



uais

RA XIMHAI

Volumen 13 Número 3 Edición Especial
Julio-Diciembre 2017
199-221

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

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

Emilio **Palacios-Hernández**¹; Laura **Carrillo**²; Iryna **Tereshchenko**¹; Alma Delia **Ortiz-Bañuelos**¹ 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 Pacífico 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	Longitud (λ)	Latitud (ϕ)
		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).

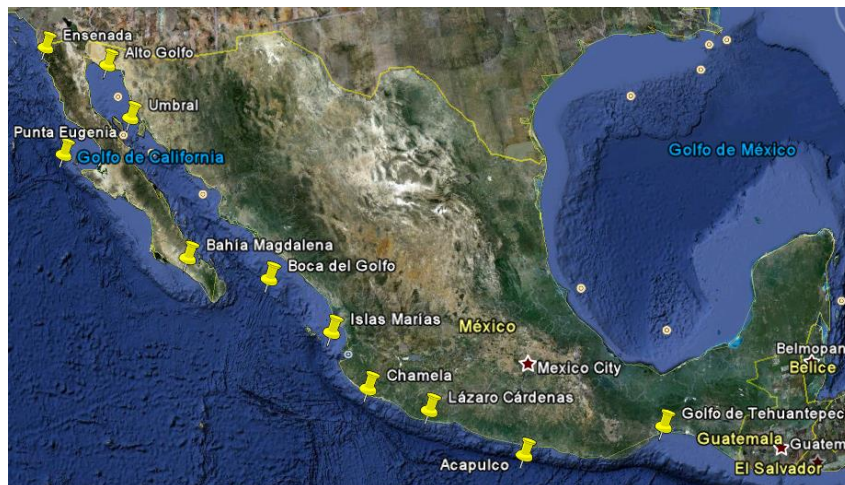


Figura 1. Ubicación de los puntos de estudio.

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 la 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.

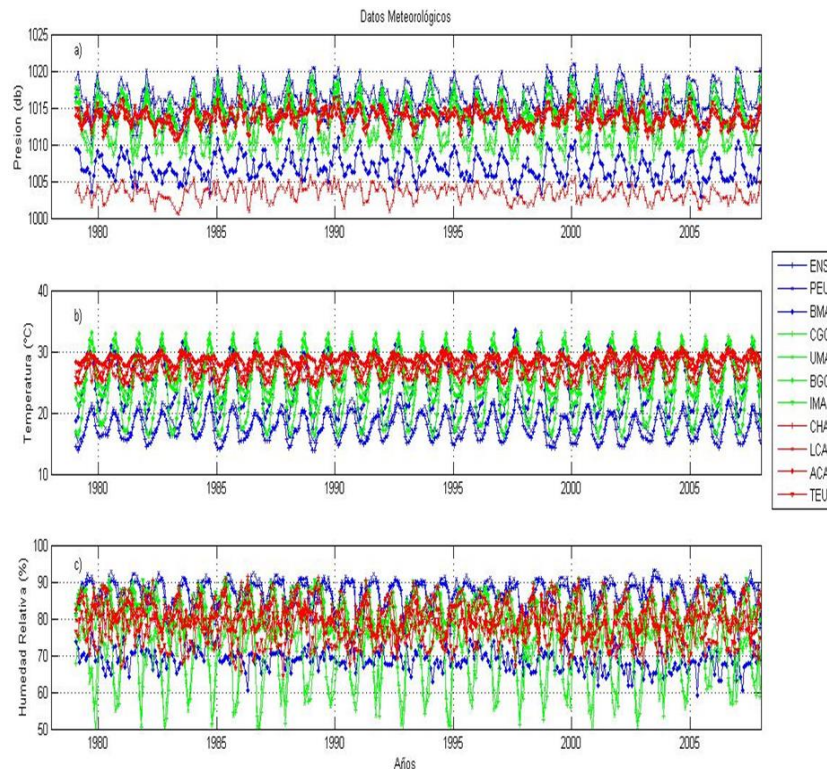


Figura 2. Datos meteorológicos, presión, Temperatura, y humedad de: líneas azules: Ensenada (ENS), Punta Eugenia (PEU), Bahía de Magdalena (BMA). Líneas verdes: Alto Golfo de California (CGO), Umbral del Golfo de California (UMB), y Boca del Golfo de California (BGO), Islas Marías (IMA). Líneas rojas: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

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 es en 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.

