

Figura 13. Diversos campos para junio de 1995, a) Corrientes geostróficas, b) Campo de temperatura (50 metros), c) Campo de salinidad (50 metros), d) Campo de densidad (50 metros).

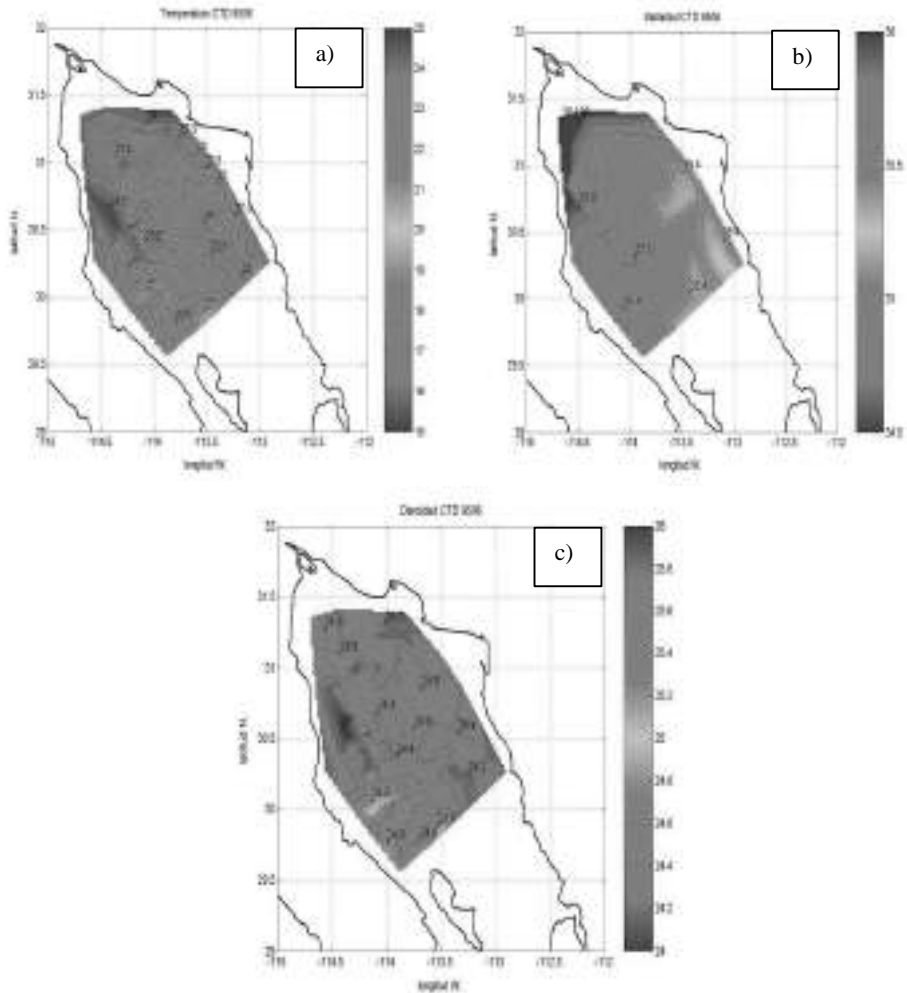


Figura 14. Campos de CTD para junio de 1995: a) Temperatura ($^{\circ}$ C), b) Salinidad (ups) y c) Densidad (σ_t).

La hidrografía superficial de la RNGC responde a forzamientos atmosféricos (como lo muestran las figuras anteriores), por otro lado, la hidrografía subsuperficial indica que la RNGC sigue siendo afectada por el evento de enero-marzo de 1995, ya que estacionalmente, en mayo-junio debe de observarse la transición del giro anticiclónico, a ciclónico, sin embargo el cálculo de corrientes geostróficas, muestra que no hay un patrón definido de circulación (*Figura 15a*), así mismo, es de esperarse para las fechas en que se llevó a cabo este crucero, la presencia bien definida del giro ciclónico (Palacios-Hernández, 2001), pero éste no fue el caso, la hidrografía subsuperficial así lo confirma (*Figura 13b, c, d*), lo anterior sugiere que la anomalía de enero-marzo de 1995 sigue afectando la circulación e hidrografía subsuperficial hasta junio de 1995 (seis meses después).

Es sabido que la transición entre los regímenes de circulación en la RNGC toma de tres a cuatro semanas (Carrillo, Lavín y Palacios-Hernández, 2002; Palacios-Hernández, 2001; Palacios-Hernández *et al.*, 2002; Palacios y Beier, 2015), ocurriendo en mayo (anticiclónico a ciclónico) y octubre (ciclónico a anticiclónico); sin embargo, se desconoce de la manera en que la transición tiene lugar (su evolución temporal), ya que existen pocos datos (mediciones directas) que hayan muestreado la etapa completa, una de las existentes descrita por Palacios-Hernández (2001), muestra la transición en condiciones normales e indica que ésta ocurre principalmente en tres etapas interconectadas: (1) atenuación del régimen previamente existente, (2) circulación nula o errática, (3) intensificación del siguiente régimen correspondiente; estas observaciones directas se encuentran apoyadas por análisis de corrientes geostróficas y simulaciones numéricas (Beier y Ripa, 1999; Palacios-Hernández, 2001; Palacios y Beier, 2015). Las condiciones observadas en la Figura 13a (presencia de ambos giros a la vez), representan la primera evidencia de que la transición puede ocurrir de manera distinta a la reportada en (Palacios-Hernández, 2001; Palacios y Beier, 2015), lo anterior puede ser consecuencia, como ya se comentó, a que junio de 1995 fue anómalo, o a factores aún desconocidos.

Históricamente se han observado anomalías interanuales de los ciclos hidrográficos y de la circulación de la RNGC. Por ejemplo, Roden (1964) notó que la temperatura en abril de 1957 era de aproximadamente 1°C mayor que en abril de 1959. Después se propuso que esta anomalía fue ocasionada por EN 1957-1958 (Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1959; Bray, 1988). Hubo características anómalas de temperatura y salinidad en la RNGC durante años EN, otro evento anómalo fue el de marzo de 1973 (Romero-Centeno, 1995). También se encontraron que los inviernos de 1982 y 1983 en eventos EN tuvieron comportamientos meteorológicos anómalos, pero causaron un efecto contrario sobre el almacenamiento de calor y estratificación (Reyes y Lavín, 1997; Reyes-Hernández, 1993).

En particular, la anomalía de enero-marzo de 1995 no está relacionada con El Niño, pero sí con eventos de origen externo (ecuatorial), como lo indica el índice NOIx (Índice de la Oscilación del Norte) y el EMI (Índice de el Niño Modoki), que para enero de 1995 posee un pronunciado pico negativo (http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/NOIx/data/noix_1948_all.gif; Schwing, Murphree y Green, 2000; https://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/modoki_home.html.en), de hecho, el índice NOIx para este período registra uno de los valores más negativos de la serie completa (1948-2001; Lavín, Palacios-Hernández y Cabrera, 2003; Palacios y Beier, 2015) y local (meteorológico), que provocó la formación de una gran masa de agua en la región del Alto Golfo, que se propagaría más tarde (enero 1995) como una corriente de gravedad hacia cuenca Wagner (Palacios-Hernández *et al.*, 2006; Palacios y Beier, 2015).

La anomalía tibia de enero-marzo de 1995 afectó todo el Golfo de California, fue muy abrupta, con anomalías en la temperatura superficial del mar de hasta 3.5°C para un par de meses (de -2.0°C a 1.5°C ; Lavín, Palacios-Hernández y Cabrera, 2003; Palacios y Beier, 2015). De hecho 1995 fue reportado como año anómalo para las costas del Pacífico mexicano; (Lluch-Cota *et al.*, 1999) reporta una anomalía positiva de la temperatura superficial del mar del orden de la de EN 1997-1998, además fue el año más húmedo (seco) de la década de los 90's en el sur (norte), del lado del pacífico de la península de Baja California (Delgadillo-Macías, Aguilar-Ortega y Rodríguez-Velásquez, 1999).

Marzo de 1996

Los campos de temperatura en marzo de 1996 (*Figuras 10a y 15a*), medidos por el termosalinómetro y CTD, coinciden tanto en la extensión como localización de las estructuras de mayor relevancia. Las condiciones de temperatura para la RNGC en este mes, son completamente normales, como lo muestran

las series de tiempo de las anomalías de temperatura superficial promedio (Figura 4, Lavín, Palacios-Hernández y Cabrera, 2003; Palacios y Beier, 2015).

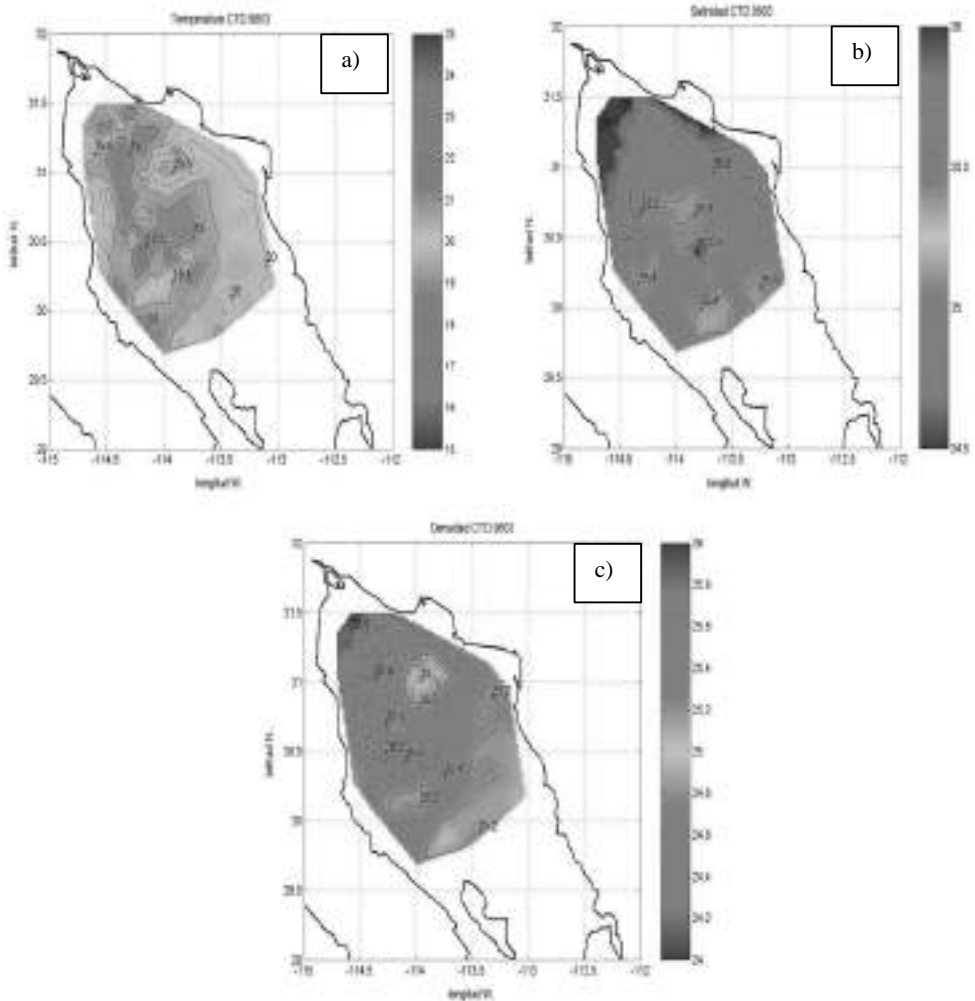


Figura 15. Campos de CTD para marzo de 1996: a) Temperatura ($^{\circ}$ C), b) Salinidad (ups) c) Densidad (σ_t).

El promedio de la temperatura superficial del cruceo es de 19.4 $^{\circ}$ C, la presencia del centro de baja temperatura en la región central, y de las estructuras de similar característica que extienden hasta el Alto Golfo (casi sobre Cuenca Wagner), se pueden deber a que se encuentran sobre una cadena de regiones profundas (400, 200, 180 y 100 m.). Los frentes de alta temperatura que cubren las costas de Baja California y Sonora coinciden con zonas someras de la RNGC, por lo que sugieren ser consecuencia del inicio en el mes de febrero del período de calentamiento estacional.

La salinidad para el mismo período promedia 35.7 ups, los campos (*Figuras 10b y 15b*) muestran un frente halino intenso que cubre por completo al Alto Golfo e incluso parte de la RNGC, las concavidades de las isohalinas (sobre todo la de 35.8 ups) están asociados a los frentes fríos de temperatura que se extienden desde la zona central hasta Cuenca Wagner, los frentes de temperatura alta sobre las costas de Baja California y Sonora coinciden con la prolongación de los frentes halinos sobre dichas costas, en especial la de Sonora, los valores más altos de salinidad (37.0 ups), se alcanzan al norte de la zona del Alto Golfo (región más somera). Las regiones aisladas de baja salinidad se encuentran sobre zonas relativamente profundas de la RNGC, lo que puede ser causa de sus valores bajos de salinidad.

Los campos de densidad para marzo de 1996 (*Figuras 10c y 15c*), se ven afectados por los campos de temperatura, el frente de alta densidad que existe desde el Alto Golfo y se prolonga hasta la zona central, es consecuencia del frente de baja temperatura ubicado en la misma zona, lo mismo sucede con los centros de alta temperatura, generan regiones de baja densidad; por otro lado, las regiones aisladas de baja salinidad que se observan en la *Figura 15b*, son las causantes de la existencia de las zonas aisladas de baja densidad que aparecen en los campos de densidad; una diferencia apreciable entre el campo medido por el termosalinómetro y CTD, es la no-coincidencia en el campo del termosalinómetro de la extensión de la estructura que aparece en el CTD al sureste y que se extiende lo ancho de la RNGC hasta la costa de Sonora. Esto se debe a un tramo grande defectuoso en el archivo madre de los datos del mes para el termosalinómetro, que fueron removidos, resultando así la ausencia de parte de la estructura que reporta el campo de CTD (esto se puede observar en los transectos de este mes *Figura 6d*), por lo tanto en esta zona los campos son resultado de la interpolación.

CONCLUSIONES

El termosalinómetro SEACAT SBE 21 posee una mayor resolución que el CTD, esto debido a su capacidad de tomar varios datos por segundo, es preferible su uso, cuando se desee estudiar la hidrografía superficial, por su definición, precisión y el hecho de que la embarcación oceanográfica no necesite hacer estaciones para la toma de datos.

Los campos obtenidos por el termosalinómetro (primera vez usado en la RNGC), muestran concordancia con los de CTD, por lo que se puede considerar de buena precisión.

Es de especial importancia para la detección de frentes en la RNGC la resolución de los campos obtenidos por medio del termosalinómetro, así como para estudios futuros de la anomalía de enero-junio de 1995, en donde sea relevante la detección, formación y distribución de masas de agua.

La anomalía reportada en la RNGC en el invierno de 1995, abarca de enero a junio (6 meses) de 1995 subsuperficialmente, mientras en la superficie la anomalía abarca de enero a marzo (2 meses) de 1995.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Borrego S. y Schwartzlose R. S., 1979 Masas de agua del Golfo de California. *Mar.*, 6 (1 y 2), 43-63.
- Baumgartner T. R. y N. Christensen, 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *J. Mar. Res.* 43, 825-848.
- Beier, E., 1997: A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California, *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 615-632.

- Beier, E., y Ripa, 1999: Seasonal Gyres in the Northern Gulf of California, *J. Phys. Oceanogr.*, 2, 305-311, 1999.
- Berón-Vera F. J. y P. Ripa, 2000. Three-dimensional aspects of the seasonal heat balance in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.* 105: 11441-11457.
- Bray, N. A., 1988. Water mass formation in the Gulf of California, *J. Geophys. Res.*, 93: 4993-5020.
- Carrillo L. E., M. F. Lavín y E. Palacios-Hernández, 2002. Seasonal Evolution of the Geostrophic Circulation in the Northern Gulf of California. *Est. Coastal and Shelf Sc.* 54, 157-173.
- Castro R., M. F. Lavín y P. Ripa. 1994, Seasonal heat balance in the Gulf on California, *J. Geophys. Res.*, 99: 3249-3261.
- Delgadillo-Macías J., T. Aguilar-Ortega y D. Rodríguez-Velásquez, 1999. Los aspectos económicos y sociales de El Niño. Capítulo 6 en: Los impactos de El Niño en México. Víctor O. Magaña (Editor). Dirección General de Protección Civil. Secretaría de Gobernación: 181-212 pp.
- Durazo R., 1989. Tesis de Maestría, Frentes Térmicos en el Alto Golfo de California; División de Oceanología, Dep. de Oceanografía Física, CICESE.
- Lavín M. F., E. Beier y A. Badan, 1997. Estructura Hidrográfica y Circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual, Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 3: 141-171.
- Lavín M. F., R. Durazo, E. Palacios-Hernández, M. L. Argote, y L. Carrillo, 1997b. Lagrangian observations of the circulation in the Northern Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.* 27: 2298- 2305.
- Lavín M. F., E. Palacios-Hernández y C. Cabrera, 2003, Sea surface temperature anomalies in the Gulf of California, *Geophy. Int.*, pp 363-375.
- Lluch-Cota D., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz... y J. Morales, 1999. Las Pesquerías y El Niño. Capítulo 5 en: Los impactos de El Niño en México. Víctor O. Magaña (Editor). Dirección General de Protección Civil. Secretaría de Gobernación: 137-180 pp.
- Marinone, S. G., 1988. Una nota sobre la variabilidad no estacional de la región central del Golfo de California. *C. Mar.*, 14(4): 117-134.
- Palacios E. y E. Beier, 2015. Circulación estacional de la Región Norte del Golfo de California, PUBLICIA, OmniScriptum GmbH & Co. KG. Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbtücken, Deutschland-Alemaia, ISBN: 978-3-639-55306-2. 128 pp.
- Palacios-Hernández E., M. F. Lavín-Peregrina, S. Sánchez-Mancilla y V. Godínez-Sandoval, 1997. Campañas oceanográficas y datos de corrientímetros en la región norte del Golfo de California 1994-1996. CTOFT9701 Data Report. Comunicaciones Académicas, Serie Oceanografía Física, CICESE, 91 pp.
- Palacios-Hernández E., 2001. Tesis Doctoral, Circulación de la Región Norte del Golfo de California: estacional y anomalías; División de Oceanología, Dep. de Oceanografía Física, CICESE.
- Palacios-Hernández E., E. Beier, M. F. Lavín y P. Ripa., 2002, The effect of the seasonal variation of the stratification on the circulation of the northern Gulf of California, *Journal of Physical Oceanography*.
- Palacios-Hernández E., M. F. Lavín, L. Carrillo, L. Zamudio y A. Garcia Sandoval, 2006, Hydrography and Circulation in the northern Gulf of California during winter of 1994-1995. *Continental Shelf Res.*, No 26: 82-103.
- Reyes-Hernández C. A., 1993. Efectos de las condiciones atmosféricas de otoño e invierno sobre la formación de masas de agua en el Golfo de California. M. Sc. Thesis, Departament of Physical Oceanography, CICESE, Ensenada, Ensenada, México, 91 pp [Disponible de biblioteca de CICESE, Ap. Postal 2732, Ensenada, Baja California, 22800, México].
- Reyes A. C. y M. F. Lavín, 1997. Effects of the autumn-winter meteorology upon the surface heat loss in the northern Gulf of California. *Atmósfera*, 10, 101-123.

- Ripa, P., y S.G. Marinone, 1989. Seasonal variability of temperature, salinity, velocity, vorticity and sea level in the central Gulf of California, as inferred from historical data. *Quarterly J. of the Royal Meteorological Soc.*, 115: 887-913.
- Ripa P., 1990, Seasonal circulation in the Gulf of California, *Ann. Geophys.*, 8: 559-564.
- Robles J. M. y S. G. Marinone, 1987. Seasonal and interannual thermoaline variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. *Continental Shelf Res.*, 7 No 7: 715-733.
- Roden, G. I., 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: T. H. Van Andel and G. G. Shor Jr. (Eds.) *Marine Geology of the Gulf of California: A symposium*. Am. Assoc. Pet. Geol., Men., 3: 30-54 pp.
- Romero-Centeno R. D. L., 1995. Comportamiento de los campos hidrográficos y flujos de calor y masa en el Canal de Ballenas. M. Sc. Thesis, Departament of Physical Oceanography, CICESE, Ensenada, Ensenada, México, 126 pp [Available from biblioteca de CICESE, Ap. Postal 2732, Ensenada, Baja California, 22800, México].
- Soto-Mardones L., S. G. Marinone y A. Pares-Sierra, 1999. Time and Spatial variability of sea surface temperature in the Gulf of California, *C. Mar.*, 25: 1-30.
- Schwing, F.B., T. Murphree, y P.M. Green. 2000. A climate index for the northeast Pacific. *Progress in Oceanography*, in review.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Miguel Lavín (†), CONACyT proyecto: 3209-T9207, Tripulación B. O. Francisco de Ulloa y CICESE.

SÍNTESIS CURRICULAR

Emilio Palacios Hernández

Doctor en Ciencias en Oceanografía Física por el CICESE, Profesor e Investigador titular C, del Depto. de física de la Universidad de Guadalajara. Ha escrito: varios artículos científicos en revistas de prestigio internacional, capítulos de libro y un libro, también ha dirigido tesis de licenciatura y maestría, actualmente es perfil PRODEP y miembro del SNI 1, ha participado en más de 50 congresos nacionales e internacionales, así como proyectos de investigación oceanográfica. Correo electrónico: mailto:emilio6x111@yahoo.com

Laura Carrillo

Doctorado en Oceanografía Física en Universidad de Gales Bangor. Postdoctorado en el Instituto Oceanográfico de Scripps. En los últimos 10 años la investigación se ha enfocado en aspectos oceanográficos de diversas escalas espacio-temporales vinculados con la distribución de larvas de peces, así como variabilidad en sistemas tropicales, zonas arrecifales, circulación y fenómenos de mesoescala de las regiones Golfo de México y Caribe. Otros estudios realizados se enfocan en el análisis de anomalías de temperaturas superficiales del mar que contribuyan a entender las anomalías en estos tipos de sistemas. Muchos de estos trabajos son el resultado de la colaboración con NOAA y ECOSUR con la finalidad de entender procesos de conectividad biológica de larvas de peces entre el Golfo de México y el Caribe, estos representan los primeros trabajos de la zona del Caribe Occidental con aspectos oceanográficos. Correo electrónico: mailto:lc_oceanografa@yahoo.com.mx

Rodrigo Gamboa Goñi

Actualmente estudiante de doctorado en la Queen Mary University of London, Coautor de la serie Física de competencias, traductor científico de la NASA. Correo electrónico mailto:rgamboa@iteso.mx

David Ávalos Cueva

Doctor en Ciencias del Mar y Limnología por la UNAM. Profesor-investigador titular en el Instituto Tecnológico Superior de Arandas (ITS de Arandas). Presidente del Comité de Investigación de ITS de Arandas, líder de la línea de investigación de modelación climática, registrada en Tecnológico Nacional de México. Ha sido autor de varios artículos en revistas indexadas sobre variabilidad climática y modelación hidrodinámica del Lago de Chapala; así como colaborador de un capítulo de libro en la misma área de investigación. También ha dirigido tesis de licenciatura e ingeniería. Correo electrónico: david.avalos@tecarandas.edu.mx.



ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA URBANA Y EDUCATIVA EN ZONAS MARGINADAS DE LA CIUDAD TURÍSTICA DE PLAYA, CON LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA; ESTUDIO DE CASO PUERTO VALLARTA, MÉXICO

ANALYSIS OF URBAN AND EDUCATIONAL INFRASTRUCTURE IN DISADVANTAGED AREAS OF BEACH TOWN WITH THE IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY; STUDY CASE PUERTO VALLARTA, MEXICO

Alberto Reyes-González¹; Jimena Odetti² y Andrés Enrique Reyes-González³

¹Docente Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco Mario Molina, Unidad Académica Puerto Vallarta. Perfil PRODEP. Integrante del Cuerpo Académico Diseño e Innovación ITESDPV-CA-5. ²Docente Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco Mario Molina, Unidad Académica Puerto Vallarta. Perfil PRODEP. Líder del Cuerpo Académico Diseño e Innovación ITESDPV-CA-5. ³Docente Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco Mario Molina, Unidad Académica Puerto Vallarta. Perfil PRODEP. Integrante del Cuerpo Académico Diseño e Innovación ITESDPV-CA-5.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue desarrollar un análisis en 2 escalas, la primera escala identificada como urbana, con la finalidad de conocer las características socio-territoriales del contexto urbano inmediato del equipamiento educativo. Como segunda escala se estableció el generar un análisis integral de eficiencia energética en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Puerto Vallarta (ITSPV) para generar con ello escenarios de implementación de Tecnología Fotovoltaica y estrategias de gestión energética, integrados en 3 propuestas de solución técnica para su implementación dentro de la reserva territorial del ITSPV. Este proyecto integra 5 instituciones educativas con un impacto aproximado de 30,000 personas de manera directa e indirecta, mismas que comparten una reserva territorial de montaña en una de las zonas con mayor grado de marginación urbana de la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta (la cual se identifica como el segundo centro Turístico más importante de México) y a su vez cubren una demanda regional educativa que se extiende a 2 estados de la República Mexicana: Jalisco y Nayarit.

La implementación de sistemas fotovoltaicos se contempla en 2 escenarios, el primero consiste en cubrir la demanda generada por los sistemas de iluminación, motores de aire acondicionado, equipo para fabricación de materia prima, iluminación a través de la generación de energía in situ a un edificio que funcione de manera autosuficiente y sirva como centro de capacitación-producción sobre energía y transformación de materia prima para la innovación en diseño industrial y arquitectónico. La línea de investigación se encuentra orientada a establecer análisis dentro del ámbito académico e industrial sobre los impactos de diseño, construcción, fabricación, implementación de tecnología, y uso de energía en los proyectos de diseño industrial, arquitectura y diseño urbano.

Palabras clave: Innovación y Diseño, Fotovoltaica, Eficiencia Energética, Vinculación- Ciudad Turística de Playa.

SUMMARY

The objective of this research was to develop an analysis in two scales, the first scale identified as urban, in order to meet the socio-territorial urban immediate context of educational equipment. The second scale was to generate a comprehensive integral analysis of energy efficiency in the facilities of the Superior Technological Institute of Puerto Vallarta (ITSPV) to generate some implementation scenarios of photovoltaic technology and energy management strategies, integrated in 3 technical solution proposals for implementation within the ITSPV territorial reserve. The impact of this project integrates five educational institutions, with an impact of approximately 30,000 people directly and indirectly, which share a mountain reserve land, in one of the areas with the highest degree of urban marginalization of the metropolitan area of Puerto Vallarta, Jalisco, which is identified as the second most important beach tourist center of Mexico. These 5 educational institutions cover regional education demand, which extends 2 states of the Mexican Republic: Jalisco and Nayarit, who share territorial limits.

The implementation of photovoltaic systems is contemplated in 2 stages, the first stage is to meet the demand generated by illumination systems, air conditioning motors, equipment for the processing of raw materials, illumination through the generation of onsite energy for a building that works self-sufficiently and serve as a training-production center about energy and transformation of raw material for innovation in industrial and architectural design. The line of research is oriented to establish analysis within academia and industry on the impacts of design, construction, manufacturing, technology implementation, and use of energy in projects of industrial design, architecture and urban design.

Key words: Innovation and Design, Photovoltaic, Energy efficiency, Networking, Beach Touristic Town.

INTRODUCCIÓN

La reforma energética en México, en su apartado para generación de energías renovables, abre una oportunidad para las instituciones educativas que se encuentran localizadas en zonas de altos consumos (zonas cálidas) para la inversión en capacitación, desarrollo y aplicación de estrategias que lleven a la generación a través de la investigación de nuevos escenarios y tecnologías para la minimización del impacto ambiental y el calentamiento global.

El eventual agotamiento de los combustibles fósiles convencionales como el gas y el petróleo en los próximos años, acompañado del eventual aumento en el costo de los mismos y la creciente necesidad por la preservación del ambiente, la implementación de marco normativos internacionales y nacionales como la “Ley General De Cambio Climático” por parte del Gobierno Mexicano, han originado un gran impulso en la búsqueda de fuentes alternas de energía, tales como la eólica, geotérmica, biomasa y la energía solar. En el campo de los dispositivos fotovoltaicos, durante las tres últimas décadas se ha logrado un considerable avance en el desarrollo de materiales y celdas solares. El crecimiento del mercado mundial de la energía generada por la conversión fotovoltaica de la radiación solar en los últimos 10 años ha sido en promedio cercano al 40%. En la actualidad existe una industria muy fuerte, no solamente en lo relacionado con la fabricación de módulos fotovoltaicos, sino de todas las demás componentes que se requieren para la instalación de plantas de generación de energía eléctrica. Por consiguiente, desde el punto de vista técnico, la generación de energía eléctrica por conversión fotovoltaica es en la actualidad una alternativa real y viable en zonas con alta incidencia solar y con una demanda sostenida durante el año.

Las certificaciones han sido un primer paso para comenzar a establecer nuevos modelos de gestión de estas organizaciones que, en el caso del equipamiento educativo, ya se encuentran establecidas dentro de sus metas institucionales.

Uno de los objetivos a futuro de esta investigación es la implementación de la Norma ISO 50001; es una normativa estándar internacional desarrollada por ISO (Organización Internacional para la Estandarización u Organización Internacional de Normalización), donde se establecen los requisitos para el establecimiento de un sistema de gestión de energía. Esta normativa es de aplicación en todo tipo de empresas y organizaciones, grandes o pequeñas tanto del ámbito público o privado, bien se dediquen a la provisión de servicios o a la elaboración de productos y equipos.

Actualmente el ITSPV ha emprendido diversas acciones para reducir el impacto ambiental de sus instalaciones y las actividades que en ellas se realizan por la comunidad tecnológica, dando muy buenos resultados como la certificación ISO14000.

Las modificaciones al marco legal federal con la “Ley General De Cambio Climático”, tienen el potencial de adelantar soluciones a los problemas relacionados al ambiente natural y socioeconómico de la Región. Esto sienta las bases no solamente para el análisis de implementación de tecnología verde en México -así también con lo que respecta a la generación de energía a través de fuentes renovables-, sino el replantear la necesidad de un modelo de gestión energética sustentable en las ciudades turísticas de playa, donde se encuentra una alta demanda por parte de la infraestructura turística. En México se cuenta el Consejo Mexicano de Edificación Sustentable (CMES), el cual existe en el país desde el año 2001 y emite certificaciones oficiales por parte del Consejo Mundial de Edificación Sustentable (Misael Josué Mariín, 2011).

El CMES no cuenta con manuales para profesionales, ofrece cursos y membresías sin contar con un método o un modelo, sólo se basa en el apoyo de LEED fungiendo como una consultora certificadora. (Misael Josué Mariín, 2011).

Generar un estudio de caso de los equipamientos educativos en zonas marginadas de la ciudad turística de playa, Puerto Vallarta. El Impacto Directo de este proyecto ya implementado sería aproximado a 30,000 personas, las cuales integran las colonias San Esteban, El Mangal, y las poblaciones estudiantiles del Instituto Tecnológico Superior de Puerto Vallarta, CECYTEJ, Escuela Secundaria Técnica 132, Primaria Colonia San Esteban y Escuela para Docentes, los cuales serían beneficiados de manera directa o indirecta.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación y limitaciones

El proyecto corresponde a un estudio de caso, y las limitaciones que se contemplan tienen que ver con los resultados del consumo energético e infraestructura actual, en dos escalas, urbana y arquitectónica, así como también las necesidades específicas que se detecten en los sectores de la comunidad tecnológica.

Se utilizó el método deductivo, empleado para un análisis territorial. Esta aproximación se realiza de manera exploratoria con un alcance de 2 escalas, Urbano y Arquitectónico.

Metodología General

La investigación que se utilizó en el proceso de esta investigación fue descriptiva, transversal. En el Municipio de Puerto Vallarta, específicamente en el Distrito 4 sub-distrito 4C con un corte longitudinal de 3 años.

Consideraciones Generales de la Metodología

Los avances en esta construcción metodológica se sustentan en la consideración de la necesidad de:

- Considerar la complejidad de la problemática, en cuanto a aspectos involucrados, escalas de análisis, temporalidad de las manifestaciones y demanda de distintos actores de energía.
- Observar las características de estos procesos y sus repercusiones en el contexto estatal y regional, cuyas características y contradicciones son propias.
- Comparar proyectos similares de autosuficiencia energética y producción in situ.

Hipótesis o pautas que guiarán la investigación

La implementación de programas para la autosuficiencia y gestión energética dentro de las reservas territoriales del equipamiento Educativo en las Zonas Marginadas de Puerto Vallarta, reducirá los consumos de energía convencional y a su vez generará una derrama económica para estas instituciones, reduciendo su impacto dentro del presupuesto asignado para su operación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Puerto Vallarta es una ciudad dedicada al sector del turismo, para el área de estudio se determinó el distrito 4C en general ya que presenta un alto grado de Marginación Urbana y a su vez concentra equipamiento educativo, con un impacto regional. El éxito de esta ciudad deriva del auge del sector turístico en el modelo de Sol y Playa. Esta ciudad fue la tercera de mayor crecimiento entre 2000 y 2010, sólo detrás de Cancún y Los Cabos. Además de generar empleo formal, el sector turístico ha contribuido a fortalecer las finanzas municipales. Puerto Vallarta es el cuarto municipio con mejor recaudación propia dentro de las ciudades menos a 500,000 habitantes en México -casi 46% de sus ingresos son propios, frente al promedio nacional de 24%- (Centro Mario Molina, 2014).

Las áreas de oportunidad de Puerto Vallarta se encuentran en el aumento y la gestión de espacios verdes públicos de la ciudad, ya que se encuentra por debajo de la media nacional en la cercanía a un área natural protegida (ANP). El consumo de energía en la ciudad es alto comparado con las ciudades analizadas: se consume 3.82 MWh per cápita, arriba de la media nacional. (Centro Mario Molina, 2014). Gran parte de este alto consumo se atribuye a la infraestructura Turística.

El municipio se localiza en la Región Costa Norte del estado. Limita al norte con el estado de Nayarit, al sur con el municipio de Cabo Corrientes y Talpa de Allende; al este con San Sebastián y Mascota y al oeste con el Océano Pacífico.



Figura 1. Localización de Puerto Vallarta (Melvy Moran Anguiano).

El “Distrito Urbano 4” pertenece a uno de los 10 distritos que conforman el Centro de Población de Puerto Vallarta, ubicándose al centro-norte de éste.



Figura 2. Mapa de Distritos en Puerto Vallarta. Elaboración Melvy Moran Anguiano.

El área de estudio y aplicación se denomina Sub Distrito 4-C Villa de Guadalupe, comprende las colonias El Mangal, San Esteban, Villa de Guadalupe, Lomas del Coapinole, Héroes de la Patria, Brisas del Pacifico comprende una superficie de 497.0959 hectáreas, 325 manzanas, el límite del centro de población comprende una superficie de 21, 501 habitantes (INEGI 2010).

