

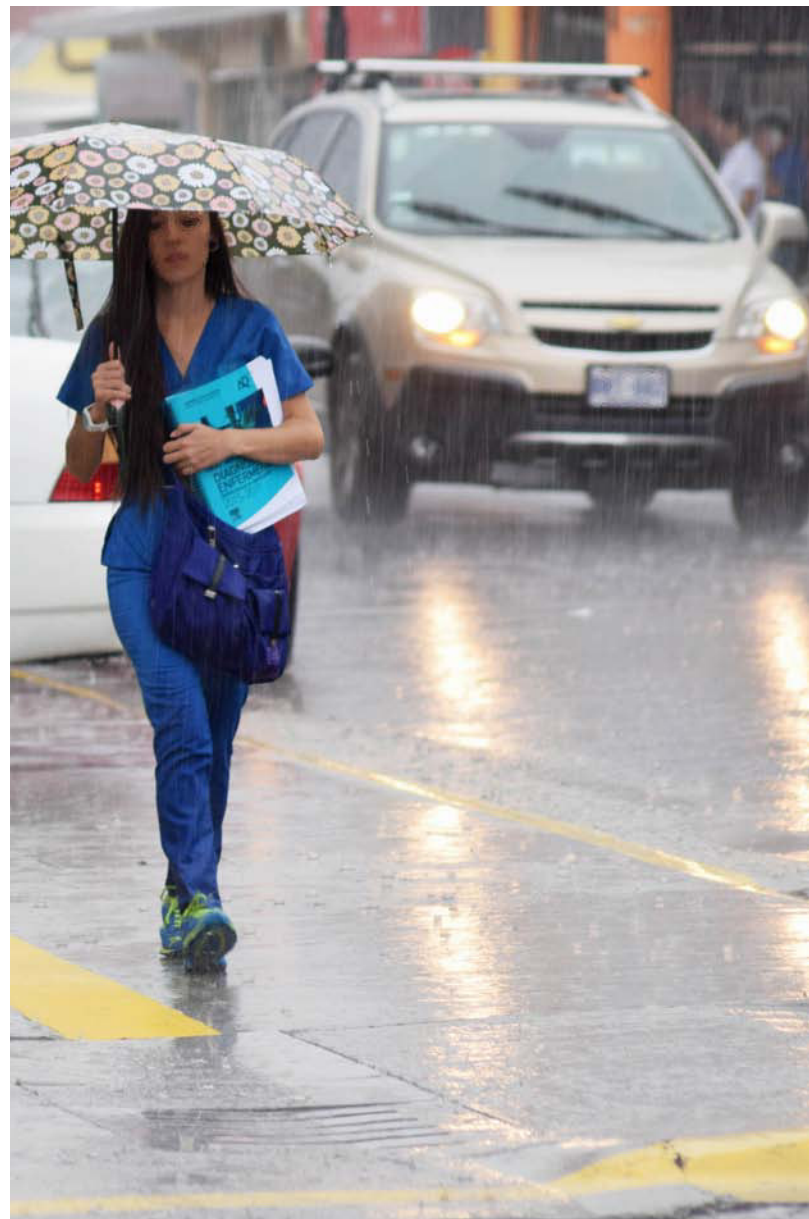
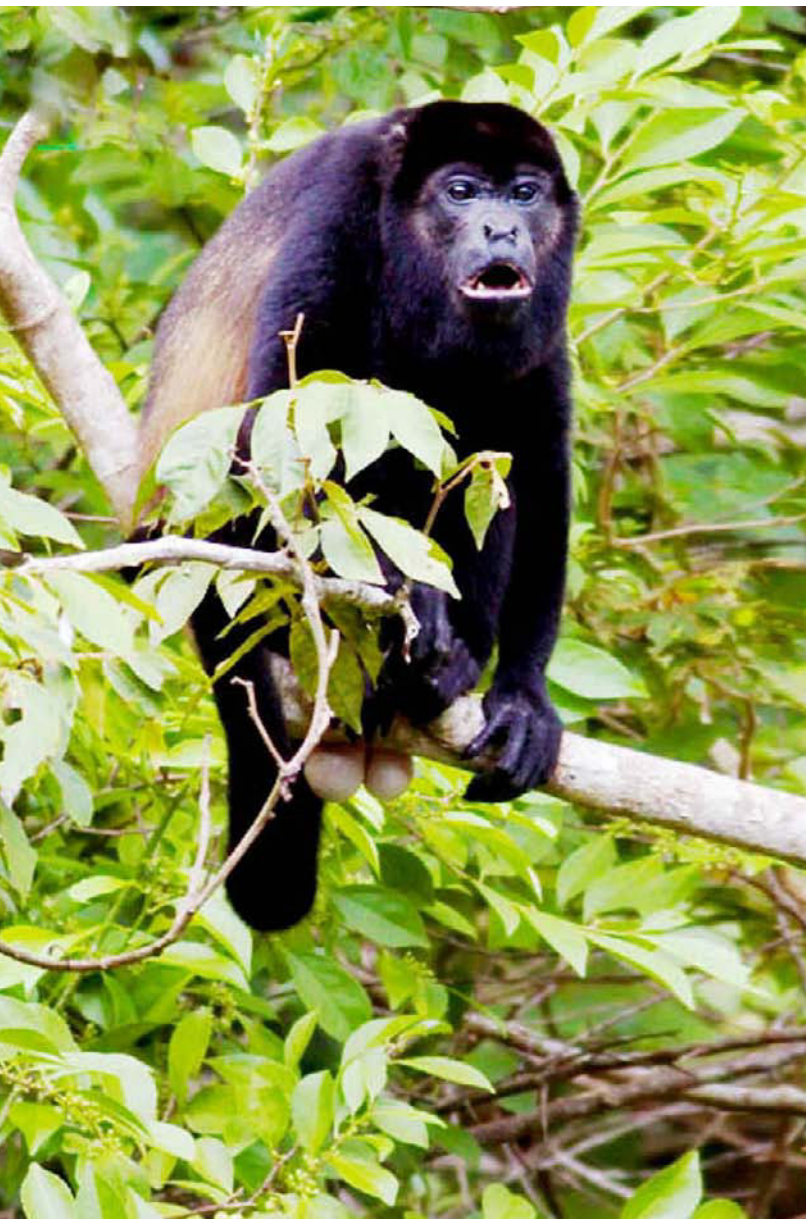
TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS