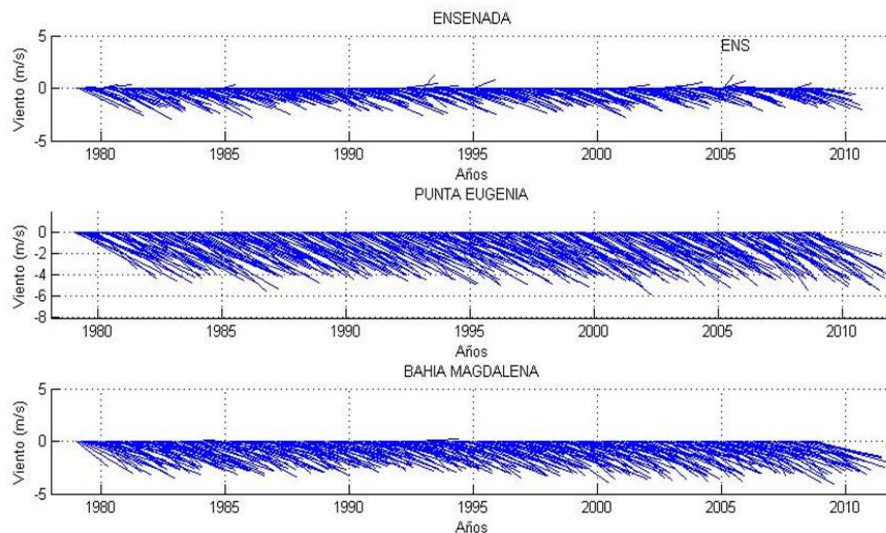


Figura 3. Datos de componente U (horizontal) y V (meridional) del: Ensenada, Punta Eugenia y Bahía Magdalena.

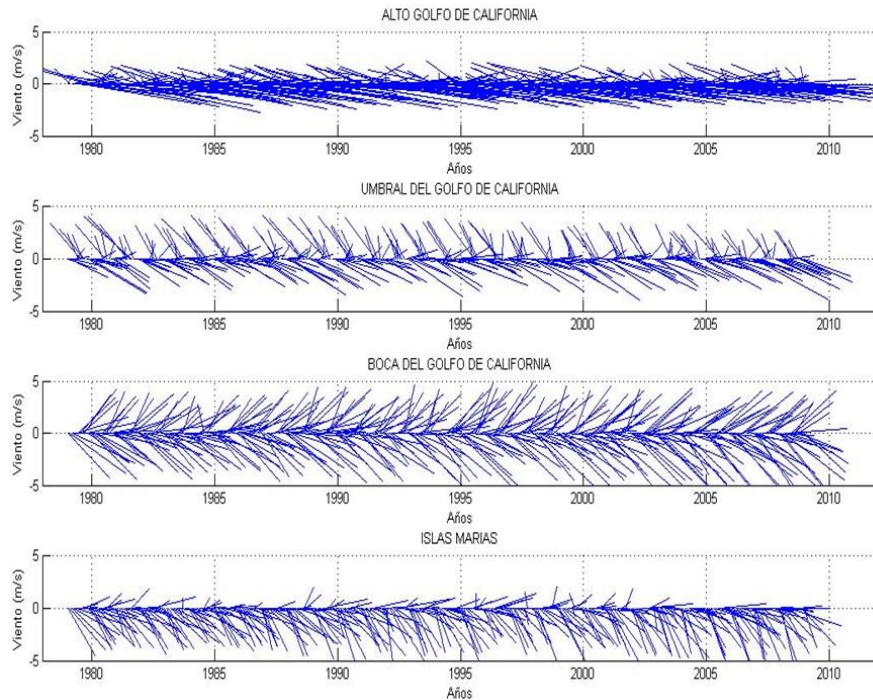


Figura 4. Datos meteorológicos DGC de Viento horizontal U y meridional V: Cabeza, umbral, y boca del golfo de california e Islas Marías.

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 dirige 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 Marías, 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.