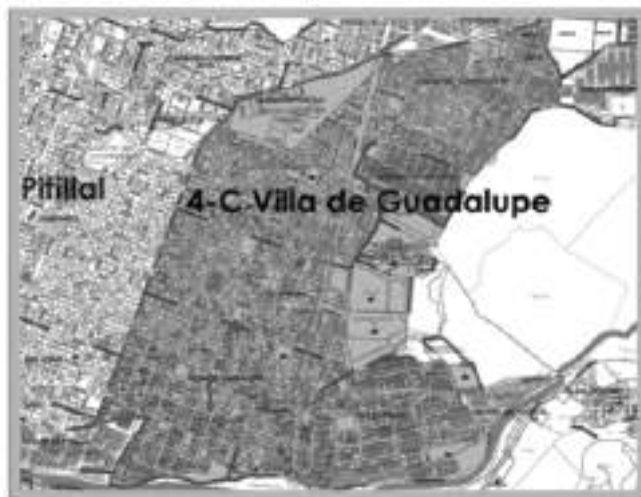


Figura 3. Límite del Área de Estudio y Aplicación.

La colonia San Esteban cuenta con una superficie de 38,7227 Ha, 4,291 habitantes y con un total de manzanas de 61 de las cuales 24 cuentan con el servicio de alumbrado público y los 37 restantes no cuentan con dicho servicio, contando con un porcentaje del 39% Alumbrado y el 61% sin Alumbrado.

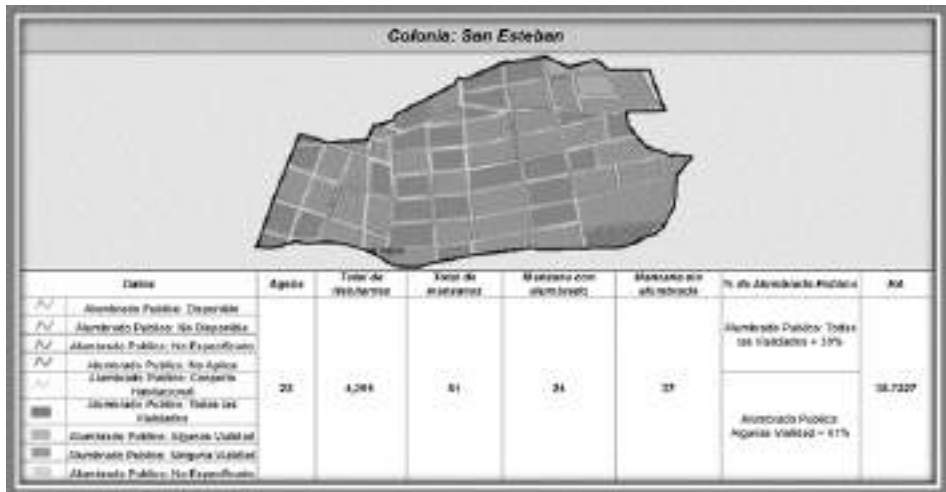


Figura 6. Datos de la colonia San Esteban.

La colonia Villa de Guadalupe, cuenta con una superficie de 41,1364 Ha, 5,906 habitantes y con un total de manzanas de 66 de las cuales 22 cuentan con el servicio de alumbrado público y los 44 restantes no cuentan con dicho servicio, contando con un porcentaje del 33% Alumbrado y el 67% sin Alumbrado.

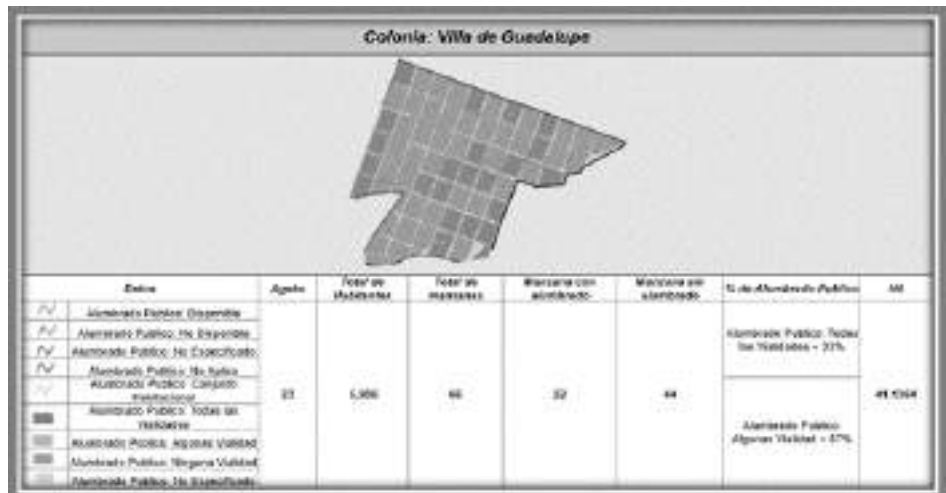


Figura 7. Datos de la colonia Villa de Guadalupe.

La colonia Lomas del Coapinole, cuenta con una superficie de 73,5570 Ha, 5,542 habitantes y con un total de manzanas de 101 de las cuales 66 cuentan con el servicio de alumbrado público y los 35 restantes no cuentan con dicho servicio, contando con un porcentaje del 65% Alumbrado y el 35% sin Alumbrado.

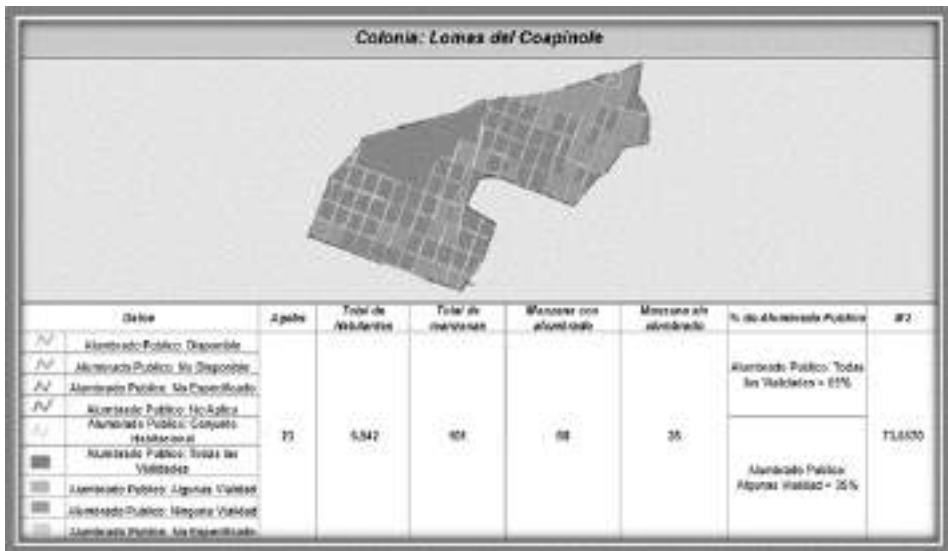


Figura 8. Datos de la colonia Lomas del Coapinole.

La colonia Héroes de la Patria, cuenta con una superficie de 8,5281 Ha, 407 habitantes y con un total de manzanas de 21 de las cuales 15 cuentan con el servicio de alumbrado público y los 6 restantes no cuentan con dicho servicio, contando con un porcentaje del 71% Alumbrado y el 29% sin Alumbrado.

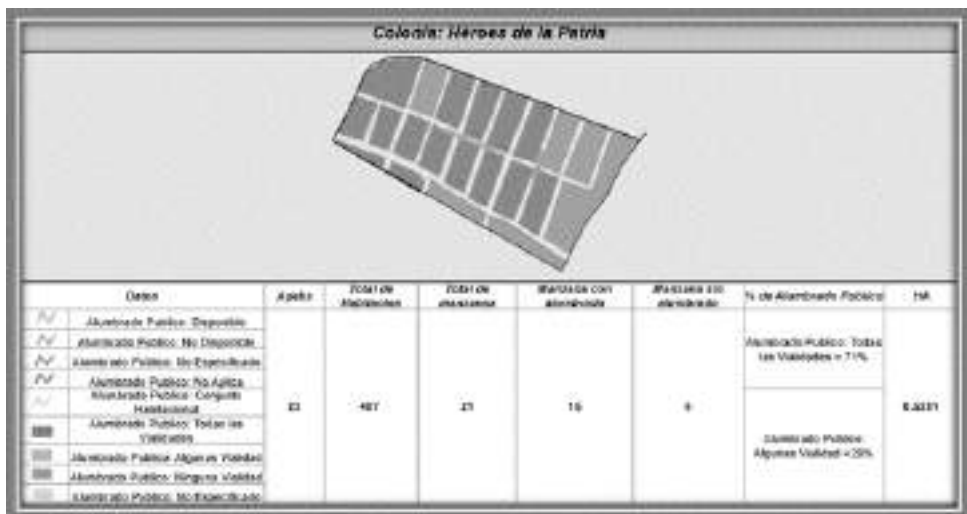


Figura 9. Datos de la colonia Héroes de la Patria.

La colonia Brisas del Pacifico, cuenta con una superficie de 18,8759 Ha, 1,841 habitantes y con un total de manzanas de 33 de las cuales 21 cuentan con el servicio de alumbrado público y los 11 restantes no cuentan con dicho servicio, contando con un porcentaje del 66% Alumbrado y el 34% sin Alumbrado.

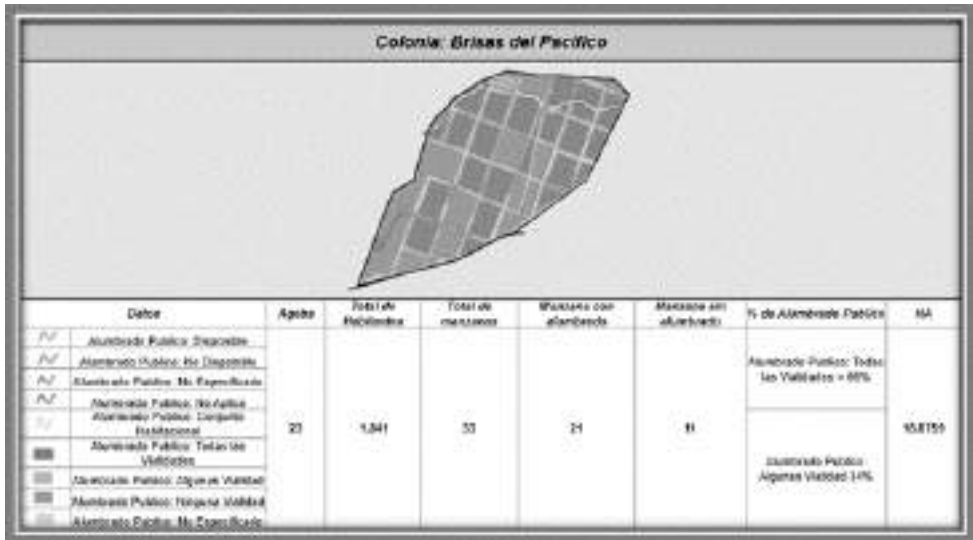


Figura 10. Datos de la colonia Brisas del Pacífico.

Recursos energéticos solares

De acuerdo a los datos obtenidos de INEGI y mapa digital, en la colonia El Mangal, cuenta con una superficie de 37,1052 Ha, 2,988 Habitantes y con un total de manzanas de 43, con unas radiaciones solares de 5.5 Kwh al día, lo que genera un factor de 5.5 como potencia de producción diaria. Este factor se multiplica por la capacidad a generar por panel. Teniendo en cuenta que un panel solar tiene un potencial de producción de 250 Kwh.

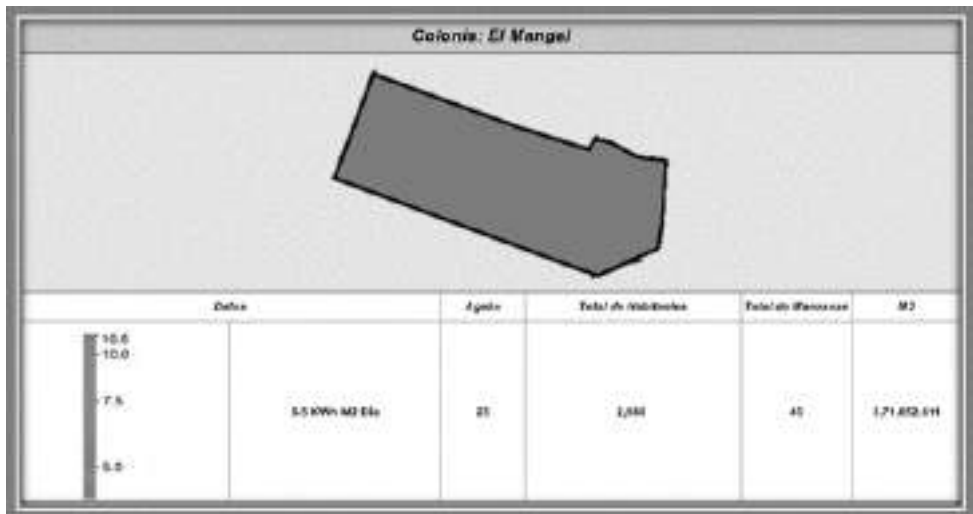


Figura 11. Datos de consumo eléctrico de la colonia El Mangal.

La colonia San Esteban, cuenta con una superficie de 38,7227 Ha, 4,291 habitantes y con un total de manzanas de 61, con unas radiaciones solares de 5.5 KWH m2 Día.



Figura 12. Datos de consumo eléctrico de la colonia San Esteban.

La colonia Villa de Guadalupe, cuenta con una superficie de 41,1364 Ha, 5,906 habitantes y con un total de manzanas de 66, con unas radiaciones solares de 5.5 KWh m2 Día.

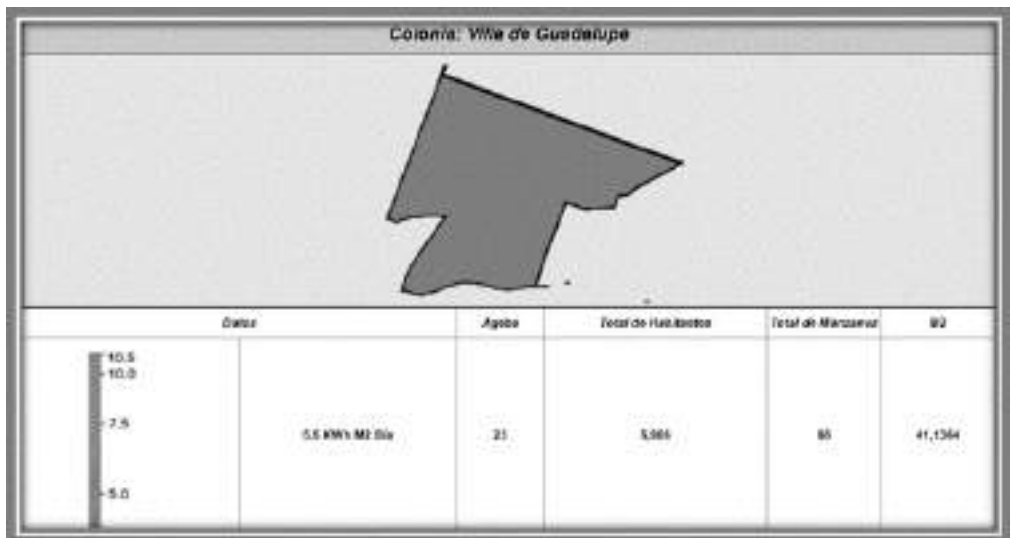


Figura 13. Datos de consumo eléctrico de la colonia Villa de Guadalupe.

La colonia Lomas del Coapinole, cuenta con una superficie de 73,5570 Ha, 5,542 habitantes y con un total de manzanas de 101, con unas radiaciones solares de 5.5 KWh m2 Día.

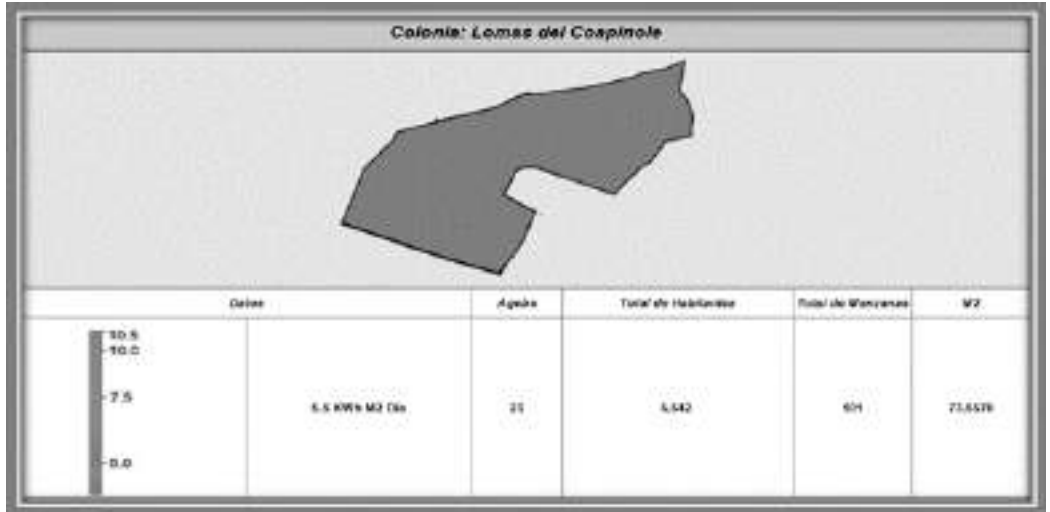


Figura 14. Datos de consumo eléctrico de la colonia Lomas de Coapinole.

La colonia Héroes de la Patria, cuenta con una superficie de 8,5281 Ha, 407 habitantes y con un total de manzanas de 21, con unas radiaciones solares de 5.5 KWh m2 Día.

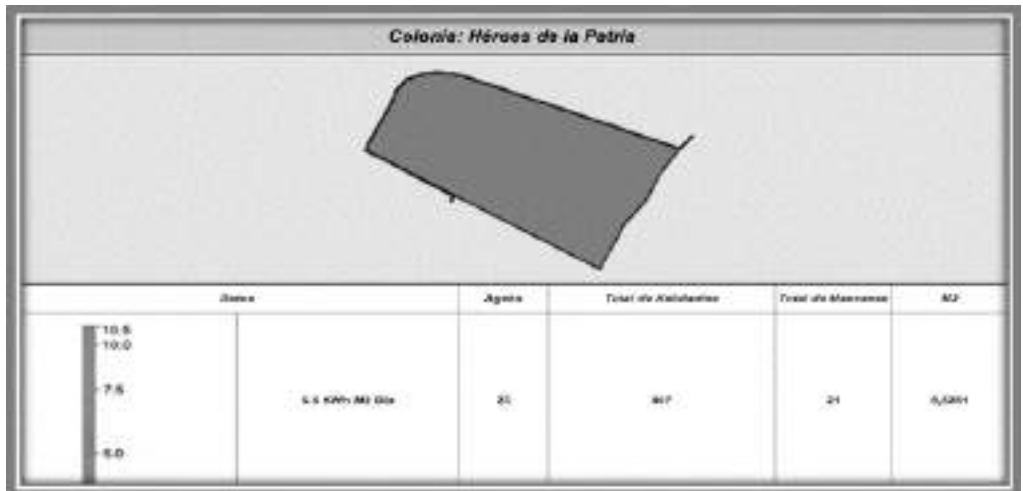


Figura 15. Datos de consumo eléctrico de la colonia Héroes de la Patria.

La colonia Brisas del Pacífico, cuenta con una superficie de 18,8759 Ha, 1,841 habitantes y con un total de manzanas de 33, con unas radiaciones solares de 5.5 KWh m2 Día.

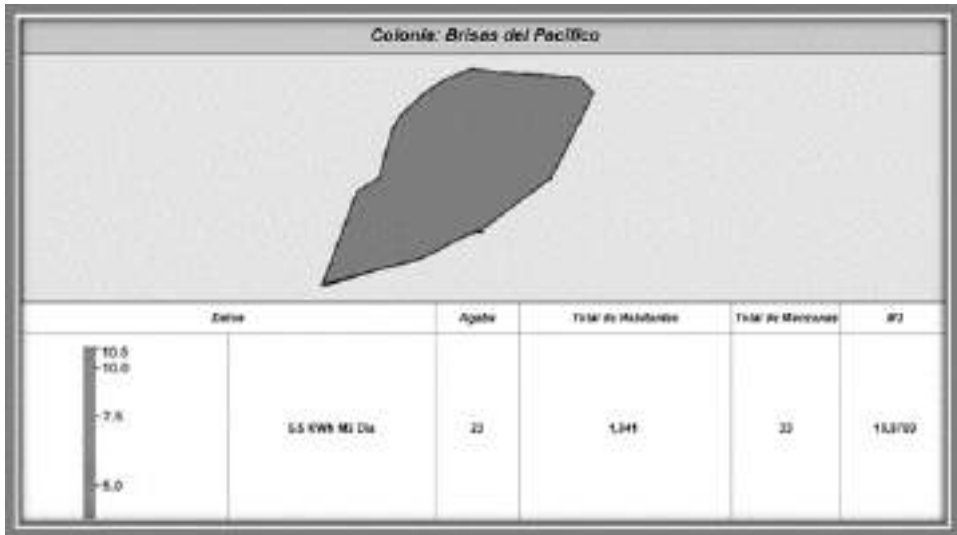


Figura 16. Datos de consumo eléctrico de la colonia Brises del Pacifico.

Se elaboró la planimetría correspondiente a todo el ITSPV junto con toda el área de Ciudad Tecnológica, las colonias del entorno fueron analizadas dependiendo de su infraestructura y número de habitantes, para ello se hizo uso de diferentes sistemas de información geográfica y software del área.

Análisis del equipamiento educativo.

Para la generación de energía solar se plantea la utilización de las áreas de azoteas y estacionamientos del ITSPV generado con ello dos prototipos para la captación de los rayos solares; se plantea la utilización de 4958.58 m² de losa que se encuentran distribuidos entre las azoteas de los edificios de ITSPV, con la finalidad de producir energía solar para reducir los pagos del servicio energético; con la utilización de las azoteas se plantea un modelo de captación de energía solar.



Figura 17. Análisis de las áreas de las losas de los edificios del ITSPV. Fuente: Imagen Aérea Google Earth 2015.

Para el área de estacionamiento se plantea otro prototipo, el cual cumple con doble función, la captación de energía solar y la generación de sombra para el automóvil, este prototipo será modular y con una estructura flexible para el cambio de la posición del sol y con ello aprovechar mayor la incidencia del sol. Para su aplicación se plantea la utilización de 8823.88 m² para su ubicación, que se encontrara distribuido entre los 3 estacionamientos que cuenta el ITSPV hasta la fecha.



Figura 18. Análisis de las áreas de los estacionamientos del ITSPV. Fuente: Imagen Aérea Google Earth 2015

El crecimiento del ITSPV no se encuentra en su totalidad, de acuerdo al plan maestro ITSPV cuenta con una extensión territorial de 27.16 Ha, parte de su extensión se ha usado para edificar escuelas de educación básica, encontrándose en su territorio escuelas de los 3 niveles educativos, para generar con ello y la completa consolidación del ITSPV, en una ciudad tecnológica, en la actualidad parte de esta extensión que no se ha edificado, se encuentra en abandono y con poca gestión, causando que 1.06 Ha de extensión haya sido invadido por vivienda informal.



Figura 19. Extensión territorial de ciudad tecnológica ITSPV. Fuente: Imagen Aérea Google Earth 2015.

El ITSPV se encuentra edificada en un área de 5.13 Ha, tomando en cuenta las escuela de nivel básico, la superficie que le queda por crecer al ITSPV es de 13.64 Ha, es decir 2.6 veces más de lo que se encuentra ya edificado, el crecimiento del ITSPV es de manera exponencial y poco planificado, es por ello que se debe de planificar su crecimiento para reducir los patrones de consumo energético presentes hasta la fecha, el crecimiento de la demanda educativa, y con ello el aumento del consumo energético, es por ello que se plantea incorporar la generación de energía renovables a través de la utilización de azoteas como medios de captación de energía solar.

Desde el inicio de las actividades del ITS PV (Puerto Vallarta) ha aumentado el número de ingresos de la población estudiantil, en el periodo 2014-2015 fue donde se presentó el mayor número estudiantil registrado hasta la fecha con 2078 estudiantes, mientras que en el periodo 2015- 2016 se contabiliza una baja de 97 estudiantes con respecto al ciclo anterior. Como lo indica la *Figura 1*, estadísticas de alumnos de nuevo ingreso.

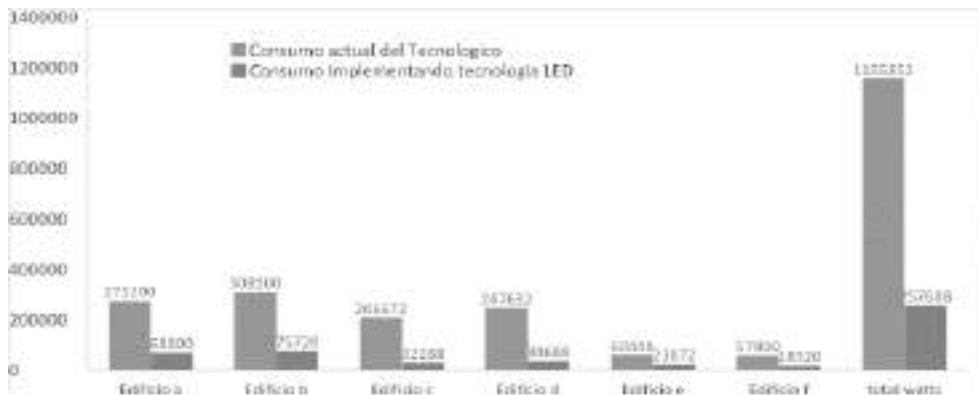


Figura 20. Comparativo de consumos eléctricos actuales y esperados con el sistema de captación de energía fotovoltaico.

Datos estadísticos de ingreso de alumnos del ITSPV

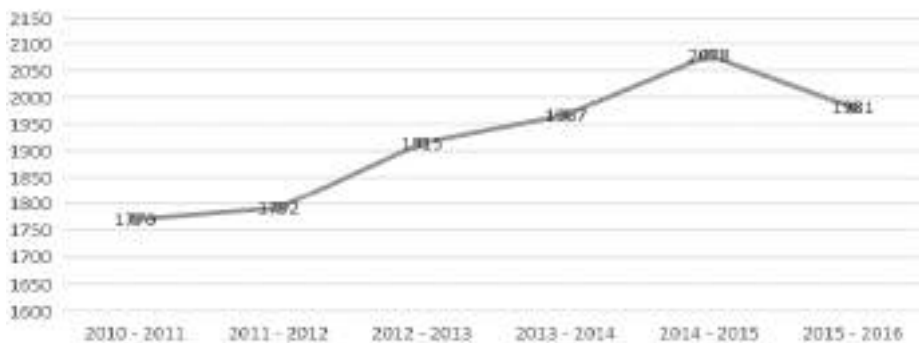


Figura 21. Datos estadísticos de ingreso de alumnos del ITPV.

La población de ITS PV no sólo se ve reflejada en los números de los alumnos, a esto también se le suma la población permanente que se encuentra en ella, como lo son, los docentes, administrativos, así como el personal de intendencia.

Los números de docentes no representa un cambio radical en sus números, presenta el mismo número en dos ciclos escolares, siendo el ciclo 2015-2016 con mayor aumento de docentes hasta la fecha, el cual ira en aumento debido a la demanda educativa en los próximos años. Ver *Figura 22*, estadísticas del ITSPV.

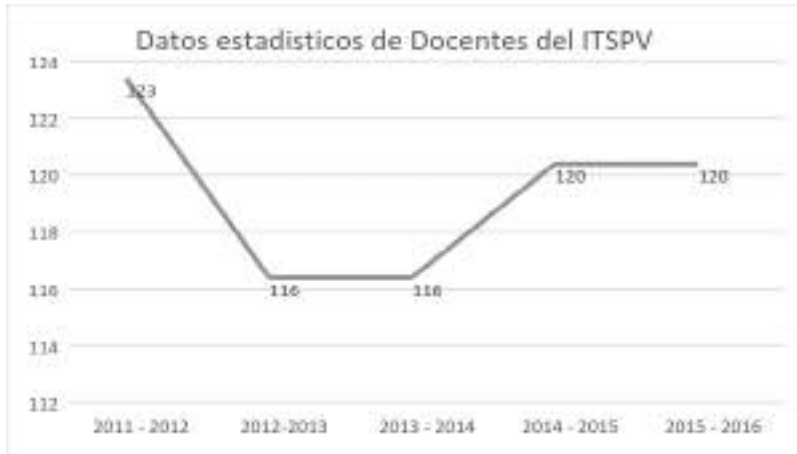


Figura 22. Datos estadísticos de docentes del ITSPV.

Con respecto a la cantidad de administradores que se encuentran laborando en el ITSPV, para mantener, administrar, coordinar y dirigir su funcionamiento se contabilizaron, 81 administradores en el periodo 2015-2016, que al igual que los datos de los docentes es proporcional al número de alumnos en el ciclo escolar, los 81 administradores se encuentran distribuidos en las instalaciones del ITSPV realizando diferentes labores.

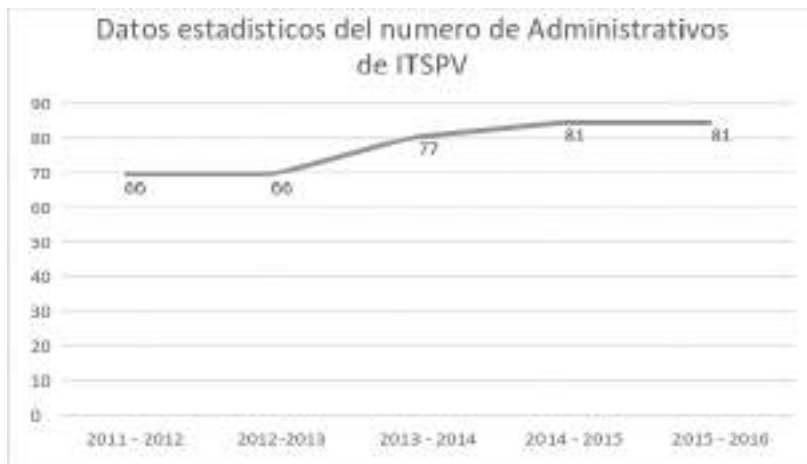


Figura 23. Datos estadísticos del número de administrativos del ITSPV.

A pesar de no ser un número grande de personal se contabilizó el número de trabajadores de intendencia, los cuales representa una parte de la población, y son usuarios del consumo energético, ver tabla 4 de datos estadísticos de intendentes del ITSPV. El comportamiento de los números de esta población permanece lineal, debido a que el crecimiento estudiantil ha aumentado a través de los años, pero no en superficie territorial, o la incorporación de nuevos edificios, esto hace nulo el crecimiento de esta población, es por ello que la población permanece de manera constante.



Figura 24. Datos estadísticos de intendentes ITSPV.

El objetivo de cuantificar al usuarios y personal presente en el ITSPV a través de los diferentes períodos de ciclo escolar, es con la finalidad de realizar un estudio para conocer el consumo de energía eléctrica en los ciclos anteriores, para la intervención y realizar una justificación de la viabilidad de la generación de energía renovables en las azoteas, estacionamiento y captación de agua pluvial, para suministrar energía renovable a las instalaciones de ITSPV, reducir los costos de pago de energía eléctrica y pago de conceptos por compra de agua para uso sanitario. El analizar el número de usuarios es parte de la investigación para conocer el consumo y el uso final de la energía eléctrica.

En el proceso de la investigación solo se logró tener acceso a la información de los pagos de concepto por energía eléctrica, del año 2010 al 2014, debido a la complejidad y la poca transparencia de la administración del ITSPV. En el proceso del análisis de la información obtenida, se analizó que el crecimiento promedio de alumnos fue de 81 alumnos por ciclo escolar hasta el 2014, mientras que en el pago de la energía eléctrica fue de \$175,144.5 Pesos Mexicanos, promedio de pago de energía eléctrica por año, el pago realizado en el 2014 fue el de mayor monto, (ver Figura 25 de pago de energía eléctrica) donde se pagó con diferencia respecto al año anterior la cantidad de \$224,566.00 Pesos Mexicanos.

En este año fue donde se puede apreciar el mayor pago realizado a CFE, existen factores que intervinieron para que este pago fuera el mayor hasta la fecha, entre ellos podemos destacar que fue en el año donde se presenta mayor número de alumnos registrado hasta la fecha, un cambio de tarifa de energía eléctrica, mayor sensación termina por el cambio climático, pero sin duda el mayor cambio que afectó a pago de la energía eléctrica fue el retiro de apoyo del subsidio federal.

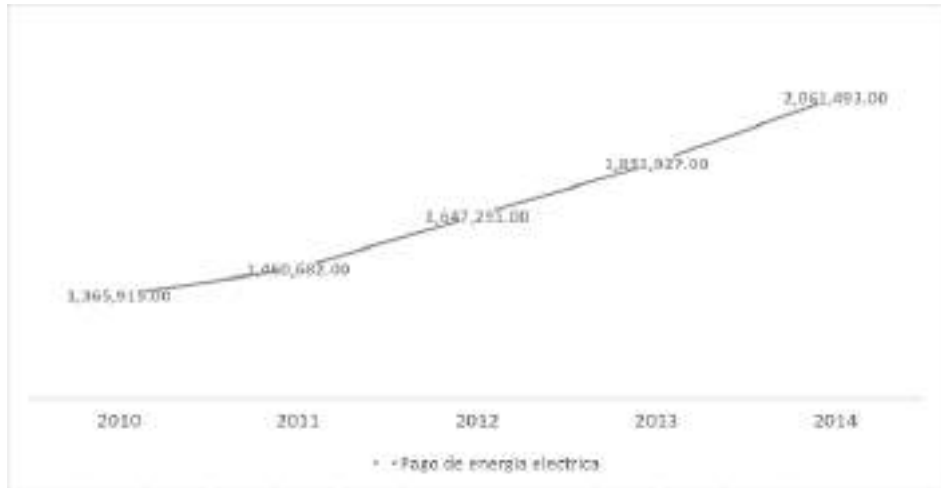


Figura 25. Pago de energía eléctrica ITSPV.

El resultado del retiro del apoyo federal causó que se pagará el monto total del consumo energético, que afectó a la administración económica del ITSPV, tomando medidas radicales, haciendo recortes del uso de los aires acondicionados, estableciendo horarios de uso. Se toma esta medida debido a que el uso final de la energía eléctrica se concentra principalmente para el uso de motores eléctricos que ayudan a mantener climatizadas las aulas, y le sigue la iluminación como los principales consumidores de la energía utilizada.

