

APROXIMACIÓN SOBRE LA CLIMATOLOGÍA DE LA ISLA DE MARGARITA Y SU IMPORTANCIA EN LOS PROCESOS OCEÁNICOS

APPROACH ABOUT CLIMATE AT MARGARITA ISLAND AND ITS IMPORTANCE IN OCEAN PROCESSES

FABIOLA LÓPEZ-MONROY¹, LUIS TROCCOLI-GHINAGLIA²

*Universidad de Oriente, Núcleo de Nueva Esparta, ¹Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, ²Instituto de Investigaciones Científicas, Isla de Margarita, Venezuela.
E-mail: fametal@gmail.com*

RESUMEN

Con la finalidad de identificar patrones climáticos temporales en la Isla de Margarita, Venezuela, fueron utilizadas series de tiempo entre 1966 y 2012 de la precipitación y evaporación acumulada y entre 1975 y 2008 de la velocidad promedio del viento. Los análisis de conglomerados realizados indicaron una marcada estacionalidad: de enero a junio sequía caracterizada por bajas precipitaciones (95 mm período⁻¹) y de julio a diciembre lluvias moderadas (264 mm período⁻¹), intensificándose los dos últimos meses en respuesta al descenso latitudinal de los frentes fríos árticos, con ciclos interdecadales tanto de sequías como de lluvias extremas. La evaporación fue elevada superando a la precipitación durante todo el año (276 mm período⁻¹ en sequía y 249 mm período⁻¹ en lluvia). La temporada de mayor velocidad promedio del viento correspondió a febrero-junio ($\bar{X}=6,1 \text{ m s}^{-1}$), con celeridades adecuadas para generar surgencia costera, mientras que el resto del año los vientos son más débiles ($\bar{X}=4,6 \text{ m s}^{-1}$).

PALABRAS CLAVE: Meteorología, precipitación, vientos, metocean.

ABSTRACT

In order to identify temporal weather patterns in Margarita Island, Venezuela, time series were analyzed between 1966 and 2012 for the accumulated precipitation and evaporation, and between 1975 and 2008 for the average wind speed. The Cluster analysis performed showed a marked seasonality: January to June form a dry period characterized by low precipitation (95 mm period⁻¹), and from July to December there is a moderate rainy period (264 mm period⁻¹), which intensifies during the last two months in response to a latitudinal decline of Arctic cold fronts, with both interdecadal cycles of droughts and extreme rainfall. Evaporation was high surpassing precipitation throughout the year (276 and 249 mm period⁻¹ in the dry and rainy periods, respectively). The season of highest average wind speed corresponded to February to June ($\bar{X} = 6.1 \text{ m s}^{-1}$), a period with appropriate wind speed to generate upwelling, while during the rest of the year the winds are weaker ($\bar{X} = 4.6 \text{ m s}^{-1}$).

KEY WORDS: Meteorology, precipitation, winds, metocean.

INTRODUCCIÓN

La interacción entre el océano y la atmósfera domina, directa e indirectamente, la mayoría de los procesos físicos y algunos químicos que suceden en ambos compartimientos. Algunos ejemplos de esta interacción son: los mecanismos de evaporación-precipitación; transferencia de energía desde la atmósfera hacia el océano a través del estrés del viento, que da origen a las corrientes superficiales (Marshall y Plumb 2008, Talley *et al.* 2011) e intercambio de agua (Jickells 1998) y gases como O₂ y N₂ (Emerson y Hedges 2008). Tomando en cuenta esto, es fácil concluir entonces que la climatología vinculada a un ecosistema marino, no debe ser ignorada si se quiere realizar una adecuada interpretación de su dinámica.

Entre las variables climáticas, la precipitación y los vientos, son las que influyen más directamente en los ambientes costeros. La primera, contribuye al ingreso

de materiales sólidos (sedimentos) y sustancias químicas en el agua de mar, y junto con la evaporación controlan la salinidad. Mientras que la segunda, es responsable de la mayoría de los procesos dinámicos (entre los que intervienen las corrientes, mezcla y surgencia costera).

