

¿Cómo son las interacciones océano – atmósfera cuando ocurren valores extremos de precipitación?

Francisco José Gavidia Medina¹

¹ Dirección del Observatorio Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. Kilómetro 5 ½ Carretera a Nueva San Salvador, Calle y Colonia Las Mercedes, San Salvador, El Salvador, América Central; fgavidia@marn.gob.sv

Recibido 24-IV-2015. Corregido 06-VII-2015. Aceptado 06-V-2016.

Resumen: ¿Cómo son las interacciones océano – atmósfera cuando ocurren valores extremos de precipitación?

A raíz de los valores extremos de precipitación que se observaron sobre El Salvador en el 2010 y 2011 (mayores que 2,500 mm/año), siendo la precipitación climatológica (1981-2010) de 1,800 mm/año, surgió la pregunta: ¿cómo son las interacciones océano-atmósfera cuando ocurren valores extremos de precipitación?. Se estudiaron las interacciones entre seis variables climáticas en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental: temperatura del aire, temperatura del agua, componente zonal del viento, componente meridional del viento, presión atmosférica, cobertura nubosa y sus relaciones con la ocurrencia de valores extremos de precipitación. Para identificar las áreas con precipitación característica, se aplicó el análisis de grupos a las series de tiempo de precipitación. Para obtener predictores que representen relaciones lineales entre variables del sistema océano-atmósfera, se aplicó el análisis de componentes principales a las mediciones de las 6 variables climáticas. Con base a los resultados de la aplicación del análisis de grupos a las mediciones de precipitación, se concluye que existen cuatro regímenes de lluvia: Pacífico Oriental Tropical; Pacífico de Centroamérica y Mar Caribe; Pacífico de México y Golfo de California; Golfo de México. Con base en los resultados de la aplicación del análisis de componentes principales a las mediciones de las seis variables climáticas, se concluye que el primer predictor, 75% de la varianza total, representa la precipitación. Los valores extremos de precipitación son función del régimen de lluvia por lo que se recomienda aplicar el Análisis de Componentes Principales a las anomalías de las variables climáticas en cada uno de ellos y el análisis de la correlación canónica a los predictores e índices climáticos (ONI, Niño 3.4, ATL3, AMM).

Palabras clave: Proceso ecuatorial, flujos de calor latente y sensible, impactos de la variabilidad climática.

El océano juega un importante papel en el sistema climático, debido en parte a su gran capacidad de almacenamiento de calor: los primeros 3.5 m de la columna de agua del océano contienen el calor almacenado en al menos los primeros 3,500 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, componente zonal y meridional del viento, nubosidad y presión atmosférica.

De estas variables climáticas, la temperatura del agua y la presión atmosférica en la superficie del mar son probablemente las más relevantes en el control y regulación de su variabilidad. En particular, variaciones

no estacionales (interanual, interdecadal, decadal) en la temperatura del agua y la presión atmosférica caracterizan variaciones estacionales (intermensual) en otras variables climáticas como la precipitación.

Los principales modos de la variabilidad no estacional de la temperatura del agua y de la presión atmosférica que explican la variabilidad climática estacional son: El Niño Oscilación del Sur en el Pacífico Tropical, Interdecadal en el Atlántico Tropical, Interdecadal en el Índico Tropical; Oscilación, Decadal en el Pacífico Norte. La temperatura del agua en la superficie del mar está gobernada por procesos en la interfase océano-atmósfera. En la atmósfera, la rapidez del viento, temperatura del aire, humedad y 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). La presente investigación tiene como objetivo conocer las interacciones océano-atmósfera (flujos de materia y energía) y cuando ocurren valores extremos de precipitación como inundaciones y sequías.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las variables climáticas que se analizaron para conocer su interacción fueron seis: Temperatura del Aire (TR); Temperatura del Agua (TG); Componente Zonal del Viento (UV); Componente Meridional del Viento (VV); Presión Atmosférica (PA); Cobertura Nubosa (CN) y sus relaciones con la ocurrencia de Valores Extremos de Precipitación (VEP). Las mediciones de las seis variables se realizaron en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental (PACHO), por ser uno de los principales reservorios de calor del sistema océano-atmósfera (Wang et al. 2008).