Se clasificó por su uso final, para el uso de aires acondicionados, iluminación y mobiliario; es importante aclarar que en este apartado no se toman en cuenta el mobiliario industrial presentes principalmente en los talleres de la carrera de electromecánica debido por no contar con un instrumento que nos ayudase a realizar un monitoreo de sus consumos energéticos.

Con los resultados obtenidos podemos establecer que los principales edificios que consumen mayor energía eléctrica para el uso final para la refrigeración son los edificios E, F Y A. estos edificios es donde se concentra la mayor parte de las aulas donde se imparte de manera constante las clase, en los otros salones también se imparte pero no con mayor recurrencia como lo es en los 3 anteriores; es importante aclarar que el edificio E tiene un mayor uso por la mañana, por las tardes el uso de este edificio es nulo, ya que parte de las carreras que reciben clases en este edificio sólo se imparten por las mañanas, dejándolo como un edificio abandonado por las tardes, consumiendo energía eléctrica.

Mientras que el edificio F no es un salón de clases, es un taller de prácticas principalmente para la carrera de gastronomía; los datos obtenidos nos ayudan a comprobar que, a pesar de ser un taller de prácticas donde utiliza principalmente fuego para la preparación de los alimentos es necesario que esté en refrigeración por la acumulación del calor, producto de la combustión del gas, haciendo que no sea confortable en su interior producto del mal diseño del espacio arquitectónico. El tener al edificio F como uno de los de mayor consumo de energía para el uso de la refrigeración es sorprendente, debido a que esperábamos que el edificio D saldría entre los primeros lugares, porque es donde el uso de la refrigeración es necesario la mayor parte del tiempo, porque es aquí donde se concentra los equipos de cómputos y los servidores del ITSPV.

El uso de la energía para su uso final para la iluminación presenta escasas variaciones entre un edificio y otro; el uso de la iluminación es indispensable para iluminar los espacios de los edificios, la decadencia de diseño y la deficiencia de los edificios han causado el uso de iluminación artificial como medio de iluminación, generando grandes consumos de energía, aunado el uso de bombillas de alto consumo energético.

El uso de las bombillas para iluminar gran parte del día a los edificios, es un claro indicador de la escasa eficiencia del edificio, donde no se tomó en cuenta en el proceso de diseño, el contexto y sus condiciones climáticas para la realización del proyecto, no se diseña para la eficiencia del edificio, se diseña por cumplir una imagen y un modelo arquitectónico igual a todo los ITS, dejando el diseño y el contexto con escasa importancia; el resultado de la realización de estos modelos, es el de un edificio enfermo por la necesidad de consumo energético, la utilización de motores eléctricos para el confort en su interior.

En la tercera clasificación del uso final de la energía eléctrica se encuentra el mobiliario eléctrico; en esta apartado se realizó un inventario de todo el mobiliario eléctrico para su evaluación para conocer los consumos energéticos, es de importancia aclarar que el mobiliario eléctrico principalmente el de cómputo son obsoletos, generando grandes consumos de energía eléctrica. Con los resultados obtenidos podemos establecer que el edificio D es donde se encuentra el mayor consumo de energía eléctrica para el mobiliario de cómputo, el resultado obtenido nos hizo confirma que es uno de los edificios con mayor consumo energético, el segundo lugar se encuentra el edificio C, donde se encuentra la administración del ITSPV.

En la siguiente gráfica se encuentra el consumo de energía por lo las 3 categorías del consumo por cada edificio, se puede apreciar cómo el consumo de energía eléctrica para la refrigeración sobresale entre las otras dos categorías, en segundo lugar con mayor consumo se encuentra en el edificio D para el uso del mobiliario.

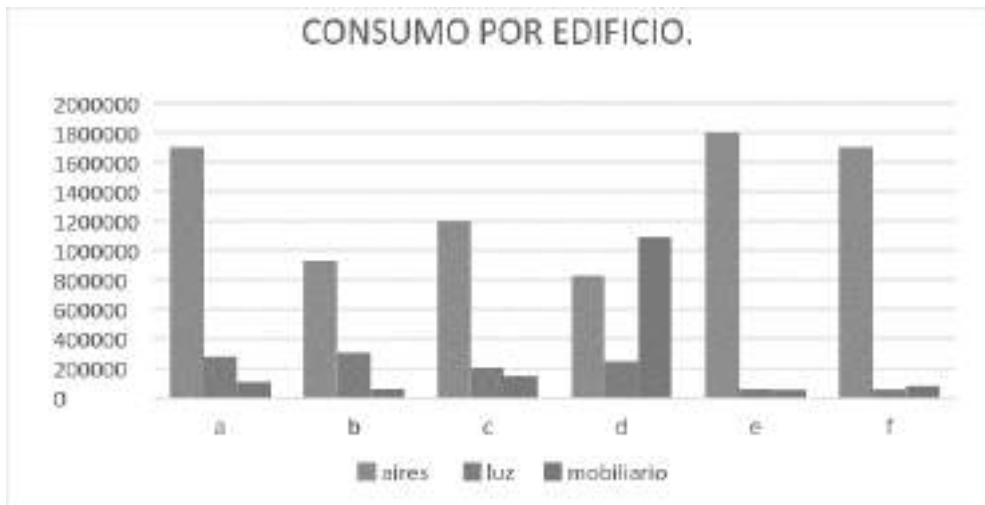


Figura 26. Consumo eléctrico por edificio ITSPV.

CONCLUSIONES

Las conclusiones se establecen en 2 escalas, respondiendo a las características de esta investigación. Escala Urbana - Infraestructura de Iluminación. Escala Arquitectónica - Equipamiento Educativo.

Escala Urbana - Infraestructura de Iluminación

El análisis de la infraestructura urbana, su capacidad de carga, estado y gestión, son elementos básicos para la planeación actual de las ciudades.

Se plantea el potencial de utilización de energía fotovoltaica como un elemento de análisis para la arquitectura y las ingenierías, a través del trabajo en estudios interdisciplinarios donde se contemple el identificar las necesidades específicas de la población y el territorio.

Las zonas costeras del Pacífico Mexicano y de manera específica la Ciudad de Puerto Vallarta cuentan con la capacidad de generación energética solar. Como resultado de este análisis del potencial territorial para producción solar, se plantean nuevas formas de producción de energía limpia en zonas marginadas.

La producción e implementación de Tecnología en zonas marginadas como política pública, podrían abrir una nueva percepción de estas áreas por parte de los habitantes y visitantes, en los imaginarios de las ciudades turísticas.

Se identificó de manera clara como existe un rezago de un 40% en infraestructura de iluminación pública dentro de las colonias analizadas, y en algunas llegando a un 60 %. Con esto podríamos generar nuevas propuestas para la intervención urbana con soluciones puntuales.

La ciudad turística de playa en México requiere un análisis integral de su infraestructura urbana, para generar propuestas de manera integral donde se puedan verificar no solamente el abasto de la energía sino plantear escenarios de autosuficiencia energética.

Escala Arquitectónica - Equipamiento Educativo

Con estos datos se inició el análisis de la demanda real de la infraestructura instalada, para con ello proyectar los elementos de implementación para generación y gestión energética dentro del Instituto Tecnológico Superior de Puerto Vallarta.

Como solución para la generación de energía se identificó a la Tecnología fotovoltaica como la ideal para poder obtener el rendimiento necesario, de acuerdo a los elementos contextuales, específicamente el asoleamiento de la Bahía de Banderas identificada con una producción diaria de 5.5 Watts por hora al día.

La implementación de la Tecnología fotovoltaica, en una institución pública específicamente en el equipamiento educativo, no solamente se enfrenta al reto técnico de su instalación, sino al proceso general de gestión de la tecnología y familiarización de los agentes de toma de decisiones.

La reforma energética no solamente traerá consigo modificaciones en los actores de inversión para generación de energía, sino la forma en la que el usuario participa en esta economía de libre mercado.

Los acuerdos internacionales firmados por México, así como las agendas federales y estatales suponen nuevos retos a los planificadores de las Instituciones de Gobierno, en el Caso del Estado de Jalisco, el reto de la implementación de sus organizaciones a través del programa "Estados Libres de Carbono", resulta una oportunidad para establecer nuevas agendas a nivel municipal.

LITERATURA CITADA

- INEGI. [En línea] Available at: <http://inegi.org.mx> [Último acceso: enero 2015].
- Martínez-Durán, M. E. (2011). El Branding, la Sustentabilidad y el compromiso social del Diseño. (Cuando ser es más. *Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle*, 9 (35).
- Misael Josué Mariín, y. A. (Junio de 2011). El Uso De Nuevas Tecnologías De La Información Y La Comunicación Como Herramientas De Apoyo Al Diseño Sustentable Como Estrategia Ante El Cambio Climático. *ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 15.
- Raquel Ariza, C. D. (2007). Diseño Sustentable: Oportunidades de agregar valor a la cadena lanera. En A. d. Comunicación (Ed.), *Diseño en Palermo. Encuentro Latinoamericano de Diseño* (pág. 15). Buenos Aires Argentina: Universidad de Palermo.
- Sherin, A. (2009). *Sostenible. Un manual de materiales y aplicaciones prácticas para diseñadores gráficos y sus clientes*. Barcelona: Gustavo Gili.
- W. Chan Kim, R. M. (2005). *Blue ocean strategy: how to create uncontested market space and make the*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Publishing Corporation.

SINTESIS CURRICULAR

Alberto Reyes González

Doctorante en Ciencias para el Desarrollo la Sustentabilidad y el Turismo por la Universidad de Guadalajara. Maestría en Desarrollo Sustentable y Turismo por la Universidad de Guadalajara. Programa de Liderazgo Aplicado en Energías Renovables por el Centro de Salud y Medio Ambiente de la Escuela de Salud Pública de Harvard. Licenciatura en Arquitectura por la Universidad de Guadalajara, en programa de pregrado Laboratorio de Diseño Urbano y proyectación ambiental y Laboratorio de Proyección Arquitectónica, Campus Leonardo Da Vinci, en el Politécnico de Milán, Italia. Docente Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco Mario Molina, Unidad Académica Puerto Vallarta. Perfil PRODEP. Integrante del Cuerpo Académico Diseño e Innovación ITESDPV-CA-5. Correo electrónico: alberto.reyes@tecvallarta.edu.mx

Jimena Odetti

Doctorante en Diseño por la Universidad de Palermo, Buenos Aires, Argentina. Maestra en Promoción y Desarrollo Cultural. Universidad Autónoma DEC. México. Licenciada en Artes Plásticas. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. Docente Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco Mario Molina, Unidad Académica Puerto Vallarta. Perfil PRODEP. Líder del Cuerpo Académico Diseño e Innovación ITESDPV-CA-5. Correo electrónico: jimena.odetti@tecvallarta.edu.mx

Andrés Enrique Reyes González

Doctorante en Ciencias para el Desarrollo la Sustentabilidad y el Turismo por la Universidad de Guadalajara. Estudios sobre cultura e historia Americana por la Northwest Missouri State University. Maestro en Administración de Negocios por la Universidad de Guadalajara. Licenciado en Negocios Internacionales y licenciado en Derecho por la Universidad de Guadalajara. Docente Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco Mario Molina, Unidad Académica Puerto Vallarta. Perfil PRODEP. Integrante del Cuerpo Académico Diseño e Innovación ITESDPV-CA-5. Correo electrónico: andres.reyes@tecvallarta.edu.mx



ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS A LO LARGO DE LA COSTA DEL OCEANO
PACIFICO MEXICANO (CLIMATOLOGÍA: PARTE I)

METEOROLOGICAL DATA ANALYSIS THROUGHOUT THE OCEAN PACIFIC MEXICAN COAST
(CLIMATOLOGY: PART I)

Emilio Palacios-Hernández¹; Laura Carrillo²; Iryna Tereshchenko¹; Alma Delia Ortiz-Bañuelos¹ y David Ávalos-Cueva^{3,4}

¹Universidad de Guadalajara, Depto. de Física; ²El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal; ³ Universidad de Guadalajara, Depto. de Ingeniería Civil y Topografía. ⁴ Instituto Tecnológico Superior de Arandas.

RESUMEN

Se analizan series de tiempo obtenidas por reanálisis, en diferentes zonas de la costa mexicana del Océano Pacífico, con el fin de obtener una climatología. Los resultados indican que están relacionados con condiciones locales y con la interacción Océano-atmósfera en la costa.

Palabras clave: Océano Pacífico, Costa mexicana, interacción océano-atmósfera.

SUMMARY

Time series obtained by reanalysis are analyzed in different zones of the Pacific Ocean Mexican coast, in order to obtain climatology. The results indicate that they are related to local conditions and to the ocean-atmosphere interaction on the coast.

Key words: Pacific Ocean, Mexican coast, Ocean-Atmosphere Interaction.

INTRODUCCIÓN

La investigación de los fenómenos atmosféricos y oceánicos del Pacífico Oriental Tropical (POT), se ha incrementado en las últimas décadas por el progreso en la comprensión de los procesos de interacción atmosfera-océano, así como también la disponibilidad de información por satélite que desde 1950 se hizo posible el mapeo de los Océanos abiertos en escalas temporales y sinópticas. Amador *et al.*, (2006), menciona que el POT se caracteriza por un conjunto de fuentes de energía oceánica y atmosférica, donde los trópicos se convierten en proveedores importantes de momento, calor, mecanismos de intercambio de humedad y que pueden estar asociados a varios movimientos atmosféricos y oceánicos, también considera las variables atmosféricas, como la radiación solar entrante, presión atmosférica, vientos, rotor del viento, precipitación, evaporación. Con el fin de examinar las características dominantes de la circulación atmosférica de la región en este trabajo se enfoca en el análisis climatológico de temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad de viento, a lo largo de la costa Oriental del Océano Pacífico Mexicano. En particular en los siguientes puntos: Ensenada, B. C.; Punta Eugenia, B. C. S.; Bahía de Magdalena, B. C. S.; Alto Golfo de California; Umbral del Golfo de California; Boca del Golfo de California; Islas Marías, Nayarit; Chamela, Jalisco; Lázaro Cárdenas, Michoacán; Acapulco, Guerrero y por último, Golfo de Tehuantepec.

El presente estudio permitirá establecer una climatología de la costa Mexicana del Pacífico y obtener una regionalización de la misma. Los resultados serán de gran utilidad para comprender las diferentes regiones climáticas. Por lo anterior en este trabajo se realiza un análisis armónico a las series de datos meteorológicos de temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, y viento.

Área de estudio

En el *Cuadro 1* se presenta la ubicación de los puntos y en la *Figura 1* se muestran los que se eligieron para el análisis climatológico. Los cuales están situados en el nivel promedio del mar. A los once puntos de estudio, se les dividió en tres regiones: Occidente de la península de B.C. (OBC) que consta de Ensenada, Punta Eugenia y Bahía Magdalena; Dentro del Golfo de California (DGC) constituido por Alto Golfo de California, Umbral y Boca del Golfo de California e Islas Marías; y finalmente, el Sur de la costa del Océano Pacifico Oriental Mexicano (SPM) compuesto por Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec.

Cuadro 1. Ubicación de los puntos para el análisis climatológico

Número	Punto	<i>Longitud (λ)</i>		<i>Latitud (ϕ)</i>	
		En grad.		En grad.	
1	Ensenada	117		32	
2	Punta Eugenia	116		28	
3	Bahía de Magdalena	111		24	
4	Alto Golfo de California	114		31	
5	Umbral	113		29	
6	Boca del Golfo de California	108		23	
7	Islas Marías	106		21	
8	Chamela	105		19	
9	Lázaro Cárdenas	103		18	
10	Acapulco	100		16	
11	Golfo de Tehuantepec	95		16	

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Los datos para el análisis climatológico, pertenecen a parámetros meteorológicos tales como Temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad con componente horizontal zonal U y meridional V del viento desde 1979 a 2008. El periodo es de 30 años, según lo definido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

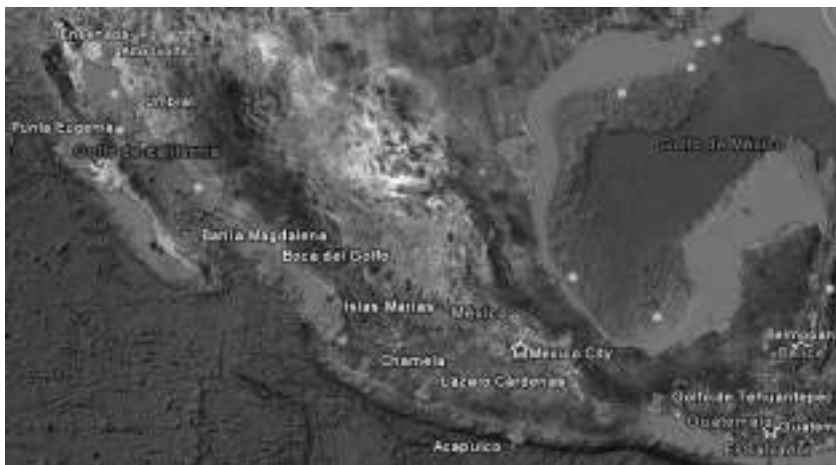


Figura 1. Ubicación de los puntos de estudio.

Se creó un banco de datos históricos obtenidos del *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). *Environmental Modeling Center* (EMC). De *North American Regional Reanalysis*, NARR (<http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/rrean/>), obtenidos por diferentes tipos de mediciones tales como: estaciones meteorológicas, radio sondeo, datos satelitales, etc. en formatos heterogéneos. Los datos de reanálisis regional NARR, son una recopilación de todos estos, que son almacenados y posteriormente sirven como entrada a modelos globales de pronóstico climático y consecutivamente interpolados, en una cuadrícula o malla de dimensión 349x277, (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.narr.html>), con una resolución de 32 km, donde cada nodo de la malla contiene una serie de tiempo de 30 años para cada par de coordenadas, estos se utilizan para el análisis climatológico de las diferentes variables meteorológicas, la lectura de los datos es a partir de la matriz, que permite obtener la información local de los diferentes parámetros atmosféricos para los puntos costeros de interés.

Los datos obtenidos de NARR son desde 1979 a 2008, se obtuvo un dato por mes, teniendo 12 datos por año. Con ayuda de estos datos históricos meteorológicos se formó una base de datos para el análisis climatológico a lo largo de la costa occidental de México (en los puntos señalados en el *Cuadro 1* y en la *Figura 1*)

Procedimiento

1. Recolección de datos de magnitudes meteorológicas: Temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, viento desde 1979 a 2008, de las estaciones de acuerdo con el Cuadro 1.
2. Formación de banco de datos y preparación de formato para el procedimiento de análisis armónico.
3. Cálculo de Análisis armónico anual (12 meses), semianual (6 meses), terciañal (4 meses) y cuartañal (3 meses) sobre las variables.
4. Análisis de resultados con las series modeladas por armónicos.

Análisis Armónico

El Análisis Armónico es un método que estudia la representación de una función como superposición de otras más sencillas, en general de carácter sinusoidal. Para este caso se utiliza la función cosenoidal, porque la función coseno es más práctica por su fase, ya que en cero alcanza su máximo. El análisis armónico al ser aplicado a la serie de tiempo para cada variable da información de fase, amplitud, y varianza explicada (VE), la fase indica en que meses tuvo la amplitud sus valores máximos y la VE es el porcentaje del cual el armónico explica la serie original, el método utilizado es el de mínimos cuadrados fue descrito por Ripa (2002) y ha sido ampliamente utilizado por numerosos autores en diferentes partes de México (Soto-Mardones *et al.*, 1999; Palacios-Hernández, 2001; Lavín *et al.*, 2003; Sánchez-Román, 2008; Palacios-Hernández *et al.*, 2012 y Palacios y Beier, 2015, entre otros).

Series modeladas

Los datos recolectados en este trabajo, para Temperatura, presión, humedad, viento U y V, son series de tiempo, las cuales muestran su comportamiento en los años de 1979 al 2008. También se asigna el nombre de Serie Original Completa (SOC).

Las series modeladas (SM), se les llaman así porque son un modelo de la SOC, al graficarlas se observa el comportamiento de las variables meteorológicas de una forma ideal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de datos meteorológicos

Para mejorar el análisis de los datos meteorológicos; a los once puntos de estudio, se les dividió en tres regiones: Occidente de la península de B.C: (OBC) que consta de Ensenada, Punta Eugenia y Bahía Magdalena; Dentro del Golfo de California (DGC) constituido por Cabeza, Umbral y Boca del Golfo de California e Islas Marías; y finalmente, el Sur de la costa del Océano Pacífico Oriental Mexicano (SPM) compuesto por Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec, (Figura 2). Con la finalidad de facilitar la visualización del comportamiento de los ya mencionados se les asignó un color para cada zona, Azul para el OBC, verde DGC, y rojo para el SPM.

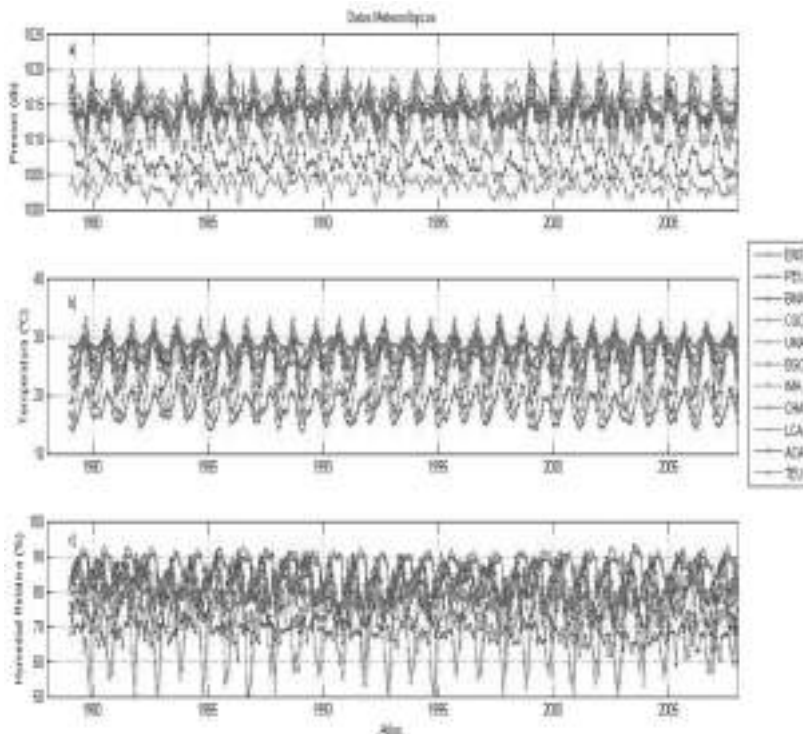


Figura 2. Datos meteorológicos, presión, Temperatura, y humedad de: líneas azules: Ensenada (ENS), Punta Eugenia (PEU), Bahía Magdalena (BMA). Líneas verdes: Alto Golfo de California (CGO), Umbral del Golfo de California (UMB), y Boca del Golfo de California (BGO), Islas Marías (IMA). Líneas rojas: Chamela (CHA), Lázaro Cárdenas (LCA), Acapulco (ACA) y por último, Golfo de Tehuantepec (TEU).

Presión

En la Figura 2a, se muestra la región OBC, donde se observa Ensenada, Punta Eugenia y Bahía Magdalena con una presión atmosférica mínimas y máximas entre de 1010.12 hPa en septiembre de 1979 a 1019.44 hPa en enero del 2000; 1010.47 hPa en septiembre de 1984 a 1020.99 hPa en enero del 2000; y 1002.97 hPa en junio del 2005 a 1011.26 hPa en enero del 2001, respectivamente. En Bahía Magdalena es el punto de más baja presión para el OBC; en cambio, Punta Eugenia y Ensenada mantienen un intervalo similar, aproximadamente de 1010.00 hPa a 1021.00 hPa.

DGC, el Alto Golfo de California, Umbral, Boca e Islas Marías muestra una presión atmosférica mínima y máxima de 1007.22 hPa en septiembre de 1998 a 1019.58 hPa en diciembre de 1985; 1008.30 hPa en junio del 2005 a 1019.42 hPa en enero del 2001; de 1011.20 hPa en junio del 2005 a 1018.37 hPa en enero de 1989; y por último de 1010.85 hPa en mayo de 1983 a 1017.35 hPa en febrero de 1990, respectivamente. Observándose, que los datos de la Alto Golfo y Umbral (color verde) son los puntos de mayor variabilidad de presión.

Posteriormente para SPM, Chamela 1010.85 hPa en mayo de 1983 a 1016.35 hPa en febrero de 1990; en Lázaro Cárdenas 1000.58 hPa en diciembre de 1988 a 1005.71 hPa en mayo de 1983; Acapulco 1010.53 hPa en abril de 1983 a 1016.00 hPa en diciembre de 1988; Golfo de Tehuantepec 1010.53 hPa en abril de 1983 a 1016.75 hPa en diciembre de 1988. Se muestra también, que Lázaro Cárdenas es el punto de más baja presión atmosférica en comparación con los demás lugares, del SPM.

Temperatura

En el OBC se ilustra el rango de temperatura superficial del mar (*Figura 2b*) de: Ensenada con 13.90°C en enero del 2008 y febrero de 1989 a 22.70°C en septiembre de 1984; en Punta Eugenia de 15.20°C en abril de 1999 a 24.40°C en septiembre de 1997; En Bahía Magdalena 17.30°C en enero de 1989 a 33.50°C en agosto de 1997. Así mismo se observa, que Ensenada y Punta Eugenia son los puntos de más baja temperatura para el OBC.

DGC, se tiene el Alto Golfo de California de con un intervalo de 33.10°C a 16.20°C, donde, el máximo en es septiembre de 1979, 1998 y 1999, y el mínimo en enero de 1979 y 1990, también en febrero de 1982, 1994, 2001, y del 2002; en el Umbral del Golfo de California de 33.10°C a 16.20°C, el máximo es en septiembre de 1979, 1987, 1993, 1995, 1997, 2000, 2001, 2002, 2003 y el mínimo en febrero de 1979 y en febrero de 1982; Boca del Golfo de California de 32.10°C a 19.60°C, el máximo en septiembre de 1982, 1987, 1997 y el mínimo en enero y febrero de 1989; en Islas Marías de 30.70°C a 21.80°C, el máximo en agosto de 1997 y el mínimo en febrero de 1989. Se observa que en la temperatura de estos dos primeros puntos del Golfo de California, hay mucha similitud, tanto, que las gráficas se unen formando una sola línea (*Figura 2b*), y se separan en los puntos críticos mínimos en diciembre de 1979 a abril de 1980, correspondiente a parte de invierno y principio de primavera, en abril de 1980 se vuelven a juntar, y se alejan en diciembre de 1980 a abril de 1981 y así sucesivamente con los demás años; que es donde se presenta mayor separación entre las líneas, en comparación con diciembre de 1997 a mayo de 1998; y de mayo de 1998 a octubre de 1998; concluyendo, la temperatura del Alto Golfo y Umbral, son diferentes a finales de invierno y principio de primavera.

Se observa que en algunos inviernos la separación es mayor que en otros, como en los años 1982 con 16.20°C en el Umbral del Golfo de California y 16.30°C en Alto Golfo de California; 1985 con 16.30°C, en ambos puntos de estudio y 1989 con 16.40°C; 1990 con 16.20°C en Alto Golfo de California y 16.30°C en el Umbral del Golfo de California; 1994 donde la separación es nula.

Finalmente en SPM, vemos mucha similitud en los 4 puntos de estudio, Chamela 23.90°C en marzo del 2001 a 30.60°C en agosto de 1997; en Lázaro Cárdenas de 25.50°C en febrero de 1985 a 30.10°C en julio del 2006; en Acapulco 27.10°C en febrero de 1992 a 30.70°C en agosto del 2004; finalmente, el Golfo de Tehuantepec de 23.50°C en enero de 1985 a 30.00°C en agosto de 1997, y 2006.

Humedad

Se muestra la humedad relativa del OBC en la *Figura 2c*, donde Ensenada tiene de 66.86% en diciembre de 1997 a 91.65% en julio del 2003; en Punta Eugenia 72.00% en diciembre de 1997 a 93.26% en junio del 2003; Bahía Magdalena 59.23% en abril del 2005 a 78.92% en septiembre de 1984.

En el Alto Golfo de California 47.60% en noviembre del 2000 a 83.09% en febrero de 1995; el Umbral del Golfo de California 50.60% en octubre de 1986 a 89.00% en junio de 1986; Boca del Golfo de California 69.52% en diciembre de 1997 a 90.64% en junio de 1980; Islas Marías 71.73% en agosto de 1984 a 91.12% en mayo de 1985.

En el SPM, Chamela cuenta con la humedad relativa dentro del intervalo de 73.02% en agosto del 2001 y 2002 a 91.44% en abril de 1986; en Lázaro Cárdenas 71.85% en enero del 2004 a 86.77% en octubre de 1979; Acapulco 70.40% en agosto del 2001 a 88.80% en abril de 1986; y el Golfo de Tehuantepec de 64.51% en octubre de 1987 a 86.18% en septiembre de 1998.

Se observa que, en el OBC, es notable que Bahía Magdalena es el punto de menor humedad y Ensenada y Punta Eugenia mantienen un rango de variación entre 59.23% y 91.65%. DGC, la Cabeza y el Umbral del Golfo de California, son los lugares con mayor intervalo de variación de 47.60% a 89.00% de humedad, Boca e Islas Marías tienen un rango de variación de aproximadamente 69.52% a 91.12%. Y por último en el SPM, se encuentran Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec con un intervalo de 64.50% a 91.44%.

Realizando un análisis generalizado de la *Figura 2* se puede apreciar que de toda la costa del Océano Pacífico, PEU tiene los valores más altos de presión y los de menor LCA. Se observa también que los lugares más extremos en Temperatura y humedad relativa son CGO y UMB, y como los más fríos y húmedos ENS y PEU.

Viento

El diagrama de astillas de la *Figura 3* ilustra las componentes U y V de velocidad de viento.

Por ejemplo, en Ensenada se tiene, viento hacia el Sureste con magnitud máxima de 2.96 m/s en promedio. En Punta Eugenia se observa que el viento tiene tendencia hacia el Sureste con magnitud máxima de 6.00 m/s. En la tercer sub-gráfica perteneciente a Bahía Magdalena el viento sopla con velocidad de 4 m/s hacia el Sureste, se observa que solo en septiembre de 1992 cambia de dirección hacia Este a Norte.

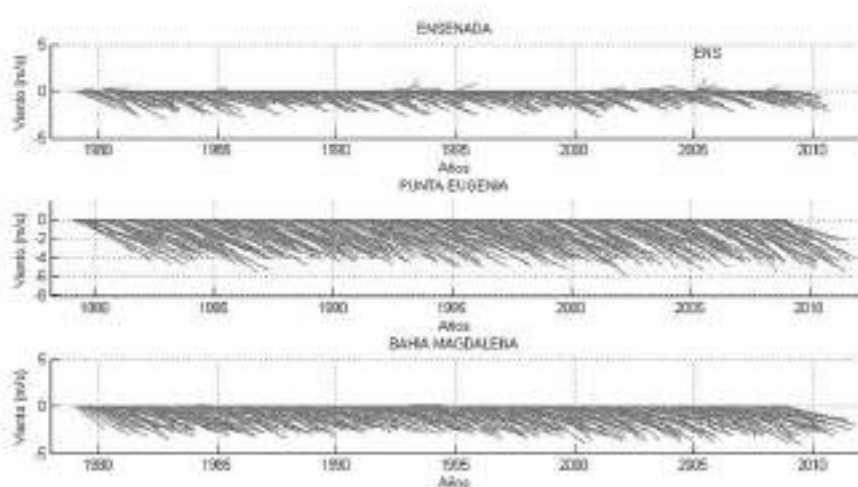


Figura 3. Datos de componente U (horizontal) y V (meridional) del: Ensenada, Punta Eugenia y Bahía Magdalena.

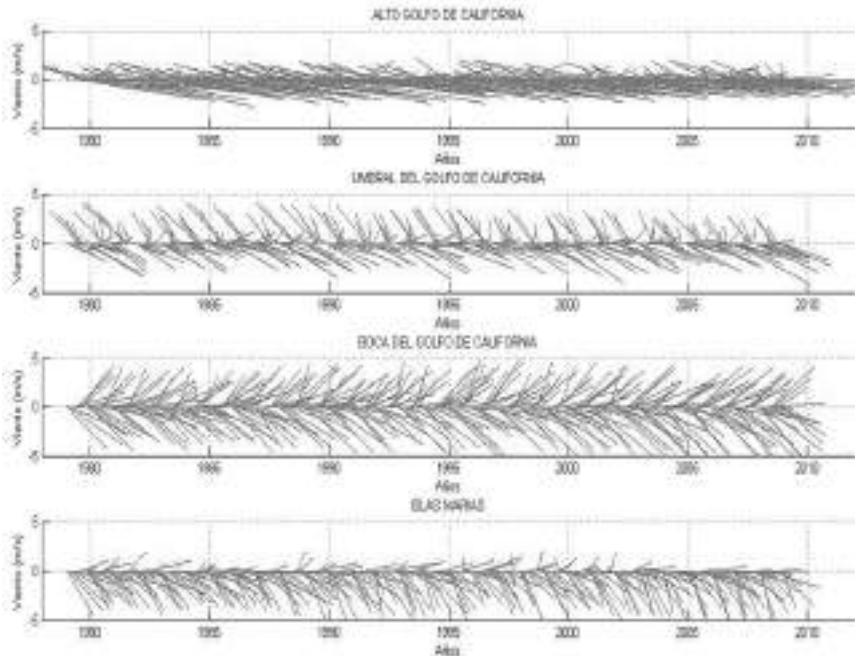


Figura 4. Datos meteorológicos DGC de Viento horizontal U y meridional V: Cabeza, umbral, y boca del golfo de california e Islas Marias.

El diagrama de astillas DGC, según la *Figura 4*, en el Alto Golfo de California, se tiene viento en varias direcciones, en invierno, principio de primavera y finales de otoño, el viento sopla hacia el Noroeste, Noroeste-Oeste, Oeste-Noroeste, Noreste, Este-Norte. En verano y con mayor tendencia, el viento se dirige al Sureste, con una velocidad máxima de 2.70 m/s.

Por ejemplo, el invierno de 1979 muestra que el viento se rige hacia el Norte-Noreste, Noroeste-Oeste, y Noreste-Este; en octubre hacia el Este-Noreste, en noviembre hacia el Oeste-Noroeste, y en diciembre a Noroeste-Oeste. En Umbral del Golfo de California, Se tiene viento con velocidad de 4.13 m/s al Noroeste en invierno y principio de primavera, y Sureste con 3.84 m/s en verano y principio de otoño. Los cambios de dirección hacia el Noroeste, se ilustran en abril de cada año. En Boca del Golfo el viento tiene velocidad de 6.50 m/s al Sureste, se observa que la mayor parte de los cambios de dirección hacia el Noreste corresponden a principios, mediados y finales de año con magnitud de 4.90 m/s. Y finalmente en Islas Marias, con mayor inclinación del viento con velocidad de 5.50 m/s hacia el Sur Sureste, donde hay cambios de dirección aproximadamente a mediados de mayo, hacia el Este Noreste con 2.00 m/s como máximo.