ISSN 1409 - 2034

Volumen 15

Junio 2016



TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

ISSN 1409 - 2034

Volumen 15

Julio 2016

Editora:

Dra. Gladys Jiménez Valverde

Director de publicación:

MSc. Roberto Villalobos Flores

Comité editorial:

Lic. Werner Stolz España Ing. José Alberto Retana Barrantes Lic. Luis Fernando Alvarado Gamboa

Diseño y diagramación:

Rodrigo Granados Jiménez

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.

CONTENIDO

- | Pág. | Artículo |
|------|---|
| 5 | Muerte de monos Congo (<i>Alouatta palliata</i>) en Costa Rica durante la sequía producto del evento El Niño 2015-2016
JOSÉ ALBERTO RETANA |
| 14 | El régimen pluviométrico en áreas montañosas de Costa Rica: Análisis del régimen de precipitación en la sección Suroccidental de la Cordillera de Tilarán, zona de influencia de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes
MARVIN E. QUESADA |
| 21 | Variabilidad y conexiones climáticas de la zona de convergencia intertropical del Pacífico Este
EVELYN QUIRÓS, HUGO G. HIDALGO |
| 37 | Assessment of Central America Regional Climate Outlook Forum maps, 1998-2013
ERIC J. ALFARO ¹ , HUGO G. HIDALGO ^{1,2} ,
NATALIE P. MORA ¹ , PAULA M. PÉREZ, BERNY FALLAS |
| 53 | Comportamiento histórico de la emisión de gases con efecto invernadero del sector agropecuario de Costa Rica
JOHNNY MONTENEGRO |

Variabilidad y conexiones climáticas de la zona de convergencia intertropical del Pacífico Este

EVELYN QUIRÓS¹
HUGO G. HIDALGO²

Resumen

El estudio de la banda de lluvias llamada Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), consistió en obtener las estadísticas de la variación en posición e intensidad del centro de masa de la precipitación, en una región que cubre América Central, el este del Pacífico Tropical y el norte de Sur América (10°S-25°N, 150°W-82°W). Los datos de Global Precipitation Climatology Project (GPCP) y del Tropical Rainfall Monitoring Mission (TRMM) fueron usados para calcular cuatro índices: la posición latitudinal y longitudinal del centro de masa, el promedio de precipitación para el dominio mencionado anteriormente y la dispersión latitudinal de la ZCIT. Una de las interacciones significativas de esta banda de lluvia fue con el índice del Chorro de Bajo Nivel del Caribe (Caribbean Low Level Jet, CLLJ), especialmente durante junio-julio-agosto, pero también surgen fuertes interacciones con patrones de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación Multidecadal del Atlántico (Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO) y el índice del Atlántico Norte Tropical (Tropical Northern Atlantic Index, TNA), sugiriendo conexiones entre el sector oriental del Pacífico tropical y el Atlántico, en diferentes escalas climáticas.