La precipitación, en la zona ecuatorial es controlada por una franja longitudinal de bajas presiones atmosféricas, en la que coinciden los vientos alisios del Noreste y del Sureste. Esta región es conocida como zona de convergencia intertropical de los vientos alisios (ZCIT) y aunque rodea a todo el planeta aproximadamente sobre el ecuador, casi siempre se localiza ligeramente al Norte (Poveda 2004) entre 4 y 12° N (Philander *et al.* 1996). Los vientos que confluyen en la ZCIT, se calientan y ascienden, produciendo elevada nubosidad y precipitaciones (Marshall y Plumb 2008).

La ZCIT presenta migraciones estacionales. Durante el verano austral (diciembre-enero), el calentamiento

de esa región del planeta, atrae a la ZCIT y provoca su migración hacia el Sur (Chavez 2012). Lo que hace que las bajas presiones y elevada pluviosidad se sitúen sobre la cuenca del Amazonas, al SE de Colombia y Ecuador (Poveda *et al.* 2006). Mientras que, en el verano boreal (julio-agosto) el desplazamiento es hacia el Norte, sobre Venezuela, las Guayanas, el Norte de Colombia, hasta Costa Rica-Nicaragua (Poveda *et al.* 2006).

El principal mecanismo que regula la pluviosidad en Venezuela es la estacionalidad de la ZCIT (Rojas y Alfaro 2000, Poveda *et al.* 2006). Sin embargo, localmente también es importante considerar otras variables que pueden modificar el sistema pluviométrico por ejemplo: intrusiones de aire frío extratropical, vaguadas en la tropósfera superior, tormentas tropicales, orografía e interacción con el sistema climático del Pacífico oriental (Poveda *et al.* 2006).

Normalmente la ZCIT no se encuentra en latitudes mayores a 10-12° N (Magaña *et al.* 1999), por lo que las precipitaciones en el Caribe venezolano no dependen exclusivamente de ella. En este sector existe la influencia de los frentes fríos llamados *nortes*, que descienden desde Norteamérica y penetran el trópico a finales del año (extendiéndose en algunos casos hasta febrero), desplazando la ZCIT hacia la Cordillera de La Costa (Lyon 2003). El resultado es la inestabilidad climática de la región insular (Poveda *et al.* 2006).

La variación de los vientos superficiales también ha demostrado una estrecha relación con la ZCIT (Masunaga y L'Ecuyer 2011). Los alisios del Noreste se intensifican sobre el Mar Caribe cuando esta migra hacia el Sur (Taylor *et al.* 2012). La consecuencia es la surgencia estacional de aguas subsuperficiales en el Sureste del Caribe (Fukuoka 1965, Okuda y Benítez 1974, Herrera y Febres 1975, Taylor *et al.* 2012, Rueda-Roa y Muller-Karger 2013). Durante la surgencia las aguas que emergen son ricas en nutrientes, lo que estimula la producción primaria. Al respecto, Taylor *et al.* (2012) afirman que el mecanismo de surgencia sostiene aproximadamente el 70% de la producción primaria neta en la zona, mientras que Mutshinda *et al.* (2013) señalan que el incremento de la producción primaria, es 10 veces mayor en los meses de surgencia respecto a los de relajación.

En la costa oriental venezolana, la surgencia inicia en la Península de Paria (al Este) y se propaga hacia el Noroeste de los estados Sucre y Anzoátegui. Como consecuencia, la Isla de Margarita (especialmente la

costa Sur) se beneficia del enriquecimiento que produce la surgencia (Gómez 2007).

Debido a que tanto la precipitación como la surgencia suelen poseer ciclos estacionales, el objetivo de esta investigación fue identificar esos patrones y las posibles anomalías temporales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en las mediciones disponibles, para establecer la estacionalidad pluviométrica fueron utilizados datos de precipitación y evaporación acumulada (mm), con frecuencias mensuales y anuales (entre 1966 y 2012). Mientras que, para reconocer la época de surgencia se empleó la velocidad (m s^{-1}) media del viento (entre 1975 y 2008). En ambos casos se dispuso de series de tiempo aportadas por la estación meteorológica del Ministerio del Ambiente, ubicada en Punta de Piedras, bajo la responsabilidad de La Fundación La Salle de Ciencias Naturales.