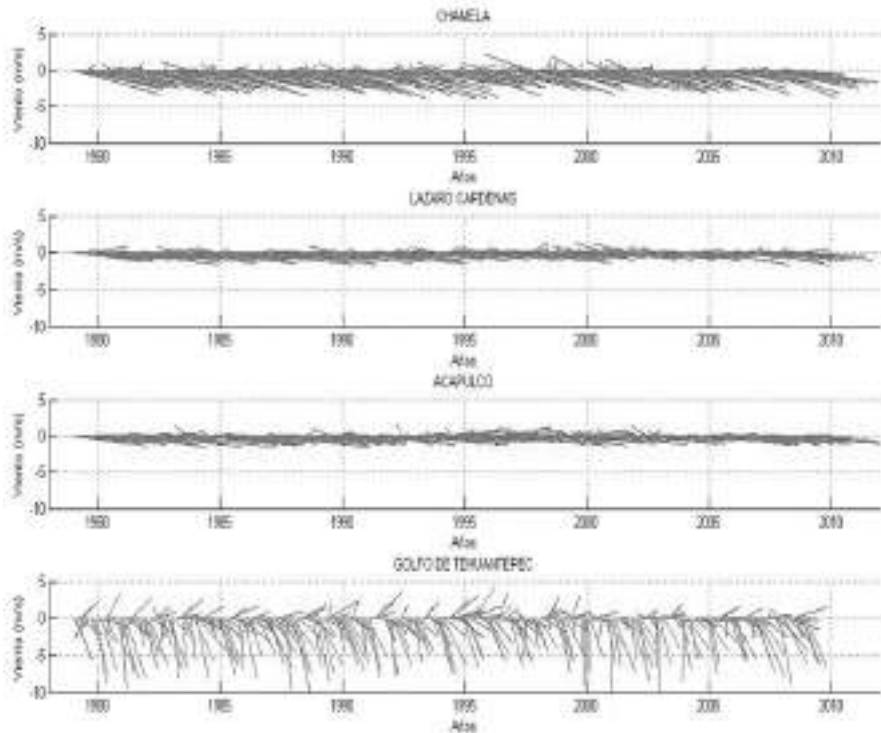


Figura 5. Datos meteorológicos del SPM, de Viento horizontal U y meridional V: Chamela, Lázaro cárdenas, Acapulco, Golfo de Tehuantepec.

En la *Figura 5* se tiene a Chamela que presenta un viento predominante con velocidad de 3.90 m/s hacia el Sureste. Se observa que en verano de cada año hay vientos con velocidad de 2.07 m/s al Noroeste y Norte. En Lázaro cárdenas, el viento tiene una velocidad de 1.68 m/s al Sureste y en julio, agosto y octubre correspondiente al verano y otoño existe poco viento con velocidad máxima de 1.20 m/s y 1.34 m/s al Noroeste.

En Acapulco la velocidad del viento es 1.59 m/s al Sureste, dirección en la cual, el viento tiene mayor frecuencia. Finalmente, en el Golfo de Tehuantepec, la tendencia del viento está dirigida en verano de Sur a Norte, Sur a Este, Sur Sureste, y Sureste a Sur; se tiene una velocidad máxima de viento en enero del 2003 del Sur a Norte y en noviembre de 1999 con 9.85 m/s al Sur y 4.25 m/s al Noreste en marzo de 1996.

Análisis armónico

Los siguientes Cuadros muestran los valores de: Promedio, Amplitud A_1, A_2, A_3, A_4 , Fase $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ y Varianza Explicada VE (%), obtenidos por el método de análisis armónico de las variables meteorológicas: temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, y viento, desde 1979 a 2008, para cada punto de estudio de la Costa Oriental del Océano Pacifico Mexicano, de acuerdo con el *Cuadro 1*.

Por ejemplo, en el *Cuadro 2* se muestra el análisis armónico de Ensenada, **Punta Eugenia** y Bahía Magdalena.

Cuadro 2. Análisis Armónico de Ensenada (fuente normal)-Punta Eugenia (fuente en negrita)-Bahía Magdalena (fuente subrayada) 1979-2008

	Temperatura (°C)	Presión (mb)	Humedad relativa (%)	Viento U (m/s)	Viento V (m/s)
Promedio	17.61	1014.70	86.45	1.76	-1.23
	18.60	1016.90	88.00	3.10	-3.41
	<u>25.31</u>	<u>1006.90</u>	<u>68.94</u>	<u>2.60</u>	<u>-2.24</u>
A_1	2.80	2.30	3.71	0.39	0.15
	2.38	2.00	3.47	0.60	0.50
	<u>5.37</u>	<u>1.90</u>	<u>1.77</u>	<u>0.86</u>	<u>0.80</u>
A_2	0.50	0.70	0.83	0.31	0.31
	0.48	0.60	0.70	0.47	0.33
	<u>0.84</u>	<u>0.70</u>	<u>0.61</u>	<u>0.47</u>	<u>0.39</u>
A_3	0.02	0.40	0.68	0.06	0.07
	0.07	0.40	0.61	0.07	0.13
	<u>0.26</u>	<u>0.40</u>	<u>1.16</u>	<u>0.08</u>	<u>0.04</u>
A_4	0.05	0.20	0.31	0.01	0.03
	0.06	0.20	0.35	0.03	0.07
	<u>0.16</u>	<u>0.20</u>	<u>0.34</u>	<u>0.06</u>	<u>0.12</u>
ϕ_1 (meses)	8.27	1.18	6.90	4.96	11.11
	9.12	1.26	6.83	4.46	8.03
	<u>7.73</u>	<u>1.09</u>	<u>9.80</u>	<u>5.97</u>	<u>7.70</u>
ϕ_2 (meses)	2.83	0.55	2.87	3.92	1.38
	2.96	0.58	2.70	3.87	1.59
	<u>3.07</u>	<u>0.93</u>	<u>2.36</u>	<u>4.01</u>	<u>1.54</u>
ϕ_3 (meses)	3.36	3.57	1.63	3.82	1.76
	0.39	3.62	1.96	2.06	1.74
	<u>2.76</u>	<u>3.55</u>	<u>1.08</u>	<u>2.09</u>	<u>1.04</u>
ϕ_4 (meses)	1.66	1.40	1.16	2.70	1.32
	1.88	1.47	1.25	2.14	0.99
	<u>1.27</u>	<u>1.27</u>	<u>2.88</u>	<u>1.61</u>	<u>0.17</u>
VE (%)	88.69	75.86	59.05	50.05	15.00
	77.87	73.73	61.05	49.61	25.10
	<u>96.67</u>	<u>75.79</u>	<u>28.73</u>	<u>77.86</u>	<u>62.46</u>

En el Cuadro 3 se tiene el análisis armónico del Alto Golfo de California, **Umbral**, Boca e *Islas Marías*.

Cuadro 3. Análisis Armónico del Alto Golfo de California (fuente normal)-Umbral del Golfo (fuente en negrita)-Boca del Golfo (fuente subrayado)-Islas Marías (fuente itálica) 1979-2009.

	Temperatura (°C)	Presión (mb)	Humedad relativa (%)	Viento U (m/s)	Viento V (m/s)
Promedio	24.20	1012.80	68.89	2.38	-0.05
	24.27	1013.50	71.42	0.66	0.34
	<u>26.25</u>	<u>1014.30</u>	<u>81.45</u>	<u>1.87</u>	<u>-0.15</u>
	<i>26.78</i>	<i>1014.10</i>	<i>83.20</i>	<i>1.12</i>	<i>1.92</i>
A_1	7.87	4.50	9.68	3.69	1.57
	7.78	3.80	9.61	1.44	2.56
	<u>4.77</u>	<u>1.70</u>	<u>3.98</u>	<u>0.49</u>	<u>4.17</u>
A_2	3.19	1.00	4.13	0.46	2.40
	1.15	1.00	3.73	1.18	0.29
	1.13	0.90	6.22	0.44	0.61

	<u>0.62</u>	<u>0.90</u>	<u>1.91</u>	<u>0.17</u>	<u>0.37</u>
	0.17	0.70	2.47	0.43	0.12
	0.08	0.60	0.86	0.35	0.02
A_3	0.15	0.50	1.25	0.04	0.10
	<u>0.13</u>	<u>0.30</u>	<u>0.81</u>	<u>0.07</u>	<u>0.54</u>
	0.21	0.20	0.51	0.16	0.40
	0.07	0.20	0.74	0.02	0.04
A_4	0.09	0.30	0.90	0.02	0.08
	<u>0.06</u>	<u>0.10</u>	<u>0.14</u>	<u>0.02</u>	<u>0.24</u>
	0.10	0.10	0.18	0.05	0.22
	8.36	0.97	4.44	6.94	0.65
ϕ_1 (meses)	8.37	1.05	4.06	0.75	6.85
	<u>8.55</u>	<u>1.01</u>	<u>4.73</u>	<u>2.91</u>	<u>7.16</u>
	8.57	0.81	3.25	4.22	7.49
	3.38	0.64	1.17	2.43	4.37
ϕ_2 (meses)	3.31	0.79	0.78	4.62	2.00
	<u>3.07</u>	<u>1.07</u>	<u>5.56</u>	<u>4.45</u>	<u>3.32</u>
	5.53	1.08	4.88	4.58	3.47
	1.83	3.58	1.66	1.04	1.58
ϕ_3 (meses)	1.90	3.63	2.55	2.47	1.51
	<u>1.08</u>	<u>3.60</u>	<u>1.85</u>	<u>2.37</u>	<u>1.54</u>
	2.35	3.67	1.95	1.88	1.51
	2.45	1.49	1.02	0.34	0.05
ϕ_4 (meses)	2.41	1.45	0.92	2.73	0.75
	<u>2.29</u>	<u>1.36</u>	<u>1.16</u>	<u>2.72</u>	<u>0.14</u>
	1.71	1.27	2.16	2.01	0.15
	98.80	92.65	80.19	90.16	88.94
VE (%)	98.62	91.24	91.24	83.68	87.31
	<u>95.74</u>	<u>74.29</u>	<u>60.60</u>	<u>45.90</u>	<u>91.22</u>
	90.05	52.01	58.34	68.13	84.47

Series modeladas

De igual manera que en la *Figura 2*, el análisis de los datos meteorológicos modelados de los once puntos de estudio, se les dividió en tres regiones: Occidente del Golfo de California (OBC) que consta de Ensenada, Punta Eugenia y Bahía Magdalena; Dentro del Golfo de California (DGC) constituido por Cabeza, Umbral y Boca del Golfo de California e Islas Marías; y finalmente, el Sur de la Costa del Océano Pacífico Oriental Mexicano (SPM) compuesto por Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec, (*Figura 6*). Con la finalidad de facilitar la visualización del comportamiento de los ya mencionados se les asignó un color para cada zona, Azul para el OBC, verde DGC, y rojo para el SPM. Debido a que en la serie modelada cada año se repite, solo se grafican tres años (*Figuras 6 y 7*) para cada variable. En el siguiente análisis de la serie modelada de las variables meteorológicas: presión, temperatura, humedad y viento, se menciona los meses y valores en los que tienen sus máximos y mínimos, y donde no se especifica en qué año, pues todos los años son iguales.

Presión

Se observa en la *Figura 6* el punto de más baja presión atmosférica es Lázaro Cárdenas, en comparación con los demás lugares de estudio. Por ejemplo en el SPM, se mantiene Chamela, Acapulco y el Golfo de Tehuantepec, en un rango muy similar de 1012 a 1015.28 hPa. Respecto al OBC, Bahía Magdalena es el punto de más baja presión, Punta Eugenia y Ensenada mantienen un intervalo aproximado entre 1012.32 a 1019.30 hPa. Y Por último DGC, se muestra que los puntos están dentro del intervalo de 1009 a 1018. A continuación se exponen los máximos y mínimos climáticos de la presión modelada.

Se muestra en el *Cuadro 4*, que el máximo climático de la costa del Océano Pacífico Mexicano ocurre en enero a excepción del Golfo de Tehuantepec, que sucede un mes antes. El mínimo climático es en septiembre en el OBC coincidiendo con Boca del Golfo y difiriendo del Alto Golfo y Umbral donde el mínimo es en junio, finalmente en el SPM el mínimo se presenta en mayo y abril. Como se observa los mínimos de presión atmosférica se propagan desde el Sur de México (abril) hasta el Noroeste del país en septiembre.

Cuadro 4. Presión de la serie modelada (mb)

Localidad	Máximo	Mes	Mínimo	Mes
ENS	1017.50	ENE	1012.32	SEP
PEU	1019.35	ENE	1014.66	SEP
BMA	1009.38	ENE	1005.06	SEP
CGO	1017.98	ENE	1008.98	JUN
UMB	1018.00	ENE	1010.20	JUN
BGO	1016.80	ENE	1012.80	SEP
IMA	1015.86	ENE	1013.05	MAY
CHA	1014.92	ENE	1012.55	MAY
LCA	1004.44	ENE	1002.07	MAY
ACA	1014.50	ENE	1012.23	ABR
TEU	1015.36	DIC	1012.06	ABR

Y en el *Cuadro 5* se muestra el análisis armónico de Chamela, **Lázaro Cárdenas**, Acapulco y *Golfo de Tehuantepec*.

Cuadro 5. Análisis Armónico de Chamela (fuente normal)-Lázaro Cárdenas (fuente negrita) -Acapulco (fuente subrayado)-Golfo de Tehuantepec (fuente itálica) 1979-2008

	Temperatura (°C)	Presión (mb)	Humedad relativa (%)	Viento U (m/s)	Viento V (m/s)
	27.49	1013.70	83.07	2.01	-1.17
	27.94	1003.40	79.00	1.65	-0.31
Promedio	<u>29.03</u>	<u>1013.60</u>	<u>80.67</u>	<u>1.80</u>	<u>-0.36</u>
	26.84	<i>1013.80</i>	75.20	0.59	-2.64
	2.23	0.70	3.82	1.44	1.53
A_1	1.03	0.70	0.70	1.19	0.65
	<u>0.80</u>	<u>0.80</u>	<u>3.84</u>	<u>0.73</u>	<u>0.58</u>
	1.35	<i>1.10</i>	3.35	<i>0.30</i>	3.54
	0.26	0.70	2.48	0.51	0.15
A_2	0.36	0.70	1.67	0.40	0.05
	<u>0.19</u>	<u>0.70</u>	<u>1.64</u>	<u>0.70</u>	<u>0.14</u>
	0.28	<i>0.90</i>	2.26	<i>0.12</i>	<i>0.93</i>

	0.14	0.20	0.28	0.09	0.18
A_3	0.11	0.10	0.40	0.21	0.15
	<u>0.03</u>	<u>0.10</u>	<u>0.37</u>	<u>0.12</u>	<u>0.18</u>
	0.31	0.00	0.67	0.09	0.57
	0.09	0.10	0.22	0.22	0.14
A_4	0.15	0.10	0.28	0.22	0.05
	<u>0.10</u>	<u>0.10</u>	<u>0.07</u>	<u>0.17</u>	<u>0.07</u>
	0.29	0.10	0.68	0.08	0.27
	8.72	11.99	3.19	2.43	7.79
ϕ_1 (meses)	7.63	11.07	10.37	2.23	8.00
	<u>8.35</u>	<u>10.87</u>	<u>2.71</u>	<u>2.12</u>	<u>8.03</u>
	6.67	11.09	4.36	2.43	5.94
	0.36	1.03	4.65	4.61	2.26
ϕ_2 (meses)	5.20	1.08	4.77	4.29	5.28
	<u>5.83</u>	<u>7.01</u>	<u>4.06</u>	<u>3.87</u>	<u>5.95</u>
	4.30	6.84	3.88	3.91	3.92
	2.39	3.52	2.09	3.22	1.59
ϕ_3 (meses)	2.06	3.32	1.89	3.42	1.74
	<u>3.09</u>	<u>2.94</u>	<u>0.44</u>	<u>3.55</u>	<u>5.75</u>
	3.65	2.69	1.26	3.51	1.04
	1.76	1.05	2.09	1.81	0.32
ϕ_4 (meses)	1.82	0.96	2.25	1.76	0.26
	<u>2.08</u>	<u>2.76</u>	<u>2.15</u>	<u>1.67</u>	<u>2.06</u>
	1.59	0.60	2.89	1.55	2.71
	87.29	42.39	57.81	73.04	73.69
VE (%)	64.35	45.70	28.58	61.96	65.02
	<u>64.97</u>	<u>46.34</u>	<u>62.96</u>	<u>47.13</u>	<u>53.98</u>
	57.92	57.54	46.60	34.28	70.70

Temperatura

Se muestra en la *Figura 6* el Alto y Umbral del Golfo de California, con el intervalo de 17.9°C a 33.10°C, con máximo en agosto y mínimo en febrero; se observa que estos dos, tienen mucha similitud, tanto que en abril a diciembre de 1979 las líneas se juntan, y estas separan en diciembre de 1979 hasta abril de 1980, y nuevamente de abril a diciembre de 1980 vuelven a juntarse; es decir, la temperatura del Alto Golfo y el Umbral se diferencian de noviembre hasta marzo, lo que corresponde a finales de otoño e invierno, y son iguales en primavera, verano y gran parte de otoño.

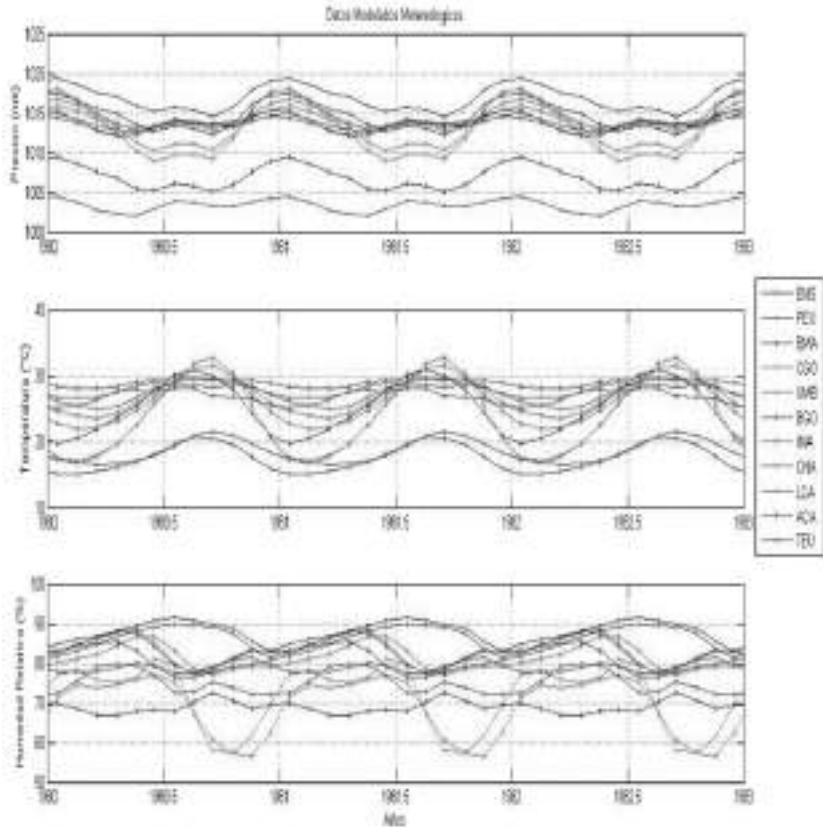


Figura 6. Datos Meteorológicos Modelados de Temperatura, presión y humedad de: líneas azules: Ensenada (ENS), Punta Eugenia (PEU), Bahía de Magdalena (BMA). Líneas verdes: Alto Golfo de California (CGO), Umbral del Golfo de California (UMB), y Boca del Golfo de California (BGO), Islas Marías (IMA). Líneas rojas: Chamela (CHA), Lázaro Cárdenas (LCA), Acapulco (ACA) y por último, Golfo de Tehuantepec (TEU).

Generalizando sobre los 4 puntos de estudio del SPM, se tiene que la temperatura modelada está dentro de un intervalo de 25°C a 29.5°C, alcanza un máximo de temperatura en el verano y un mínimo en el invierno.

Se ilustra en el *Cuadro 6* que en el SPM, se tiene el máximo climático en otoño, al igual que en Ensenada, Bahía Magdalena y Boca del Golfo; en el resto de la costa del Pacifico Mexicano que es Punta Eugenia, Alto Golfo, Umbral del Golfo, e Islas Marías el mínimo se presenta en otoño. También se muestra el máximo climático, en enero (Ensenada, Bahía Magdalena, Lázaro Cárdenas, y Golfo de Tehuantepec), Febrero (Ensenada y DGC) y en Marzo (Punta Eugenia, Chamela y Lázaro Cárdenas).

Cuadro 6. Temperatura de la serie modelada (°C)

Localidad	Máximo	Mes	Mínimo	Mes
ENS	20.70	AGO	15.08	ENE a FEB
PEU	21.50	SEP	16.60	MAR
BMA	30.90	AGO	19.80	ENE

CGO	33.10	SEP	17.90	FEB
UMB	33.10	SEP	18.50	FEB
BGO	31.60	AGO	16.70	FEB
IMA	29.60	SEP	23.50	FEB
CHA	29.50	AGO	25.00	MAR
LCA	28.90	JUN	26.80	ENE a MAR
ACA	28.90	AGO	28.10	MAR
TEU	28.20	JUL	25.20	ENE

Humedad

La humedad relativa modelada del Océano Pacifico Oriental Mexicano, Se muestra en la *Figura 6*, donde de manera generalizada se puede observar en el OBC, en donde la Bahía Magdalena presenta el punto de menor humedad. En Ensenada y Punta Eugenia, mantienen un rango de variación entre 81.53% y 91.58%. En DGC, la Cabeza y el Umbral del Golfo de California, son los lugares con un intervalo de variación mayor de 56.5% a 81.22% de humedad. En la Boca del Golfo de California e Islas Mariás tienen un rango de variación de aproximadamente 77.08% a 88.39%. Y por último en el SPM, se encuentran Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec con un intervalo de 72.5% a 88.06%. Los máximos climáticos se ilustran en el *Cuadro 7*.

Cuadro 7. Humedad relativa de la serie modelada (%)

Localidad	Máximo	Mes	Mínimo	Mes
ENS	89.77	JUL	81.53	DIC
PEU	91.58	JUL	83.28	DIC
BMA	72.53	SEP	66.70	ABR
CGO	77.12	JUN	56.46	NOV
UMB	81.22	JUN	57.45	NOV
BGO	87.00	JUN	77.08	NOV
IMA	88.39	MAY	77.13	AGO
CHA	88.06	ABR	77.59	AGO
LCA	81.50	NOV	77.40	JUL
ACA	85.66	ABR	76.44	AGO
TEU	80.00	ABR	72.50	DIC

Viento

Para OBC, El diagrama de astillas (*Figura 7*) se ilustra en Ensenada donde a principios de enero, junio y diciembre, el viento tiene dos tendencias, a finales de mayo, el viento tiene una pequeña tendencia al Sur-Sureste, y cuando llega junio su inclinación es del Este-Sureste.

En la *Figura 7* perteneciente a Bahía Magdalena, se observa que en estos últimos dos puntos de estudio, a finales de diciembre, el viento suele dirigirse preferentemente hacia el Sur-Sureste. En el OBC el punto de estudio con velocidad de viento mayor es Punta Eugenia, y el de menor, Ensenada.

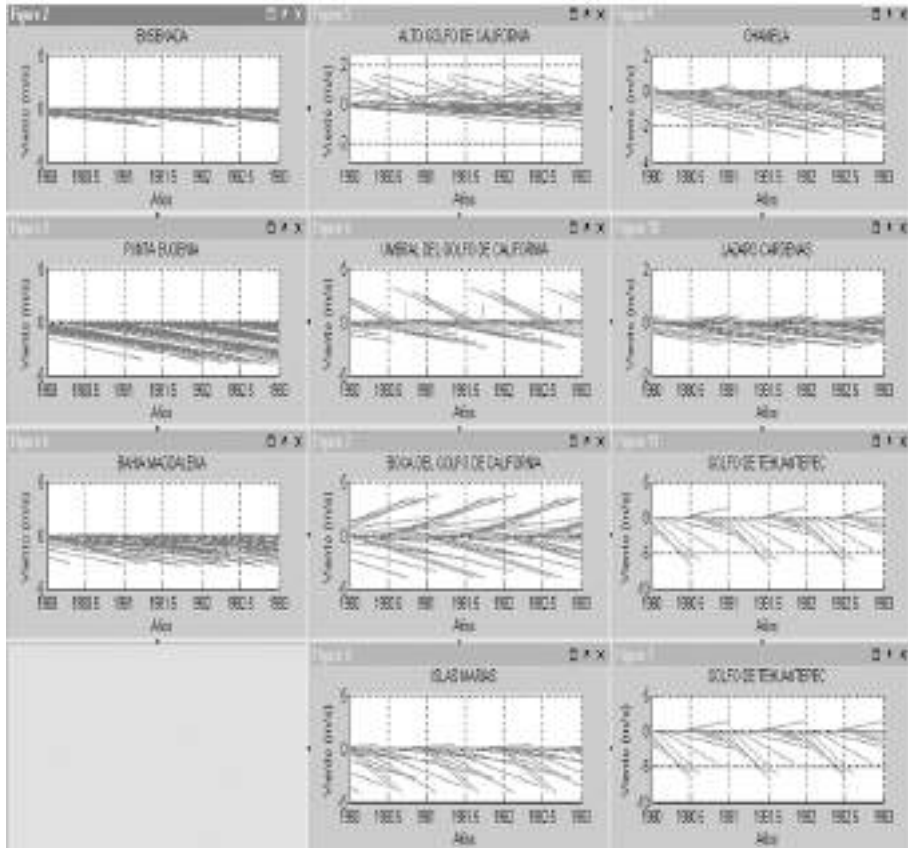


Figura 7. Datos Meteorológicos Modelados de la costa del Océano Pacifico Mexicano.

El diagrama de astillas DGC, según la *Figura 7*, se tiene que en el Alto Golfo de California, se muestra el viento en varias magnitudes y direcciones, por ejemplo, en diciembre con velocidad de 1.32 m/s con dirección Noroeste; en octubre 1.27 m/s y hacia el Noroeste-Oeste; en noviembre con 1.52 m/s al Oeste-Noroeste; en enero con 1.00 m/s al Norte-Noreste, en septiembre 0.61 m/s al Este-Norte; en febrero con 0.64 m/s al Este-Noreste; en mayo con 1.41 m/s a Este-Sureste; en abril con 1.80 m/s al Este-Sureste; en junio con 0.75 m/s al Sureste-Este; en julio 1.42 m/s a Este-Sureste; y en agosto con 0.38 m/s al Este-Sur. Así mismo, se observa en el Alto Golfo, que el viento con mayor tendencia, posee una velocidad con máxima de 1.80 m/s con dirección Este-Sureste.

En el Umbral de Golfo de California, se tiene viento en diciembre con velocidad de 1.76 m/s al Sureste-Este; enero 1.15 m/s a Este-Sureste; febrero 0.53 m/s al Este-Sur; marzo 0.24 m/s al Norte-Noreste; abril 1.20 m/s al Este-Norte; mayo 2.42 m/s al Norte-Noroeste; junio 3.2 m/s al Noroeste-Oeste; julio 2.91 m/s al Noroeste-Oeste; agosto 0.01 m/s al Norte-Este; septiembre 1.82 m/s al Este; octubre 2.35 m/s al Sureste-Este; noviembre 1.76 m/s al Sureste.

En Boca del Golfo se observa viento en enero con velocidad de 4.00 m/s al Sureste; febrero con 3.32 m/s al Sureste-Este; marzo 2.00 m/s a Este-Sureste; abril 0.37 m/s al Este-Norte; mayo 2.00 m/s al Este-

Noreste; junio 2.42 m/s al Norte-Noroeste; julio 3.85 m/s al Noroeste-Norte; agosto 3.41 m/s al Noreste; septiembre 3.46 m/s al Sureste-Sur; octubre 2.00 m/s a Este-Sureste; noviembre 3.80 m/s a Este-Sureste; se observa que de enero a junio el viento tiene preferencia hacia el Noroeste con 3.20 m/s como valor máximo y de junio a diciembre con 4.00 m/s hacia el Noreste.

Finalmente, en Islas Marías el viento modelado tiene una velocidad de 4.14 m/s al Sur Sureste en enero; en febrero 4.08 m/s al Sureste-Sur; marzo 3.50 m/s al Sureste; abril 1.19 m/s al Sureste-Este; mayo 0.11 m/s al Este a Sur; junio 0.11 m/s al Este a Norte; julio 0.09 m/s Este a Sur; agosto 0.40 m/s al Este a Sur; septiembre 0.93 m/s al Este Noreste; noviembre 4.08 m/s a Este Sureste; diciembre 3.85 m/s al Sureste. Se observa que DGC el punto de estudio con Velocidad de viento es mayor en Boca del Golfo de California, y el de menor, Alto Golfo de California.

Por último, en el Golfo de Tehuantepec, se tiene una velocidad de viento de 6.26 m/s al Sur-Sureste en enero; febrero 4.68 m/s Sureste-Sur; marzo 2.35 m/s al Sureste-Este; abril 0.14 m/s Este-Sur; mayo 1.50 m/s Noreste-Este; junio 0.63 m/s Noreste-Este; julio 1.38 m/s Sureste; agosto 1.38 m/s Sureste; septiembre 1.40 m/s Sureste-Sur; octubre 3.78 m/s Sureste-Sur; noviembre 5.91 m/s Sureste-Sur; diciembre 6.52 m/s Sureste-Sur. Se observa que el Golfo de Tehuantepec, es el punto donde el viento sopla con mayor velocidad y los de menor, Lázaro Cárdenas y Acapulco.

Los datos meteorológicos modelados, en la *Figura 6a* al compararlos con la *Figura 2a* observamos que en las series de temperatura existe semejanza, pues basándonos en los *Cuadros 2-4* del análisis armónico para cada punto de estudio, tiene una varianza explicada mayor en; Ensenada, Punta Eugenia, Bahía Magdalena, Alto Golfo de California, el Umbral del Golfo de California, Boca del Golfo de California, Islas Marías, Chamela y Acapulco (*Figuras 2 y 6*), excepto en Lázaro Cárdenas Y Golfo de Tehuantepec donde el vientos presentan la mayor varianza explicada (*Figuras 5 y 7*). Puesto que, al contrastar las series de: la humedad en Bahía Magdalena, Alto Golfo de California, Umbral del Golfo de California y Lázaro Cárdenas (*Figuras 2 y 7*), el componente de viento V en Ensenada y Punta Eugenia (*Figuras 3 y 7*), el componente de viento U en Boca del Golfo y Golfo de Tehuantepec (*Figuras 4 y 7, 5 y 7*), y por ultimo Presión, en Islas Marías, Chamela, y Acapulco (*Figuras 5 y 7*); se observa que son las que más difieren la serie real de la modelada, porque son las variables meteorológicas de los puntos de estudio con menor varianza explicada. En el siguiente Cuadro 8 se observan los máximos y mínimos climáticos de la serie de viento modelada.

Cuadro 8. Serie de viento modelada (m/s)

Localidad	Máximo	Mes-Dirección	Mínimo	Mes-Dirección
ENS	1.68	ABR- Este-Sureste	0.81	ENE-Este-Sureste
PEU	4.00	ABR- Este-Sureste	2.71	SEP- Este-Sureste
BMA	2.85	ABR- Este-Sureste	1.22	JUL- Este Sureste
CGO	1.80	Abril- Este-Sureste	0.64	MAR- Este-Noreste
UMB	3.20	JUL-Noroeste	0.24	ABR- Este-Norte
BGO	3.99	ENE-Sureste-Este	0.37	ABR- Este-Sur
IMA	4.14	ENE-Sur-Sureste	0.11	AGO-Este-Sur
CHA	2.54	FEB-Sureste-Este	0.22	AGO-Este-Norte
LCA	0.93	MAR- Este-Sureste	0.10	AGO-Este-Norte
ACA	1.00	MAR- Este-Sureste	0.10	JUL-Este-Norte
TEU	6.50	DIC-Sur-Sureste	0.14	ABR-Este-Sur

Con respecto al *Cuadro 8* de viento, se puede observar que en enero, Boca del Golfo e Islas Marías, tienen su máxima velocidad de viento, análogamente, Chamela en febrero; OBC y el Alto Golfo de California en abril; Acapulco en marzo y Golfo de Tehuantepec en diciembre. Los mínimos climáticos en Ensenada se

tienen en enero; Alto Golfo de California en marzo; Umbral, Boca del Golfo, y Golfo de Tehuantepec en abril; Bahía Magdalena y Acapulco en julio y finalmente en Islas Marías, Chamela, y Lázaro Cárdenas en agosto.

Recapitulación del comportamiento climático en la costa oriental de México para las variables meteorológicas

En el presente trabajo, se obtuvieron los datos recolectados de reanálisis NARR de los parámetros meteorológicos: presión, Temperatura, humedad relativa y viento en sus respectivas componentes U y V, de la costa Oriental del Océano Pacífico Mexicano. Como ya se mencionó anteriormente están relacionados con la interacción Océano-atmósfera, en seguida se da una explicación de su comportamiento.

Presión

Los máximos de esta variable se obtienen en Ensenada, Punta Eugenia, Alto Golfo, y Umbral del golfo, los cuales se localizan entre las coordenadas 28°N y 32°N, puntos cercanos a 30°N, son sistemas de alta presión, (también conocido como sistemas anticiclónicos subtropicales) razón por la cual, son regiones con valores de presión mayores al resto de la costa de la Océano Pacífico Mexicano, la variación en sus máximos y mínimos se deben a las desviaciones de SLP. Los valores más bajos de presión en toda el área de estudio, se encuentran en el SPM debido a que recibe mayor radiación solar, al calentarse las aguas de la costa Sur mexicana, se evapora el agua, ascendiendo y así generando bajas presiones especialmente en verano.

En el OBC, los máximos, según la serie de datos de reanálisis regional NARR original, se presentan durante el invierno (enero) por ser un sistema de alta presión; el mínimo se muestra en otoño (septiembre) y solo en Bahía Magdalena en verano (junio), las bajas presiones del verano, se debe a que en el cinturón subtropical de alta presión se encuentra más al Norte durante el verano boreal (junio-agosto; Amador, 2006).

En DGC se tienen máximos en invierno (diciembre, enero y febrero), y los mínimos en verano (Junio) y solo en CGO en otoño (septiembre) e IMA en primavera (mayo), los mínimos se deben, a que el Golfo de California está rodeado por desierto (Península de B. C., Arizona, y Sonora), el cual se caracteriza por altas Temperaturas y de baja presión atmosférica (Reyes, 1993) formando evaporación de las aguas en CGO, humedad y bajas presiones. Los valores máximos, como ya se había mencionado anteriormente, están relacionados con el cinturón subtropical de alta presión.

