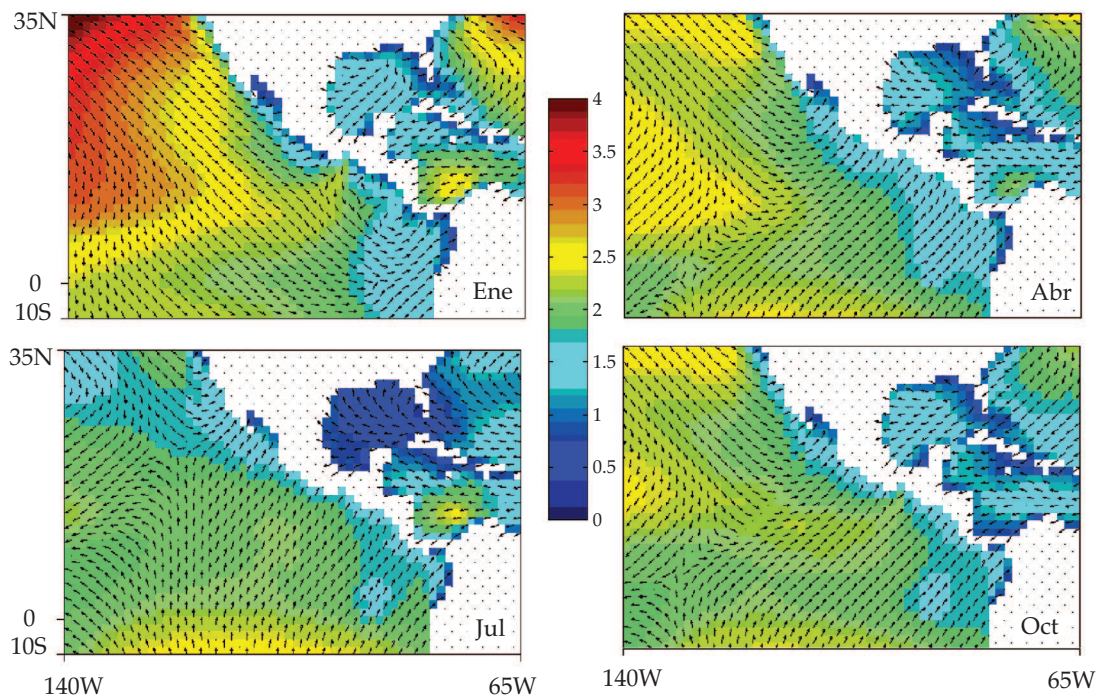


Figura 5. Distribución espacial de la altura (m) y dirección del oleaje en el Caribe y Pacífico Tropical del Este. Climatología elaborada de los datos NCEP-NOAA entre 1997 y 2004.

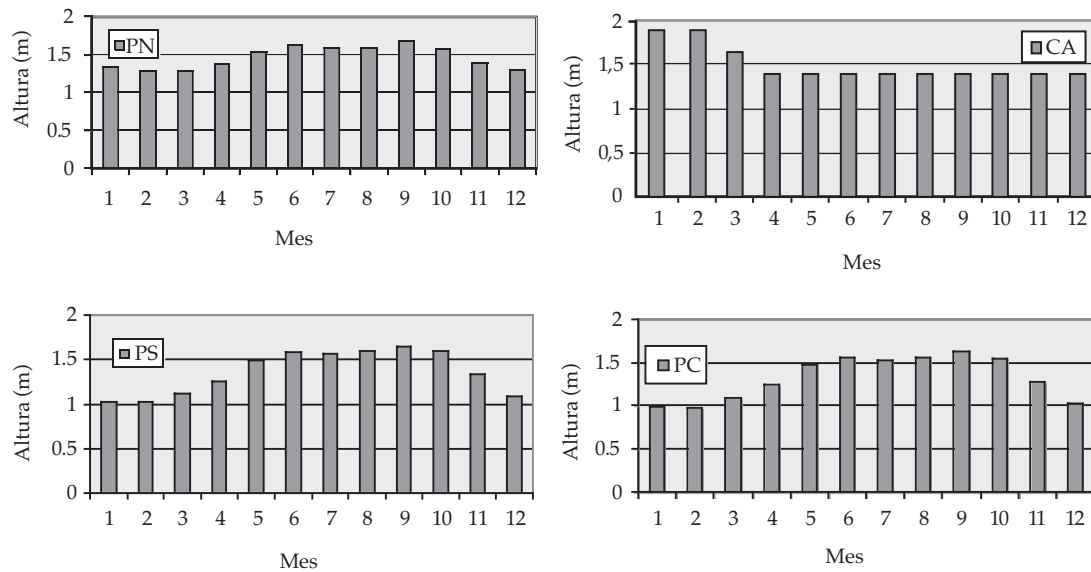


Fig. 6. Variación mensual de la altura de ola (m) en el Pacífico norte (PN), Pacífico central (PC), Pacífico sur (PS) y Caribe (CA) de Costa Rica.

como también el oleaje de origen local generado por la acción del viento en tormentas al frente de Pacífico de Costa Rica. Es posible que estos promedios también reflejen la presencia de tormentas tropicales para los meses de la segunda mitad del año [19], un factor contribuyente con energía de oleaje sobre las costa del Pacífico como un efecto indirecto [1] de estos fenómenos [20].