La estacionalidad climatológica, fue establecida a partir de análisis de conglomerados, usando el método del promedio del grupo y la distancia euclidiana. Una vez conocida la estacionalidad, los períodos fueron comparados utilizando el estadístico Kruskal-Wallis (Zar 1998). En todos los análisis se usó el software Statgraphics Plus[®], versión 5.1.

Las anomalías interanuales, se obtuvieron como la diferencia entre el valor correspondiente al año y el promedio de la serie de tiempo (Montealegre 2012).

RESULTADOS

La precipitación acumulada mensual varió de 9 a 52 mm mes^{-1} ($\bar{x} = 30 \text{ mm mes}^{-1}$). Durante los primeros meses del año (enero-junio) se observa menor precipitación. A partir de junio incrementaron las lluvias (Fig. 1), hasta los máximos registros (52 y 51 mm mes^{-1} en noviembre y diciembre respectivamente). Eventualmente pudo existir una ligera disminución en septiembre-octubre o una extensión de las lluvias hasta enero, como ocurrió en el año 2002.

El análisis de conglomerados permitió distinguir dos períodos con características pluviométricas distintas (Fig. 2): el primero de enero a junio con mínima pluviosidad ($\bar{x} = 16 \text{ mm mes}^{-1}$) y el segundo entre julio y diciembre con máxima ($\bar{x} = 44 \text{ mm mes}^{-1}$).

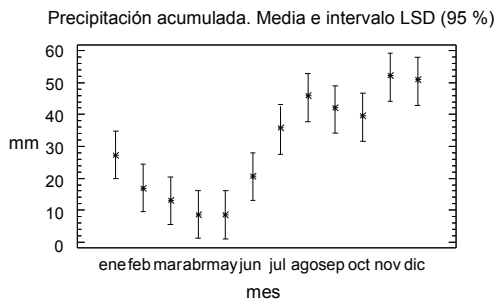


Figura 1. Precipitación acumulada mensual en la Isla de Margarita, Venezuela. Años 1966-2012.

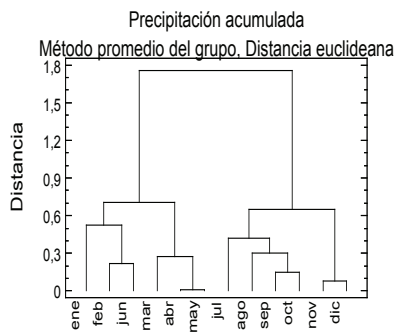


Figura 2. Análisis de conglomerados de la precipitación total mensual en la Isla de Margarita, Venezuela. Años 1966-2012.

La estacionalidad también se aprecia en el total acumulado en cada período ($w = 216,991$; $p < 0,05$). Durante la estación de sequía la precipitación promedio fue $95 \text{ mm período}^{-1}$, mientras que en lluvias fue de $264 \text{ mm período}^{-1}$ (Fig. 3a).

El promedio anual de precipitaciones acumuladas fue de 359 mm año^{-1} . El análisis de las anomalías permitió reconocer, en la serie de tiempo, los años de máximas y mínimas lluvias (Fig. 4). De este modo se observaron sequías extremas en: 1972, 1982, 1992 y 2003 ($\bar{x} = 173 \text{ mm año}^{-1}$). En estos años la anomalía fue $\bar{x} = 186 \text{ mm año}^{-1}$. El ciclo de máximas lluvias abarcó los años: 1975, 1988, 1999 y 2008 ($\bar{x} = 735 \text{ mm año}^{-1}$), con una anomalía de $\bar{x} = 425 \text{ mm año}^{-1}$. Es importante destacar, que durante 2011, y en forma atípica ocurrieron las mayores precipitaciones de los 46 años de estudio (979 mm año^{-1}).

La evaporación acumulada mensual varió de 214 (en diciembre) a 305 mm mes^{-1} (en abril), con promedio de 263 mm mes^{-1} . La distribución de esta variable mostró un comportamiento bimodal con los máximos en abril y septiembre-octubre (Fig. 5). Estacionalmente, la evaporación fue más elevada durante el período de sequía ($w = 200,45$; $p < 0,05$; Fig. 3b).