En el SPM especialmente en CHA; ACA y TEU se aprecian sus máximos en el invierno (febrero y diciembre), y los mínimos se presentan en primavera (abril y mayo). Los valores menores de presión, son debido a que el SPM está más distanciado del cinturón subtropical de alta presión, y a la evaporación de la Alberca de Agua Caliente Mexicana, (ACM). Los valores máximos pueden deberse a su cercanía con el cinturón subtropical de alta presión durante el invierno. Puntualizando, en CHA se tiene baja presión en verano debido a los vientos alisios húmedos provenientes del centro de presión Bermudas Azores y a la corriente del Golfo de California, limitando la evaporación, impidiendo el aporte de humedad (García-Olivares, 2002).

En Lázaro Cárdenas se tienen valores bajos en diciembre por el cinturón de baja presión ZCIT en Lázaro Cárdenas donde su máximo es en mayo, debido a que en invierno la ZCIT suele dirigirse hacia el Sur (Amador, 2006).

Temperatura

Esta variable meteorológica presenta DGC temperaturas altas y bajas, los máximos se tienen en verano (agosto) y otoño (septiembre), los mínimos ocurren en invierno (enero y febrero) estas variaciones en la temperatura, se cree que están determinadas por flujos estacionales de calor y humedad, con presencia de fuertes mezclas por marea y mezclas convectivas (Soto-Mardones, 1999). En la serie de tiempo real, en el Alto Golfo de California, se presentan aguas cálidas y en Ensenada aguas frías, según (Soto, 1999), esta variación de temperatura se debe al viento de carácter estacional, el cual, genera surgencias costeras en invierno (Ensenada) y en verano (Alto Golfo de California), también, se sabe, que la pérdida de calor que ocurre en el CGO, se origina en otoño e invierno por la mezcla de la convección vertical y conduce a la formación de masas de agua en las zonas menos profundas del Alto del Golfo de California, (Lavín, 1997). Con respecto a las Islas Mariás, donde se tiene aguas frías en invierno (febrero) causadas por la influencia de la Corriente de California y las aguas calientes en verano (agosto), estos fenómenos térmicos se pueden atribuir al hecho de estar cerca de la ACM, la cual se encuentra entre 20°N y 20°S, ya que las temperaturas superficiales de la ACM se extienden en octubre hacia el Norte, y alcanza la entrada al Golfo de California (23°N) y se retrae a 17°N de abril a junio (Trasviña, 2001).

En el SPM se tienen temperaturas altas en la mayor parte del año, ya que esta región pertenece a la ACM, en Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec se tienen aguas cálidas en verano, debido a diferentes fluctuaciones, como la radiación solar, los vientos y la precipitación, en un proceso típico de interacción entre el Océano y la atmósfera, las cuales modelan la actividad convectiva en el SPM y son responsables de la canícula, (Trasviña, 2001), los mínimos en el SPM se presentan en invierno y principios de marzo (enero, febrero y marzo).

En el OBC presenta un valor menor de temperatura la mayor parte del año en comparación con el resto de la costa mexicana, un factor importante que explica estas bajas temperaturas en ENS, PEU, CGO y UMB podría ser la capa de nubes casi permanentes en esta región, disminuyendo la cantidad de radiación solar ($170 \text{ W/m}^2 - 195 \text{ W/m}^2$) que calienta las aguas del OBC (Amador, 2006). En invierno (enero-febrero) se tiene aún más bajas temperaturas que en el resto del año, a causa de la Corriente de California que fluye hacia el ecuador entre las latitudes 48°N y 23°N a lo largo de la costa occidental de América; la corriente es provocada por la desviación hacia el Sur de la corriente del Norte del Pacífico, Las temperaturas mayores DGC, se tienen en invierno, verano y otoño (febrero, agosto y septiembre), las cuales pueden atribuirse al monzón Mexicano manifestando vientos húmedos, el cual se muestra antes de la temporada de lluvias, (García-Olivares, 2002).

Humedad relativa

Esta variable meteorológica se presenta en la región del OBC con valores máximos en Ensenada y Punta Eugenia en verano (julio y junio) y en Bahía Magdalena en otoño (septiembre); asimismo, los valores mínimos en el OBC se tienen en invierno (diciembre) y solo en Bahía Magdalena en primavera (abril). Los meses más húmedos se atribuyen, al monzón Mexicano (Douglas, 1993), el cual inicia en junio y se extiende hasta septiembre manifestando notoriamente vientos húmedos en verano, por tanto que son provenientes del Océano Pacífico (García-Olivares, 2002). Con respecto a los meses con menor humedad, se puede deber a los vientos secos monzón, los cuales soplan en el invierno del (este-oeste). Otro fenómeno que participa en la disminución de humedad en el OBC es la corriente de California, ya que al trasladar aguas frías a esta zona, disminuye la Temperatura y no se genera vapor de agua, evitando la evaporación del agua y humedad, esto se comprueba al observar los valores de alta presión que se mantienen en invierno analizados ya anteriormente. En Bahía Magdalena se tienen, meses húmedos y secos, tiempo después que en Ensenada y Punta Eugenia, ya que su ubicación (24°N y 111°O) es influenciada por los vientos monzónicos, la corriente de California y está en contacto con las aguas de la

ACM, estos fenómenos estacionales forman un equilibrio termodinámico, razón por la cual, se puede decir Bahía Magdalena no tiene humedad extrema y tampoco es muy seca.

Con respecto a DGC, se tienen máximos en verano (mayo y junio), invierno (febrero), y primavera (mayo), y los mínimos en verano (agosto), otoño (octubre y noviembre), e invierno (diciembre). Como ya se había mencionado anteriormente, respecto a la temperatura del Golfo de California y los fenómenos estacionales que causan sus variaciones, la temperatura superficial del Golfo de California aumenta considerablemente, generando un gradiente vertical de temperatura en la troposfera baja, creando inestabilidad y favoreciendo un flujo neto de calor y humedad hacia la atmósfera, generando convección y formación de nubes que son transportadas por efecto de circulaciones locales a las regiones montañosas (Reyes 1993). En esta zona el mes más caliente se presenta antes de las lluvias y al estar menos afectada por la Corriente de California sus aguas son probablemente una fuente importante de humedad (García-Olivares, 2002).

En el SPM, se muestra en primavera (abril) y otoño (octubre y septiembre) los meses con humedad máxima y la mínima en diciembre (enero), verano (agosto) y otoño (octubre). Con el análisis anterior, se puede decir, que en esta región, debido a la radiación de onda corta entrante que calienta las aguas en la costa sur del Pacífico Mexicano, y el soplo de los vientos alisios en la ACM, son importantes generadores de humedad en el SPM. En CHA, otro colaborador en el aumento de humedad, son los ciclones tropicales, los cuales se presentan en los meses de septiembre y octubre (García-Olivares, 2002).

Viento

A grandes rasgos se puede decir que la costa del Océano Pacífico Mexicano tiene viento predominante hacia el Sureste la mayor parte del año y solo en algunos meses hay desviaciones hacia el primer cuadrante (Este a Norte), por ejemplo en Ensenada se tienen cambios de dirección de viento en invierno, en la región DGC se observan desviaciones en primavera y otoño, y en el SPM se tienen en verano, excepto en Golfo de Tehuantepec, donde se presentan en primavera.

En términos generales, el viento en la costa del Océano Pacífico Mexicano, está influenciado por los vientos alisios (Amador, 2006), en el OBC y DGC como ya se había mencionado, en estas regiones influyen los vientos monzónicos, durante el verano (A medida que la masa de aire asciende y se enfría, libera su contenido de agua en forma de lluvia dando como resultado los famosos monzones de la región). En Chamela, en el invierno, se aprecian vientos dominantes del oeste, provenientes del anticiclón del Pacífico Nororiental y se caracterizan por ser vientos secos; entretanto en verano, dominan los vientos húmedos (alisios), del Este por el anticiclón bermudas azores y su fuente principal de humedad son las aguas cálidas del Golfo de México (García-Olivares, 2002).

Análisis Armónico

De la serie original, las variables explicadas en su mayoría por la serie armónica considerando como mínimo de varianza explicada un 50%, se tiene que en el OBC, la temperatura y presión, son variables meramente estacionales en los tres puntos de estudio de esta región. DGC, se observa en el Norte del Golfo y en las islas, en la parte media de este, que las cinco variables tienen un comportamiento afectado por las estaciones del año, en BGO del Golfo también, excepto el viento en su componente U, en IMA solo la temperatura y el viento actúan de manera estacional. Finalmente en el SPM, donde la temperatura, y el viento son las únicas variables que coinciden en los cuatro puntos de estudio que conforman esta región, como estacionales. En lo anterior, se observa que en toda la costa del Océano Pacífico Oriental Mexicano la temperatura es la única variable que mantiene su estacionalidad en toda la costa. Sin embargo, para tener un esclarecimiento de los parámetros meteorológicos no explicados por el análisis armónico, se sustrae la serie modelada de la serie original resultando las anomalías interanuales.

CONCLUSIONES

El análisis armónico aplicado a las SOC, indica que especialmente DGC en la región Norte y media del Golfo de California la señal estacional es la más importante, donde se tiene la varianza explicada con alto porcentaje, en las variables meteorológicas: presión, temperatura, humedad y viento. El comportamiento estacional de la temperatura DGC, con sus máximos (verano y otoño) y mínimos (invierno), se debe a flujos estacionales de calor y humedad, con presencia de fuertes mezclas por marea y mezclas convectivas. En esta misma región, se tiene, Islas Mariás, con aguas frías en invierno causadas por la Corriente de California y las aguas calientes en verano debido a las extensiones de agua superficial de ACM en octubre hacia el Norte, y su retracción de abril a junio. Asimismo, los mínimos de presión son debidos a la humedad por la evaporación de las aguas en CGO, y las altas presiones las cuales están relacionadas con el cinturón subtropical de alta presión. Con respecto la humedad en el CGO, el mínimo se presenta a finales de verano y otoño, y principios de invierno; el máximo a finales de invierno, principios de verano y finales de primavera. Según el análisis en DGC la región del Golfo de California al estar rodeada de desiertos, provocando que la temperatura de la subcapa terrestre de la atmosfera aumente considerablemente, generando un gradiente vertical de temperatura en la capa limite, haciéndola muy inestable y favoreciendo un flujo neto de calor y humedad hacia la atmosfera creando convección y formación de nubes transportadas por efecto de circulaciones locales a las regiones montañosas. Esta zona, es menos afectada por la Corriente de California, por lo cual, sus aguas son probablemente generadoras importantes de humedad.

Con respecto el viento, en la región DGC especialmente en CGO y UMB el viento sopla hacia el Sureste en verano y al cuadrante Norte-Oeste, en invierno, primavera y otoño, en BGO el viento predominante se dirige hacia el Sureste y hacia el Noreste en invierno, primavera, en IMA se dirige hacia el Sur-Sureste en otoño y hacia el Noreste en invierno, primavera y verano. Se observa que el viento de mayor tendencia en el OBC y DGC, viene del Noroeste, estos vientos son los vientos monzónicos húmedos, provenientes del Océano Pacifico, durante el verano y los cambios de dirección se tienen en invierno hacia el Noreste, lo que se asocia con los vientos secos monzón.

En el OBC como ya se había mencionado, es la región más fría de la costa Oriental del Océano Pacifico Mexicano, debido al paso de la Corriente de California y a la poca radiación de onda corta que recibe esta área por causa de la capa de nubes casi permanente sobre esta región (Amador, 2006) y también otra característica estacional del OBC es que es un sistema de alta presión, y las variaciones en la presión se debe a desviaciones de SLP, por ejemplo en verano boreal el cinturón subtropical de alta presión se dirige hacia el Norte y en invierno hacia el Sur. Con respecto la humedad del OBC, se considera la influencia por el fenómeno del monzón Mexicano, el cual manifiesta notoriamente vientos húmedos en verano, debido a que son provenientes del Océano Pacifico; los meses con menor humedad, se puede deber a los vientos secos monzón, los cuales soplan en el invierno en dirección contraria a los del verano (este a oeste). Otro fenómeno que participa en la disminución de humedad en el OBC es la corriente de California. Bahía Magdalena está influenciada por los vientos monzónicos, la corriente de California y está en contacto con las aguas de la ACM, estos fenómenos estacionales forman un equilibrio termodinámico, razón por la cual, se puede decir Bahía Magdalena no tiene variaciones significativas de la humedad.

En el SPM, en la mayor parte del año, se tienen aguas cálidas en verano, debido a diferentes factores: como la radiación solar y los vientos. El proceso típico de interacción entre el Océano y la atmósfera en esta región, modelan la actividad convectiva en el SPM y también se relacionan con la canícula. Debido a que esta región pertenece a la ACM, la cual es fuente de la humedad en el SPM, los meses con humedad máxima, se muestra en primavera (abril) y otoño (octubre y septiembre) y la mínima en diciembre (enero), verano (agosto) y otoño (octubre), los máximos se asocian a la radiación de onda corta entrante que

calienta las aguas en la costa sur del Pacífico Mexicano, transmitiendo vapor y calor latente el cual asciende a la atmósfera, ocasionando nubosidad y bajas presiones en el SPM. Por ejemplo, en CHA se tiene baja presión en verano debido a los vientos alisios húmedos provenientes del centro de presión Bermudas Azores y a la corriente del Golfo de California, limitando la evaporación, impidiendo el aporte de humedad. La región de Lázaro Cárdenas (lugar con más bajas presiones de la costa Oriental del Océano Pacífico Mexicano) se tiene valores bajos de presión en diciembre por el cinturón de ZCIT en donde su máximo es en mayo, debido a que en invierno la ZCIT suele dirigirse hacia el Sur. Finalmente, con respecto al viento, se tiene que en Chamela, en invierno, se aprecian vientos dominantes del oeste, provenientes del anticiclón del Pacífico Nororiental y se caracterizan por ser vientos secos; entretanto en verano, dominan los vientos húmedos (alisios), del Este por el anticiclón Bermudas-Azores y su fuente principal de humedad son las aguas cálidas del Golfo de México. En LCA, ACA y TEU se aprecian vientos en verano provenientes del Noroeste lo que nos indica la presencia de vientos del Oeste, y solo en TEU el viento se dirige hacia el Noroeste en primavera y al Sureste en verano.

LITERATURA CITADA

- Amador, José A; Alfaro, Erick J; Lizano, Omar G; Magaña, Víctor O, 2006. Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, pp. 101-142.
- Douglas, M.W., 1992. *The Mexican Monsoon*. CICESE. Ensenada, Baja California, México.
- García-Oliva, F., Camou, A., & Maass, J. M., 2002. El clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano. *Historia natural de Chamela*, 3(10).
- Hernández-Torre, B; Gaxiola-Castro, G; Nájera-Martínez S., 2004. Efectos del ENSO en la producción primaria frente a Baja California. *Ciencias Marinas*, Vol. 30, No 3.
- Kim H. M.; Webster, P.J; Curry, J.A., 2009. Impact of Shifting Patterns of Pacific Ocean Warming on North Atlantic Tropical Cyclones , *Science* , July.
- Lavín, M. F; Durazo, R; Palacios, E; Argot M.L; and Cabrera C., 1997. Lagrangian Observations of the Circulation in the Northern Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, Volumen 27, No. 10.
- Lavín, M. F.; Palacios-Hernández, E; Cabrera C., 2003. *Sea Surface Temperature Anomalies In The Gulf Of California*, Departamento de Oceanografía Física, CICESE. Ensenada, Baja California, México.
- Palacios E. y E. Beier, 2015. *Circulación estacional de la Región Norte del Golfo de California*, PUBLICIA, OmniScriptum GmbH & Co. KG. Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbtücken, Deutschland-Alemaia, ISBN: 978-3-639-55306-2. 128 pp.
- Palacios-Hernández E., 2001. Tesis Doctoral, *Circulación de la Región Norte del Golfo de California: estacional y anomalías*; División de Oceanología, Dep. de Oceanografía Física, CICESE.
- Palacios-Hernández E., Brito-Castillo L., Carrillo L., and Tereshchenko I. 2012. Interannual deviations of long-term data from observations and contrasting with reanalysis data from the oceanic station at Islas Marías, Nayarit, México. *Atmósfera* 25(4). 355-370 pp.
- Reyes, S., 1993. *El monzón del Suroeste de Norteamérica (TRAVASON\SWAMP)*, CICESE, Ensenada, México.
- Ripa, P., 2002 Least squares data fitting. *Science Mar*, 28:79-105.
- Sánchez-Román O., 2008. *Análisis Armónico y Anomalías Interanuales De Datos Meteorológicos Históricos De Islas Marías, Nayarit*. Tesis, Universidad de Guadalajara.
- Soto-Mardones, L, 1999. *Variabilidad Espaciotemporal De La Temperatura Superficial Del Mar En El Golfo De California*, Departamento de Oceanografía Física, CICESE.

Trasviña, A., 2001. La circulación costera del Pacífico Tropical Oriental, con énfasis en la Alberca Cálida Mexicana (ACM), Departamento de Oceanografía Física, CICESE. Ensenada, Baja California, México.

AGRADECIMIENTOS

CONACyT proyectos ciencia básica: 3209-T9207; 000000000104884 y 44870F

SÍNTESIS CURRICULAR

Emilio Palacios Hernández

Doctor en Ciencias en Oceanografía Física por el CICESE, Profesor e Investigador titular C, del Depto. de física de la Universidad de Guadalajara. Ha escrito: varios artículos científicos en revistas de prestigio internacional, capítulos de libro y un libro, también ha dirigido tesis de licenciatura y maestría, actualmente es perfil PRODEP y miembro del SNI 1, ha participado en más de 50 congresos nacionales e internacionales, así como proyectos de investigación oceanográfica. Correo electrónico: mailto:emilio6x111@yahoo.com

Laura Carrillo

Doctorado en Oceanografía Física en Universidad de Gales Bangor. Postdoctorado en el Instituto Oceanográfico de Scripps. En los últimos 10 años la investigación se ha enfocado en aspectos oceanográficos de diversas escalas espacio-temporales vinculados con la distribución de larvas de peces, así como variabilidad en sistemas tropicales, zonas arrecifales, circulación y fenómenos de mesoescala de las regiones Golfo de México y Caribe. Otros estudios realizados se enfocan en el análisis de anomalías de temperaturas superficiales del mar que contribuyan a entender las anomalías en estos tipos de sistemas. Muchos de estos trabajos son el resultado de la colaboración con NOAA y ECOSUR con la finalidad de entender procesos de conectividad biológica de larvas de peces entre el Golfo de México y el Caribe, estos representan los primeros trabajos de la zona del Caribe Occidental con aspectos oceanográficos. Correo electrónico: lc_oceanografa@yahoo.com.mx

Iryna Tereshchenko

Doctor en Ciencias en Meteorología Física por el State Hydrometeorological Centre, (USSR, Moscow). Profesor e Investigador titular C, del Depto. de física de la Universidad de Guadalajara. Ha escrito: varios artículos científicos en revistas de prestigio internacional, capítulos de libro y un libro, también ha dirigido tesis de maestría y doctorado, actualmente es perfil PRODEP y miembro del SNI 1, ha participado en más de 50 congresos nacionales e internacionales, así como proyectos de investigación de la ciencia básica del CONACYT. Correo electrónico: itereshc@ucei.udg.mx

Alma Delia Ortiz Bañuelos

Maestra en Ciencias por parte de la Universidad de Guadalajara, Actualmente en el Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: fisicalmaortiz@gmail.com

David Ávalos Cueva

Doctor en Ciencias del Mar y Limnología por la UNAM. Profesor-investigador titular en el Instituto Tecnológico Superior de Arandas (ITS de Arandas). Presidente del Comité de Investigación de ITS de

Arandas, líder de la línea de investigación de modelación climática, registrada en Tecnológico Nacional de México. Ha sido autor de varios artículos en revistas indexadas sobre variabilidad climática y modelación hidrodinámica del Lago de Chapala; así como colaborador de un capítulo de libro en la misma área de investigación. También ha dirigido tesis de licenciatura e ingeniería. Correo electrónico: david.avalos@tecarandas.edu.mx. of the 17th Climate Diagnostics Workshop , Norman, OK, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma



ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS A LO LARGO DE LA COSTA DEL OCEANO PACIFICO MEXICANO (ANOMALÍAS: PARTE II)

METEOROLOGICAL DATA ANALYSIS THROUGH THE MEXICAN OCEAN PACIFIC COAST (ANOMALIES: PART II)

Emilio **Palacios-Hernández**¹; Laura **Carrillo**²; Iryna **Tereshchenko**¹; Alma Delia **Ortiz-Bañuelos**¹ y David **Ávalos-Cueva**^{3,4}

¹ Universidad de Guadalajara, Depto. de Física; ² El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal; ³ Universidad de Guadalajara, Depto. de Ingeniería Civil y Topografía; ⁴ Instituto Tecnológico Superior de Arandas.

RESUMEN

Se analizan series de tiempo de variables meteorológicas obtenidas por reanálisis, en diferentes zonas de la costa mexicana del Océano Pacífico y se comparan la climatología con las variabilidades interanuales, donde se establece que la mayor variabilidad interanual está asociada a El Niño-Oscilación del Sur.

Palabras clave: Océano Pacífico, Costa mexicana, El Niño-Oscilación del Sur.

SUMMARY

Analysis is performed on time series of meteorological variables obtained by reanalysis in different areas of the Mexican Pacific Coast and compared climatology with interannual variability, where it is established that the greatest interannual variability is associated with El Niño-Southern Oscillation.

Key words: Pacific Ocean, Mexican coast, El Niño-Southern Oscillation.

INTRODUCCIÓN

En la parte I de este artículo se estableció el comportamiento estacional de las variables meteorológicas: temperatura, presión atmosférica, humedad relativa y componentes zonal y meridional del viento, en este trabajo se analiza la variabilidad interanual debida a fenómenos de escala global como el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), entre otros además de discernir las zonas más afectadas por las diferentes señales interanuales, para finalmente establecer anomalías climatológicas de diferentes escalas temporales, para definir sus teleconexiones con los fenómenos de escala interanual.

La variabilidad interanual que determina anomalías climáticas, que podrían ser debidas a fenómenos globales como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), La Niña, El Niño "Modoki" (Kim *et al.*, 2009) y otros, a través de los índices globales tales como: índice de oscilación del Sur (SOI), índice de oscilación del Sur extratropical (SOI*), Índice multivariable ENOS (MEI), índice de oscilación extratropical del Norte (NOI) y el Índice Oceánico de El Niño (ION).

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

En la parte I de este artículo ya se indicó cómo y dónde se obtuvieron los datos y el análisis de los mismos, por lo que no se repetirá en esta parte II. Por otro lado, se indica el procedimiento para obtener las anomalías interanuales:

1. Obtener las anomalías interanuales y filtración de anomalías menores a tres meses que son generados por los procesos regionales.
2. Calcular coeficientes de correlación, entre anomalías interanuales y los índices globales: SOI, SOI*, NOI los cuales fueron obtenidos de PFE (Pesca del Pacífico Medio Ambiente http://www.pfel.noaa.gov/products/PFEL/modeled_indices/NOIX/noix_download.html), El ONI del CPC (centro de predicción climática http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml) y el MEI de (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/mei.html>).

En la naturaleza, no todas las primaveras, veranos, otoños e inviernos son iguales, al hacer una comparación gráfica de la serie modelada (SM) con la serie original completa (SOC), es factible analizar la variabilidad interanual.

Obtención de anomalías

Las anomalías se definen como: $a = SOC - SM$

Las cuales indican que las diversificaciones de las variables, que no se deben al comportamiento anual, probablemente se deban a fenómenos de escala global como podría ser El Niño -Oscilación del Sur (ENOS) La Niña, El Niño "Modoki" (Kim *et al.*, 2009). Para descartar las anomalías de alta frecuencia, ya que, están posiblemente relacionadas con algunos fenómenos locales, se realiza un filtrado (promedio móvil de 3 meses) de las anomalías menores a 3 meses, así solo se consideran las generadas por fenómenos a gran escala.

Análisis y coeficientes de correlación

El coeficiente de correlación, es un instrumento estadística elemental e importante para el análisis climatológico de las variables meteorológicas que involucran series de tiempo. El coeficiente de correlación proporciona información sobre la relación lineal existente entre dos variables cualesquiera. Si se tiene dos variables (X e Y) existe correlación si al aumentar los valores de X lo hacen también los de Y , y viceversa.

Índices globales

El fenómeno El Niño -Oscilación del Sur, ENSO, es considerado como la más importante variabilidad climática interanual, así como por los efectos de este fenómeno en las condiciones meteorológicas, las actividades económicas y sobre las poblaciones. Para identificar y definir el ENSO se han diseñado numerosos índices, unos con base en las características atmosféricas o del mar, o bien, por combinaciones de ambas. En este trabajo se utilizan los índices SOI, SOI*, NOI, MEI, y ONI, para identificar cuantitativamente las fases caliente y fría del ENSO. A continuación se indica el significado y el cálculo de cada índice:

El índice de la Oscilación del Sur (**SOI-Southern Oscillation Index**). Como cualquier otro índice, se calcula aritméticamente de las oscilaciones mensuales o estacionales de diferencias de presión atmosférica entre la isla de Tahití y la ciudad de Darwin, Australia. La existencia de valores negativos sostenidos del SOI frecuentemente indica episodios del fenómeno de El Niño. Los valores positivos del SOI se asocian con La Niña.

En el cálculo del SOI se tiene presente que las anomalías mensuales de presión atmosférica son desde el período de 30 años.

$$\text{SOI} = \frac{(\text{Estandarizado Tahití} - \text{Darwin estandarizado})}{\text{MSD}}$$

donde

$$\text{MSD (Desviación típica mensual)} = \sqrt{\left[\frac{\sum (\text{estandarizados Tahití} - \text{Darwin estándar})^2}{N} \right]}$$

N=número de meses resumidos

$$\text{Estandarizado Tahití} = \frac{(\text{SLP real Tahití} - \text{SLP Tahití media})}{\text{Desviación estándar de Tahití}}$$

donde SLP (Sea Level Pressure o Presión atmosférica a nivel del mar)

$$\text{Desviación estándar de Tahití} = \sqrt{\left[\frac{\sum (\text{reales SLP Tahití} - \text{media SLP Tahití})^2}{N} \right]}$$

con N = número de meses y

$$\text{Darwin estandarizado} = \frac{(\text{SLP Darwin real} - \text{SLP Darwin media})}{\text{Desviación Estándar de Darwin}}$$

Donde

$$\text{Desviación estándar de Darwin} = \sqrt{\left[\frac{\sum (\text{reales SLP Darwin} - \text{Darwin significa SLP})^2}{N} \right]}$$

y N= número de meses.

El SOI es un buen indicador de las variaciones tropicales relacionadas con El Niño y La Niña, pero no puede ser la mejor manera de representar a la variabilidad interanual global decenal, sobre todo en las latitudes extratropicales. Debido a que el SOI hace hincapié en las variaciones en la circulación zonal de Walker, e informa poco acerca de la circulación meridional (las celdas de Hadley) y su variabilidad, que es un vínculo importante entre la atmósfera tropical y de latitudes medias. La circulación de Hadley se asocia específicamente con los vientos alisios, que proceden de los sistemas de alta presión extratropical, incluye el Centro de Alta Presión del Pacífico Norte (NPH) y Centro de Alta Presión del Pacífico Sur (SPH). El nivel superior de la circulación de Hadley se alimenta en la zona extratropical. Es por eso que se considera un índice más, el SOI*

El índice de oscilación del Sur extratropical (**SOI*-Extratropical Southern Oscillation Index**), es un complemento del SOI, por tanto tiene una conexión física a las zonas extratropicales. SOI* se considera para el diagnóstico extratropical interanual de la variabilidad decadal y para entender mejor los procesos responsables de los cambios a macroescala en las condiciones atmosféricas y oceánicas:

$$\text{SOI*} = \text{SLMB_SPH} - \text{SLMB_DARWIN}$$

SLMB_SPH son las anomalías de presión atmosférica a nivel del mar del Centro de Alta Presión del Pacífico Sur y SLMB_DARWIN son las anomalías de presión atmosférica a nivel del mar en Darwin, Australia.

El Índice de oscilación Norte (**NOI-Extratropical Northern Oscillation Index**), es la anomalía de la diferencia de presión a nivel del mar, entre el (NPH-Centro de alta presión atmosférica del Norte del Océano Pacífico) y Darwin, Australia y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{NOI} = \text{SLMB_NPH} - \text{SLMB_DARWIN}$$

SLMB_NPH es anomalías de presión a nivel del mar del Centro de Alta Presión del Pacífico Norte.

Los valores negativos menores a -2 del SOI, NOI, SOI* indican frecuentemente sucesos de El Niño, y generalmente son conducidos por el calentamiento del Pacífico tropical central y del este, así como una disminución en la intensidad de los vientos del Pacífico. Los valores positivos Mayores a +2 del SOI, NOI y SOI* se asocian a vientos más acelerados del Pacífico y a Temperaturas más calientes del mar al Norte de Australia, conocido como episodio La Niña, (Sánchez-Román, 2008).

El Índice multivariable ENOS (**MEI-Multivariate El Niño Index**) se puede entender cómo un promedio de las características principales del ENSO, el MEI se calcula como el primer componente principal (CP) sin rotar de los seis campos observados combinados de presión atmosférica al nivel del mar, viento zonal y meridional, temperatura superficial del mar, temperatura del aire a nivel del mar y nubosidad. Esto se logra mediante la normalización de la varianza total de cada campo y luego realizar la extracción de la CP por primera vez en la matriz de covarianza de los campos combinados. Con el fin de mantener el MEI comparables, todos los valores de temporada están normalizados con respecto a cada temporada y el periodo de referencia. Cabe señalar que valores positivos Mayores a +1 del MEI representan la fase caliente del ENSO o El Niño, mientras que los valores negativos menores a -1 del MEI están relacionados a la fase fría del ENSO o La Niña. (Wolter y Timlin, 1993).

El índice Océánico El Niño (**ONI-Oceanic El Niño Index**), es el criterio del Centro de Predicción Climática, (NCEP) de NOAA, se obtiene mediante el promedio móvil de la anomalía de la temperatura de la superficie del mar, en relación con el periodo de referencia 1971-2000, con tres meses sucesivos y se calcula:

$$\text{Índice ONI} = \frac{(ATSM_{i-1} + ATSM_i + ATSM_{i+1})}{3}$$

donde, $ATSM_i$, es la Anomalía de Temperatura de la Superficie del mar del mes, $ATSM_{i-1} + ATSM_{i+1}$, ATSM de los meses precedentes y siguientes al mes dado. El ONI, se ha convertido en el factor estándar que NOAA utiliza para la identificación de El Niño (caliente) y La Niña (frío) eventos en el Pacífico tropical. En condiciones de El Niño, el ONI debe ser igual o superior a +0.5 °C de anomalía, mientras que en condiciones La Niña, el ONI debe ser igual o inferior a -0.5 °C.

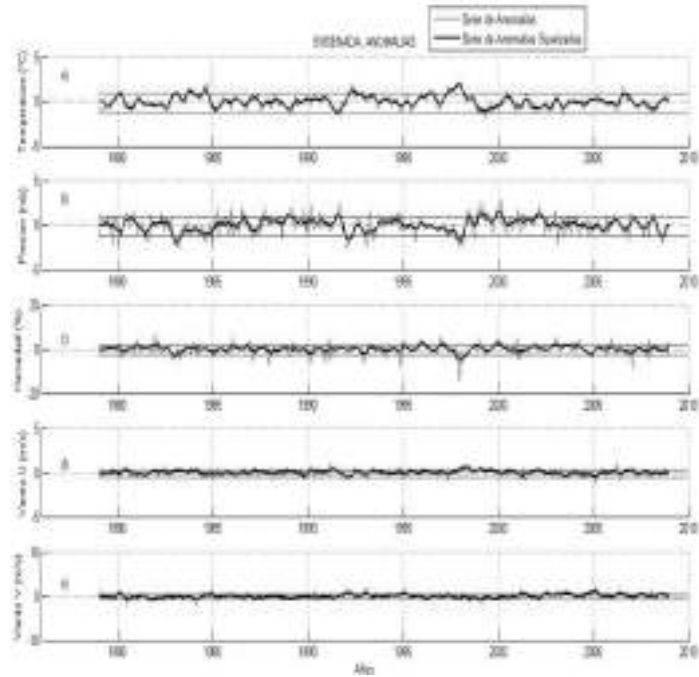


Figura 1. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Ensenada.

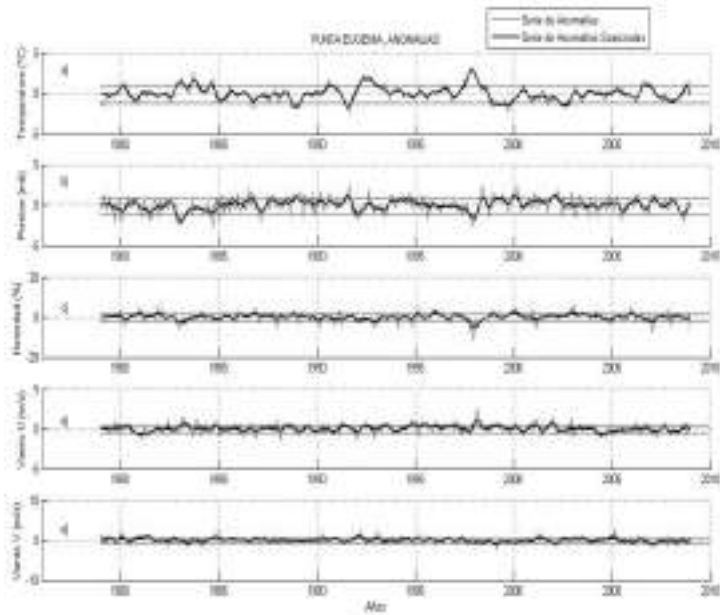


Figura 2. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Punta Eugenia.

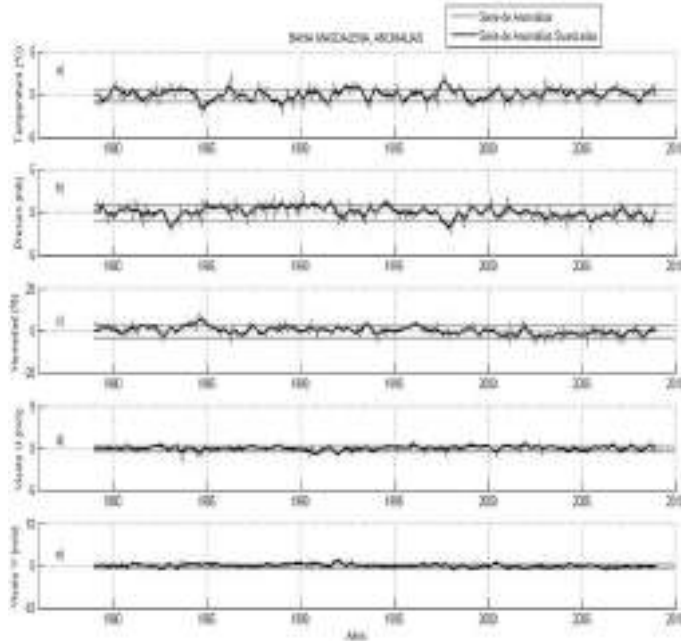


Figura 3. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Bahía Magdalena.

