

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

Ministerio de Ambiente y Energía - Instituto Meteorológico Nacional

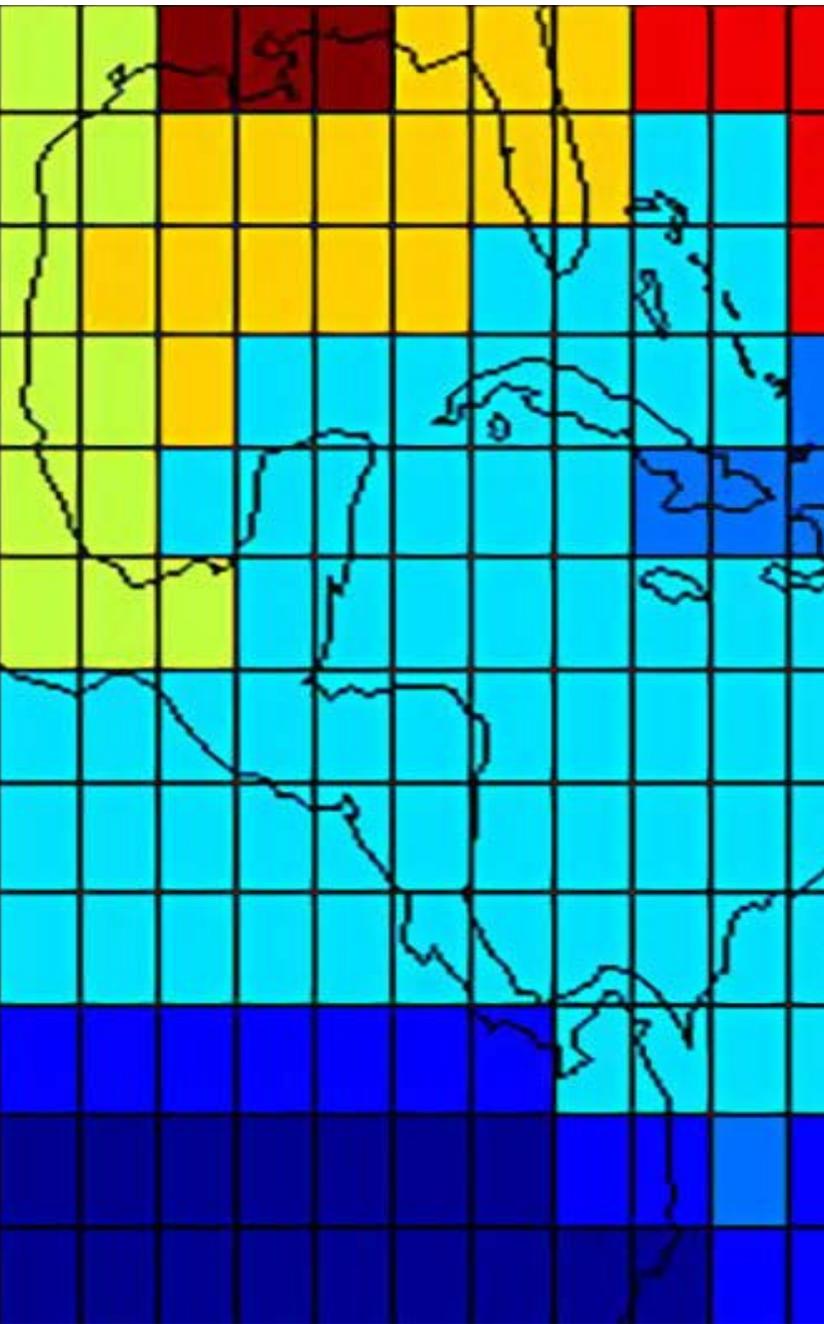


Instituto Meteorológico Nacional
Fundado en 1888

ISSN 2953-738X

Volumen 23

Diciembre 2024

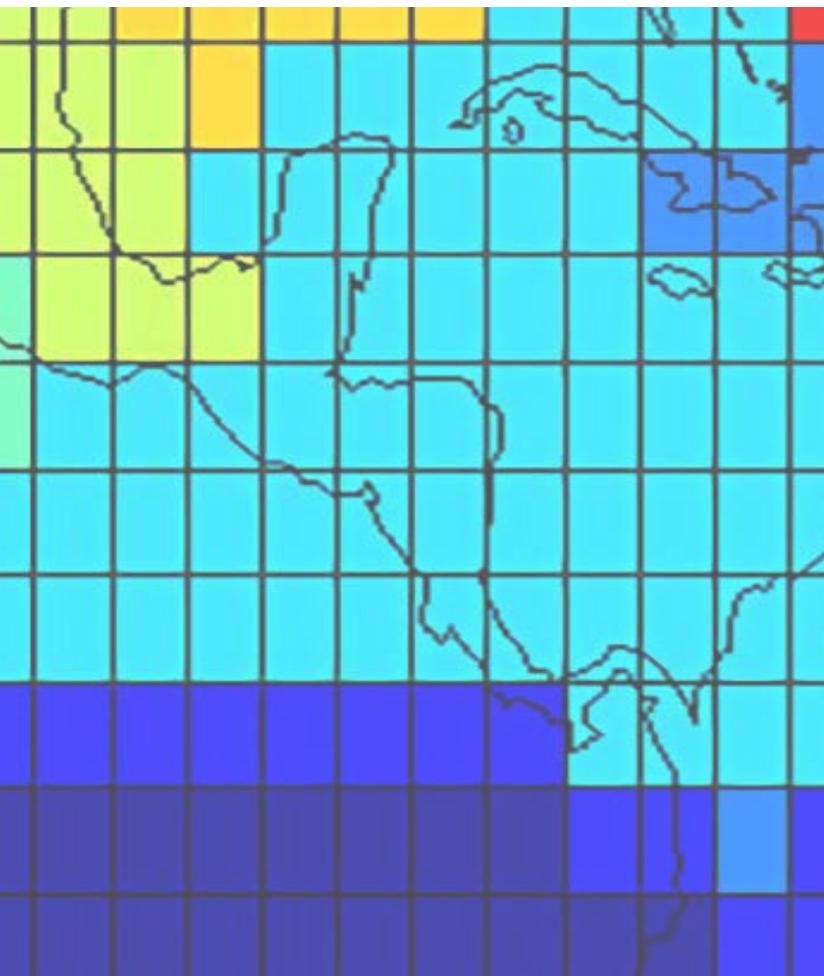


TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

ISSN 2953-738X

Volumen 23

Diciembre 2024



Ministerio de Ambiente y Energía
Instituto Meteorológico Nacional

Coordinación general:
Mag. Eladio Solano León

Edición:
M.Sc. Gabriela Chinchilla Ramírez

Comité editorial:
M.Sc. Daniel Poleo Brito
M.Sc. Gabriela Chinchilla Ramírez
M.Sc. Karina Hernández Espinoza

Diseño y diagramación:
Rodrigo Granados Jiménez

Imágenes de portada:
Nury Sanabria Valverde

*La revista “Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos”
es publicada por el Instituto Meteorológico Nacional,
Ministerio de Ambiente y Energía, Costa Rica. Tiene como
finalidad dar a conocer los resultados de investigaciones y
estudios en Ciencias de la Atmósfera y Oceanografía Física.*

Los artículos publicados en Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos expresan la opinión del autor y
no necesariamente del Instituto Meteorológico Nacional

CONTENIDO

Pág. Artículo

5 Interacciones océano-atmósfera en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental

FRANCISCO JOSÉ GAVIDIA MEDINA

15 Python aplicado a la meteorología operativa: ejemplo práctico para la meteorología aeronáutica

ROBERTO CAMILO VINDAS MORÁN
DIEGO GARRO MOLINA

Interacciones océano-atmósfera en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental

FRANCISCO JOSÉ GAVIDIA MEDINA¹

Resumen

A raíz de los valores extremos de precipitación que se observaron en El Salvador en los años 2010 y 2011, surgió la pregunta: ¿cómo son las interacciones océano – atmósfera cuando ocurren valores extremos de precipitación? Se estudió las interacciones entre 6 variables climáticas y sus relaciones con la ocurrencia de valores extremos de precipitación. Se trabajó en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental, por ser uno de los principales reservorios de calor del sistema océano – atmósfera. Con base a los resultados de la aplicación del análisis de grupos a las mediciones de precipitación, se concluye que existen al menos cuatro regímenes de lluvia. Los de mayor precipitación (Norte de América del Sur y Centroamérica – Caribe), incluyen las aguas cálidas del Pacífico Ecuatorial Oriental, Mar Caribe y Pacífico de Centroamérica, mientras que los de menor precipitación (Península de California –costa Oeste de México y Península de Florida – costa Este de México), incluyen las aguas frías del Golfo de California, Pacífico de México y Golfo de México. Con base a los resultados de la aplicación del análisis de componentes principales a las series temporales de las 6 variables climáticas, se concluye que los coeficientes de la combinación lineal del primer predictor muestran balance entre las seis variables climáticas y representan a la precipitación con una correlación del 94%, mientras que los coeficientes de la combinación lineal del segundo predictor muestran balance entre la presión atmosférica y el viento zonal con una correlación del 68%.