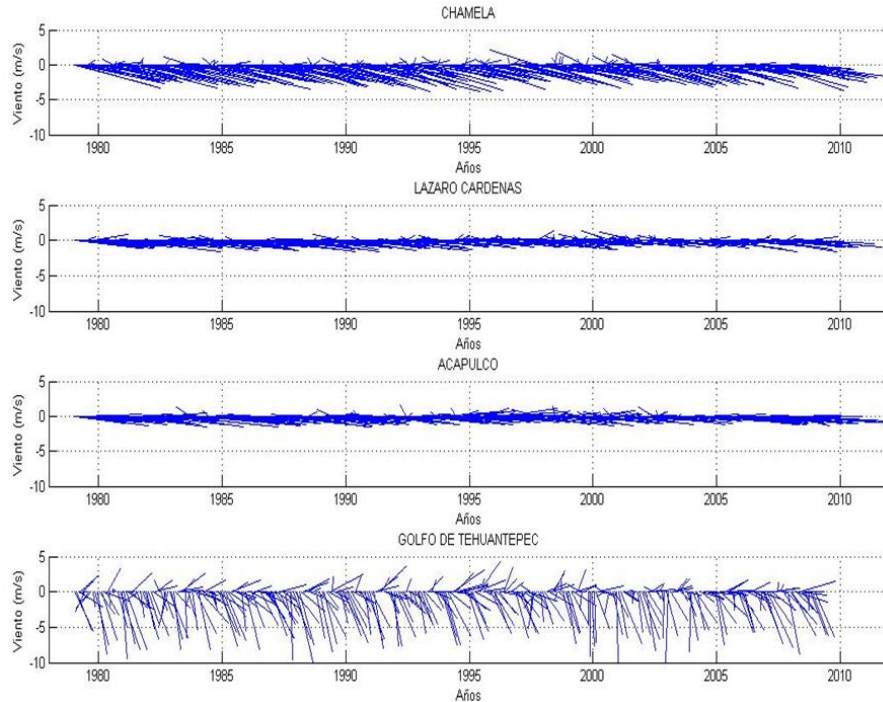


Figura 5. Datos meteorológicos del SPM, de Viento horizontal U y meridional V: Chamela, Lázaro cárdenas, Acapulco, Golfo de Tehuantepec.

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 Pacífico 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 Mariás*.

Cuadro 3. Análisis Armónico del Alto Golfo de California (fuente normal)-Umbral del Golfo (fuente en negrita)-Boca del Golfo (fuente subrayado)-Islas Mariás (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	<i>3.19</i>	<i>1.00</i>	<i>4.13</i>	<i>0.46</i>	<i>2.40</i>
	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 mencionan 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 el 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)
Promedio	27.49	1013.70	83.07	2.01	-1.17
	27.94	1003.40	79.00	1.65	-0.31
	<u>29.03</u>	<u>1013.60</u>	<u>80.67</u>	<u>1.80</u>	<u>-0.36</u>
	<i>26.84</i>	<i>1013.80</i>	<i>75.20</i>	<i>0.59</i>	<i>-2.64</i>
A_1	2.23	0.70	3.82	1.44	1.53
	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>
	<i>1.35</i>	<i>1.10</i>	<i>3.35</i>	<i>0.30</i>	<i>3.54</i>
A_2	0.26	0.70	2.48	0.51	0.15
	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>
	<i>0.28</i>	<i>0.90</i>	<i>2.26</i>	<i>0.12</i>	<i>0.93</i>
A_3	0.14	0.20	0.28	0.09	0.18
	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>
	<i>0.31</i>	<i>0.00</i>	<i>0.67</i>	<i>0.09</i>	<i>0.57</i>
A_4	0.09	0.10	0.22	0.22	0.14
	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.