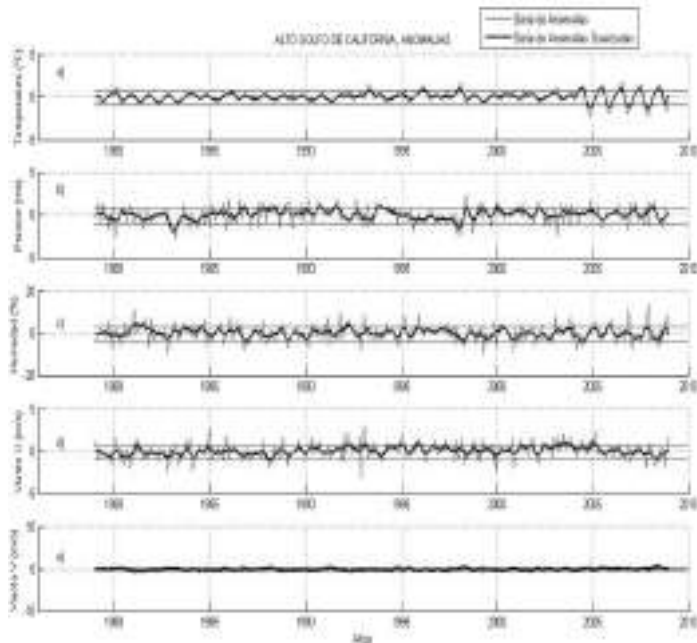


Figura 4. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Alto Golfo de California.

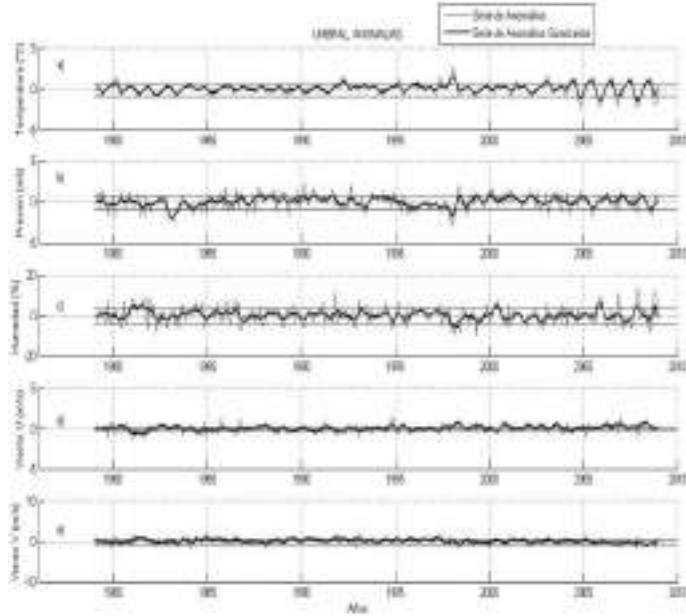


Figura 5. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Umbral del Golfo de California.

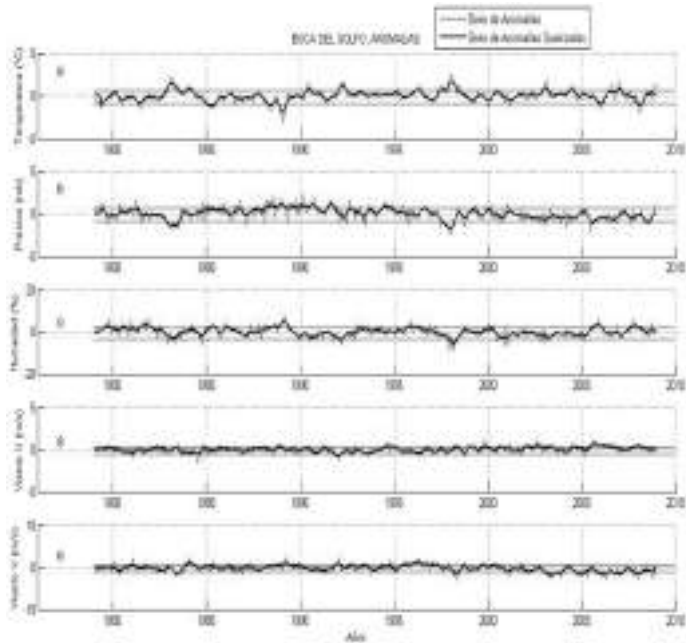


Figura 6. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Boca del Golfo de California.

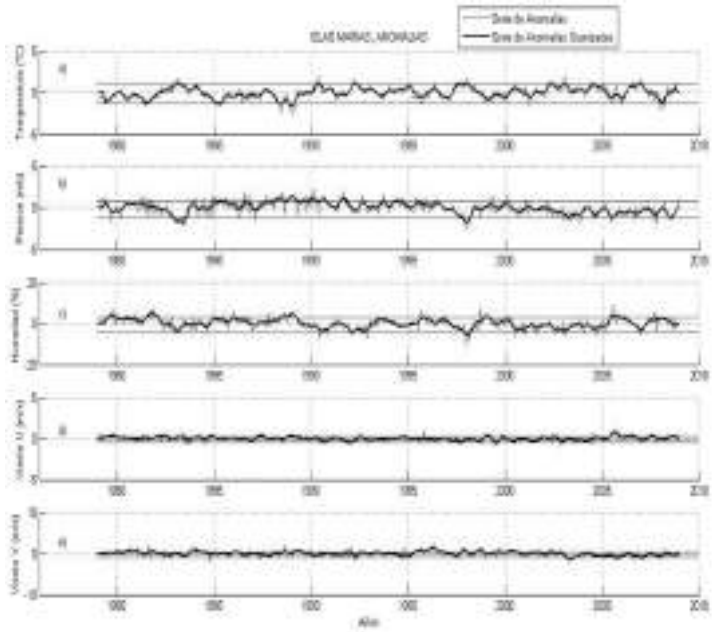


Figura 7. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Islas Marias.

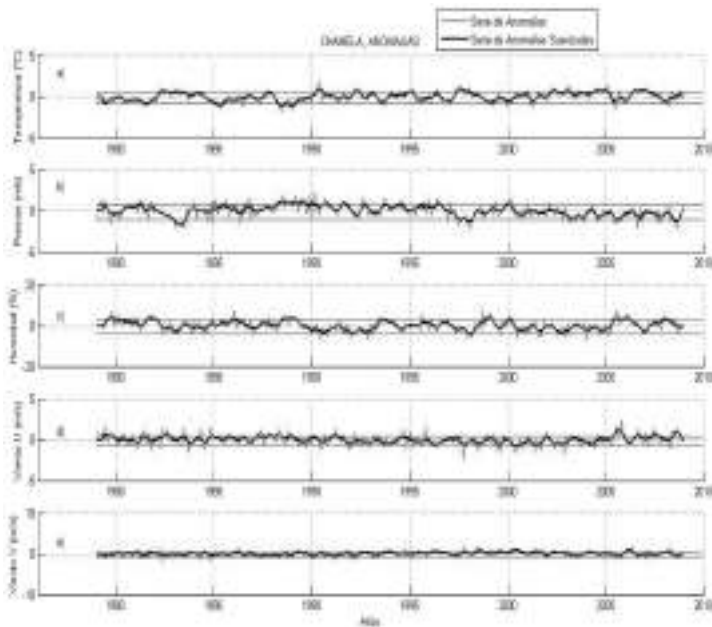


Figura 8. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Chamela.

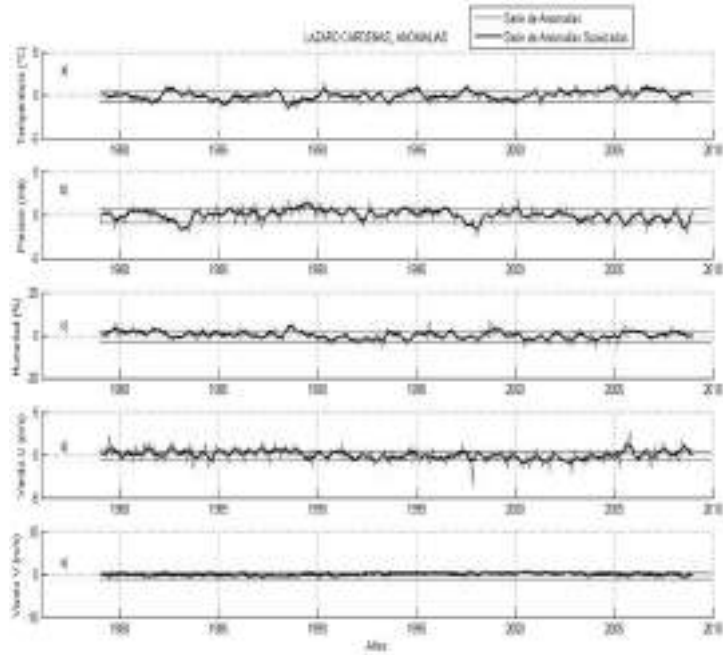


Figura 9. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Lázaro Cárdenas.

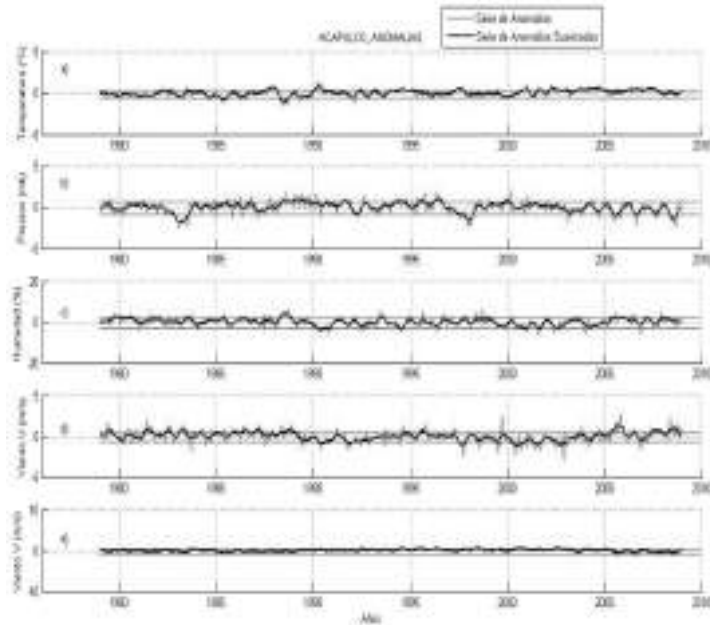


Figura 10. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V de Acapulco.

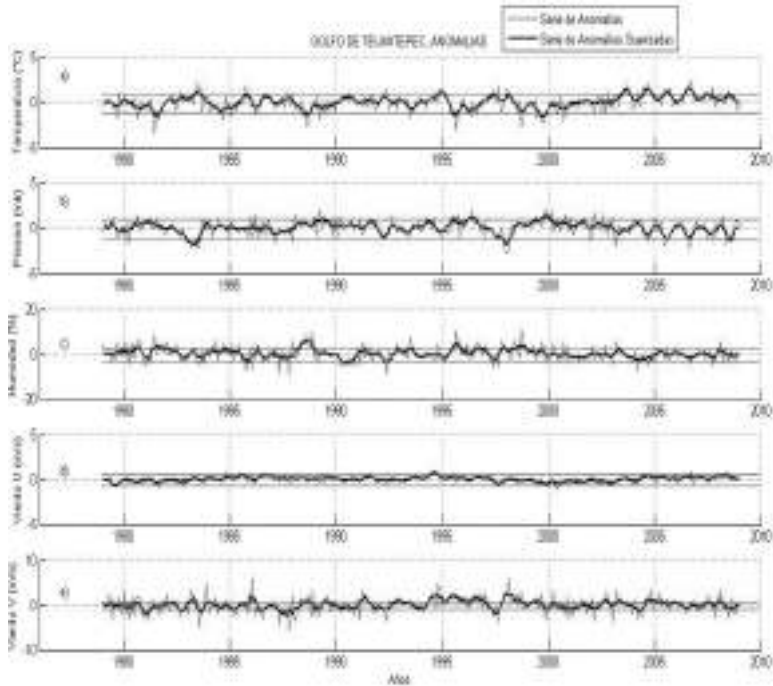


Figura 11. Serie Anómala (azul) y Anómala suavizada (negro) de temperatura, presión, humedad, viento en U y V del Golfo de Tehuantepec. Uno de los trabajos más recientes publicados es El Niño “*Modoki*” (EMI, por sus siglas en inglés, palabra japonesa que significa “similar, pero diferente”), se forma en el Pacífico Central, (El fenómeno de El Niño se forma en el Pacífico Oriental). El calentamiento en el Pacífico Central se asocia con una mayor frecuencia de tormentas y un mayor potencial de tocar tierra a lo largo de la costa del Golfo de California y la costa de América Central:

$$EMI = [ATSM] A - 0.5 * [ATSM] B - 0.5 * [ATSM] C$$

El número entre corchetes en la ecuación, representan el área-un promedio de ATSM en cada una de las regiones A (165E-140W, 10S-10N), B (110W-70W, 15S-5N) y C (125E-145E, 10S -20N), respectivamente. (Kim *et al.*, 2009). Debido a que este índice EMI es muy reciente no se emplea en el estudio del presente trabajo, solo se menciona.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anomalías climáticas interanuales

Las anomalías de las variables meteorológicas presión, temperatura, humedad relativa y viento fueron calculados con la ecuación de Anomalías. Los resultados para Ensenada, se ilustran en la *Figura 1*, dos líneas una de color azul y una negra, la azul corresponde a la serie de anomalías calculadas y la negra es la serie de anomalías calculadas con suavización móvil, con el propósito de analizar los datos anómalos. Asimismo, en las *Figuras 2-11* se muestran las anomalías para cada punto de estudio.

Coefficientes de correlación

En las *Figuras 12-16*, se muestra la correlación de las series anómalas con los índices globales para todos los puntos de estudio. Para una mejor ilustración de los índices de correlación se muestran por colores, el índice SOI se presenta en azul; NOI en verde; SOI* en rojo; MEI en azul cielo y para ONI en negro. La información que proporcionan los índices globales, para cada variable se especifica a continuación.

Con respecto a los coeficientes de correlación para la presión (*Figura 12*), se tiene, que son cercanos a cero, por tal motivo, se considera poca influencia de la variabilidad interanual con el comportamiento de la variable; de forma análoga con la temperatura (*Figura 13*). En la humedad relativa, *Figura 14* Se observa, una correlación positiva significativa en Ensenada, Punta Eugenia, y Alto Golfo de California con el índice SOI.

El componente U del viento (*Figura 14*), se muestra Ensenada, Punta Eugenia, Bahía Magdalena, Islas Marías, Chamela, Lázaro Cárdenas y Golfo de Tehuantepec con correlación positiva respecto SOI. El componente V del viento (*Figura 14*), se muestra Punta Eugenia, Bahía Magdalena, Islas Marías, Chamela, Lázaro Cárdenas y Golfo de Tehuantepec con correlación positiva a SOI*. Los componentes del U y V con correlación negativa en el índice NOI son en Islas Marías, Chamela y Lázaro Cárdenas. Mientras que en el índice SOI las Islas Marías, Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec, muestran correlación negativa.

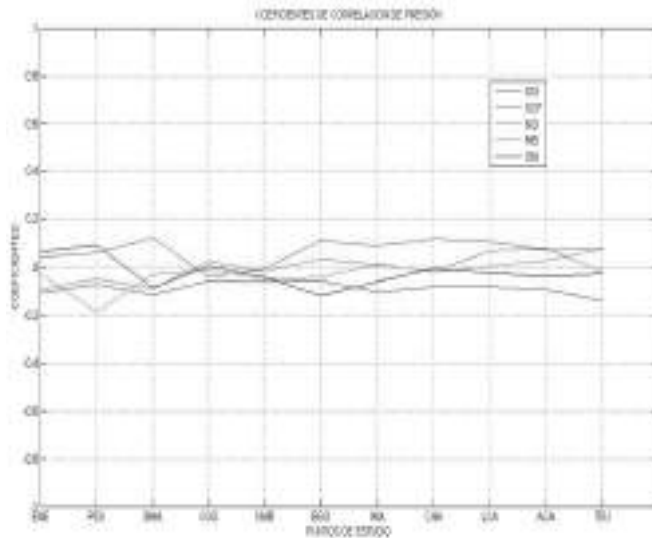


Figura 12. Coeficientes de correlación de Presión de: Ensenada (ENS), Punta Eugenia (PEU), Bahía de Magdalena (BMA), Alto Golfo de California (CGO), Umbral del Golfo de California (UMB), y Boca del Golfo de California (BGO), Islas Marías (IMA), Chamela (CHA), Lázaro Cárdenas (LCA), Acapulco (ACA) y por último, Golfo de Tehuantepec (TEU).

Anomalías Interanuales y Correlación

Presión

Las anomalías destacadas en la Presión (*Figura 12*), se muestran en el Occidente de la península de Baja California (OBC), donde, se tienen anomalías positivas máximas en ENS con 1.54 hPa en diciembre de 1999

y con el mismo valor en enero del 2000, PEU con 1.32 hPa en enero del 2000, y BMA con 1.15 hPa en junio de 1994. De igual manera, se presentan las anomalías negativas en ENS en enero de 1983 con -2.04 hPa y en la misma fecha PEU con -2.09, en BMA con -1.84 hPa en octubre de 1997.

En la región Dentro del Golfo de California (DGC) se muestran anomalías positivas en CGO con 1.02 hPa en junio de 1991, en UMB no se tienen anomalías superiores a 1 hPa, en BGO con 1.33 hPa en abril de 1988, en IMA con 1.39 hPa en diciembre de 1989. Ahora bien, las anomalías negativas se muestran en CGO y UMB con -2.00 hPa en diciembre de 1983, en BGO con -1.79 hPa en noviembre de 1997, por último, en IMA se tiene -1.88 hPa en abril de 1983.

En el Sur del Océano Pacífico Mexicano (SPM) se tiene anomalías positivas en CHA con 1.25 hPa en abril de 1988, y en marzo del año de 1989 se tiene en LCA con 1.30 hPa, y en la misma fecha, con 1.02 hPa en ACA, y TEU en noviembre de 1999 con 1.42 hPa. Asimismo las anomalías negativas se tienen en el año de 1983 en CHA en abril con -1.70, en ACA en enero con -1.87 hPa en 1983, y en TEU en abril con -1.88 hPa en 1983, finalmente en LCA en diciembre de 1998 con -1.65 hPa.

Con respecto a la correlación de esta variable, los coeficientes obtenidos son muy bajos y son de menor nivel de confianza. Aun así, a pesar de ser mínima la correlación, si se considera la relación cualitativa de la serie de tiempo SOI*, SOI y NOI, con las anomalías de esta variable meteorológica, se observa que los puntos de estudio están relacionadas con los fenómenos, La Niña en (ENS en diciembre de 1999 y en diciembre de 1998) y El Niño en (ENS y PEU en enero de 1983, BMA en octubre de 1997, CGO en junio de 1991, BGO en abril de 1988, IMA en diciembre de 1989, CGO y UMB en diciembre de 1983, BGO en noviembre de 1997, CHA en abril de 1988, TEU en noviembre de 1999, en CHA en abril de 1983, en ACA en enero en 1983, en TEU en abril en 1983).

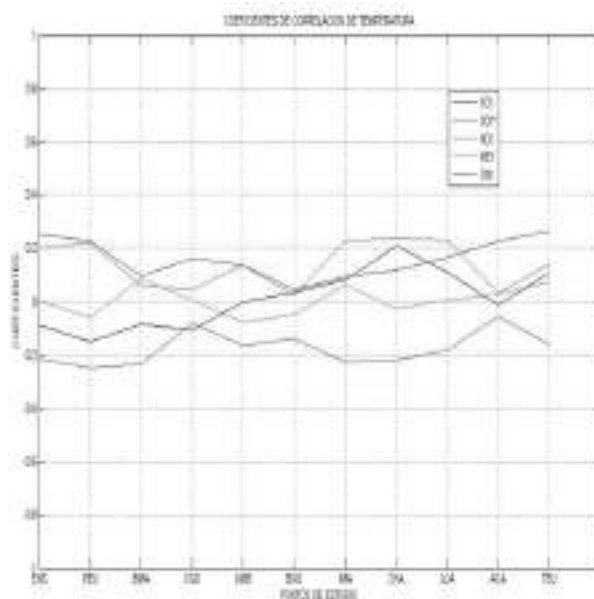


Figura 13. Coeficientes de Correlación de Temperatura de: Ensenada (ENS), Punta Eugenia (PEU), Bahía de Magdalena (BMA), Alto Golfo de California (CGO), Umbral del Golfo de California (UMB), y Boca del Golfo de California (BGO), Islas Mariás (IMA), Chamela (CHA), Lázaro Cárdenas (LCA), Acapulco (ACA) y por último, Golfo de Tehuantepec (TEU).

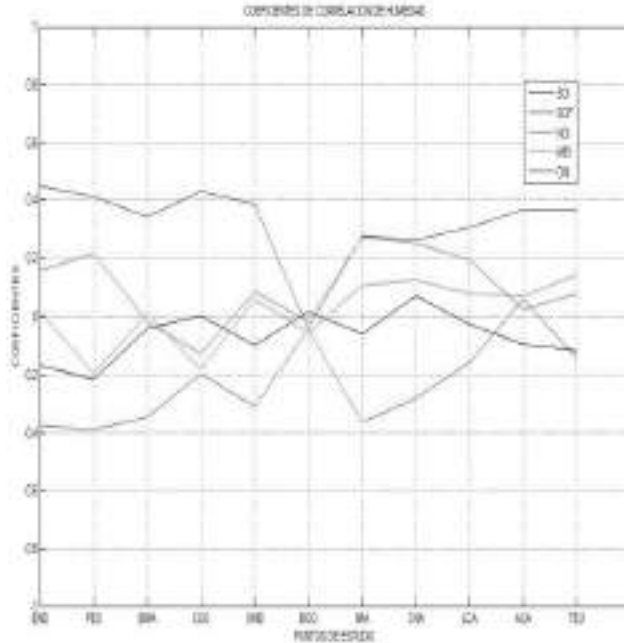


Figura 14. Coeficiente de correlación de Humedad de: Ensenada (ENS), Punta Eugenia (PEU), Bahía de Magdalena (BMA), Alto Golfo de California (CGO), Umbral del Golfo de California (UMB), y Boca del Golfo de California (BGO), Islas Marías (IMA), Chamela (CHA), Lázaro Cárdenas (LCA), Acapulco (ACA) y por último, Golfo de Tehuantepec (TEU).

Temperatura

Analizando las anomalías de temperatura con la correlación (Figura 13) de toda la costa del Océano Pacífico Oriental Mexicano. Las anomalías positivas más sobresalientes se presentaron en el CGO con 1.06 °C en Mayo del 2006, en 1998 con 1.67 °C en diciembre, en BGO y UMB con 1.46 °C en mayo de 1998, en IMA un máximo de 1.14 °C en enero de 1983, las cuales se asocian al fenómeno de El Niño (Lavín, 2003). Asimismo, las anomalías negativas se presentaron en CGO con -1.43 °C en octubre del 2007, en BGO con un máximo de -1.97 °C en diciembre de 1989; en IMA con -1.70 °C en diciembre de 1989, y en UMB con -1.51 °C en octubre del 2007; se observa que el evento anómalo comienza en el Sur del Golfo de California y termina en el Norte del Golfo; a algunas anomalías se les relaciona con La Niña de acuerdo (Lavín, 2003), también en este trabajo se menciona que la causa de algunas anomalías se debe a procesos locales. Asimismo, Lavín (2003) describe que en la parte media del Golfo se presentan anomalías intensas debido a la presencia de fuertes frentes de TSM; las anomalías más grandes se muestran en BGO, probablemente debido a la variabilidad interdecadal del Océano Pacífico.

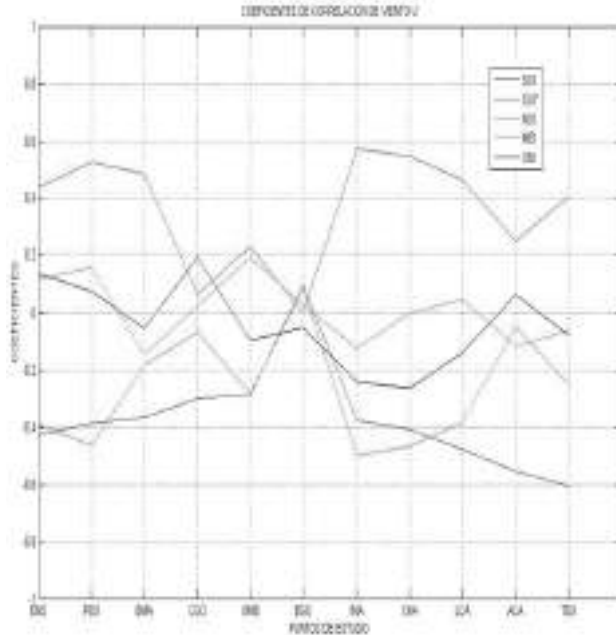


Figura 15. Coeficiente de correlación de viento U de: Ensenada (ENS), Punta Eugenia (PEU), Bahía de Magdalena (BMA), Alto Golfo de California (CGO), Umbral del Golfo de California (UMB), y Boca del Golfo de California (BGO), Islas Marías (IMA), Chamela (CHA), Lázaro Cárdenas (LCA), Acapulco (ACA) y por último, Golfo de Tehuantepec (TEU).

En la región OBC las anomalías positivas sobresalientes se tienen en 1997, en noviembre con 1.85 °C en Ensenada, y en agosto con 1.65 °C en BMA, y en abril de 1992 con 1.85 °C en PEU. Con respecto a las anomalías negativas, las cuales se presentan en verano; en julio de 1991 con -1.29 °C en ENS, en agosto de 1988 con -1.63 °C en PEU, y finalmente en agosto de 1984 con -1.58 °C en BMA.

Con respecto a la zona SPM, las anomalías positivas se registran principalmente en verano y sólo en otoño en LCA. De la misma forma, se registró en junio de 1997 con un valor de 1.00 °C en CHA, en noviembre del 2004 con 1.00 °C para LCA, en ACA se presentan anomalías positivas muy débiles en los treinta años, inferiores a 1.00 °C, y por último en junio del 2006 con 1.53 °C en TEU. Asimismo, las anomalías negativas se tienen en verano (junio, julio) de 1988; con -1.17 °C en CHA, LCA con -1.13 °C, y ACA con -1.16 °C; finalmente TEU en 1981 con -1.62 °C. También se observa que el evento anómalo de 1988 sucede al mismo tiempo en CHA, LCA, y ACA.

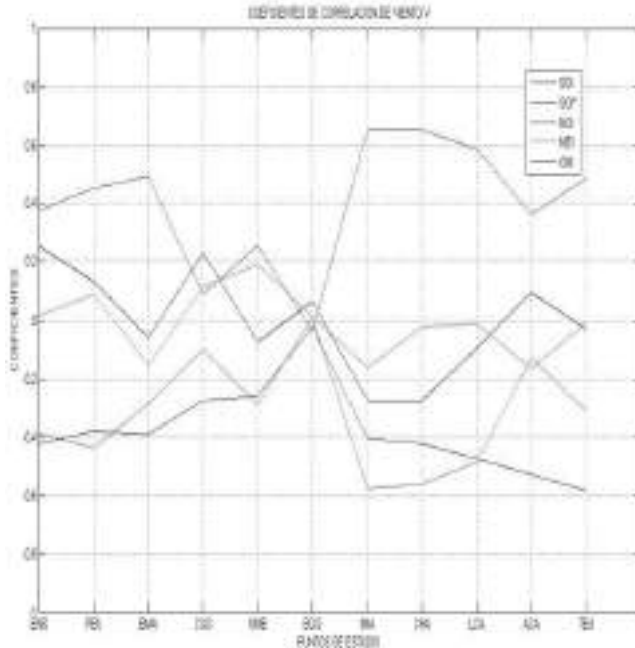


Figura 16. Coeficientes de correlación de viento V de: Ensenada (ENS), Punta Eugenia (PEU), Bahía de Magdalena (BMA), Alto Golfo de California (CGO), Umbral del Golfo de California (UMB), y Boca del Golfo de California (BGO), Islas Marías (IMA), Chamela (CHA), Lázaro Cárdenas (LCA), Acapulco (ACA) y por último, Golfo de Tehuantepec (TEU).

En la Costa del Océano Pacífico Mexicano el coeficiente de correlación con respecto a la temperatura y los fenómenos interanuales, es muy bajo, aunque hay evidencia de que los eventos ENSO afectan a la zona. Según (Hernández-Torre, 2004), la variabilidad de largo período de la Producción Primaria Total (PT) se presenta en una serie de tiempo de 1969 a 2002 para el Norte de Baja California, asociada con eventos ENSO, donde las anomalías negativas de PT coinciden con las anomalías negativas de este trabajo, en la región DGC, en IMA (1989), y en PEU (1988) y BMA (1984). Esta baja correlación puede deberse a que la presión como ya se había mencionado anteriormente, es una de las variables de tendencia estacional, debido al alto porcentaje de la varianza explicada obtenida en el análisis armónico.

Humedad

Las anomalías destacadas de la humedad (Figura 14), nos muestran que en el OBC se tienen anomalías positivas con respecto a la humedad relativa en ENS en enero de 1997 con 2.77%, en PEU en noviembre de 1999 con 2.86%, y en BMA en junio de 1984 con 5.67%. Asimismo, las anomalías negativas se muestran en ENS en febrero de 1998 con -5.09%, en PEU en noviembre de 1997 con -5.38%, y finalmente en junio del 2002 con -3.61% en BMA.

En DGC se muestran anomalías positivas en la CGO en enero de 1981 con 4.68%, en UMB en octubre del 2005 con 5.88%, en BGO en diciembre de 1989 con 4.87%, y en IMA en septiembre de 1981 con 4.90%. De igual manera, las anomalías negativas, se presentan en CGO en octubre de 1986 con -5.03%, en UMB en marzo de 1998 con -6.04%, en BGO en IMA en enero de 1998 con -5.92% y -5.88%.

En SPM se tienen las anomalías positivas en CHA en mayo del 2005 con 3.91%, en LCA en julio de 1988 con 3.91%, en ACA en junio de 1988 con 4.63%, y en TEU en junio de 1995 con 4.37%. Con respecto a las anomalías negativas se muestran en CHA en enero de 1998 con -4.28%, en LCA en julio de 1990 con -3.15%, en ACA en abril de 1990 con -3.80%, finalmente en TEU en mayo de 1990 con -4.19%.

El resultado de la correlación de la humedad relativa y el índice SOI, *Figura 14*, nos proporciona un coeficiente de correlación máximo de aproximadamente 0.4 en ENS, PEU y CGO, en CHA se tiene un máximo aproximado de < 0.3 y en UMB < 0.40. Por eso tenemos que hacer la relación cualitativa con la serie de tiempo de índice SOI, nos indica que las anomalías de la humedad relativa, están asociadas al fenómeno de El Niño (enero de 1997 en ENS, en PEU en noviembre de 1999 y en octubre del 2005 en UMB), y La Niña (en febrero de 1998 en ENS, en noviembre de 1997 en PEU y en enero de 1988 en CHA), así mismo, se puede observar que en ENS y PEU coinciden con las anomalías de la temperatura asociadas al fenómeno ENSO.

Componente U del viento

En la *Figura 15* se muestran únicamente anomalías positivas en PEU en febrero de 1998 con 0.95 m/s, en ENS y BMA se presentan muy débiles. En DGC se muestran anomalías positivas en CGO en noviembre del 2004 con 1.12 m/s, y se tienen las anomalías negativas en mayo de 1988 con -1.19 m/s. En los demás puntos, UMB, BGO, e IMA, no se presentan anomalías significativas.

En el SPM se presentan anomalías positivas en CHA en noviembre del 2006 con 0.97 m/s, en LCA en julio del 2005 con 1.26 m/s, en julio y agosto del 2005 con 1.33 m/s en ACA, y en TEU no se presentan anomalías positivas superiores a 0.97 m/s. Asimismo en las anomalías negativas se tienen en LCA en agosto del 2002 con -0.99 m/s, en ACA en junio del 2001 con -1.12 m/s, en CHA no se presentan anomalías negativas significativas, análogamente en y TEU donde no se muestran anomalías negativas y positivas sobresalientes.

Componente V de viento

En la *Figura 16* se puede observar que en el OBC se ilustran anomalías positivas en ENS en noviembre del 2004 con 1.24 m/s, en PEU en enero de 1992 con 1.16 m/s, en BMA en noviembre de 1991 con 1.23 m/s. Con respecto a las anomalías negativas en ENS y BMA son muy débiles. Finalmente en PEU en noviembre del 2006 con 1.06 m/s.

En la región DGC se muestran anomalías positivas en UMB en febrero de 1997 con 1.01 m/s, en BGO en febrero de 1996 con 1.27 m/s, en IMA en noviembre de 1996 con 1.44 m/s. Por último, se tienen las anomalías negativas en UMB en abril del 2008 con -0.90 m/s, en BGO en enero del 2006 con -1.83 m/s e IMA en abril del 2003 con -1.26 m/s. Con respecto CGO se observa que las anomalías negativas y positivas son mínimas.

En el SPM se presentan en anomalías positivas en CHA en febrero del 2006 con 1.01 m/s y TEU en noviembre de 1997 con 2.48 m/s. Asimismo en las anomalías negativas se tienen en TEU en noviembre de 1980 con -2.18 m/s, en CHA no se muestran anomalías negativas debido a que son muy débiles, análogamente en LCA y ACA donde las anomalías positivas tanto como las negativas son mínimas.

Según los coeficientes de correlación del componente V del viento con el índice SOI*, NOI y SOI *Figura 16*, se muestra que en Punta Eugenia, Bahía Magdalena, Islas Marías, Chamela, Lázaro Cárdenas y Golfo de Tehuantepec, son influenciados por el fenómeno de El Niño (PEU en enero de 1992, BMA en noviembre de 1991, TEU en noviembre de 1997) y la Niña (BGO en febrero de 1996). En CHA, IMA, y LCA son las regiones con mayor valor del coeficiente de correlación positiva de aproximadamente 0.60 en SOI*,

correlación negativa < -0.60 en NOI, y finalmente en SOI a < -0.60 en Islas Marías, Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec menor y con el valor de anomalías mínimas.