PALABRAS CLAVES: INTERACCIONES OCÉANO-ATMÓSFERA; VALORES EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN; PISCINA DE AGUA CÁLIDA DEL HEMISFERIO OCCIDENTAL.

Abstract

As a result of the extreme precipitation values observed in El Salvador in 2010 and 2011, the question arose: what are the ocean-atmosphere interactions like when extreme precipitation values occur? The interactions between 6 climatic variables were studied and their relationships with the occurrence of extreme precipitation values. Work was carried out in the Warm Water Pool of the Western Hemisphere, as it is one of the main heat reservoirs of the ocean-atmosphere system. Based on the results of applying cluster analysis to precipitation measurements it is concluded that there are at least 4 rainfall regimes. Those with the highest precipitation (North South America and Central America - Caribbean) include the warm waters of the Eastern Equatorial Pacific, Caribbean Sea and Pacific of Central America, while those with the lowest precipitation (California Peninsula - West Coast of Mexico and Florida Peninsula - East Coast of Mexico) include the cold waters of the Gulf of California, Pacific of Mexico and Gulf of Mexico. Based on the results of the application of principal component analysis to the time series of the 6 climatic variables, it is concluded that the coefficients of the linear combination of the first predictor show balance among the 6 climatic variables and represent precipitation with a correlation of 94%, while the coefficients of the linear combination of the second predictor show balance between atmospheric pressure and zonal wind with a correlation of 68%.

KEYWORDS: OCEAN-ATMOSPHERE INTERACTIONS; EXTREME PRECIPITATION VALUES; WARM WATER POOL OF THE WESTERN HEMISPHERE.

¹ Oceanógrafo físico. Dirección Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales, Ministerio de Medio Ambiente. Correo electrónico: fgavidia@ambiente.gob.sv

1. INTRODUCCIÓN

A raíz de los valores extremos de precipitación que se observaron en El Salvador en los años 2010 y 2011, surgió la pregunta: ¿cómo son las interacciones océano-atmósfera cuando ocurren valores extremos de precipitación?

El océano juega un importante papel en el sistema climático debido en gran parte a su capacidad de almacenamiento de calor: los primeros 3.5 m de la columna de agua del océano contienen el calor almacenado en los 35,000 m de la columna de aire de la atmósfera. El océano y la atmósfera intercambian energía por medio de flujos turbulentos a través de la superficie del mar. Estos flujos turbulentos dependen de la temperatura del agua y del aire, viento zonal y viento meridional, cobertura nubosa y presión atmosférica (Stewart, 2008).