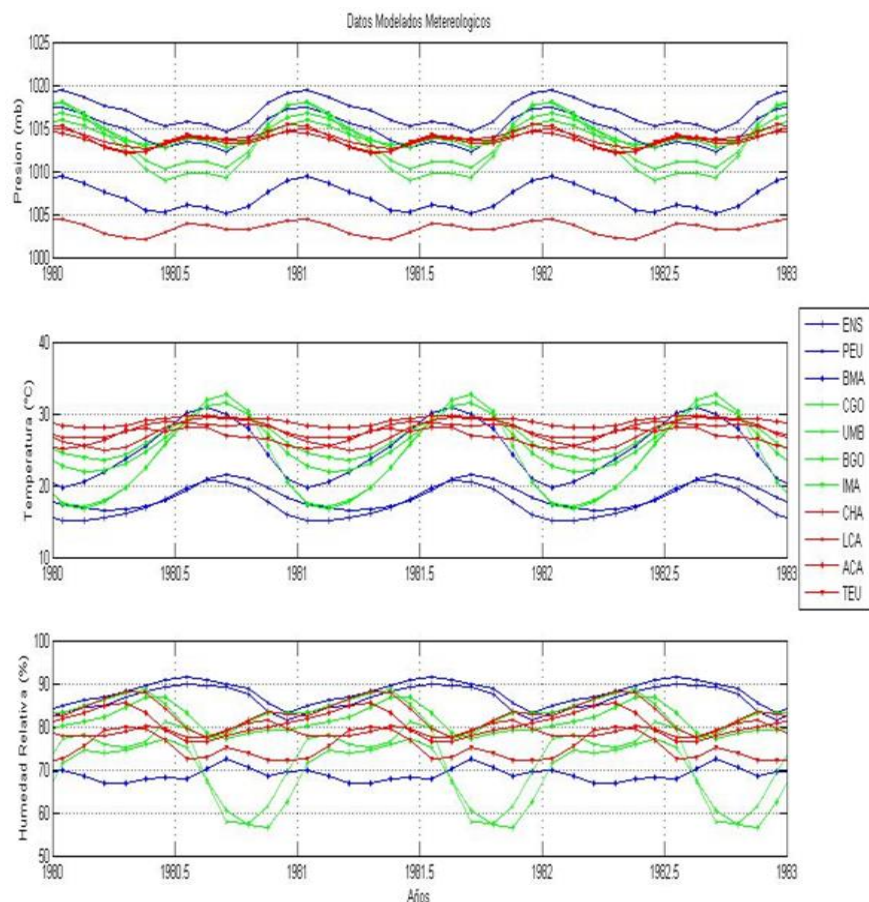


Figura 6. Datos Meteorológicos Modelados de Temperatura, presión y humedad de: líneas azules: Ensenada (ENS), Punta Eugenia (PEU), Bahía Magdalena (BMA). Líneas verdes: Alto Golfo de California (CGO), Umbral del Golfo de California (UMB), y Boca del Golfo de California (BGO), Islas Marías (IMA). Líneas 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 Pacífico 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 Pacífico 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 Marías 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.

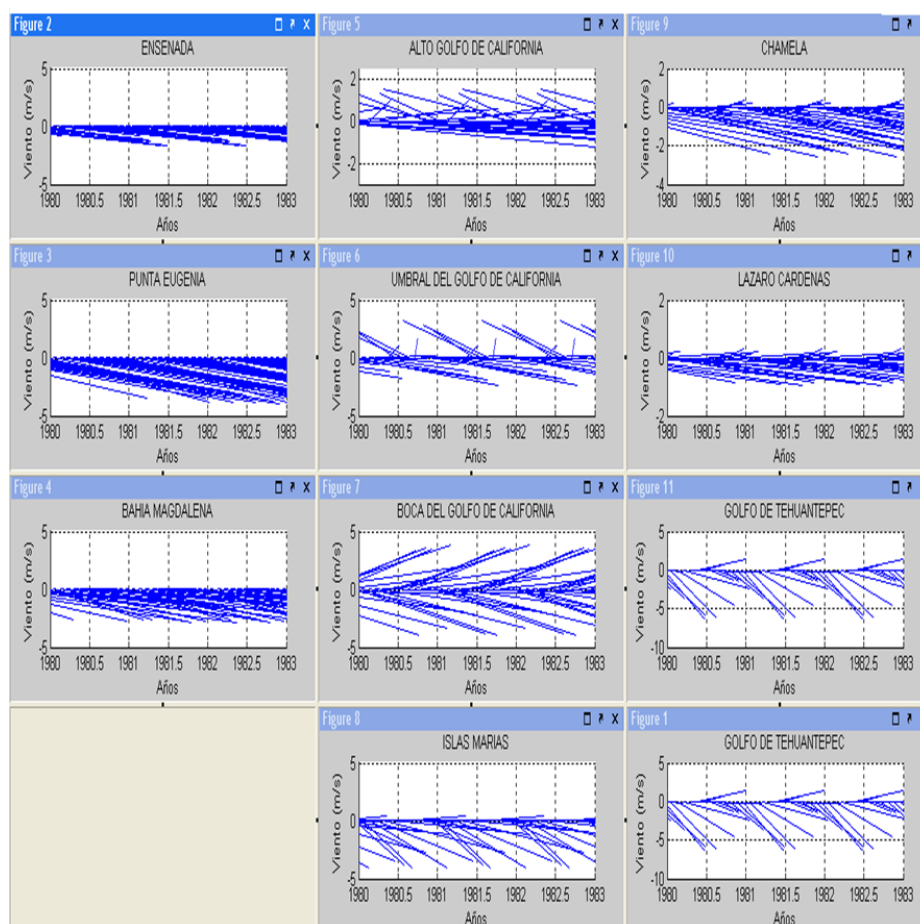


Figura 7. Datos Meteorológicos Modelados de la costa del Océano Pacifico Mexicano.

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 último 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.

Resumen 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 Marías, 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 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 sople 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 tiene 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 a 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 atmósfera aumente considerablemente, generando un gradiente vertical de temperatura en la capa límite, haciéndola muy inestable y favoreciendo un flujo neto de calor y humedad hacia la atmósfera 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 al 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 Pacífico, 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 Pacífico 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 a 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 Pacífico; 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