CONCLUSIONES

Referente a la temperatura y los fenómenos interanuales, en la costa Oriental del Océano Pacífico Mexicano, la correlación de anomalías y los índices globales es muy baja en esta zona, debido al alto porcentaje de la varianza explicada obtenida en el análisis armónico, al igual que la temperatura, donde se considera la relación de las anomalías de esta variable meteorológica, con los fenómenos La Niña en ENS en diciembre de 1999 y en diciembre de 1998; y El Niño en ENS y PEU en enero de 1983, BMA en octubre de 1997, CGO en junio de 1991, BGO en abril de 1988, IMA en diciembre de 1989, CGO y UMB en diciembre de 1983, BGO en noviembre de 1997, CHA en abril de 1988, TEU en noviembre de 1999, en CHA en abril de 1983, en ACA en enero de 1983, en TEU en abril de 1983.

Con respecto a la humedad relativa la cual, nos proporciona anomalías asociadas al fenómeno de El Niño en enero de 1997 en ENS, en PEU en noviembre de 1999 y en octubre del 2005 en UMB; y La Niña en febrero de 1998 en ENS, en noviembre de 1997 en PEU y en enero de 1988 en CHA.

El componente V del viento muestra anomalías en Punta Eugenia, Bahía Magdalena, Islas Marías, Chamela, Lázaro Cárdenas y Golfo de Tehuantepec, influenciadas por el fenómeno de El Niño en PEU en enero de 1992, BMA en noviembre de 1991, TEU en noviembre de 1997; y la Niña en BGO en febrero de 1996. En CHA, IMA, y LCA son las regiones con mayor valor del coeficiente de correlación positiva de aproximadamente 0.60 en SOI*, correlación negativa < -0.60 en NOI, y finalmente en SOI a < -0.60 en Islas Marías, Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec menor y con el valor de anomalías mínimas. Finalmente el componente U del viento presenta anomalías en Ensenada, Punta Eugenia, Bahía Magdalena, Islas Marías, Chamela, Lázaro Cárdenas, Acapulco y Golfo de Tehuantepec relacionadas con el fenómeno de El Niño en LCA en agosto del 2002; y La Niña en PEU en febrero de 1998, en CGO en noviembre del 2004, en LCA en agosto del 2005. En Islas Marías, Chamela y Golfo de Tehuantepec se tiene correlación positiva y en algunos también negativa, pero se tienen anomalías poco significativas.

Los resultados presentados en este trabajo nos permiten aumentar los conocimientos de la climatología a lo largo de la costa del Pacífico Mexicano.

LITERATURA CITADA

- Amador, José A; Alfaro, Erick J; Lizano, Omar G; Magaña, Víctor O, 2006. Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, pp. 101-142.
- Douglas, M.W., 1992. *The Mexican Monsoon*. CICESE. Ensenada, Baja California, México.
- García-Oliva, F., Camou, A., y Maass, J. M., 2002. El clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano. *Historia natural de Chamela*, 3(10).
- Hernández-Torre, B; Gaxiola-Castro, G; Nájera-Martínez S., 2004. Efectos del ENSO en la producción primaria frente a Baja California. *Ciencias Marinas*, Vol 30, No 3.
- Kim H. M.; Webster, P.J; Curry, J.A., 2009. Impact of Shifting Patterns of Pacific Ocean Warming on North Atlantic Tropical Cyclones, *Science*, July.
- Lavín, M. F; Durazo, R; Palacios, E; Argot M.L; and Cabrera C., 1997. Lagrangian Observations of the Circulation in the Northern Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, Volumen 27, N. 10.

- Lavín, M. F.; Palacios-Hernández, E; Cabrera C., 2003. Sea Surface Temperature Anomalies In The Gulf Of California, Departamento de Oceanografía Física, CICESE. Ensenada, Baja California, México.
- Palacios E. y E. Beier, 2015. Circulación estacional de la Región Norte del Golfo de California, PUBLICIA, OmniScriptum GmbH & Co. KG. Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbtücken, Deutschland-Alemaia, ISBN: 978-3-639-55306-2. 128 pp.
- Palacios-Hernández E., 2001. Tesis Doctoral, Circulación de la Región Norte del Golfo de California: estacional y anomalías; División de Oceanología, Dep. de Oceanografía Física, CICESE.
- Palacios-Hernández E., Brito-Castillo L., Carrillo L., and Tereshchenko I. 2012. Interannual deviations of long-term data from observations and contrasting with reanalysis data from the oceanic station at Islas Marías, Nayarit, México. *Atmósfera* 25(4). 355-370 pp.
- Reyes, S., 1993. El monzón del Suroeste de Norteamérica (TRAVASON\SWAMP), CICESE, Ensenada, México.
- Ripa, P., 2002 Least squares data fitting. *Science Mar*, 28:79-105.
- Sánchez-Román O., 2008. Análisis Armónico y Anomalías Interanuales De Datos Meteorológicos Históricos De Islas Marías, Nayarit. Tesis, Universidad de Guadalajara.
- Soto-Mardones, L, 1999. Variabilidad Espaciotemporal De La Temperatura Superficial Del Mar En El Golfo De California, Departamento de Oceanografía Física, CICESE.
- Trasviña, A., 2001. La circulación costera del Pacífico Tropical Oriental, con énfasis en la Alberca Cálida Mexicana (ACM), Departamento de Oceanografía Física, CICESE. Ensenada, Baja California, México.

AGRADECIMIENTOS

CONACyT proyectos ciencia básica: 3209-T9207; 00000000104884 y 44870F.

SÍNTESIS CURRICULAR

Emilio Palacios Hernández

Doctor en Ciencias en Oceanografía Física por el CICESE, Profesor e Investigador titular C, del Depto. de física de la Universidad de Guadalajara. Ha escrito: varios artículos científicos en revistas de prestigio internacional, capítulos de libro y un libro, también ha dirigido tesis de licenciatura y maestría, actualmente es perfil PRODEP y miembro del SNI 1, ha participado en más de 50 congresos nacionales e internacionales, así como proyectos de investigación oceanográfica. Correo electrónico: emilio6x111@yahoo.com

Laura Carrillo

Doctorado en Oceanografía Física en Universidad de Gales Bangor. Postdoctorado en el Instituto Oceanográfico de Scripps. En los últimos 10 años la investigación se ha enfocado en aspectos oceanográficos de diversas escalas espacio-temporales vinculados con la distribución de larvas de peces, así como variabilidad en sistemas tropicales, zonas arrecifales, circulación y fenómenos de mesoescala de las regiones Golfo de México y Caribe. Otros estudios realizados se enfocan en el análisis de anomalías de temperaturas superficiales del mar que contribuyan a entender las anomalías en estos tipos de sistemas. Muchos de estos trabajos son el resultado de la colaboración con NOAA y ECOSUR con la finalidad de entender procesos de conectividad biológica de larvas de peces entre el Golfo de México y el Caribe, estos representan los primeros trabajos de la zona del Caribe Occidental con aspectos oceanográficos. Correo electrónico: oceanografa@yahoo.com.mx

Iryna Tereshchenko

Doctor en Ciencias en Meteorología Física por el State Hydrometeorological Centre, (USSR, Moscow), Profesor e Investigador titular C, del Depto. de física de la Universidad de Guadalajara. Ha escrito: varios artículos científicos en revistas de prestigio internacional, capítulos de libro y un libro, también ha dirigido tesis de maestría y doctorado, actualmente es perfil PRODEP y miembro del SNI 1, ha participado en más de 50 congresos nacionales e internacionales, así como proyectos de investigación de la ciencia básica del CONACYT. Correo electrónico: itershch@ucei.udg.mx

Alma Delia Ortiz Bañuelos

Maestra en Ciencias por parte de la Universidad de Guadalajara, Actualmente en el Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: fisicalmaortiz@gmail.com

David Ávalos Cueva

Doctor en Ciencias del Mar y Limnología por la UNAM. Profesor-investigador titular en el Instituto Tecnológico Superior de Arandas (ITS de Arandas). Presidente del Comité de Investigación de ITS de Arandas, líder de la línea de investigación de modelación climática, registrada en Tecnológico Nacional de México. Ha sido autor de varios artículos en revistas indexadas sobre variabilidad climática y modelación hidrodinámica del Lago de Chapala; así como colaborador de un capítulo de libro en la misma área de investigación. También ha dirigido tesis de licenciatura e ingeniería. Correo electrónico: david.avalos@tecarandas.edu.mx



VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR, EN EL MAR CARIBE

TIME-SPACE SEA SURFACE TEMPERATURE VARIABILITY, IN THE CARIBBEAN SEA

Emilio Palacios-Hernández¹; Laura Carrillo²; Salvador Iván Meza-Romero³ y David Ávalos-Cueva^{4,5}

¹ Universidad de Guadalajara, Depto. de Física; ² El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal; ³ Escuela Ignacio L. Vallarta; ⁴ Universidad de Guadalajara, Depto. de Ingeniería Civil y Topografía. ⁵ Instituto Tecnológico Superior de Arandas.

RESUMEN

Se utilizaron 21 años de imágenes infrarrojas de satélite del Mar Caribe, desde enero de 1983 a diciembre de 2002, para describir la variabilidad de la temperatura superficial del mar. Las imágenes utilizadas fueron obtenidas de National Aeronautics and Space Administration Jet Propulsion Laboratory Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (<http://podaac.jpl.nasa.gov>) y cuentan con una resolución temporal de 8 días y una resolución espacial aproximada de 18 x 18 Km. Mediante un análisis armónico de señal anual, semianual, trianual y cuatrianual de las imágenes se obtuvieron series modeladas de temperatura superficial del mar para caracterizar la variabilidad climática por regiones en el Mar Caribe, las diferencias entre las series modeladas y la originales definen anomalías interanuales relacionadas principalmente con eventos como El Niño y La Niña entre otros. Estos eventos presentan tele-conexión con el Mar Caribe en un desfase de 4 a 5 meses. En este estudio se establece por primera vez el comportamiento climático de la temperatura superficial del Mar Caribe, así como su respuesta a eventos globales. Las series modeladas explican ~67% de las variabilidad de las series originales indicando que un 33% depende de fenómenos interanuales.

Palabras clave: Mar Caribe, El Niño, La Niña, Variabilidad Climática.

SUMMARY

Twenty-one years of infrared satellite images of the Caribbean Sea were used from January 1983 to December 2002 to describe the sea surface temperature variability. The images used were obtained from National Aeronautics and Space Administration Jet Propulsion Laboratory Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (<http://podaac.jpl.nasa.gov>). The images have a temporal resolution of 8 days and an approximate spatial resolution of 18 x 18 km. By means of a harmonic analysis of annual, semi-annual, tertiary and quarterly signal of the images, we obtained modeled series of sea surface temperature to characterize the climatic variability by region in the Caribbean Sea, the differences between the modeled and the original series define interannual anomalies related mainly to events such as El Niño and La Niña, among others. These events show teleconnection with the Caribbean Sea in a lag of 4 to 5 months. This study establishes for the first time the climatic behavior of the surface temperature of the Caribbean Sea, as well as its response to global events. The model series explain ~ 67% of the variability of the original series indicating that 33% depends on interannual phenomena.

Key words: Caribbean Sea, El Niño, La Niña, Climatic Variability.

INTRODUCCIÓN

La temperatura superficial del mar (TSM) es uno de los más importantes predictores en el comportamiento estacional del clima a nivel mundial (Tokioka, 1983). Diversos investigadores (Enfield, 1996; Enfield y Mayer, 1997; Hernández, 2002) la utilizan en modelos estocásticos para brindar pronósticos de: la interacción océano-atmósfera, trayectoria de huracanes (Gray *et al.*, 1993), temperatura del aire (Barnett y Preisendorfer, 1987), el cuál pronostica la temperatura del aire predictora de lluvias y sequías en distintas regiones del mundo, como los de Ropelewski y Halpert (1987), Hastenrath *et al.*, (1984) y finalmente con enfoques multivariados en la pesca de especies de interés comercial (Dow, 1980).

Uno de los eventos de la variabilidad climática a escala global donde se utiliza la TSM como uno de sus principales predictores es el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) que se refiere a cambios a gran escala en las temperaturas en la superficie marina a través del Pacífico Tropical Oriental. Usualmente, las lecturas de la superficie del mar en las costas occidentales de Sudamérica van desde los 15° a los 20°C, mientras que los que exceden los 25°C se encuentran en la llamada "alberca de agua cálida", localizada en el Pacífico Central y Occidental. Esta alberca de agua cálida se expande para cubrir el trópico durante El Niño (EN), pero durante La Niña (LN), los vientos alisios de occidente se fortalecen y las corrientes frías a lo largo del Ecuador y la costa occidental de Sur América se intensifican. La temperatura del mar a lo largo del Ecuador puede disminuir hasta 4°C por debajo de lo normal. Hoy en día los trabajos de predicción son cada vez más necesarios, ya que son conocidas las pérdidas millonarias que ocurren por los efectos de este fenómeno en Perú, Chile, Ecuador, Brasil y en otras regiones del mundo (Hernández, 2002).

Regiones aledañas al Océano Pacífico, como las cuencas del Índico y el Atlántico, han cobrado interés por su probada teleconexión con el Pacífico, y más específicamente el Mar Caribe (Roger, 1984; Enfield y Mayer, 1997). En el Mar Caribe (MC), recién comienzan los estudios para el cálculo de TSM en el Atlántico, lo que ocurrió a partir de los efectos del fenómeno ENOS en el Pacífico.

Por medio de la teledetección satelital es posible obtener medidas de parámetros físicos de gran escala, con la suficiente resolución y cobertura espacial, para obtener una visión sinóptica de los océanos en tiempo real gracias a la disponibilidad instantánea de los datos de satélite como los de las series del *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, Chuvieco-Saliner, 1996).

La interfase aire-mar es la frontera entre la capa límite atmosférica marina y la capa límite oceánica y representa la fuente principal de la información de percepción remota con aplicaciones oceanográficas. El acoplamiento entre las dos capas es realizado en diferentes escalas de espacio y tiempo a través de la transferencia de propiedades dinámicas y termodinámicas, entre ellas la TSM (Hernández, 2002).

En el MC el único antecedente que existe utilizando imágenes de satélite infrarrojas es de Hernández (2002), donde indica como EN y LN alteran la TSM alrededor de Cuba; se menciona que hubo dos épocas de anomalías negativas (es decir TSM menores a los valores climáticos < 24°C): la primera entre 1973 y 1976, y la segunda entre 1984 y 1986. Las etapas de las anomalías positivas de la TSM (mayores a los valores climáticos) abarcaron desde 1977 hasta 1983; desde 1989 hasta finales de 1992 y por último desde 1997 hasta mediados de 1998. En los últimos seis eventos ENOS a partir del de 1973-76, se comprobó que las altas temperaturas del mar fueron correlacionadas significativamente con 5-6 meses de desfase (Hernández, 2002).

Por lo anterior, no se ha asentado el comportamiento climático de la TSM del MC por completo, ni se ha realizado un análisis sobre la respuesta del mismo, bajo la influencia de los principales fenómenos globales interanuales y su tiempo de respuesta.

Con el fin de establecer la climatología de la TSM en el MC que es el objetivo de este artículo, se analizará una serie de 21 años de imágenes de satélite infrarrojas (una por semana). Esto constituye la climatología a gran escala para ser estudiada. Una vez instaurada la climatología, se procederá a encontrar las variaciones de la TSM debidas a EN y LN. En particular se busca establecer la posibilidad de pronosticar la TSM en el Pacífico y mostrar que existe una tele-conexión con el MC.

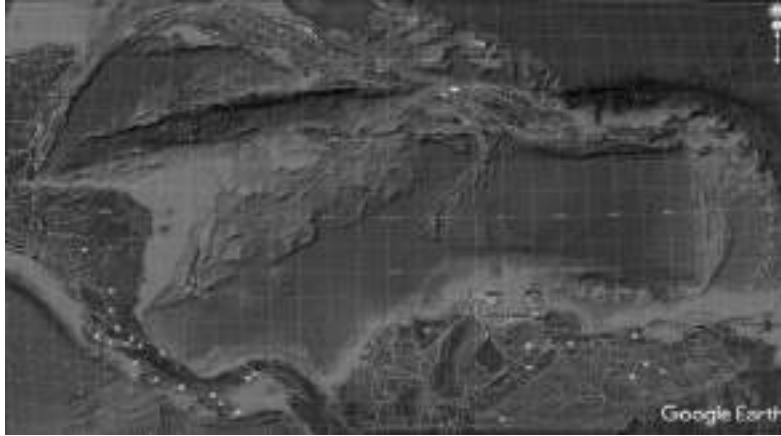


Figura 1. Mar Caribe (imagen base tomada de Google Earth 2016).

Descripción del área de estudio

El MC o Mar de las Antillas, (Gyory *et al.*, 2005) se encuentra rodeado, aproximadamente de un 90 por ciento, por masas terrestres insulares y continentales. Es un brazo del Océano Atlántico el cual se encuentra parcialmente cerrado en el Norte y en el Este por las islas denominadas Antillas Menores; en el sur está delimitado por Sudamérica y Panamá y en el oeste por América Central.

El MC se califica como un mar cerrado o semi cerrado según el Artículo 122 de la Ley Internacional del Mar. En general, la cuenca del Caribe cuenta con más de 1,830 metros de profundidad; muchas zonas superan los 3,660 metros alrededor de las Antillas Menores. También se le considera como “la alberca de agua cálida del hemisferio Oeste” (región definida donde la temperatura superficial del mar es >28.5 °C) y se extiende sobre el Golfo de México, el Mar Caribe y la parte noreste del Pacífico durante el verano y el otoño (Wang y Enfield 2001).

La principal corriente oceánica del MC es una extensión de las corrientes Ecuatoriales Norte y Sur, que entran en el mar por el extremo suroriental y fluye en dirección generalmente noroccidental. En el MC la corriente tiene una circulación de Este a Oeste, el agua entra a través de las Antillas Menores, donde se calienta y posteriormente sale por el Canal de Yucatán hacia el Golfo de México, donde posteriormente se forma la corriente del Golfo (Gyory *et al.*, 2005).

Los muestreos hidrográficos históricos de Wust (1964) y Gordon (1967) aunados a las observaciones y los modelos numéricos de Johns *et al.*, (2002), indican que el agua fluye dentro del MC a través de los pasajes en el Sureste de Grenada, San Vicente y Santa Lucía. El agua tiene una dirección hacia el Oeste como la Corriente del Caribe, siendo esta la mayor circulación en la superficie del MC (Wust 1964; Gordon 1967; Roemich 1981; Hernández-Guerra y Joyce 2000). El mayor flujo de agua en el Caribe se encuentra a través de un tercio del mar y pertenece a la Corriente del Caribe (Gordon 1967; Kinder 1983). En esta área, las velocidades más altas en la superficie pueden llegar a alcanzar hasta 70 cm s^{-1} a lo largo de las costas de Venezuela y de las Antillas (Fratantoni, 2001).

También existen corrientes muy fuertes ($\sim 60 \text{ cm s}^{-1}$) a lo largo de las costas de Panamá y Colombia, pero se presenta un pequeño flujo de $\sim 6 \text{ Sv}$ que va a lo largo de toda la elevación de América Central. Parte del flujo que viene desde el Noroeste llega a través del Canal de Jamaica. El flujo gira hacia el Este y

posteriormente cruza con la Cuenca Caimán y es así como entra al Golfo de México por medio de una corriente muy angosta que rodea a la Península de Yucatán (Fratantoni, 2001). El flujo de la corriente de Yucatán entra hacia el Golfo de México a través del Canal de Yucatán, y eventualmente se separa del Banco de Campeche y se convierte en la Corriente de Lazo.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Características del sensor utilizado

Las imágenes de satélite fueron obtenidas del sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR). Este sensor se encuentra en la familia de satélites Tiros-NOAA, la cual constituye uno de los múltiples programas diseñados para enviar información meteorológica a la superficie terrestre. Los satélites NOAA se diseñaron para ofrecer un ciclo de cobertura muy corto (una imagen cada doce horas). Este ciclo se mejora a seis horas gracias a la sincronización entre los dos satélites que operan simultáneamente. Su altura orbital es de 833 a 870 km, cubriendo en una imagen un área aproximada de 3000 km de lado (Chuvieco-Salineró, 1996).

El sensor AVHRR está diseñado para proporcionar imágenes con una resolución de 18 x 18 km (en el nadir), en 5 bandas del espectro (rojo, infrarrojo cercano, medio y térmico; véase el Cuadro 1). Los satélites NOAA con numeración par (hasta el momento NOAA-14) obtienen imágenes aproximadamente a las 7:30 y 19:30 horas, mientras los impares (actualmente el NOAA -13) lo hacen a las 14:30 y 2:30 horas, denominadas ambas frecuencias de adquisición.

Para asegurar esta frecuencia de adquisición, el sensor AVHRR cuenta con un ángulo de barrido muy amplio (55.4º a ambos lados de la traza). Sin embargo, esto ocasiona notables problemas geométricos como pérdida de información en la imagen, por lo que hay que esperar al siguiente barrido del satélite para completar la imagen. De esta forma, la resolución espacial del nadir (18 x 18 km) puede degradarse hasta 2.4 x 6 km en los extremos de la imagen. Esto, añadido a los problemas de contaminación atmosférica como nubes, humo e incendios, seleccionando así la imagen que contenga las mejores características visuales para su análisis (Chuvieco-Salineró, 1996).

Las imágenes AVHRR se presentan en tres diferentes formatos: la máxima resolución es denominada *Local Area Coverage* (LAC), esto es cuando se graban a bordo del satélite, o *High Resolution Picture Transmisión* (HRPT), cuando se envía en tiempo real a las estaciones receptoras. El sistema de grabación de los satélites NOAA sólo almacena un producto de menor resolución llamado *Global Area Coverage* (GAC), con un tamaño de píxel de 4 x 4 km, que se genera a partir de un muestreo de los datos LAC. Gracias a su buena cobertura espacial, el sensor AVHRR ha sido utilizado ampliamente en los últimos años no solo para aplicaciones climáticas y oceanográficas, sino también para aplicaciones terrestres (Chuvieco-Salineró, 1996).

Cuadro 1. Características espectrales del sensor AVHRR – NOAA

Banda	Amplitud (μm)	Región Espectral
1	0.58 – 0.68	Rojo
2	0.72 – 1.10	Infrarrojo cercano
3	3.55 – 3.93	Infrarrojo medio
4	10.30 – 11.30	Infrarrojo térmico
5	11.50 – 12.50	Infrarrojo térmico

Datos

El conjunto de imágenes utilizadas en este estudio forma parte de los análisis globales de la TSM obtenidos por la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* y *Jet Propulsion Laboratory Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (JPLPODAAC)*, (<http://podaac.jpl.nasa.gov>). Las imágenes son tomadas cada 8 días con una resolución espacial aproximada de 18 x 18 km por píxel, cubriendo desde enero de 1983 hasta diciembre de 2000. Áreas dentro de la imagen donde por la presencia de nubes, falta de datos o la existencia de información errónea no permitan obtener información fueron eliminadas. Posteriormente se realizó un promedio mensual con las imágenes disponibles. Una vez obtenidos estos promedios, se procedió a verificar que no hubiera falta de datos, siendo así se continuó con el cálculo de interpolación lineal, esto debido a que los huecos eran de un mes. La temperatura superficial del mar promediada por mes se define como: $T(x,y,t)$, donde x es la longitud, y la latitud y t es el tiempo en meses iniciando en enero de 1983. Cada mapa mensual se construyó de un promedio de cuatro a cinco archivos semanales. Cabe señalar que los datos obtenidos para el Mar Caribe estaban casi libres de nubes en un 95%.

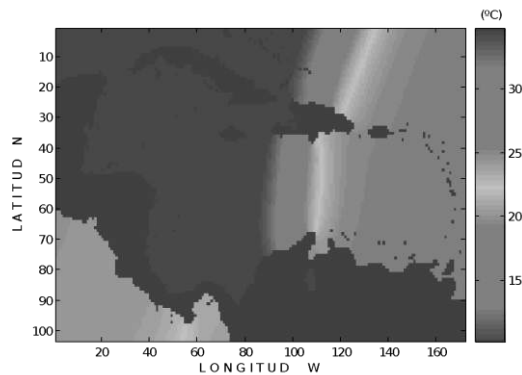


Figura 2. Imagen del día 29 de junio de 1982, que presenta información poco confiable. Se observa que los valores de temperatura para el MC son muy inferiores al promedio (24°C), con un mínimo de hasta 10°C.

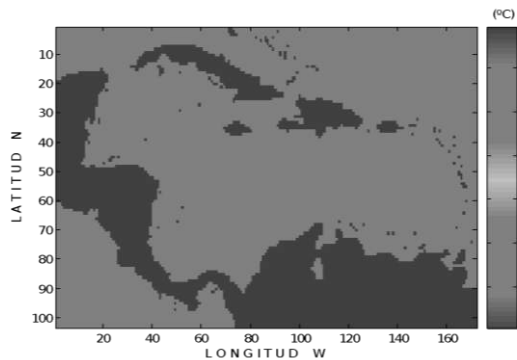


Figura 3. Imagen del día 4 de enero de 1984, que presenta información confiable. La temperatura se muestra por arriba de la media (~24 °C) con valores desde los 25°C hasta los 30°C. Los índices externos al MC fueron utilizados en la búsqueda de explicaciones de las anomalías de la TSM observadas. Estos índices son el *Southern Oscillation Index (SOI)*, *Southern Oscillation Index extratropical (SOI*)*, *Northern Oscillation Index extratropical (NOI)*, *North Atlantic Oscillation Index (NAO)*, *Multivariate ENSO Index (MEI)*; y el *North Pacific Oscillation (NPO)*, oscilación descrita por el NOI. Los índices anteriormente mencionados fueron obtenidos del NOAA's *Pacific Fisheries Environmental (PFE)* y del *Climate Prediction Center (CPC)*.

Procesamiento de imágenes

Se obtuvieron un total de 3700 imágenes AVHRR en dos formatos denominados “Day” y “Night”. El primer procedimiento fue el de Georeferenciar cada imagen en el área de estudio, esto es, dar las coordenadas precisas del MC.

Se analizó cada imagen por separado para eliminar las que contenían información errónea, como datos poco confiables o con presencia de nubes que impidieran su análisis. Por ejemplo, imágenes no homogéneas y temperaturas muy por debajo del valor climático $\sim 24^{\circ}\text{C}$ (Figura 2); estas imágenes son eliminadas del promedio mensual. Las imágenes que contenían información confiable, como valores de temperatura dentro de la media del MC ($\sim 24^{\circ}\text{C}$) y con alguna estructura de calentamiento homogéneo (Figura 3), fueron aceptadas para continuar con el análisis.

Análisis Armónico

Una vez obtenidos los promedios mensuales se realizó el análisis armónico que consiste en la representación de funciones o señales como superposición de ondas “base”, de las que se dice que la función o señal “se compone” de ondas “base” denominadas “armónicos”.

Con el fin de establecer el comportamiento climatológico de la TSM, en este trabajo se consideran los armónicos con frecuencia del inverso de doce meses (1/anual, ω_1), seis meses (1/semianual, ω_2), cuatro meses (1/trianual, ω_3) y tres meses (1/cuatrianual, ω_4), ya que son las señales que más variabilidad presentan para cualquier parámetro meteorológico y oceanográfico (donde ω_i es la frecuencia), es decir, las 17716 (216 X 103) series originales fueron modeladas con base a los armónicos de acuerdo a la siguiente ecuación (el resultado de este análisis nos da una mejor visión del comportamiento anómalo del MC)

$$T(x, y, t) = A_0(x, y) + A_1(x, y)\cos(\omega_1 t + \phi_1) + A_2(x, y)\cos(\omega_2 t + \phi_2) + A_3(x, y)\cos(\omega_3 t + \phi_3) + A_4(x, y)\cos(\omega_4 t + \phi_4) + R(x, y, t)$$

donde $A_0(x, y)$ es el promedio de temperatura de las 216 matrices, $A_1(x, y)$ es la amplitud del periodo anual, $A_2(x, y)$ la amplitud del periodo semianual, $A_3(x, y)$ la amplitud del periodo trianual y finalmente $A_4(x, y)$ la amplitud del periodo cuatrianual; ϕ_i indica sus respectivas fases (donde $i = 1, 2, 3, 4$), que es cuando cada uno de los armónicos alcanzan su máximo, y R es el residuo que representa a las anomalías. La información anterior es obtenida a partir de los datos de las imágenes por medio de un ajuste de mínimos cuadrados (Ripa, 2002).

Cuadro 2. Puntos donde fueron calculadas las anomalías

Latitud N	Longitud W	Punto
21	-85	A1
18	-85	A2
21	-80	A3
18	-80	A4

15	-80	A5
12	-80	A6
18	-75	A7
16	-75	A8
12	-75	A9
15	-70	A10
15	-65	A11
12	-65	A12

Serie de Anomalías

Para el cálculo de anomalías se seleccionaron subjetivamente 12 puntos en el MC equiespacialmente distribuidos, tratando de que dichos puntos fueran los más representativos de la zona (Figura 4, señaladas con un número y el símbolo +), ya que es complicado presentar las 17716 series de anomalías por separado. Una anomalía positiva/(negativa) indica una TSM mayor/(menor) al valor climático respectivamente. Las coordenadas de los puntos pueden observarse en el Cuadro 2.

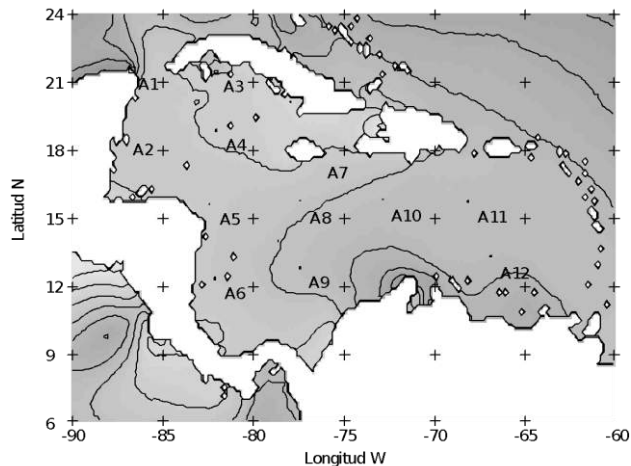


Figura 4. 12 Puntos dentro del MC seleccionados como representativos de la zona.

A partir de estos 12 puntos, las anomalías (A) se obtienen de sus armónicos originales (O) y los modelados (M) de acuerdo a: $A = O - M$.

Una vez obtenidas las anomalías se dispuso a suavizarlas con un filtro paso bajo (Godin, 1988), con el fin de eliminar señales menores a 6 meses que pudieran surgir de estas series, ya que anomalías con duración menor a 3 meses pueden considerarse debidas a eventos locales y el interés de este estudio son anomalías debidas a eventos globales.

Análisis de correlación

Se observó que las series de anomalías eran similares entre sí, por lo que se calculó el índice de correlación entre ellas de acuerdo a:

$$\rho = \frac{Cov(Y_1, Y_2)}{\sigma_1 \sigma_2}$$

donde ρ es el índice de correlación, Cov es la covarianza entre las series Y_1, Y_2 y finalmente σ_1 y σ_2 que representan la desviación estándar de cada serie.

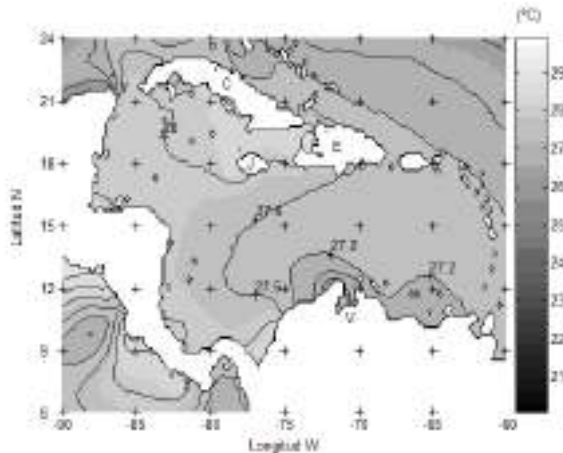


Figura 5. $A_0(x,y)$ Promedio de temperatura de la serie, la escala es la temperatura en °C.

El índice de correlación fue calculado en base a la ecuación anterior, esto nos da una idea de que tan amplia es la relación que tienen los puntos elegidos en la Figura 4, con los principales índices globales que se cree, afectan el comportamiento del MC. El desfase calculado fue de 5 meses esto sugerido por Hernández (2002), que menciona que es después de cinco meses cuanto las señales globales afectan de manera más intensa el comportamiento del MC, esto fue comprobado en este trabajo al llegar a la correlación de cinco meses en donde las señales globales tenían una mayor correlación en particular con el punto A1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Armónico

El promedio de temperatura A_0 (Figura 5) muestra las diferentes variaciones a lo largo del MC, donde los valores más altos de temperatura son 28°C desde el sur cerca a las costas de Cuba (C) y disminuyendo de forma radial hacia el Canal de Yucatán (Y), Jamaica (J) y la Isla La Española (E), en la cual se encuentran Haití y la República Dominicana. La temperatura sigue disminuyendo desde la parte central del MC (27.6°C) hacia el norte de Venezuela (V), hasta alcanzar una temperatura de 26.6°C en el Lago Maracaibo. Finalmente, cerca de las Antillas Menores la temperatura promedio es de 27.2°C. Esta distribución de temperatura corresponde al paso de la Corriente del Caribe que va desde el norte de Brasil (B), a través de las Antillas Menores (AM), hasta el Canal de Yucatán; dicha corriente transporta agua desde la zona ecuatorial del Atlántico hacia el interior del Golfo de México por medio de la Corriente de Lazo. Las zonas de alta temperatura correspondientes a la del sur de Cuba y del Golfo Colombia-Panamá, son probablemente debidas a que el agua circula en forma de giro (Gyory *et al.*, 2005) en vez de unirse a la Corriente del Caribe, de tal forma que en el promedio anual es donde se alcanzan las mayores temperaturas.

El armónico semianual (*Figura 8*) tiene una variación de 0.2°C cerca del canal de Yucatán y hacia el resto del Caribe se mantiene con valores uniformes de ~0.4°C. La fase del armónico semianual (*Figura 9*) varía desde 8.5 meses en la mayor parte del Caribe hasta 10.2 meses cerca de las costas de Venezuela y Brasil.

Por otro lado el armónico trianual (*Figura 10*) no mostró variación alguna a lo largo de todo el Caribe, manteniendo una temperatura uniforme de ~0.2°C. Esto significa que el MC no fue afectado por ningún tipo de fenómeno físico como corrientes, giros o transporte. Los meses en que estas anomalías alcanzan su máximo se muestran en la (*Figura 11*), la cual representa la fase del armónico trianual de 1.5 meses en el este y el oeste del Caribe mientras que cerca de Centroamérica se mantuvo en 2 meses y en el centro del Mar Caribe hacia el sur de Haití en 2.5 meses.

En los armónicos cuatrianuales (*Figura 12*) no existe variación alguna en la temperatura, manteniéndose en 0.1°C a lo largo de todo el Caribe. La fase cuatrianual (*Figura 13*) es de 10 meses a lo largo del canal de Yucatán pasando por las costas de Cuba y las Antillas Menores y de 8.8 meses cerca de las costas de Venezuela.