Los datos de generaron (Woodruff et al. 2011) a través del Conjunto Internacional de Datos del Sistema Océano-Atmósfera (ICOADS). Las mediciones de precipitación son del Proyecto Climatológico Global de Precipitación (GPCP).

Las áreas con regímenes de precipitación característicos de la PACHO se identificaron con el análisis de grupos (Everitt et al. 2011) a las series de tiempo de PR (mm/día). En PACHO (0°-30° N, 60°-120° O) hay 325 series de tiempo de 420 valores durante el período de enero de 1979 a diciembre de 2013.

La matriz de datos contiene 325 series de tiempo, cada una conformada por 420 valores de promedio mensual de precipitación.

El análisis se basó en matriz de correlación, la cual 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) Identificación de la similitud entre cada par de elementos:

$$S=1-R$$

Dónde:

S: Matriz de similitud.

- b) Agrupación de 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) Determinación de la cantidad de grupos a considerar.

Los predictores que representan relaciones lineales entre las seis variables del sistema océano-atmósfera se obtuvieron con el análisis de componentes principales. En PACHO (0°-30° N, 60°-120° O) hay 496 series de tiempo de 420 valores comprendidas entre el período de enero de 1979 a diciembre de 2013. Las variables fueron sometidas a comprobación de supuestos de linealidad, normalidad y homocedasticidad.

Los valores extremos de las series de tiempo de precipitación en las diferentes áreas se identificaron con el criterio del percentil:

$$\begin{aligned} \text{máximo} &> \text{percentil } 9' \\ \text{mínimo} &< \text{percentil } 1 \end{aligned}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las 325 series temporales en la PACHO se agrupan en cuatro áreas: Pacífico Ecuatorial Oriental, Pacífico de Centroamérica y Mar Caribe, Pacífico de México y Golfo de Califor-

nia, y Golfo de México, donde la precipitación en tierra está relacionada a la precipitación en mar (Fig. 1).

Los meses y años (enero de 1979 a diciembre de 2013), con valores extremos en el intervalo de tiempo analizado, corresponden a valores de inflexión (máximos y mínimos) del promedio mensual y anual de la precipitación (Tabla 1). En particular, los años con mayor

y menor precipitación fueron, para el Norte de Suramérica, 1997 y 1985, respectivamente; en el Caribe y Centroamérica, los años 2010 y 1991; para la Península de California/Costa Oeste de México, 1992 y 2011; y en la Península de Florida/Costa Este de México, 1992 y 2011.

El análisis de componentes principales refleja que el primer predictor representa el 75%

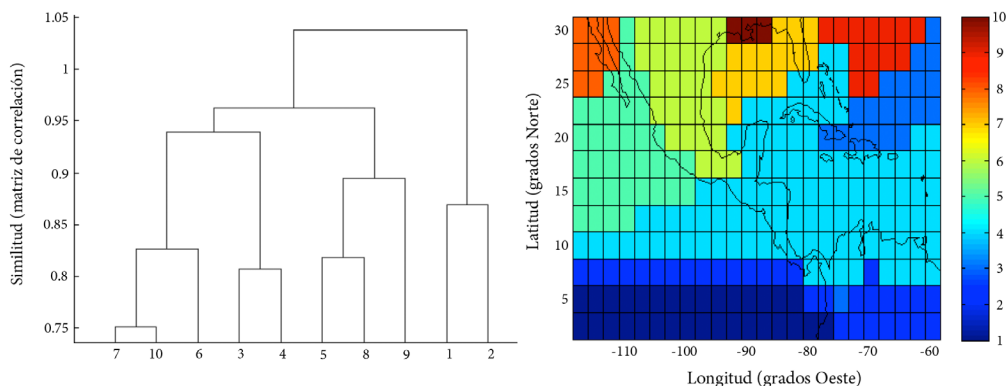


Fig. 1. Dendrograma y mapa de grupos de series de tiempo de precipitación mensual en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental (PACHO).