PALABRAS CLAVE: ZCIT, TRMM, GPCP, CLLJ, TNA, PACÍFICO TROPICAL ESTE, ENOS.

Abstract

The Intertropical Converge Zone (ITCZ) study, consisted in the analysis of the statistics of the variations in the position and intensity of its center of mass (CM-ITCZ) in a region covering Central America, the eastern tropical Pacific and northern South America. Data from Global Precipitation Climatology Project and Tropical Rainfall Monitoring Mission are used to compute four indexes that describe characteristics of the ITCZ: the latitudinal center of mass of precipitation, the longitudinal center of mass of precipitation, the average precipitation in a study region (10° S -25° N, 150° -82° W) and the latitudinal spread of precipitation. One of the meaningful interactions of this band of rain was with Caribbean Low Level Jet index (CLLJ), but also with El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) and Tropical Northern Atlantic Index (TNA) patterns suggesting connections at different scales between eastern tropical Pacific and Atlantic climatic processes.

KEY WORDS: ITCZ, TRMM, GPCP, TNA, CLLJ, PACIFIC TROPICAL EAST, ENSO.

1. Introducción

Los patrones de precipitación en América Central, se encuentran altamente relacionados con el desplazamiento latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que una franja de bajas presiones, nubosidad y lluvias que se sitúa en el norte de su migración latitudinal,

ubicándose sobre la región centroamericana en los meses de época lluviosa de la vertiente del Pacífico (abril a noviembre), y por el contrario se desplaza hacia el sur en los meses de época seca de la región (diciembre a marzo). Esta coexistencia, ha dado paso a que la posición de la ZCIT sea catalogada como uno de los principales factores que dan paso a las épocas seca y lluviosa,

1. MSc. en Hidrología. Instituto Costarricense de Electricidad. Email: equirosb@ice.go.cr

2. Doctor en Hidrología. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. Email: hugo.hidalgo@ucr.ac.cr

nombres con los que se definen los periodos de ausencia o presencia de lluvias, respectivamente, en América Central (Magaña, Amador & Medina, 1999; Small, De Szoeki & Xie, 2009).

La ZCIT ha mostrado tener variabilidad, tanto de la posición latitudinal como longitudinal, así como en intensidad, en escalas diarias, mensuales e interanuales, e incluso multidecenales (Schneider, Bischoff & Haug, 2014). Algunas de las variaciones en el Pacífico Central y Oeste han sido ampliamente estudiadas (Chen, Lin & Bacmeister, 2008; Okajima, Xie & Numaguti, 2003), mientras que en el Pacífico Este son menos los estudios, siendo uno de ellos el de Wang & Magnusdottir (2006).

Se busca definir un índice para monitorear la ZCIT y conocer de forma objetiva el valor de la posición media del principal eje de precipitación, logrando obtener un valor diario, mensual y anual de la posición e intensidad. La importancia de la presente investigación es el área de estudio, que abarca el Este del Pacífico, además del enfoque en las características para América Central y la utilización de los datos del Global Precipitation Climatology Project (GPCP) y del Tropical Rainfall Monitoring Mission (TRMM), utilizados en la metodología de centro de masa para la precipitación.

Con el análisis de la variación interanual de la ZCIT, se busca encontrar las posibles teleconexiones que pueden existir con los diferentes sistemas y fenómenos atmosféricos y oceánicos, como lo son El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el Chorro de Bajo Nivel del Caribe (Caribbean Low Level Jet o CLLJ) (Amador 1998, 2008), o anomalías en las temperaturas del Océano Atlántico. Se consideró importante conocer los detalles de esta interacción, ya que podría ser útil para apoyar los diagnósticos y pronósticos de las entradas y salidas de las épocas secas y lluviosas, al menos bajo diferentes configuraciones de los patrones atmosféricos y oceánicos que generan estos sistemas.