De estas variables climáticas, la temperatura del agua y presión atmosférica en la superficie del mar son probablemente la más relevante en el control y regulación de su variabilidad. En particular variaciones no estacionales en la temperatura del agua y la presión atmosférica, caracterizan variaciones estacionales en otras variables climáticas como la precipitación.

Identificar y entender la intensidad y patrones en las tendencias de la temperatura del agua es especialmente crítica si estas inducen o reflejan cambios en la circulación atmosférica y convección de masas de aire, la que a su vez está controlada por la intensidad y patrones en las tendencias de la presión atmosférica. Las interacciones entre el océano y la atmósfera son más pronunciadas en los trópicos debido a relación lineal entre el incremento de la temperatura del agua y la intensificación en la convección vertical (Heureux et al. 2013).

La temperatura del agua en la superficie del mar está gobernada por procesos en la interface

océano – atmósfera. En la atmósfera, la rapidez del viento, la temperatura del aire, la humedad y la nubosidad son factores claves en la regulación del intercambio de energía a través de la superficie del mar. En el océano el calor transportado por las corrientes, la mezcla vertical y la profundidad de la capa de mezcla controlan en gran medida la distribución de energía en su interior (Deser et al. 2010).

El objetivo del estudio de caso es estudiar las interacciones océano – atmósfera (flujos de materia y energía) cuando ocurren valores extremos de precipitación cuyos principales impactos son inundación y sequía.

2. METODOLOGÍA

Se estudió las interacciones entre 6 variables climáticas: temperatura del aire; temperatura del agua; viento zonal; viento meridional; presión atmosférica; cobertura nubosa y sus relaciones con la ocurrencia de Valores Extremos de Precipitación. Se trabajó en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental (60° - 120° W, 0° - 30° N), por ser uno de los principales reservorios de calor del sistema océano – atmósfera (Wang et al. 2008).

Las mediciones de las 6 variables climáticas son del Conjunto Internacional de Datos del sistema Océano – Atmósfera (ICOADS por sus siglas en inglés) (Woodruff et al. 2011). Las mediciones de precipitación son del Proyecto Climatológico Global de Precipitación (GPCP por sus siglas en inglés) las cuales fueron comparadas con las mediciones de otras fuentes (Gurber y Levizzani 2008).

Para obtener las áreas con regímenes de precipitación característicos de la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental, se aplicó el análisis de grupos a las series de tiempo de precipitación (mm/día). En la Piscina de Agua

Cálida del Hemisferio Occidental se tienen 325 series temporales (resolución espacial: $2.5^\circ \times 2.5^\circ$), de 420 valores (resolución temporal: mensual, enero de 1979 a diciembre de 2013).

El análisis de grupos (Everitt et al. 2011), es un método estadístico que tiene por objetivo formar grupos de elementos (series de tiempo), considerando una medida de similitud (matriz de correlación), empleando un algoritmo de jerarquización (promedio pesado).

La matriz de datos de la variable a ser agrupada puede representarse como:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{pmatrix}$$

Dónde:

x_{ij} : Valor i de la variable en el elemento j .

n : Número de valores de la variable.

p : Número de elementos a ser agrupados.

En este caso la matriz de datos son 325 elementos (series de tiempo), cada una conformada por 420 valores (promedio mensual de precipitación).

La matriz de correlación es:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{p1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1p} & \cdots & r_{pp} \end{pmatrix}$$

Dónde:

r_{ij} : Coeficiente de correlación del elemento i con el elemento j .

El algoritmo de jerarquización consta de los siguientes módulos:

a) Encontrar la similitud entre cada par de elementos:

$$S = I - R$$

Dónde:

S : Matriz de similitud.

b) Agrupar los elementos en un árbol de grupos jerarquizados (dendrograma):

$$S(a, b) = 1 - \frac{1}{n_a n_b} \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} S_{ai} S_{bj}$$

Dónde:

$S(a, b)$: Promedio pesado de la similitud entre el grupo a y el grupo b .

c) Determinar la cantidad de grupos a considerar.

Para obtener predictores que representan relaciones lineales entre variables del sistema océano – atmósfera, se aplicó el análisis de componentes principales a las mediciones de las 6 variables climáticas: temperatura del aire; temperatura del agua; viento zonal; viento meridional; presión atmosférica; cobertura nubosa. En la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental se tienen 496 series temporales (resolución espacial: $2^\circ \times 2^\circ$), de 420 valores (resolución temporal: mensual, enero de 1979 a diciembre de 2013).

El análisis de componentes principales (Jackson 1991), es un método estadístico no paramétrico que utilizando algebra lineal, construye un sistema de referencia (componentes principales) donde observaciones de variables originales son proyectadas para definir variables nuevas (predictores), utilizando el algoritmo de Descomposición en Valores Singulares (SVD por sus siglas en ingles).

La matriz de componentes principales Y ($n \times m$) se obtiene del producto punto del operador lineal P ($m \times m$) por la matriz de datos X ($n \times m$):

$$P \times M = Y$$

Dónde:

P_i : Matriz de los m coeficientes $\times m$ componentes principales.

X_j : Matriz de n observaciones $\times m$ variables.

Y_i : Matriz de n proyecciones $\times m$ componentes principales.

La representación matricial del conjunto de variables nuevas es:

$$Y = \begin{pmatrix} P_1 \cdot X_1 & \cdots & P_1 \cdot X_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_m \cdot X_1 & \cdots & P_m \cdot X_n \end{pmatrix}$$

Los supuestos del análisis de componentes principales son:

- 1) **Linealidad.** Las proyecciones (predictores) en los ejes del sistema de referencia (componentes principales) son ecuaciones lineales de las variables originales multiplicadas por los coeficientes.
- 2) **Normalidad.** La distribución de probabilidad de las variables originales quedan suficientemente descritas con su media y varianza.
- 3) **Varianza máxima.** La varianza de las proyecciones (predictores) es la máxima en cada uno de los ejes del sistema de referencia (componentes principales).
- 4) **Ortogonalidad.** Los ejes del sistema de referencia (componentes principales) son ortogonales.