TABLA 1

Fechas de valores extremos de las series de tiempo de precipitación en las diferentes áreas con el criterio del percentil.

Área	Máximo (percentil 99)	Mínimo (percentil 1)
Norte de Suramérica	1983 (Mayo) *	1985 (Marzo) **
	1983 (Junio) *	1989 (Diciembre) ***
	1998 (Abril) *	1999 (Diciembre) **
	1998 (Junio) ***	2013 (Enero) ***
Caribe y Centroamérica	1987(Julio) *	1980 (Marzo) ***
	1998 (Octubre) **	1993 (Febrero) ***
	1999 (Septiembre) **	1997 (Marzo) ***
	2005 (Junio) ***	2001 (Febrero) **
Península de California y costa oeste de México	1982 (Septiembre) *	2000 (Marzo) **
	1989 (Septiembre) ***	2011 (Marzo) **
	1997 (Septiembre) *	2011 (Abril) **
	2001 (Septiembre) ***	2012 (Marzo) **
Península de Florida y costa este de México	1998 (Septiembre) **	1998 (Mayo) ***
	2002 (Septiembre) *	1999 (Febrero) **
	2010 (Julio) **	1999 (Noviembre) **
	2013 (Septiembre) ***	2011 (Abril) **

* año Niño, ** año Niña, *** año Neutro

La fase del fenómeno ENOS es con base al Índice Oceánico El Niño (ONI), el cual es el valor promedio móvil de tres meses de la anomalía de la variable climática con respecto al valor promedio en 30 años actualizados cada 5 años. La variable climática es la temperatura en la superficie del mar en la región Niño 3.4 (5°S-5°N, 120°-170°O).

y el segundo predictor el 13% de la varianza total de las series temporales de las seis variables climáticas promediadas en PACHO (Fig. 3). Los coeficientes del primer predictor son positivos para las variables TG, TA, UV, VV y CN, y negativos para la PA, mientras que los del segundo predictor son positivos para las variables TG, TA, VV, CN y PA, y negativos para la UV (Fig. 2 y 3, Tabla 2).

Las mediciones de precipitación en PACHO evidencian la existencia de al menos 4 regímenes de lluvia. Los de mayor precipitación son en el área Norte de América del Sur y Centroamérica-Caribe, incluyendo las aguas cálidas del Pacífico Ecuatorial Oriental, Mar Caribe, y Pacífico de Centroamérica; y los de menor precipitación son en la Península de California-Costa Oeste de México y la

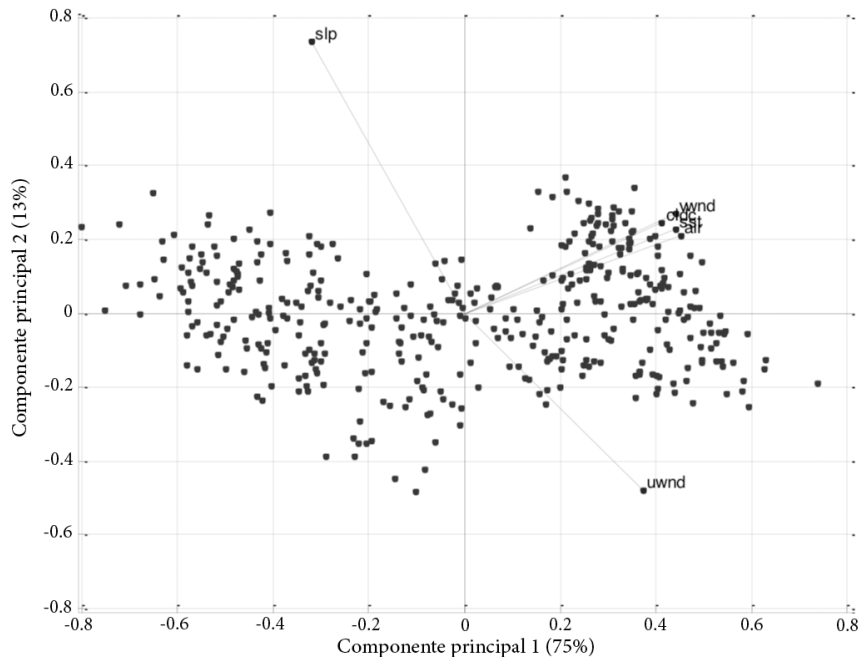


Fig. 2. Análisis de Componentes Principales de variables climáticas en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental.