2. Metodología

2.1. Datos

Se utilizaron datos producto de la estimación de precipitación por satélite, de los campos de microondas obtenidos del Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (Huffman et al., 2007), en resolución temporal y espacial de 3-horas y $0.25 \times 0.25^\circ$ de la versión TRMM_3B42. Los datos de 3-horas fueron acumulados en periodos de 24 horas (usando como base la hora UTC-6) de cada día, entre el 1 enero de 1998 hasta el 31 de diciembre de 2013. Estos datos fueron usados para calcular los índices de la ZCIT a nivel diario.

Global Precipitation Climatology Project (GPCP) versión 2.2 (Adler et al., 2003), fue usada para calcular los índices de la ZCIT a nivel mensual, la cual contiene una combinación de observaciones de estaciones meteorológicas y estimaciones de satélite, en escalas de tiempo diarias y mensuales de lluvia de una grilla global de 2.5° , el periodo utilizado fue 1979-2012. El procedimiento de su funcionamiento se describe en Adler et al. (2003) y Huffman et al. (2007).

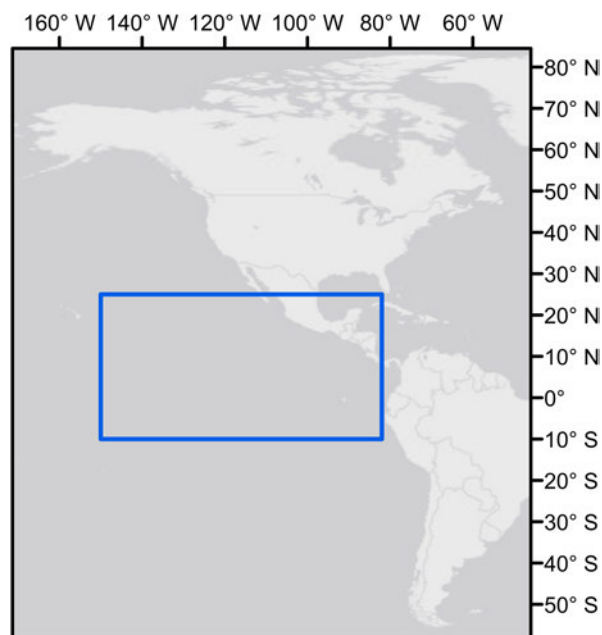
Para las comparaciones estadísticas y teleconexiones con procesos climáticos de gran escala se usaron índices atmosféricos y oceánicos, tales como los indicadores de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) de las regiones Niño1&2, Niño3, Niño4, Niño3&4, el índice Multivariado de ENOS (MEI) (Wolter and Timlin, 2011), el Índice Oceánico del Niño (ONI) (Climate Prediction Center, National Oceanographic and Atmospheric Administration, s.f.), Pacific Multidecadal Oscillation (PDO) (Mantua, Hare, Zhang, Wallace, & Francis, 1997), Patrón de Teleconexión Pacífico-Norteamérica (PNA) (Wallace & Gutzler, 1981), Índice de Oscilación del Sur (SOI) (Walker & Bliss, 1932; 1937), índice de temperatura del mar del Atlántico Norte Tropical (TNA) (Enfield, Mestas-Nunez & Trimble, 1999), y Oscilación Multidecenal del Atlántico (AMO) (Enfield et al. 2001).

Los datos del índice del CLLJ, que representan el promedio de la componente zonal del viento en el nivel de 925 hPa de la región comprendida entre los 7.5-12.5°N y 85-75°W (Amador, 1998), fueron calculados por medio de los datos del National Center for Environmental Prediction – National Center of Atmospheric Research Reanálisis reanalysis versión R1. Los datos están disponibles de 1948 al 2015 (Kalnay et al. 1996), para este estudio se utilizó el periodo de 1979 al 2012.

2.2. Método

Los análisis buscaban responder cómo la ubicación y la intensidad de la ZCIT se relacionan con grandes patrones climáticos, por lo que fueron analizados los momentos espaciales (media, latitud central y extensión longitudinal) de la precipitación zonal, promediados a lo largo de la región Centroamericana y del océano alrededor de esta región. Cada uno de los momentos espaciales se correlacionó con oscilaciones de gran escala y series de tiempo local.