Los armónicos tienen un comportamiento estrechamente ligado con la corriente del Caribe y los giros que se producen de ésta: al norte de la frontera de Panamá y Colombia y al sur de Cuba, siendo estos últimos las causas de mayor variación en el MC (Gyory *et al.*, 2005).

La varianza explicada (VE) se obtiene a partir de la variabilidad interanual en cada mes, tomando como base el año climático establecido por el análisis armónico y siguiendo el método descrito por Ripa (2002). La VE nos indica el porcentaje de la variabilidad anual explicada por este armónico, la cual está relacionada con la variación interanual. Los porcentajes de varianza explicada pueden observarse en las *Figuras 14-17*. Se observó que, para el periodo anual, el porcentaje es de 60% cerca del canal de Yucatán y en el sur de las costas de Cuba, y hacia al centro del Caribe disminuye a 40%, teniendo su mínima en las costas de Centroamérica con un 20%.

Para el armónico semianual (*Figura 15*), la VE es uniforme a través de todo el MC con un porcentaje de 5%. Continuando con la varianza explicada para el armónico trianual (*Figura 16*), en la imagen se puede observar un porcentaje homogéneo a lo largo del mar Caribe de ~1.6%. Por último, en el armónico cuatrianual (*Figura 17*) se muestra una varianza explicada de tan solo 0.4%, este porcentaje cubre todo el MC.

Los porcentajes de la varianza explicada se establecen de la siguiente manera: armónico anual 60%, armónico semianual 5%, armónico trianual 1.6% y finalmente el armónico cuatrianual con un 0.4%. En total (67%) es la máxima cantidad de información que se pudo obtener de la serie modelada. Por lo anterior se puede establecer que un 67% de la variabilidad de la serie original, puede ser explicada por las señales anual, semianual, trianual y cuatrianual.

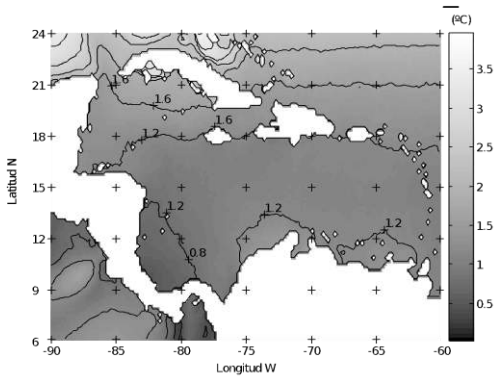


Figura 6. Amplitud anual en °C.

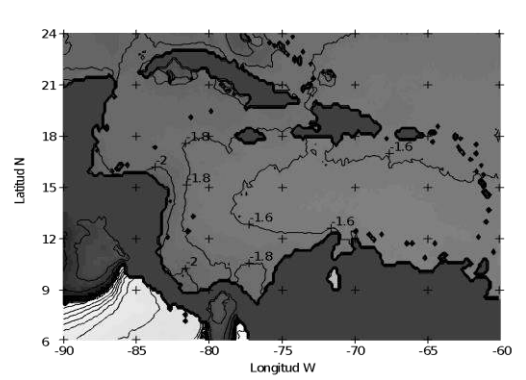


Figura 7. Fase anual en meses.

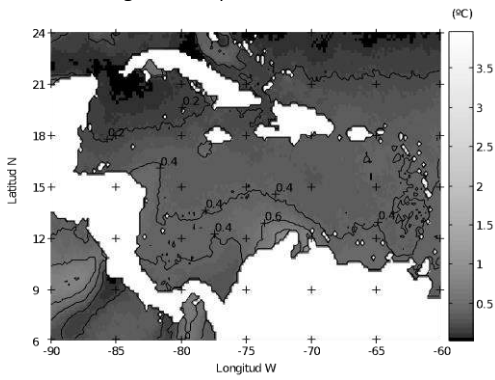


Figura 8. Amplitud semianual en °C.

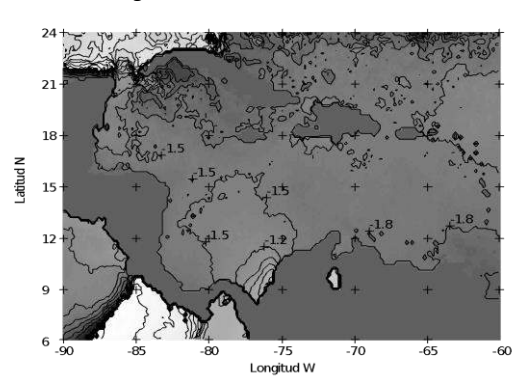


Figura 9. Fase semianual en meses.

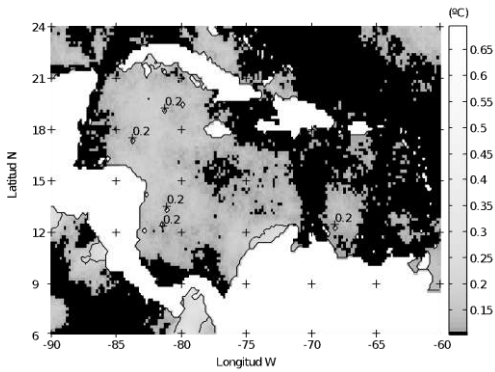


Figura 10. Amplitud trianual en °C.

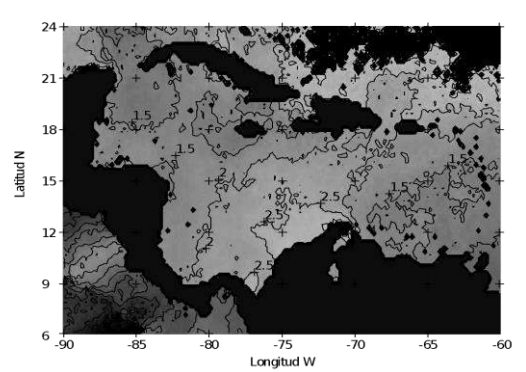


Figura 11. Fase trianual en meses.

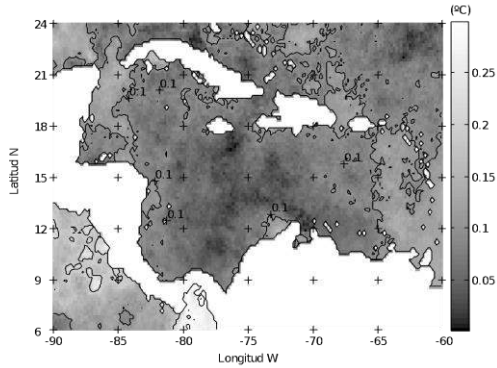


Figura 12. Amplitud cuatrianual en °C.

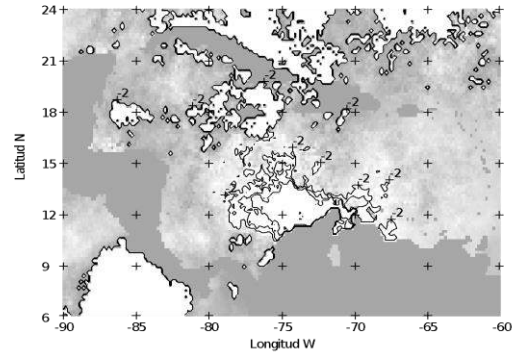


Figura 13. Fase cuatrianual en meses.

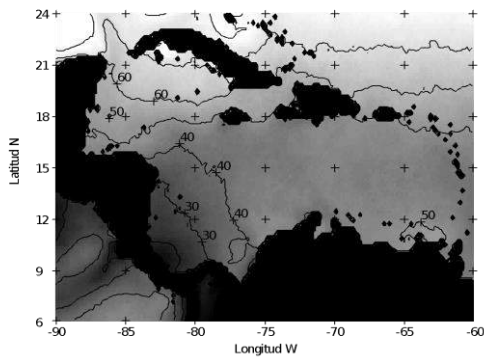


Figura 14. Varianza explicada anual [%].

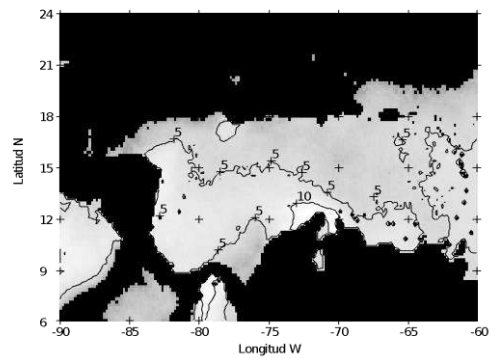


Figura 15. Varianza explicada semianual [%].

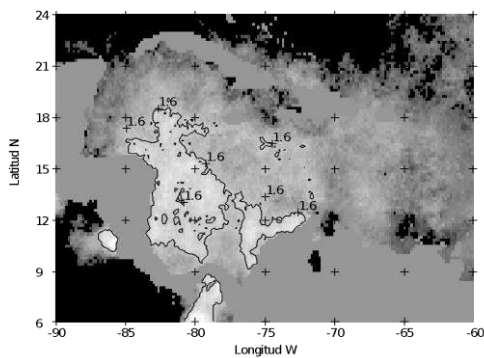


Figura 16. Varianza explicada trianual [%]

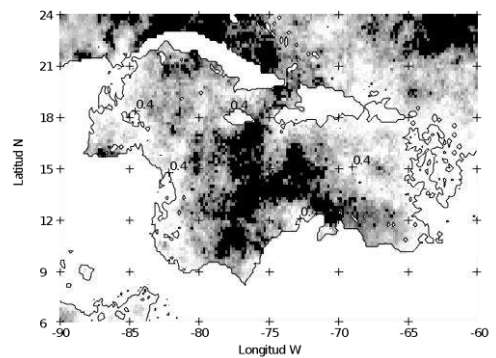


Figura 17. Varianza explicada cuatrianual. [%]

Anomalías

Al ser filtradas las series de anomalías con un filtro paso bajo de 6 meses (Godin, 1988) se notó que entre las series colindantes existían semejanzas, por lo que se procedió a calcular el índice de correlación de las 12 series (Cuadro 3). Con base a los índices de correlación se decidió regionalizar el Mar Caribe de la siguiente forma: La región I abarca los puntos A1, A2, A3 y A4; la región II incluye los puntos A5, A6, A9 y A12 y la región III son los puntos A7, A8, A10 y A11 (Figura 18). Se eligió: A1 como representativo de la

región I ya que describe geográficamente la salida del Mar Caribe hacia el Golfo de México por el estrecho de Yucatán; A6 como representativo de la región II, debido a que la zona costera caribeña de Centro América presenta en especial en el punto A6 una correlación menor con respecto al punto A1 y al A11, además de estar situado al centro sur del área de estudio; y finalmente se eligió el punto A11 como representativo de la región III, ya que está situado en el extremo este y al centro del MC. Las series de los otros 11 puntos no se muestran ya que la similitud es notable entre las series modeladas y originales.

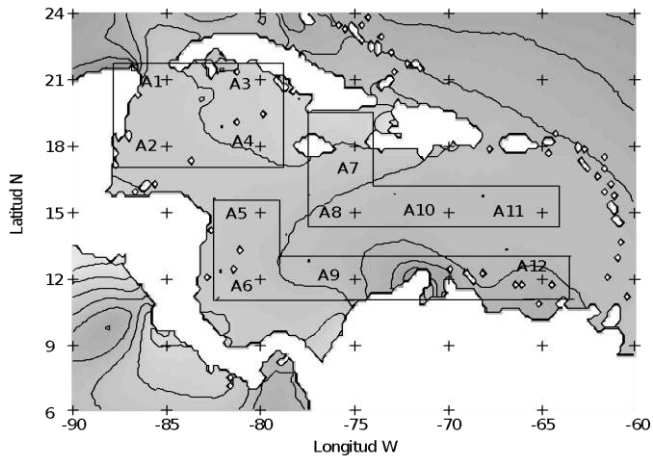


Figura 18. Regionalización del MC. Las regiones elegidas son los puntos A1, A2, A3 y A4, forman la región I; los puntos A5, A6, A9; y A12 la región II, y finalmente los puntos A7, A8, A10 y A11 la región III.

A continuación, se muestran las series de temperatura superficial del punto A1 (21° N, 85° W) modelada y original (Figura 19a) y las anomalías sin filtrar (Figura 19b). En la Figura 19a se puede observar que la serie modelada presenta una buena aproximación con respecto a la serie original, las ligeras diferencias entre ambas series son las anomalías (serie original menos serie modelada). Estas anomalías (Figura 19b) muestran diferencias hasta por -2.4°C en 1983 siendo esta anomalía la mayor de la serie; por otro lado, existen anomalías del orden de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ en 1989, 1990, 1992, 1993. Las descripciones de estas anomalías de período corto no son de importancia para el objetivo de este trabajo, por ello sólo se analizarán las anomalías mayores a 6 meses.

En la Figura 20a se observan las series modelada y original en el punto A6 (12° N, 80° W), mientras que en la parte inferior se muestran las anomalías todavía sin filtrar (Figura 20b); en este caso, la serie original muestra un mayor comportamiento anómalo con respecto a la señal estacional (serie modelada), lo que indica que en esta región la variabilidad interanual es mayor que en otra zona del MC (Figura 20a). En las anomalías existen tres estaciones en las cuales la temperatura es menor a -1°C , (invierno de 1983, primavera de 1985 y otoño de 1991), por otro lado, también se registraron cinco periodos en los cuales la temperatura ascendió hasta en más de 1°C con respecto a otros años, los cuales fueron 1987, 1990, 1993 y 1995 (dos veces).

En la Figura 20a se observan las series modeladas y original en el punto A6 (12° N, 80° W), mientras que en la parte inferior se muestran las anomalías todavía sin filtrar (Figura 20b); en este caso, la serie original muestra un mayor comportamiento anómalo con respecto a la señal estacional (serie modelada), lo que indica que en esta región la variabilidad interanual es mayor que en otras zonas del MC (Figura 20a). En

las anomalías existen tres estaciones en las cuales la temperatura es menor a -1°C , (invierno de 1983, primavera de 1985 y otoño de 1991), por otro lado, también se registraron cinco periodos en los cuales la temperatura ascendió hasta en más de 1°C con respecto a otros años, los cuales fueron 1987, 1990, 1993 y 1995 (dos veces).

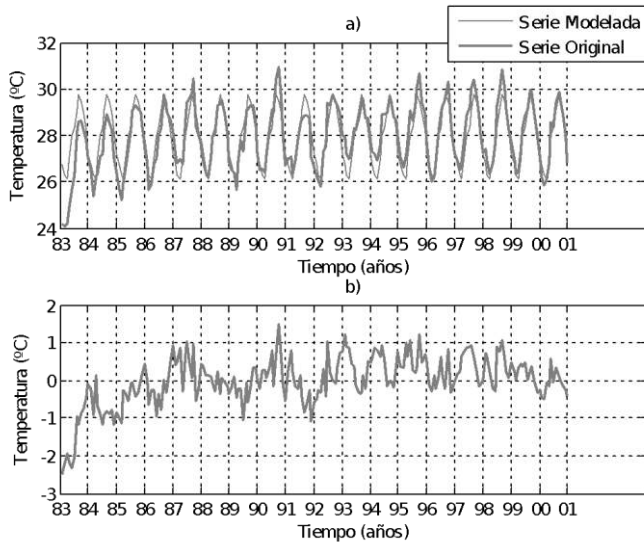


Figura 19. a) Serie modelada y serie original y b) anomalías en el punto A1, (21°N , 85°W).

En el punto A11 con coordenadas 15°N , 65°W (Figura 21a), la serie modelada y la serie original tienen un gran parecido, excepto por cuatro picos predominantes (serie original) en los años 1990, 1993 (calentamiento) y 1991, 1992 (enfriamiento). Durante el resto del tiempo las series se mantienen casi iguales. Las anomalías (Figura 21b) muestran cambios importantes de más de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ en al menos doce años, comenzando por las anomalías positivas que se dan en 1987, 1990, 1993, 1998 y para las negativas en los años 1983, 1984, 1989, 1991, 1992.

Cuadro 3. Correlación existente entre las series de anomalías de los 12 puntos estudiados del Mar Caribe

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
A1	1	0.97	0.93	0.92	0.85	0.82	0.89	0.89	0.72	0.84	0.86	0.77
A2	0.97	1	0.92	0.95	0.92	0.89	0.94	0.89	0.81	0.9	0.91	0.84
A3	0.93	0.92	1	0.93	0.84	0.8	0.89	0.82	0.69	0.83	0.84	0.69
A4	0.92	0.95	0.93	1	0.94	0.91	0.97	0.93	0.84	0.94	0.94	0.83
A5	0.85	0.92	0.84	0.94	1	0.96	0.95	0.98	0.93	0.97	0.96	0.92
A6	0.82	0.89	0.8	0.91	0.96	1	0.91	0.95	0.94	0.95	0.95	0.91

A7	0.89	0.94	0.89	0.97	0.95	0.91	1	0.94	0.86	0.94	0.93	0.85
A8	0.89	0.89	0.82	0.93	0.98	0.95	0.94	1	0.95	0.97	0.96	0.91
A9	0.72	0.81	0.69	0.84	0.93	0.94	0.86	0.95	1	0.93	0.94	0.95
A10	0.84	0.9	0.83	0.94	0.97	0.95	0.94	0.97	0.93	1	0.98	0.89
A11	0.86	0.91	0.84	0.94	0.96	0.95	0.93	0.96	0.94	0.98	1	0.92
A12	0.77	0.84	0.69	0.83	0.92	0.91	0.85	0.91	0.95	0.89	0.92	1

A continuación se presentan las series filtradas de anomalías de los puntos A1, A6 y A11 (Figuras 22-24). La serie de anomalías correspondiente al punto A1 (Figura 22), muestra que a principios de la serie (invierno de 1983-1984) existe una anomalía negativa de menos de -1.3°C ; dicha anomalía aumenta a -0.5°C durante la primavera de 1984 y en verano del mismo año vuelve a disminuir hasta alcanzar -0.9°C . A partir de enero de 1985, la anomalía casi desaparece durante 1986 y primavera de 1987 (valores cercanos a $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$). En verano de 1987 existe una anomalía positiva de 0.5°C . A partir de este evento, las anomalías oscilan entre $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ hasta verano de 1991. A partir de esta fecha se presenta una anomalía negativa de -0.6°C que alcanza su mínimo en diciembre de 1991, y en enero de 1993 se presenta un máximo de $+0.6^{\circ}\text{C}$, es decir, en aproximadamente un año, la temperatura varió en $+1.2^{\circ}\text{C}$. A partir de enero de 1993, en el punto A1, la anomalía de temperatura superficial oscila entre $+0.1$ (3 veces) y $+0.6^{\circ}\text{C}$ (4 veces), es decir por ~ 7 años la temperatura del punto A1 permaneció por arriba de lo esperado siendo esto más evidente en los veranos de 1993 a 2000. Es hasta diciembre de 1999 cuando vuelve a aparecer una anomalía negativa en el punto A1, y finalmente alcanzando un valor de -0.2°C en febrero de 2000.

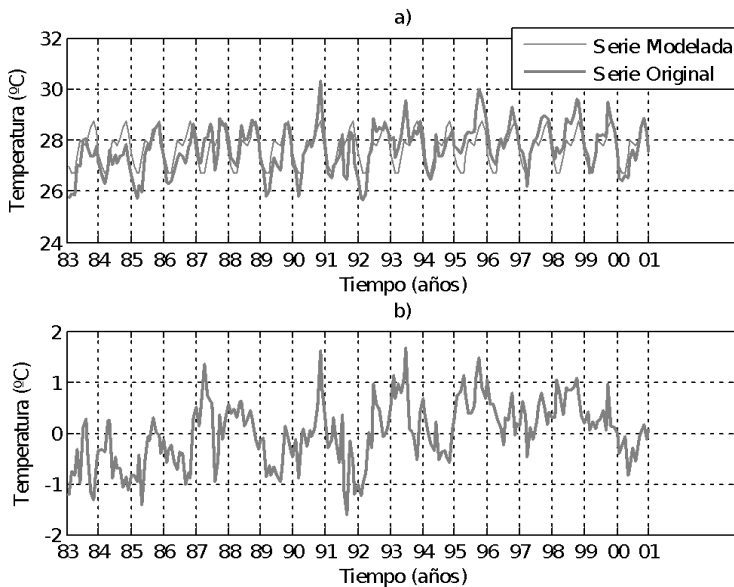


Figura 20. a) Serie modelada y serie original, b) anomalías en el punto A6, (12°N , 80°W).

En la *Figura 23* se puede observar la serie filtrada que corresponde a las anomalías en el punto A6. A finales de 1983 existe una anomalía negativa de -0.6°C ; dicha anomalía aumenta a -0.4°C durante la primavera de 1984; a finales del invierno de 1984 disminuye hasta alcanzar -0.9°C . A partir de enero de 1985, la anomalía comienza a aumentar hasta alcanzar un valor de -0.2°C . Durante el verano de 1986 se da una disminución de -0.6°C , mientras que en la primavera de 1987 la anomalía de temperatura asciende hasta un valor de $+0.4^{\circ}\text{C}$. Para el otoño, la temperatura muestra una anomalía positiva de $+0.1^{\circ}\text{C}$, y en verano de 1988 un aumento a $+0.4^{\circ}\text{C}$. A partir de este evento, las anomalías se disparan hasta un valor negativo de -0.7°C en verano de 1989. Después se puede observar un incremento dramático en las anomalías de temperatura de casi 1°C , ya que en el invierno de 1990 se presenta una anomalía de $+0.4^{\circ}\text{C}$. A partir de esta fecha se presenta una anomalía negativa de -0.8°C que alcanza su mínimo en enero de 1992, y luego un máximo de $+0.8^{\circ}\text{C}$, es decir, en un año hubo una variación de 1.6°C . En la primavera de 1993 la anomalía de temperatura aumenta a $+0.7^{\circ}\text{C}$, alcanzando un mínimo relativo en verano de 1994 (-0.3°C); para diciembre de 1995 se presenta un máximo de $+0.8^{\circ}\text{C}$, es decir, en aproximadamente un año. A partir del invierno de 1996 la anomalía de temperatura superficial oscila entre $+0.2^{\circ}\text{C}$ (3 veces) y $+0.8^{\circ}\text{C}$ (2 veces), es decir, por ~ 5 años la temperatura del punto A6 aumentó más de lo esperado, siendo esto más marcado casi al finalizar el verano en los años 1995 y 1998. En enero de 2000 la anomalía de temperatura superficial vuelve a disminuir hasta -0.4°C (en abril de 2000).

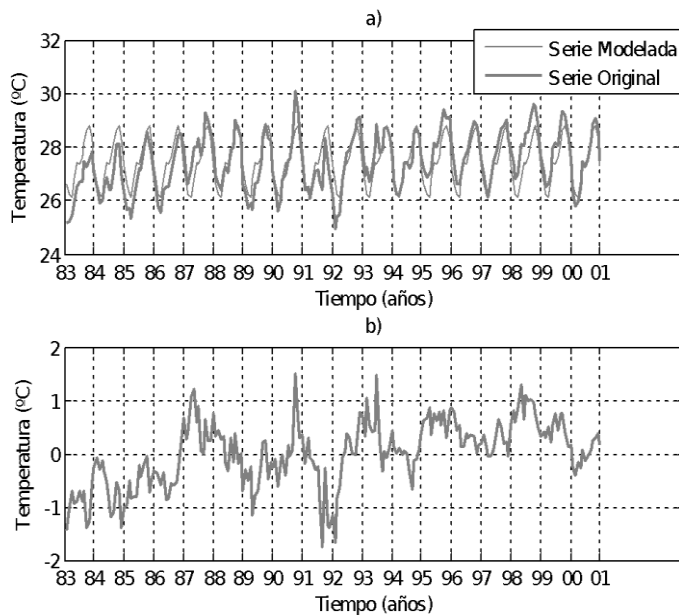


Figura 21. a) Serie modelada y serie original, b) anomalías en el punto A11, (15°N , 65°W).

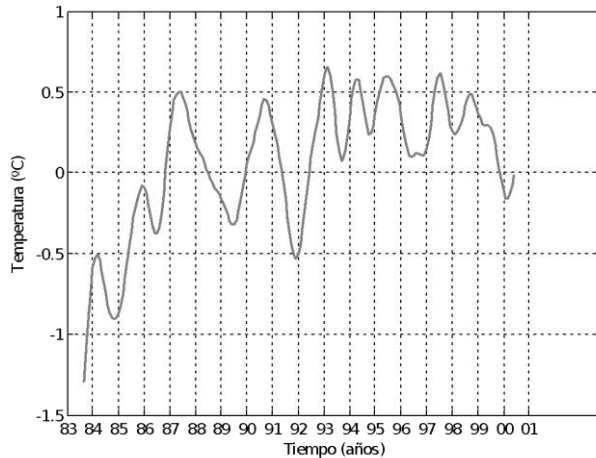


Figura 22. Serie filtrada a 6 meses en el punto A1.

Por último se presenta la serie filtrada de anomalías del punto A11 (Figura 24), al comenzar la serie en el otoño de 1983-1984 existe una anomalía negativa de -0.9°C ; dicha anomalía aumenta a -0.5°C durante la primavera de 1984 y en verano del mismo año tiene un descenso de hasta -0.9°C . A partir de enero de 1985, la anomalía presenta un ascenso a -0.4°C y, durante el verano de 1986 y primavera de 1987, la anomalía se incrementa a $+0.6^{\circ}\text{C}$. A partir de este año la temperatura disminuye en la primavera de 1989, llegando a un valor de -0.5°C ; después de este evento, las anomalías aumentan hasta $+0.3^{\circ}\text{C}$ en diciembre de 1990, y desde esta fecha la temperatura comienza a disminuir hasta llegar a su máximo valor negativo (-1.1°C) a principios del invierno de 1991. Posteriormente se presenta un brusco ascenso de 1.1°C en el verano de 1993 para llegar a una temperatura de $+0.6^{\circ}\text{C}$; es decir, en un poco más de 1 año hubo un aumento de 1.7°C , disminuyendo en el otoño de 1994 a -0.1°C . A partir de septiembre de 1994 se observó un aumento en la temperatura que duraría hasta el final de los años aquí analizados. En verano de 1998 se obtiene el máximo positivo de $+0.9^{\circ}\text{C}$ y finalmente en junio de 2000 cuando vuelve a aparecer una anomalía negativa de aproximadamente -0.2°C .

Correlaciones con un desfase de 5 meses

Se han correlacionado las anomalías con los principales índices globales, es decir con los índices anteriormente indicados (Cuadro 4). La realización de estas correlaciones consintió en desfasar 5 meses las series de tiempo (en base a lo descrito por Hernández, 2002) de la TSM con respecto a los principales índices globales. Se observó que el MC responde mayormente al índice MEI, en especial el punto A6 que es el que ésta más directamente relacionado con la zona ecuatorial del Pacífico ($r = 0.3827$), con un desfase de 5 meses (máxima correlación con los puntos A1, A6 y A11), coincidiendo con Klein *et al.*, (1999) y Hernández (2002). La correlación entre los puntos A1 ($r = 0.2125$) y A11 ($r = 0.3060$) no es tan alta como la correlación con el punto A6, pero también alcanzan su valor máximo de correlación a 5 meses de desfase. Las correlaciones para los otros meses fueron menores después de 5 meses de ocurrido un evento. Es de especial interés indicar que la correlación con el índice NAO, no es tan alta como se esperaba ($r = -0.1258$ sin desfase con el punto A1 que corresponde al valor máximo de correlación).

El comportamiento estacional de la TSM del MC, el cual en general describe el 67% de la variabilidad del MC, muestra la respuesta del área de estudio con respecto al principal forzante (señal estacional) sobre la TSM. Sin embargo, aún queda un 33%, que no puede ser pronosticado por el comportamiento

estacional. Como se mencionó anteriormente que el propósito de este trabajo es el análisis de las anomalías de la TSM enfocado a anomalías de temperatura con duración mayor de seis meses, ya que se considera que estas anomalías son generadas por fenómenos de escala global como lo son el ENOS y la NPO (NOI) los cuales inciden en el Mar Caribe por medio de teleconexiones (Hernández, 2002). En consecuencia, los resultados sugieren que la variabilidad de la TSM en el Pacífico está fuertemente relacionada con la TSM en el MC; por lo tanto, monitoreando la TSM en la región Niño 3 (ubicado en 90°W-150°W y 5°S-5°N) se puede pronosticar el posible comportamiento del MC con ~5 meses de desfase. Esta teleconexión con las aguas del Pacífico Ecuatorial es esperada debido principalmente a que la región de estudio está conectada por un “puente atmosférico” bajo el régimen de los alisios del Noroeste, y es forzada a reducir la velocidad del viento superficial asociada con los cambios en la tropósfera alta inducidos por los eventos ENOS que ocurren en el Pacífico Ecuatorial. Los cambios en la velocidad del viento afectan la temperatura en la capa de mezcla a través de la evaporación, cobertura de nubes y la transferencia de calor sensible (Enfield y Mayer, 1997; Klein *et al.*, 1999).

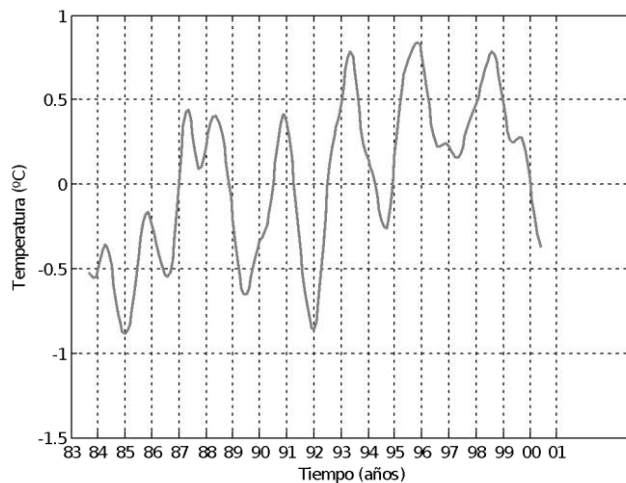


Figura 23. Serie filtrada a 6 meses en el punto A6.

En la descripción realizada de las anomalías de la TSM destacan las anomalías de temperatura que abarcan todo el MC, es decir, en los puntos A1, A6 y A11 deberán de observarse anomalías relacionadas con fenómenos de escala global y; además, deben ser plenamente identificados con índices globales como lo son el SOI, MEI, NOI, SOI* y NAO. Por lo anterior se confirmarán cuáles fueron las anomalías de temperatura que sobresalen en toda el área de estudio. En los tres puntos antes descritos, las anomalías de temperatura inician la serie con los valores negativos más altos de los registros ($-1.4 < T^{\circ}\text{C} < -0.6$), en seguida la anomalía aumenta ligeramente hacia la primavera de 1984 ($\sim -0.5^{\circ}\text{C}$), y para diciembre de 1984 la anomalía vuelve a disminuir hasta valores cercanos a -1.0°C . A partir de esta fecha la temperatura de las series aumenta en el año 1985 hasta alcanzar un mínimo relativo en verano de 1986 que varía desde -0.4°C en los puntos A1, hasta -0.6°C en el punto A6 y A11.

En las tres series de tiempo se vuelve a alcanzar un mínimo de temperatura en verano de 1989, desde -0.3 en el punto A1 hasta -0.6°C en A6 y -0.5°C en A11. Para diciembre de 1990, las series de tiempo alcanzan de nuevo un valor máximo de $\sim +0.4^{\circ}\text{C}$; en diciembre de 1991 las series alcanzan otro mínimo con valores de -1.0°C en A11, -0.8°C en A6 y -0.5°C en A1. Desde esta fecha y por varios años las series de tiempo muestran que la anomalía de temperatura permanece positiva, desde verano de 1992 hasta el

año 2000, con excepción de otoño de 1994 donde se alcanza un pequeño valor negativo en A6 y A11 (-0.3°C y -0.2°C respectivamente). Aunque en A6 y A11 (otoño de 1996 y verano de 1998) se pueden observar dos máximos mayores a +0.5°C, y hacia el final de las tres series de tiempo la temperatura vuelve a disminuir ligeramente hacia valores negativos (primavera de 2000).

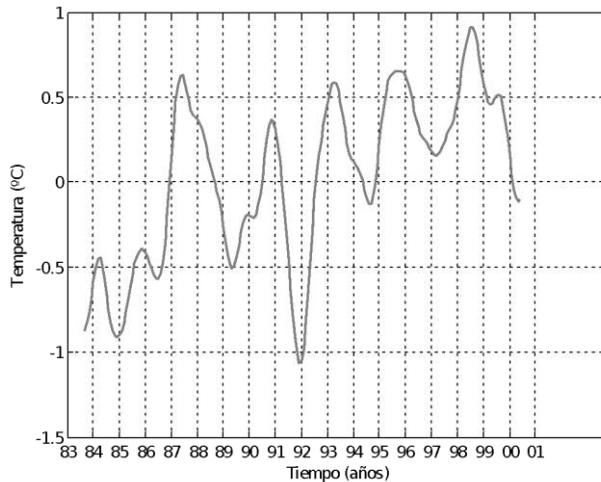


Figura 24. Serie filtrada a 6 meses en el punto A11.

Se puede establecer que la primera anomalía negativa de temperatura está directamente relacionada con El Niño 1982 y 1983 (Figura 21), siendo el punto A6 el que se muestra más influenciado por éste evento.

Cuadro 4. Correlación a 5 meses de desfase con los principales índices a escala global como lo son el MEI, NOI, SOI, SOI*, NAO y los 3 puntos (sombreado) principales en la región de estudio del MC

	NOI	SOI*	SOI	A1	A6	A11	MEI	NAO
NOI	1	0.7566	0.8465	-0.2039	-0.4143	-0.3302	-0.8589	-0.0019
SOI*	0.7566	1	0.9204	-0.2338	-0.2867	-0.216	-0.8399	-0.2292
SOI	0.8465	0.9204	1	-0.2435	-0.3492	-0.2642	-0.9255	-0.033
A1	-0.2039	-0.2338	-0.2435	1	0.8218	0.8656	0.2125	-0.0614
A6	-0.4143	-0.2867	-0.3492	0.8218	1	0.958	0.3827	-0.2805
A11	-0.3302	-0.216	-0.2642	0.8656	0.958	1	0.306	-0.2294
MEI	-0.8589	-0.8399	-0.9255	0.2125	0.3827	0.306	1	-0.0161
NAO	-0.0019	-0.2292	-0.033	-0.0614	-0.2805	-0.2294	-0.0161	1

La siguiente anomalía en los índices globales (SOI, NOI, SOI* y MEI) corresponde a El Niño 1987, donde se obtiene una anomalía de temperatura positiva de aproximadamente +0.5°C. Hernández, (2002) reporta que en este evento, para las costas Cuba se presentan anomalías positivas de temperatura, al igual que en el Mar Caribe. Por otro lado, para el evento de La Niña 1988-1989, se puede observar una anomalía negativa de ~ -0.5°C, por lo que el Mar Caribe tiene un cambio anómalo de ~1°C entre 1987 (El Niño) y 1989 (La Niña).