La velocidad del viento promedió $5,2 \text{ m s}^{-1}$,

observándose un comportamiento inverso a las precipitaciones. De esta manera, los primeros meses del año aumentó progresivamente la velocidad del viento, hasta el máximo ($6,4 \text{ m s}^{-1}$) en abril. Posteriormente disminuyó hasta el mínimo ($4,3 \text{ m s}^{-1}$) en octubre (Fig. 6).

A partir del análisis de conglomerados, se identificaron dos épocas (Fig. 7), con celeridades distintas ($w = 8,08$; $p < 0,05$). Las máximas celeridades se obtuvieron de febrero a junio ($\bar{x} = 6,1 \text{ m s}^{-1}$) en la que prevalecieron las direcciones Este y Este-Noreste y que se correspondieron con la surgencia costera del área de estudio. El resto del año se observó disminución de la velocidad ($\bar{x} = 4,6 \text{ m s}^{-1}$) o relajación, con vientos provenientes del Este-Sureste o Sureste (Fig. 3c). Una revisión de las anomalías de la velocidad del viento en la serie de tiempo, considerando solo los meses de surgencia, no mostró tendencias claras (Fig. 8). Pueden considerarse los años 1981-1982 como representativos de baja intensidad de vientos y el período 1994-1997 como de mayor velocidad.

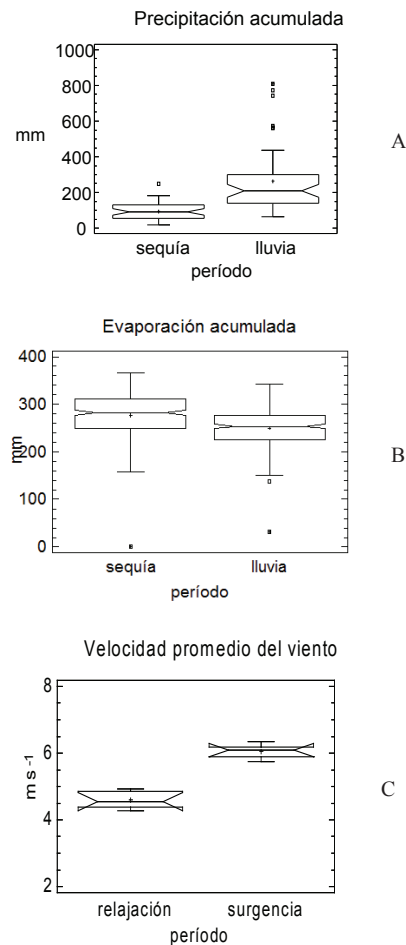


Figura 3. Variabilidad estacional de: A) precipitación acumulada; B) evaporación acumulada y C) velocidad promedio del viento, en la Isla de Margarita, Venezuela. (A y B: período 1966-2012, C: 1975-2008).

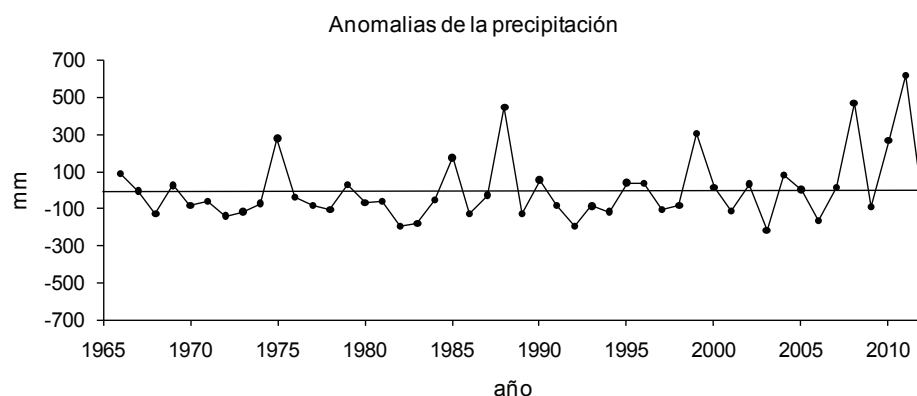


Figura 4. Variación anual de las anomalías de la precipitación acumulada en la Isla de Margarita. Años 1966-2012.