Para encontrar los componentes principales de X , se debe encontrar una matriz ortogonal P tal que la matriz de covarianza ($S_Y \equiv \frac{1}{n-1} Y Y^T$) se puede reducir a una matriz diagonal.

Rescribamos en términos de :

$$S_Y = \frac{1}{n-1} P A P^T$$

Dónde:

$$A \equiv X X^T$$

Es una matriz simétrica, por lo que se puede describir como:

$$A = E D E^T$$

Dónde:

D : Matriz diagonal.

E : Matriz cuyas columnas son los vectores propios de A .

Seleccionamos una matriz ortogonal P cuyas filas son los vectores propios de la matriz $X X^T$ ($P \equiv E^T$), rescribiendo como:

$$S_Y = \frac{1}{n-1} D$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación del algoritmo de jerarquización (análisis de grupos) se corrió para la matriz de datos de precipitación, encontrándose que las 325 series temporales en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental, se agruparon en cuatro áreas donde la precipitación en tierra está relacionada a la precipitación en mar (Figura 1 y 2):

- 1) Norte de Suramérica → Pacífico Ecuatorial Oriental.
- 2) Centroamérica y Caribe → Pacífico de Centroamérica y Mar Caribe.
- 3) Costa Oeste de México y Península de California → Pacífico de México y Golfo de California.
- 4) Costa Este de México y Península de Florida → Golfo de México.

Para identificar los valores extremos de las series de tiempo de precipitación en las diferentes áreas, se utilizó el criterio del percentil:

$$\begin{cases} \text{máximo} > \text{percentil } 99 \\ \text{mínimo} < \text{percentil } 1 \end{cases}$$

Los años y meses de los valores extremos en el intervalo de tiempo analizado (enero de 1979 – diciembre de 2013), corresponden a valores de inflexión (máximos y mínimos) del promedio anual y mensual de la precipitación. Además pueden estar relacionados a las fases del fenómeno ENOS por lo que se anotan a la par de cada uno de los valores extremos (Cuadro 1).

La aplicación del algoritmo de descomposición en valores singulares (análisis de componentes

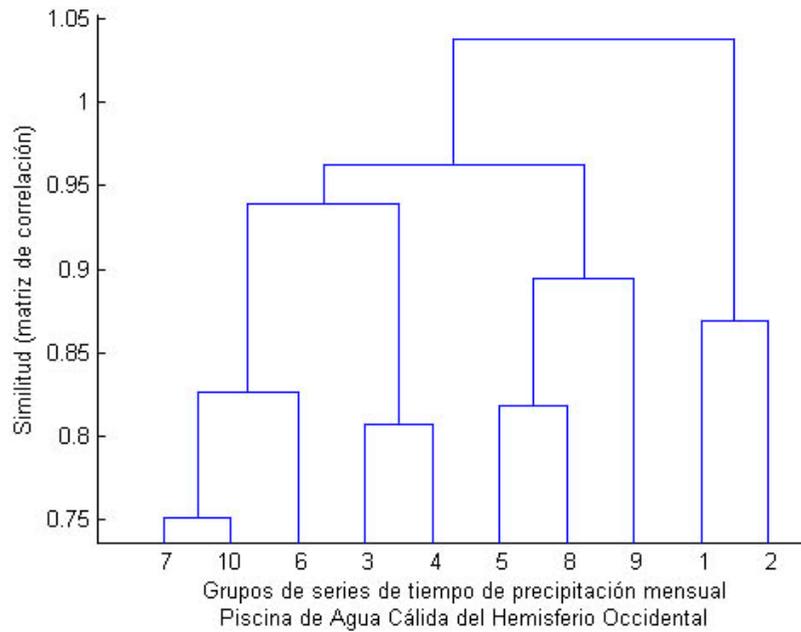


Figura 1. Dendrograma de grupos de series de tiempo de precipitación en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental. Áreas donde la precipitación en tierra está relacionada a la precipitación en mar: Norte de Suramérica → Pacífico Ecuatorial Oriental (1, 2); Centroamérica y Caribe → Pacífico de Centroamérica y Mar Caribe (3, 4); Costa Oeste de México y Península de California → Pacífico de México y Golfo de California (5, 8); Costa Este de México y Península de Florida → Golfo de México (7, 10).