B. Caribe de Costa Rica

En la costa del Caribe de Costa Rica es claro que todo el año se tiene oleaje que viene desde el noreste (Figs. 4). Es de mayor energía durante los últimos y los primeros meses del año, asociado a la intensificación de los vientos alisios durante esta época. Disminuye para mayo y aumenta para julio, cuando de nuevo, vuelve a acelerarse el viento alisio en esta región (Fig. 5-D). El mínimo valor lo tienen en setiembre octubre, cuando también el viento alisio en esta región es mínimo.

IV. Conclusión

Las características promedio del viento indican que el viento es de componente zonal en el Caribe, también durante casi todo el año en el Pacífico Norte, y en los primeros meses del año (hasta abril) en el Pacífico Central y Sur de Costa Rica. Sin embargo el oleaje promedio en el Pacífico es de componente suroeste, indicando esto, la

predominancia del oleaje remoto que llega a estas costas, principalmente del Pacífico sur de nuestro planeta. Los correspondientes períodos promedio de ola largos (11-12 seg) refuerzan este criterio, a diferencia de los del Caribe (7 seg), que indica origen local. En el Caribe por supuesto, el viento es alisio (con dirección noreste, convención meteorológica) y el oleaje tiene direcciones similares. Aunque en promedio la mayor altura de ola se obtiene en el Pacífico norte de Costa Rica (1.46 m), en el Caribe se presentan las de mayor altura ($H_{1/3} \approx 4$ m, y que podría alcanzar un $H_{max} = 6$ m).

El oleaje en el Pacífico de Costa Rica muestra dos grupos distinguibles de oleaje: uno de período largo (oleaje remoto) y otro de período corto (oleaje local). Este último muestra un pequeña frecuencia de oleaje de gran altura, muy probablemente asociada a ciclones tropicales cercanos a nuestras costas. El Caribe muestra un solo grupo de características de olas, con una relación proporcional entre altura y período.

El análisis climatológico del viento en Costa Rica indica que en los meses de la llamada estación seca en Costa Rica (diciembre a abril), el viento se acelera en el Caribe, generando oleaje de gran energía sobre esa zona. Este viento se proyecta por el paso de bajo nivel topográfico al norte de Costa Rica generando un chorro de viento en el Pacífico norte de Costa Rica. Este chorro de viento también afecta el oleaje proveniente desde el hemisferio sur restándole energía e incluso modificándolo totalmente según intensidad del viento.

En el Pacífico sur y central de Costa Rica el viento cambia de dirección en mayo, cuando los vientos alisios se debilitan y la brisa marina y oestes ecuatoriales comienza a hacerse presentes en nuestro país.

El análisis climatológico del oleaje indica que la mayoría del año el oleaje que se aproxima a las costas del Pacífico de Costa Rica, es del suroeste. Solo es poco clara su dirección en el Pacífico norte cuando el viento alisio está presente (noviembre a abril). Justamente para estos meses, la energía del oleaje se ve disminuida por efectos del viento contrario a la dirección promedio de propagación de las mismas (desde el suroeste). La mayor energía de oleaje se tiene en la costa del Pacífico cuando este oleaje remoto es alimentado aún más con las brisas marinas, oestes ecuatoriales (mayo-octubre), o la presencia de un ciclón tropical cercano a nuestras costas, tanto en el Caribe, como en el Pacífico. El comportamiento mensual de la altura de oleaje en el Caribe es contrario al del Pacífico de Costa Rica, pues es mayor durante los vientos alisios fuertes (diciembre-abril) y menor durante el debilitamiento del mismo (setiembre-octubre).

V. Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación por el apoyo a través del Proyecto No. 805-96-279.