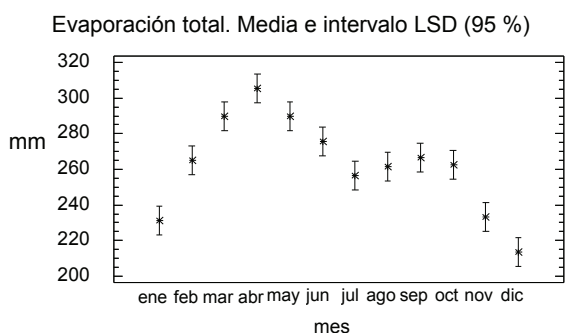


Figura 5. Evaporación total mensual en la Isla de Margarita. Años 1966-2012.

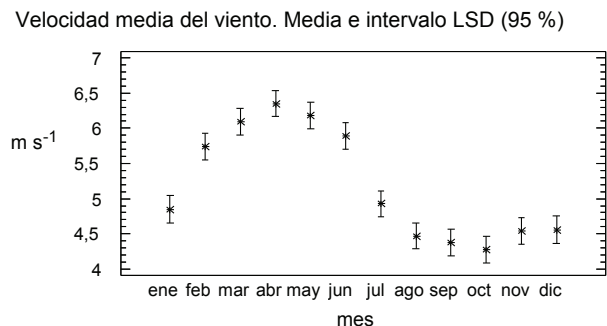


Figura 6. Velocidad media del viento en la Isla de Margarita. Años 1975-2008.

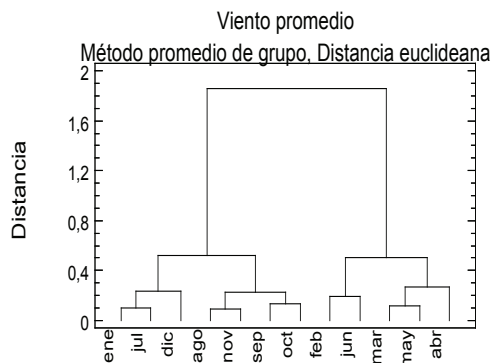


Figura 7. Análisis de conglomerados de la velocidad promedio mensual del viento en la Isla de Margarita. Años 1975-2008.

DISCUSIÓN

De acuerdo a la escasa precipitación y elevada evaporación, la Isla de Margarita posee un clima árido durante todo el año. Silva (2010) utilizando una clasificación basada en la pluviometría y temperatura atmosférica, lo sitúa en el tipo climático: “muy cálido y escasamente lluvioso”. Esto se refleja por ejemplo, en el predominio de ecosistemas xerófilos, especialmente en el borde costero.

El hecho de que las precipitaciones sean escasas, no impide que exista una marcada estacionalidad. Siguiendo el sistema de clasificación propuesto por Silva (2010), el período enero-junio es considerado seco y julio-diciembre relativamente lluvioso. Lo que coincide con los resultados señalados por el análisis de conglomerados (Fig. 2). Esta estacionalidad no parece responder a las migraciones de la ZCIT, ya que aumentarían las precipitaciones a mediados de año. En contraste, la intensificación observada en noviembre y diciembre serían indicativos de la presencia de los frentes fríos que se presentan en esos meses.