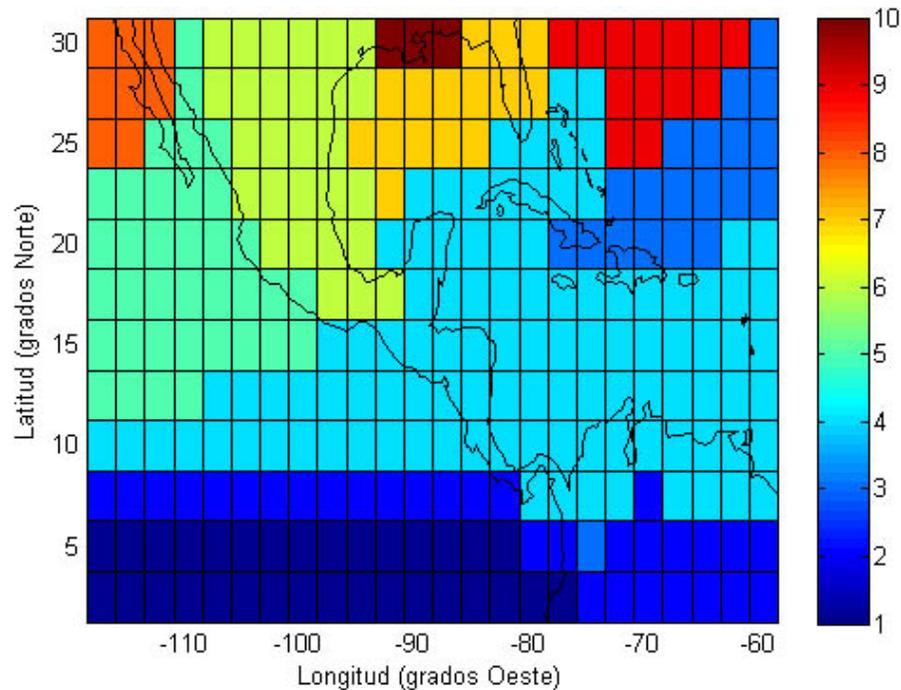


Figura 2. Mapa de grupos de series de tiempo de precipitación en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental. Áreas donde la precipitación en tierra está relacionada a la precipitación en mar: Norte de Suramérica → Pacífico Ecuatorial Oriental (1, 2); Centroamérica y Caribe → Pacífico de Centroamérica y Mar Caribe (3, 4); Costa Oeste de México y Península de California → Pacífico de México y Golfo de California (5, 8); Costa Este de México y Península de Florida → Golfo de México (7, 10).

principales) se corrió para la matriz de datos de las 6 variables climáticas, encontrándose que en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental, el 73% de la varianza total está representada en la relación lineal del primer predictor (precipitación) y que el 13% de la varianza total está representada en la relación lineal del segundo predictor (presión atmosférica y viento zonal) (Cuadro 2).

Los coeficientes en la relación lineal del primer predictor son: 0.44 para la temperatura del aire; 0.45 para la temperatura del agua; 0.37 para el viento zonal; 0.44 para el viento meridional; -0.32 para la presión atmosférica; 0.41 para la cobertura nubosa y los del segundo predictor son: 0.23 para la temperatura del aire; 0.21 para la temperatura del agua; -0.48 para el viento

Cuadro 1. Año y meses de valores extremos de precipitación en áreas donde la precipitación en tierra está relacionada a la precipitación en mar en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental.

Área	Máximo		Mínimo	
	Año	Meses	Año	Meses
Norte de Suramérica → Pacífico Ecuatorial Oriental	1997 Niño	Mayo/1983 Niño Junio/1983 Niño Abril/1998 Niño Junio/1998 Neutro	1985 Neutro	Marzo/1985 Niña Diciembre/1989 Neutro Diciembre/1999 Niña Enero/2013 Neutro
Centroamérica y Caribe → Pacífico de Centroamérica y Mar Caribe	2010 Niña	Julio/1987 Niño Octubre/1998 Niña Septiembre/1999 Niña Junio/2005 Neutro	1991 Niño	Marzo/1980 Neutro Febrero/1993 Neutro Marzo/1997 Neutro Febrero/2001 Niña
Costa Oeste de México y Península de California → Pacífico de México y Golfo de California	1992 Neutro	Septiembre/1982 Niño Septiembre/1989 Neutro Septiembre/1997 Niño Septiembre/2001 Neutro	2011 Niña	Marzo/2000 Niña Marzo/2011 Niña Abril/2011 Niña Marzo/2012 Niña
Costa Este de México y Península de Florida → Golfo de México	1992 Neutro	Septiembre/1998 Niña Septiembre/2002 Niño Julio/2010 Niña Septiembre/2013 Neutro	2011 Niña	Mayo/1998 Neutro Febrero/1999 Niña Noviembre/1999 Niña Abril/2011 Niña

Nota: Las fases (cálida y fría) del fenómeno ENOS es cuando el valor del Índice Oceánico El Niño (ONI por sus siglas en inglés) sobrepasa los umbrales +0.5 y -0.5. El ONI se calcula con el promedio móvil en una ventana temporal de 3 meses de la anomalía de la temperatura en la superficie del mar en la región Niño 3.4 (170° - 120° W, 5° S - 5° N). La anomalía es con respecto al valor promedio en 30 años, actualizado cada 5 años.

Cuadro 2. Coeficientes de las combinaciones lineales de las variables climáticas.

Variable	CP-1 (73%)	CP-2 (13%)	CP-3 (8%)	CP-4 (4%)	CP-5 (2%)	CP-6 (0.4%)
Temperatura del aire	0.44	0.23	-0.40	-0.27	-0.19	0.70
Temperatura del agua	0.45	0.21	-0.27	-0.02	-0.50	-0.65
Viento zonal	0.37	-0.48	0.64	-0.37	-0.28	0.07
Viento meridional	0.44	0.27	0.11	-0.33	0.75	-0.22
Presión atmosférica	-0.32	0.74	0.45	-0.29	-0.26	0.04
Cobertura nubosa	0.41	0.24	0.38	0.77	0.01	0.18

Nota: Los componentes principales están ordenados de mayor a menor varianza. La precipitación es mayor con menor presión atmosférica (centros de bajo presión) y menor viento zonal (flujo del este debilitado).