VI. Referencias

- [1] Alvarado, L.F. y E.J. Alfaro. *Tóp. Meteorol. y Oceanogr.* 2003, 10(1): 1-11.
- [2] Alvarez, J.C. Análisis de algunos parámetros meteorológicos en la estación del Aeropuerto Internacional Tomás Guardia de Liberia. Trabajo Final. Programa de Formación de Personal Meteorológico Clase II, CIGEFI, UCR. 1992, 18 pp. Anexos.
- [3] Anónimo. I. Oceanographic, Hydrographic and Hydrological Investigations. GTZ (German Agency for Technical Cooperation Ltda), MOPT de Costa Rica y Rep. Fed. de Alemania. 1980, 33 pp. Apéndices.
- [4] Anónimo. The possibility study on the second stage expansion project of the port of Caldera, Republic of Costa Rica. Japan International Cooperation Agency (JICA). Final Report. 1981, 343 pp.
- [5] Anónimo. Atlas of Pilot Charts, North Atlantic Ocean. Defense Mapping Agency, Secretary of Defense. USA. 1994, 37 p.
- [6] Anónimo. Determinación de los Regímenes de Oleaje en la Costa Pacífica Costarricense. Fundación Leonardo Torres Quevedo. Universidad de Cantabria. 2004.
- [7] Anónimo. Régimen extremal de la velocidad media del viento para la zona costera del Pacífico de Costa Rica. Dirección de Infraestructura. MOPT. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 2006, 10 pp. Anexos.
- [8] Amador, J.A. *Tóp. Meteorol. y Oceanogr.* 1998, 5 (2): 91-102.
- [9] Amador, J.A., E.J. Alfaro, O.G. Lizano y V. Magaña. Atmospheric forcing in the Eastern Tropical Pacific. En Lavín, M., Fiedler, P. (Eds.). *A Comprehensive Review of the Oceanography of the Eastern Tropical Pacific. Progress in Oceanography.* 2006, 69:101-142.
- [10] Cox, A.T. and V.R. Swail. *J. Geophys. Res.* 2001, 106(C2): 2313-2329.
- [11] Farfan, L.M. and J.A. Zehnder. *Mon. Wea. Rev.* 1997, 125: 2683-2698.
- [12] García, H. Memoria de Cálculo de la Marina Guaitil-Playa Naranjo. Mega Ingenieros S.A. 2001, 14 pp. Anexos I y II.

- [13] Kamphuis, J.W. 2000. Introduction to Coastal Engineering and Management. Advanced Series on Ocean Engineering- Volume 16. Word Scientific. New Jersey. 437 pp.
- [14] Knauss, J.A. Introduction to Physical Oceanography. Ed. Prentice-Hall, Inc.: Nueva York, 1978, 338 pp.
- [15] Landsea, C.W. Mon. Wea. Rev. 1993, 121: 1703-1713.
- [16] Legeckis, R. J. Geophys. Res. 1988, 93(C12): 485-489.
- [17] Lizano, O.G. Tóp. Meteorol. y Oceanogr. 1997, 4(2): 169-179.
- [18] Lizano, O.G. 2002. Las variables oceanográficas y su aplicación a la construcción de estructuras costeras. CIMAR, Universidad de Costa Rica. Obra didáctica, código Biblioteca Demetrio Tinoco (UCR): 551.470.2. L789.
- [19] Lizano, O. G. y W. Fernández. Tóp. Meteorol. y Oceanogr. 1996, 3(1): 3-10.
- [20] Lizano, O. G. y Moya, R. Geofísica. 1990, 33: 105-126.
- [21] Lizano, O.G. y D. M. Salas. Rev. Biol. Trop. 2001, 49. Supl. 2: 171-177.
- [22] Lizano, O.G. 2006. Proyecto de Marina en Monte del Barco, Bahía Culebra, Guanacaste, Aspectos Océano-Meteorológicos. 15 pp. Apéndices.
- [23] Lizano, O.G. y C. Brenes. 2000. Aspectos Oceanográficos. Proyecto: Estudio de impacto ambiental para la ubicación de una perforación exploratoria en la región de la plataforma del Caribe de Costa Rica. 89 pp.
- [24] Lizano, O.G. F.O. Ocampo, L.F. Alvarado, J.M. Puig y R. Vega. Tóp. Meteorol. y Oceanogr. 2001, 8(1): 40-49.
- [25] McCreary, J.P., H.S. Lee and D. B. Enfield. J. of Marine Res. 1989, 47:81-109.
- [26] Molinary, J., D. Knight, M. Dickinson, D. Vollaro and S. Skubis. Mon. Wea. Rev. 1997, 125: 2699-2708.
- [27] Muñoz, A. C., W. Fernández, J. A. Gutiérrez y E. Zárate. Top. Meteorol. y Oceanogr. 2002, 9(1): 1-13.
- [28] Sanford, R.B., P.G. Black, J.R. Haustein, J.W. Feeney. J. of Phys. Oceanogr. 1987, 17: 2065-2083.

- [29] Silvester, R. Coastal Engineering. Ed. Elsevier. 1974. 323 pp.
- [30] Sterl, A. and G.J. Komen. J. Geophys. Res. 1998, 103. C3: 5477-5492.
- [31] Svendsen, H., R. Rosland, S. Myking, J.A. Vargas, O.G. Lizano & E. J. Alfaro. Rev. Biol. Trop. 2006, 54(Suppl. 1): 147-170.
- [32] Wang, C. and D.B. Enfield. J. of Climate. 2003, 16: 1476-1493.
- [33] WMO (World Meteorological Organization). 1993. Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting. G.J. Holland (ed.). WMO/TD-No. 560. Report NO. TCP-31. http://www.bom.gov.au/bmrc/pubs/tcguide/globa_guide_intro.htm. (vigente el 22 de junio del 2007).
- [34] Zárate, E. 1978; Comportamiento del viento en Costa Rica. Nota de Investigación No. 2. Instituto Meteorológico Nacional. 31 pp.
- [35] Zárate y Ramírez. 1989. Estudio de viento en superficie en el Aeropuerto Internacional de Llano Grande, Liberia, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. 9 pp.