Respecto a la variación interanual, Silva (2010) señala que es frecuente que la precipitación anual sea muy cambiante y por eso se reconocen años secos y lluviosos en una localidad. El comportamiento en este caso parece seguir un ciclo interdecadal, tanto para los años secos como para los lluviosos. Adicionalmente, puede observarse un incremento en la frecuencia de estos ciclos: 13 años entre 1975 y 1988; 11 entre 1988 y 1999 y 10 entre 1999 y 2008 (Fig. 4). Este tipo de variaciones interdecadales en la pluviosidad han sido reseñadas previamente en el Atlántico Norte Tropical (Alfaro 2002), Colombia (Poveda 2004) y sobre la cuenca de Cariaco (Taylor *et al.* 2012). Asociándose en todos los casos a

una posible relación con ciclos naturales vinculados a cambios en la presión atmosférica, debido a eventos de la oscilación del Atlántico Norte (NAO). Otro mecanismo que debe considerarse, es El Niño y la oscilación del Sur (ENOS). La interacción atmosférica del Mar Caribe con ENOS ha sido ampliamente reseñada (Enfield y Alfaro 1999, Giannini *et al.* 2000, 2001, Alfaro 2002, Taylor *et al.* 2002, Astor *et al.* 2013) e incluye complejas relaciones entre el flujo de calor superficial sobre el Atlántico Tropical (Giannini *et al.* 2000, Taylor *et al.* 2002), anomalías de la temperatura superficial del Caribe (Wu y Zhang 2010, Astor *et al.* 2013) y la circulación atmosférica a gran escala (Wang 2002).

La evaporación por su parte, excedió a la precipitación durante todo el año, intensificándose en el período de sequía (Fig. 3b). Las elevadas tasas de evaporación, responden al máximo calentamiento que ocurre en la región intertropical (Talley *et al.* 2011). El comportamiento bimodal (Fig. 5), coincide con los equinoccios de primavera y otoño en el hemisferio Norte, cuando los rayos solares inciden con un ángulo recto en la región ecuatorial.

Por otra parte, la velocidad del viento mostró una marcada estacionalidad. Los primeros meses (febrero-junio) valores elevados y el resto del año menores celeridades. Esta misma estacionalidad, ha sido referida previamente en la zona (Astor *et al.* 2003, Aparicio y

Contreras 2003, Taylor *et al.* 2012) y ocurre en respuesta a la migración de la ZCIT.

En la región nororiental, la predominancia de los alisios del Este permite que existan condiciones favorables durante todo el año, para que se active la surgencia costera (Aparicio y Contreras 2003). Por lo que, lo que condicionaría entonces este mecanismo en la zona, sería principalmente la magnitud, más que la dirección, que casi siempre es favorable. Otro aspecto importante que debe considerarse, es el tiempo que dure la intensidad adecuada para producir la surgencia, la cual debe mantenerse 1-2 semanas para que se observen cambios en el mar (Astor *et al.* 2003).

En este estudio la velocidad promedio en el período de mayores celeridades ($\bar{x}=6,1 \text{ m s}^{-1}$) se corresponde con la señalada para favorecer la surgencia costera (Astor *et al.* 2003, Müller-Karger *et al.* 2004). La respuesta oceánica esperada sería una disminución de la temperatura superficial $\sim 23^\circ\text{C}$ (Aparicio 2003) y aumento de la productividad primaria $\sim 4 \text{ mg Cl a m}^{-3}$, según los límites usados por Müller-Karger *et al.* (2004) para reconocer la pluma de la surgencia a través de imágenes satelitales. La velocidad de los vientos (Fig. 8) debió favorecer una surgencia más débil en 1981-1982 y más intensa en 1994-1997, de acuerdo a lo indicado por las anomalías. Esto pudo corroborarse, al menos para los años débiles, según los índices de surgencia presentados por Aparicio (2003).

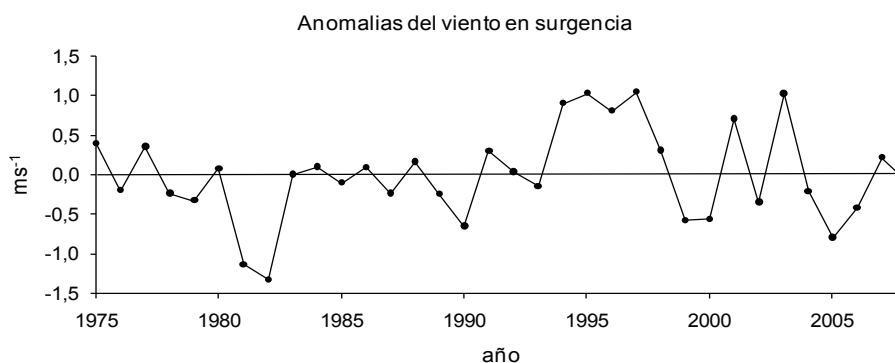


Figura 8. Variación anual de las anomalías de la velocidad media del viento durante el período de surgencia costera en la Isla de Margarita. Años 1975-2008.