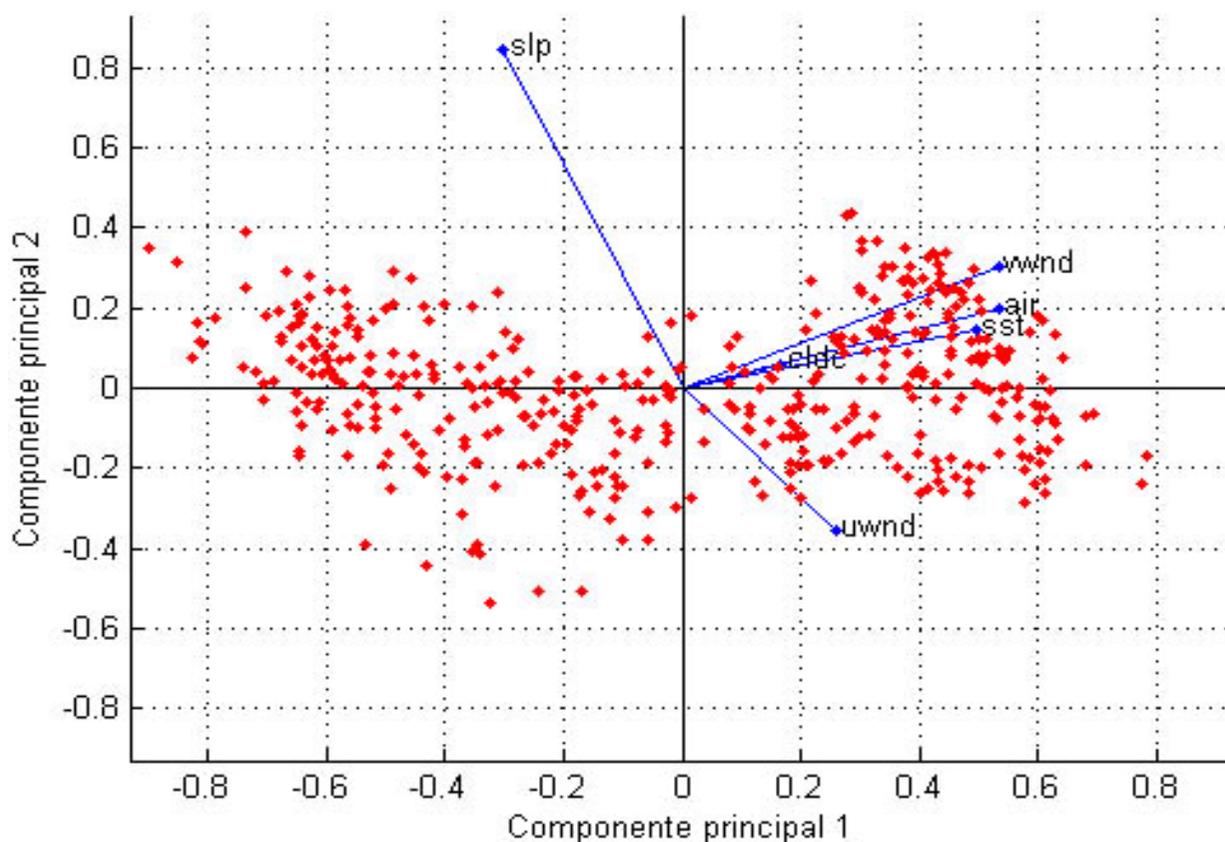


Figura 3. Coeficientes (azul) de las combinaciones lineales y proyecciones (rojo) de las variables climáticas en el plano definido por la componente principal 1 y 2. Variables climáticas: temperatura del aire (**air**); temperatura del agua (**sst**); viento zonal (**uwnd**); viento meridional (**vwnd**); presión atmosférica (**slp**); cobertura nubosa (**cldc**).

zonal; 0.27 para el viento meridional; 0.74 para la presión atmosférica; 0.24 para la cobertura nubosa (Figura 3).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

Con base a los resultados de la aplicación del análisis de grupos a las mediciones de precipitación en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental, se concluye que existen al menos 4 regímenes de lluvia.

Los de mayor precipitación (Norte de América del Sur y Centroamérica – Caribe), incluyen las aguas cálidas del Pacífico Ecuatorial Oriental, Mar Caribe

y Pacífico de Centroamérica, mientras que los de menor precipitación (Península de California – costa Oeste de México y Península de Florida – costa Oeste de México), incluyen las aguas frías del Golfo de California, Pacífico de México y Golfo de México.

En los regímenes de lluvia que incluyen aguas del Pacífico (Norte de Suramérica y Península de California – costa Oeste de México), los máximos se observaron en la fase cálida del fenómeno ENOS (62%) y neutra (38%), mientras que los mínimos en la fase fría (75%) y neutra (25%). En los regímenes de lluvia que incluyen aguas del Atlántico (Centroamérica – Caribe y Península de Florida – costa Este de México), los máximos se observaron en la fase fría del fenómeno ENOS (50%), neutra (25%) y fase cálida (25%), mientras

que los mínimos se observaron en la fase fría (50%) o neutra (50%) (Cuadro 1).

Con base a los resultados de la aplicación del análisis de componentes principales a las series temporales de las seis variables climáticas en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental, se concluye que los coeficientes de la combinación lineal del primer predictor muestran balance entre las 6 variables climáticas y representan a la precipitación con una correlación del 94%, mientras que los coeficientes de la combinación lineal del segundo predictor muestran balance

entre la presión atmosférica y el viento zonal con una correlación del 68% (Figura 4).

Las proyecciones de las seis variables climáticas en el plano formado por el primer y segundo predictor (PC1-PC2) tienden a alinearse alrededor de rectas con pendiente negativa. Este patrón de dispersión refleja que la precipitación es mayor con menor presión atmosférica (centros de baja presión) y menor viento zonal (flujo del Este debilitado). Los meses de la estación seca (diciembre – abril) caen alrededor de la recta de precipitación mínima; los meses de inicio de estación (noviembre y mayo)