Con TRMM y GPCP se generaron dos series de tiempo del centro de masa, de la precipitación diaria y mensual del área delimitada en la figura 1 (coordenadas 10°S-25°N y 150°W-82°W). La latitud y longitud del centro de masa fue calculado como un promedio de la latitud y longitud, pesadas con base en la precipitación de cada punto del dominio. Detalles de la formulación se pueden encontrar en Dettinger, Cayan, Díaz & Meko (1998). En cada serie de datos se calcularon índices para caracterizar la posición del centro de masa y la intensidad de la precipitación en el dominio de la ZCIT (figura 2). Los indicadores calculados son referidos a índices del centro de masa de la ZCIT (CM-ZCIT) y la lluvia en el dominio, incluyen su latitud (LATC) y su longitud (LONC), la precipitación media del dominio (P) y la dispersión latitudinal (SPREAD) ver definición en Dettinger et al. (1998); Cayan, Díaz y Meko (1998).



Simbología

□ Área datos TRMM y GPCP

Figura 1. Área utilizada para el cálculo del CM-ZCIT con las series TRMM y GPCP, recuadro azul.

En primera instancia se compararon los datos mensuales del periodo común, 1998-2012, para los valores del CM-ZCIT de las series de tiempo de GPCP y TRMM, además se elaboró una climatología basada en los 34 años de registro de GPCP (1979-2012).

Con el fin de determinar la influencia de oscilaciones oceánicas y atmosféricas en la variabilidad interanual e intermensual del CM-ZCIT, se compararon los datos de GPCP con diferentes índices climáticos. Las comparaciones se realizaron para los trimestres: DEF, MAM, JJA, SON. Además de los periodos definidos como época seca (diciembre a marzo) y época lluviosa (abril a noviembre).

En este caso se compararon los índices que representan al CM-ZCIT (LATC, LONC, P y SPREAD) con 13 índices oceánicos y atmosféricos, de los cuales nueve representan variaciones de los patrones del Océano Pacífico (Niño 1 y 2, Niño 4, Niño 3 y 4, Niño 3, PNA, PDO, SOI, MEI y ONI) y

tres representan el comportamiento del Océano Atlántico y el Mar Caribe (AMO, TNA y CLLJ).

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización climática de la ZCIT

La comparación de los datos mensuales del periodo común 1998-2012, para los valores del CM-ZCIT de las series de tiempo de GPCP y TRMM permitió encontrar discrepancias leves en cuanto a la ubicación del CM-ZCIT. Las correlaciones lineales entre la serie de TRMM y la de GPCP, indicaron una correlación lineal de 0.9 en los cuatro componentes del CM-ZCIT. Estas correlaciones son fuertes y significativas

debido a que contienen los ciclos anuales y que las amplitudes de las anomalías son pequeñas con respecto a estos ciclos anuales. Se considera que pese a que el periodo en común de los datos es corto (14 años), es suficiente para mostrar que el CM-ZCIT presenta una variación intraestacional importante en ambas series (figura 2).

El análisis de la variación zonal se realizó observando el comportamiento de LONC del CM-ZCIT (figura 2b), donde se encontró que LONC se ubicó más hacia el este en los periodos: 1998-2000, 2006-2009 y 2010-2012. Como se verá más adelante, esto está asociado a las anomalías en las temperaturas de la superficie oceánica que se presentaron en estos periodos y al comportamiento del CLLJ.