CONCLUSIONES

La distribución temporal de la pluviosidad y la evaporación en la Isla de Margarita indican una marcada estacionalidad: bajas precipitaciones y elevada evaporación de enero a junio y lluvias moderadas de julio a diciembre, intensificándose los dos últimos meses en respuesta al descenso latitudinal de los frentes fríos

árticos, con ciclos interdecadales tanto de sequías como de lluvias extremas.

El régimen de vientos también muestra tendencia estacional en la zona: elevada intensidad de febrero a junio con celeridades adecuadas para generar surgencia costera y relajación el resto del año. Las anomalías observadas en la velocidad del viento, pudieron generar

variaciones en la intensidad de la surgencia.

variability of Caribbean rainfall, ENSO and the Atlantic Ocean. *J. Climate*. 13(2):297-311.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO E. 2002. Some characteristics of the annual precipitation cycle in Central America and their relationships with its surrounding tropical oceans. *Top. Meteor. Oceanogr.* 9(2):88-103.
- APARICIO R. 2003. Revisión de las características oceanográficas de la plataforma nororiental de Venezuela. *En: La sardina (*Sardinella aurita*) su medio ambiente y explotación en el oriente de Venezuela*. FREÓN P, MENDOZA J, (eds.), pp. 171-205.
- APARICIO R, CONTRERAS R. 2003. Índices de surgencia costera inducida por el viento para la región nororiental de Venezuela. *En: La sardina (*Sardinella aurita*) su medio ambiente y explotación en el oriente de Venezuela*. FREÓN P, MENDOZA J, (eds.), pp. 207-232.
- ASTOR Y, MÜLLER-KARGER F, SCRANTON M. 2003. Seasonal and inter annual variation in the hydrography of the Cariaco Basin: implications for basin ventilation. *Cont. Shelf Res.* 23(1):125-144.
- ASTOR Y, LORENZONI L, THUNELL R, VARELA R, MULLER-KARGER F, TROCCOLI L, TAYLOR G, SCRANTON M, TAPPA E, RUEDA D. 2013. Interannual variability in sea surface temperature and fCO₂ changes in the Cariaco Basin. *Deep-Sea Res. Part II-Top. Estud. Oceanogr.* 93:33-43.
- CHAVEZ F. 2012. Climate change and marine ecosystems. *PNAS.* 109(47):1945-1946.
- EMERSON S, HEDGES J. 2008. *Chemical oceanography and the marine carbon cycle*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 453.
- ENFIELD D, ALFARO E. 1999. The dependence of Caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans. *J. Climate*. 12(7):2093-2103.
- FUKUOKA J. 1965. Coastal upwelling near Venezuela (I). Year to year change of upwelling. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 4(2):223-233.
- GIANNINI A, KUSHNIR Y, CANE M. 2000. Interannual variability of Caribbean rainfall, ENSO and the Atlantic Ocean. *J. Climate*. 13(2):297-311.
- GIANNINI A, CANE M, KUSHNIR Y. 2001. Interdecadal changes in the ENSO teleconnection to the Caribbean Region and the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*. 14(13):2867-2879.
- GÓMEZ A. 2007. Producción primaria en el sureste de la Isla de Margarita (Venezuela). *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 46(2):97-105.
- HERRERA L, FEBRES G. 1975. Procesos de surgencia y de renovación de aguas en la Fosa de Cariaco, Mar Caribe. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 14(1):31-44.
- JICKELLS T. 1998. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science.* 281(5374):217-222.
- LYON B. 2003. Enhanced seasonal rainfall in northern Venezuela and the extreme events of december 1999. *J. Climate.* 16(13):2302-2306.
- MAGAÑA V, AMADOR J, MEDINA S. 1999. The mid-summer drought over Mexico and Central America. *J. Climate.* 12(6):1577-1588.
- MARSHALL J, PLUMB A. 2008. *Atmosphere, ocean, and climate dynamics: an introductory text*. International Geophysics Series, vol. 93. Elsevier Academic Press, London, UK, pp. 319.
- MASUNAGA H, L'ECUYER T. 2011. Equatorial asymmetry of the East Pacific ITCZ: observational constraints on the underlying processes. *J. Climate.* 24(6):1784-1800.
- MONTEALEGRE E. 2012. Determinación de las alteraciones de la precipitación y la temperatura del aire durante los fenómenos El Niño y La Niña, con base en los datos históricos de las estaciones meteorológicas en la región capital (Bogotá y Cundinamarca), para actualizar los resultados del modelo del IDEAM. Plan regional integral de cambio climático región capital Bogotá-Cundinamarca, Colombia, pp. 56.
- MÜLLER-KARGER F, VARELA R, THUNELL R, ASTOR Y, ZHANG H, LUERSSEN R, CHUANMIN H. 2004. Processes of coastal upwelling and carbon flux in the Cariaco Basin. *Deep-Sea Res. Part II-Top.*