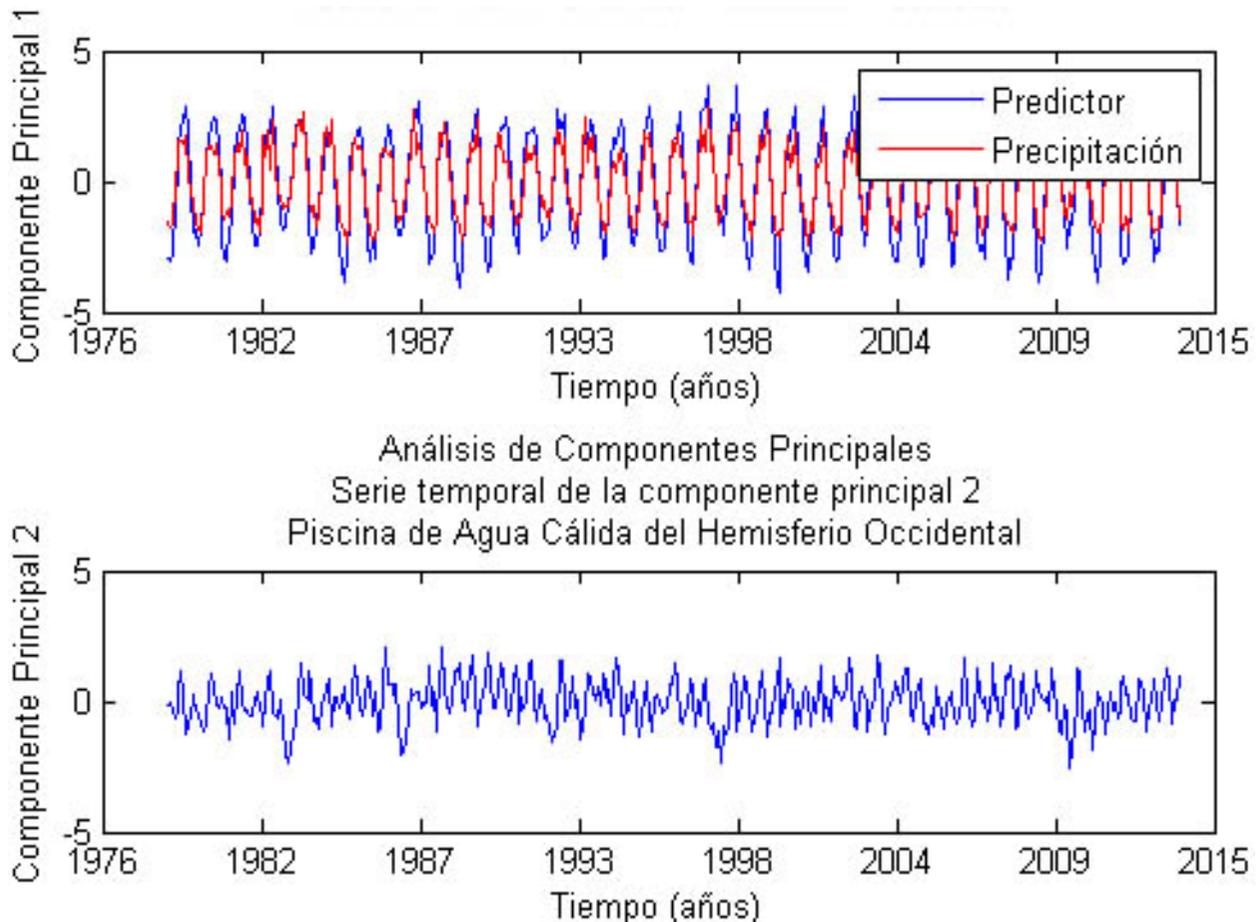


Figura 4. Series temporales del primer predictor (73% de la varianza total) y segundo predictor (13% de la varianza total).

Nota: Los coeficientes de la combinación lineal del primer predictor muestran balance entre las seis variables climáticas y representan a la precipitación con una correlación del 94%. Primer predictor = $0.44 \cdot \text{air} + 0.45 \cdot \text{sst} + 0.37 \cdot \text{uwnd} + 0.44 \cdot \text{vwnd} - 0.32 \cdot \text{slp} + 0.41 \cdot \text{cldc}$. Los coeficientes de la combinación lineal del segundo predictor muestran balance entre la presión atmosférica y el viento zonal. Segundo predictor = $0.17 \cdot \text{air} + 0.17 \cdot \text{sst} - 0.43 \cdot \text{uwnd} + 0.30 \cdot \text{vwnd} + 0.77 \cdot \text{slp} + 0.28 \cdot \text{cldc}$.