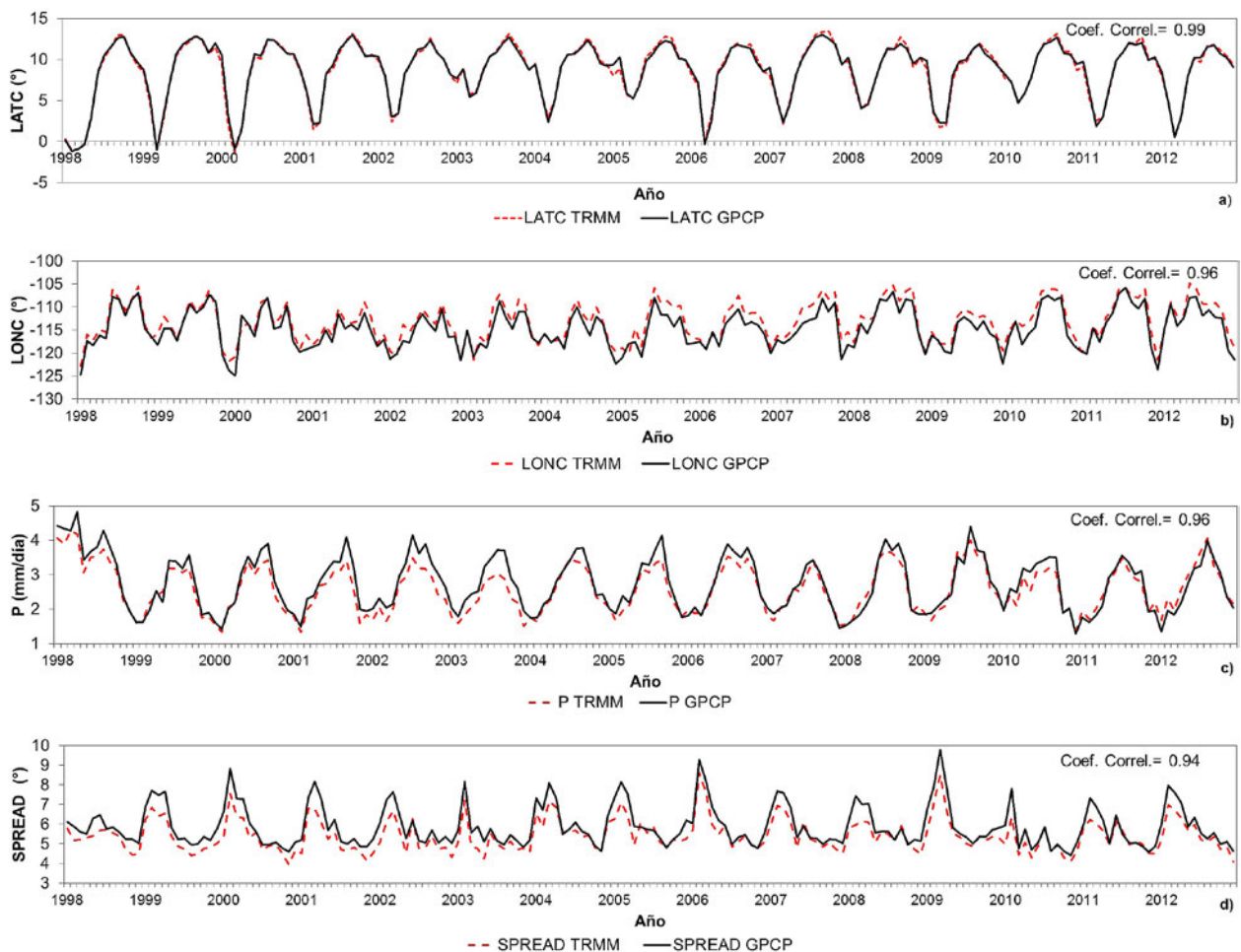


Figura 2. Índice CM-ZCIT, datos de TRMM y GPCP (1998-2012): a) LATC, b) LONC, c) P y d) SPREAD.

En cuanto a la variación meridional (figura 2a), se identificó que la posición de LATC fue más al sur durante los meses de marzo en los años 1998, 1999, 2000, 2006 y 2012.

Además, la variable LATC mostró que el desplazamiento de la latitud más al norte del CM-ZCIT ocurre en el mes de setiembre y la posición más al sur se presenta en marzo en ambas series de datos, GPCP y TRMM (figura 3a).

En general ambas series demostraron que en los meses de diciembre a abril el LONC del CM-ZCIT se ubica más alejado de América Central (cercano a los 118°W), mientras que entre mayo y noviembre se acercó al área de América Central, hacia los $108\text{-}112^{\circ}\text{W}$ (figura 3b), lo que corresponde con el periodo de lluvia de la región, donde el desplazamiento del centro de masa también incluye la posible influencia en el índice de las lluvias orográficas de América Central y de la región de Chocó en Colombia.