Península de Florida-Costa Oeste de México, en donde se incluyen las aguas frías del Golfo de California, Pacífico de México y Golfo de México.

Por su parte, en los regímenes de lluvia que incluyen aguas del Pacífico, Norte de Suramérica y Península de California-Costa Oeste de México, los valores máximos se dan en la fase cálida del fenómeno ENOS (62%) o neutra (38%), mientras que los valores mínimos en la fase fría (75%) o neutra (25%). En los regímenes de lluvia que incluyen aguas del Atlántico, Centroamérica-Caribe y Península de Florida-Costa Este de México, los valores máximos se dan en la fase fría del fenómeno

ENOS (50%), neutra (25%) y en la fase cálida (25%), mientras que los valores mínimos en la fase fría (50%) o neutra (50%).

El primer predictor representa la precipitación y el segundo representa la relación lineal inversa entre la presión atmosférica y componente zonal del viento. Entre el primer predictor (75%) y segundo predictor (13%), queda representada el 88% de la varianza total del sistema de variables climáticas. El primer predictor tiene correlación positiva con la temperatura del agua (0.45), temperatura del aire (0.44), componente meridional del viento (44%), cobertura nubosa (0.41), componente zonal del viento (0.37) y negativa con la pre-

sión atmosférica (-0.32). El segundo predictor tiene correlación positiva con la presión atmosférica (0.74), componente meridional del viento (0.27), cobertura nubosa (0.24), temperatura del aire (0.23), temperatura del agua (0.21) y negativa con la componente zonal del viento (-0.48).

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 y componente zonal del viento con mayor rapidez del viento del Este. 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) alrededor de la recta de precipitación media; los meses de la estación lluviosa (junio-octubre) alrededor de la recta de precipitación máxima.

Los valores extremos de precipitación están en función del régimen de lluvia que a