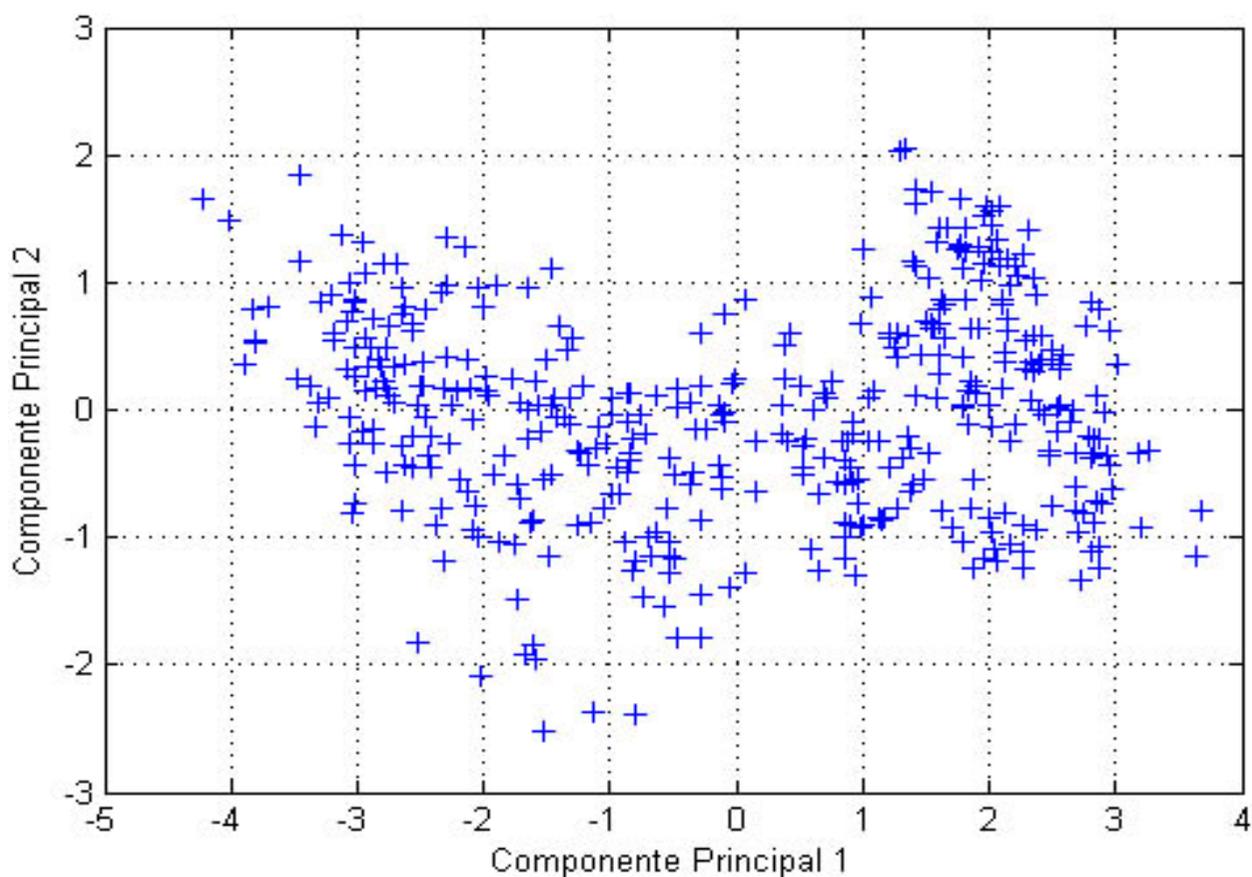


Figura 5. Diagrama de dispersión de las proyecciones en el sistema de referencia Componente Principal 1 – Componente Principal 2.

Nota: Las proyecciones de las seis variables climáticas en el plano formado por el primer y segundo predictor tienden a alinearse alrededor de rectas con pendiente negativa. Este patrón de dispersión refleja que la precipitación es mayor con menor presión atmosférica (centros de baja presión) y menor viento zonal (flujo del Este debilitado).

alrededor de la recta de precipitación media; los meses de la estación lluviosa (junio – octubre) alrededor de la recta de precipitación máxima (Figura 5).

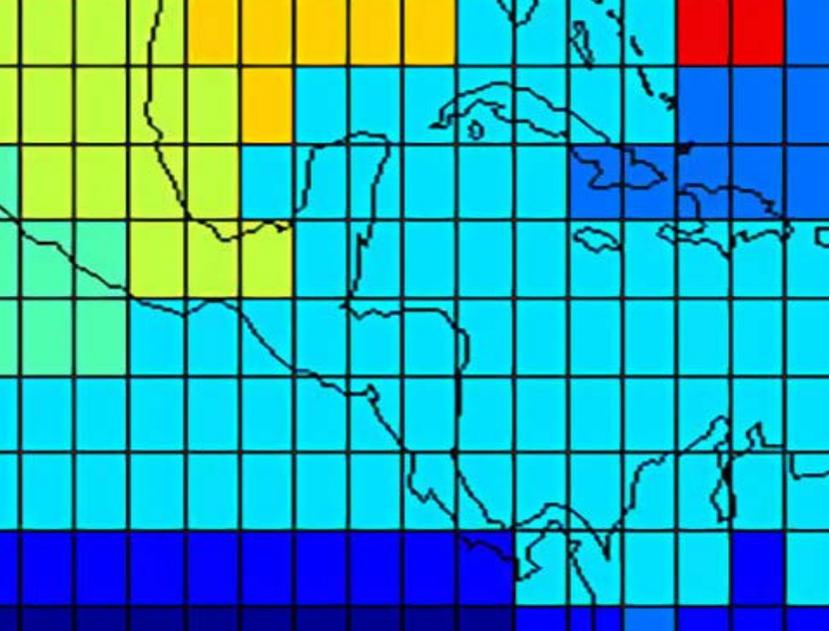
Los valores extremos de precipitación (Cuadro 1) son función del régimen de lluvia que a su vez es función de la cuenca (Pacífico y Atlántico), por lo que se recomienda, además de la comparación con índice del Pacífico (ONI por sus siglas en inglés), su comparación con índices del Atlántico (TNA o AMO por sus siglas en inglés) los cuales también son anomalías: valor mensual actual menos valor mensual climatológico, de la temperatura del agua en la superficie del mar.

5. REFERENCIAS

- Everitt B. S., Landau S. Leese M. Stahl D. (2011). *Cluster analysis*. 5th (ed.) Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley and Sons, Ltd. Publication. 348 pp.
- Deser C, Alexander M. A., Xie S., Phillips A. S. (2010). Sea Surface Temperature Variability: Patterns and Mechanisms. *Annual Review Marine Science* 2:115-43.
- Gruber A., Levizzani V. (2008). *Assessment of Global Precipitation Products. A project of the Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX), Radiation Panel*. World Climate Research Programme Report. <https://>

www.wcrp-climate.org/documents/AssessmentGlobalPrecipitationReport.pdf

- L'Heureux, M. L., Collins, D. C., & Hu, Z. Z. (2013). Linear trends in sea surface temperature of the tropical Pacific Ocean and implications for the El Niño-Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, 40(5), 1223-1236.
- Jackson J. E. (1991). *A user's guide to principal components*. Wiley-Interscience Publication. John Wiley and sons, INC. 587 pp.
- Stewart R. H. (2008). *Introduction of Physical Oceanography*. Department of Physical Oceanography. Texas A & M University.
- Wang, C., Lee, S. K., & Enfield, D. B. (2008). Atlantic warm pool acting as a link between Atlantic multidecadal oscillation and Atlantic tropical cyclone activity. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9(5). <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007GC001809>
- Woodruff, S. D., Worley, S. J., Lubker, S. J., Ji, Z., Freeman, J. E., Berry, D. I., ... & Wilkinson, C. (2011). ICOADS Release 2.5: extensions and enhancements to the surface marine meteorological archive. *International Journal of Climatology*. Royal Meteorological Society. IJC. 31: 951–967 <https://digitalcommons.unl.edu/usdeptcommercepub/332/>



Instituto Meteorológico Nacional

Sitio web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