Estud. Oceanograp. 51(10-11):927-943.

MUTSHINDA C, TROCCOLI-GHINAGLIA L, FINKEL Z, MÜLLER-KARGER F, IRWIN A. 2013. Environmental control of the dominant phytoplankton in the Cariaco basin: a hierarchical Bayesian approach. *Mar. Biol. Res.* 9(3):247-261.

OKUDA T, BENÍTEZ J. 1974. Condiciones hidrográficas de las capas superiores en la Fosa de Cariaco y áreas adyacentes durante la época de lluvias. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 13(1 y 2):147-162.

PHILANDER S, GU D, HALPERN D, LAMBERT G, LAU N, LIN T, PACANOWSKI N. 1996. Why the ITCZ in mostly north of the equator? *J. Climate.* 9(12):2958-2972.

POVEDA G. 2004. La hidroclimatología de Colombia. Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Rev. Acad. Colomb. Cien.* 18(107):201-221.

POVEDA G, WAYLEN P, PULWARTY R. 2006. Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeo.* 234(1):3-27.

ROJAS M, ALFARO E. 2000. Influencia del océano Atlántico tropical sobre el comportamiento de la primera parte de la estación lluviosa en Venezuela. *Top. Meteor. Oceanog.* 7(2):88-92.

RUEDA-ROA D, MULLER-KARGER F. 2013. The Southern Caribbean Upwelling System: Sea surface temperature, wind forcing and chlorophyll concentration patterns. *Deep-Sea Res. Part*

I-Oceanograp. Res. Pap. 78:102-114.

SILVA G. 2010. Tipos y subtipos climáticos de Venezuela. Mérida: Universidad de Los Andes, Venezuela, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Departamento de Geografía Física [Disertación Ascenso a Profesor Titular], 69 pp.

TALLEY L, PICKARD J, EMERY W, SWIFT J. 2011. *Descriptive physical oceanography*. 6 ed. Academic Press-Elsevier, London, UK, pp. 555.

TAYLOR M, ENFIELD D, CHEN A. 2002. Influence of the tropical Atlantic versus the tropical Pacific on the Caribbean rainfall. *J. Geophys. Res.* 107(C9):3127.

TAYLOR G, MULLER-KARGER F, THUNELL R, SCRANTON M, ASTOR Y, VARELA R, TROCCOLI-GHINAGLIA L, LORENZONI L, FANNING K, HAMEED S, DOHERTY O. 2012. Ecosystem responses in the southern Caribbean Sea to global climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 109:19315-19320.

WANG C. 2002. Atmospheric circulation cells associated with the El Niño-Southern Oscillation. *J. Climate.* 15(4):399-419.

WU R, ZHANG L. 2010. Biennial relationship of rainfall variability between Central America and equatorial South America. *Geophys. Res. Lett.* 37:L08701. doi:10.1029/2010GL042732.

ZAR J. 1998. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. 4 ed. New Jersey, USA, pp. 929.