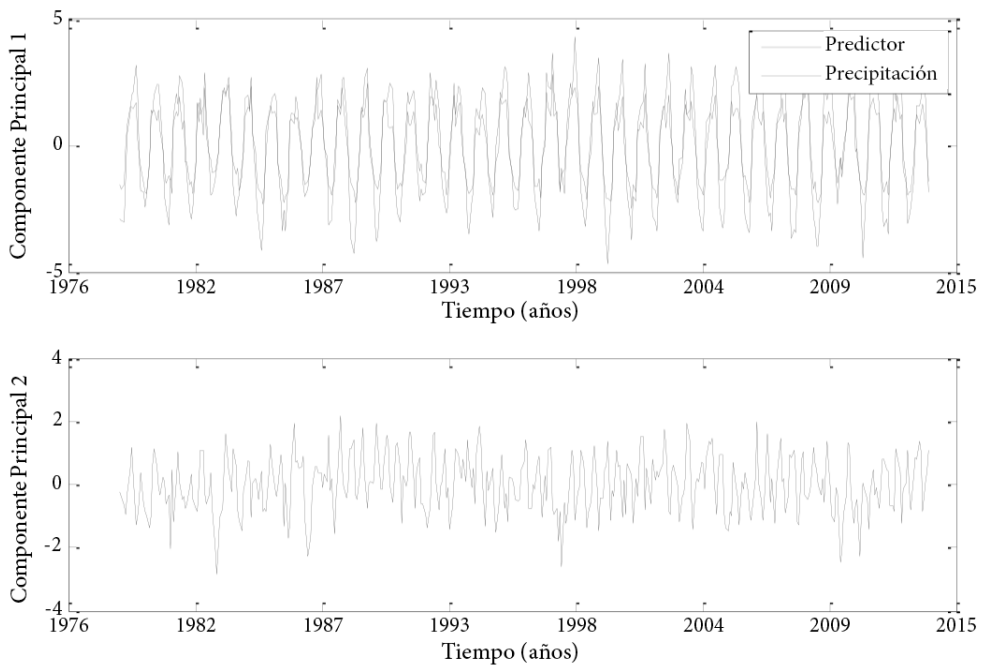


Fig. 3. Series temporales del primer (75% de la varianza) y segundo predictor (13% de la varianza). La correlación entre el primer predictor y la precipitación en la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental es del 94%.

TABLA 2

Ejes de Componentes Principales con matriz de correlación de las variables climáticas de la Piscina de Agua Cálida del Hemisferio Occidental (PACHO).

Variables	CP-1 (75%)	CP-2 (13%)
TR	0.44	0.23
TG	0.45	0.21
UV	0.37	-0.48
VV	0.44	0.27
PA	-0.32	0.74
CN	0.41	0.24

su vez es función de las grandes cuencas del 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 índice del Atlántico (ATL3 o AMM); los cuales también son anomalías: valor mensual actual menos valor mensual climatológico, de la temperatura del agua en la superficie del mar.

Los valores extremos de precipitación son función del régimen de lluvia, mes y año, por lo que se recomienda aplicar el análisis de componentes principales en cada una de las áreas con régimen de lluvia característico, a las series temporales mensuales y anuales de las anomalías de las variables climáticas.

ABSTRACT

As a result of the precipitation extreme values on El Salvador at 2010 and 2011 (Greater than 2,500 mm/year), against the climatology value of 1,800 mm/year, arises the question: ¿how are the ocean-atmosphere interactions when it occur precipitation extreme values? It studies the interactions between six climate variables at the Western Hemisphere Warm Pool: air temperature; water temperature; zonal wind component; meridional wind component; atmospheric pressure; cloudiness, and their relations with the occurrence of precipitation extreme values. Firstly, it was used the cluster analysis to identify the precipitation regimes at the Western Hemisphere Warm Pool (0°-30°N, 60°-120°W). Secondly, it was used the principal component analysis to identify new climate variables (Predictors) maximized the variance of the system. There exist at least four precipitation regimes at the Western Hemisphere Warm Pool: Eastern Tropical Pacific; Central America Pacific and Caribbean Sea; Mexico Pacific and California Gulf; Gulf of Mexico. It found that the first predictor, representing 75% of the total variance. Because of the precipitation extreme values depend on the precipitation regimes it recommend to apply the principal component analysis to the climate variables anomalies

at each ones and the canonical correlation analysis to the predictors and climate indexes (ONI, Niño3.4, ATL3, AMM).

Keywords: Equatorial processes, latent and sensible heat fluxes, climate variability impacts

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Everitt BS, Landau S, Leese M, Stahl D. 2011. Cluster analysis. 5th Edition. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley and Sons, Ltd. Publication.
- Deser C, Alexander MA, Xie S, Phillips A. 2010. S. Sea Surface Temperature Variability: Patterns and Mechanisms. *Annual Review Marine Science* 2010 2:115-43.
- Gurber 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.
- Jackson JE. 1991. A user's guide to principal components. Wiley-Interscience Publication. John Wiley and sons.
- Wang C, Lee SK, Enfield DB. 2008. Atlantic Warm Pool acting as a link between Atlantic Multidecadal Oscillation and Atlantic tropical cyclone activity, Special Issue of G3 Focusing on Interactions Between Climate and Tropical Cyclones on All Time Scales.
- Woodruff SD, Worley SJ, Lubker SJ, Zaihua Ji, Freeman JE, Berry DI, Brohan P, Kent EC, Reynolds RW, Smith SR, Wilkinsond C. 2011. ICOADS Release 2.5: extensions and enhancements to the surface marine meteorological archive. *International Journal of Climatology*. Royal Meteorological Society. 31:951-967.