El análisis del comportamiento intermensual de P (figura 2c), mostró que el CM-ZCIT tiene años con un patrón bimodal marcado y otros en que no; se rescata que los años con patrón bimodal están relacionados con el “veranillo” o “Mid-Summer Drought” (MSD), (Magaña et al., 1999). En algunos de los años bimodales como 1998-2002, 2005-2006 y 2008-2012, se encontró que no en todos se presentó el máximo absoluto en el segundo periodo de lluvias (setiembre-octubre), que es lo usual en el patrón bimodal típico de la Vertiente del Pacífico centroamericano, como fue el caso de los años 1999-2001, 2005, 2009 y 2010. En cuanto a la intensidad (P) del CM-ZCIT los valores de precipitación son de 2-5 mm/mes (figura 3c).

Finalmente, la variación interanual de SPREAD (figura 2d) mostró que el 2009 (año con una transición de La Niña al inicio del año, a El Niño a partir del junio, según anomalía del ONI) fue el año con mayor dispersión del registro, mientras que

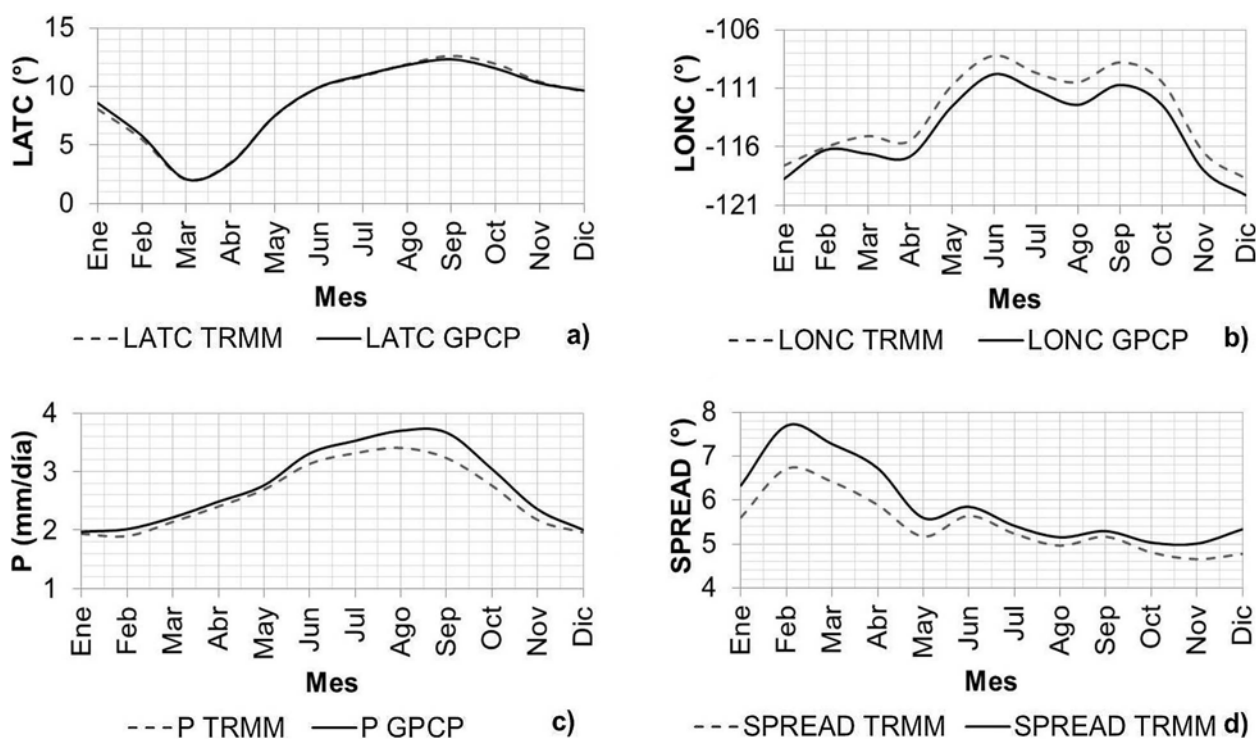


Figura 3. Ciclo anual de las series mensuales de TRMM y GPCP. Correlación lineal de 0.9 de ambas series. a) LATC, b) LONC, c) P y d) SPREAD. Periodo 1998-2012.

1998 (año que inicio con condiciones de El Niño y finalizó en condiciones de La Niña), presentó la menor dispersión de los datos. La variación mensual de SPREAD (figura 3d), indicó que el CM-ZCIT es más disperso en los meses de época seca con variaciones latitudinales de hasta 7°/mes, mientras que en los meses de época lluviosa éste mantiene una dispersión de 5-6°/mes. Como se verá luego, la ZCIT está climatológicamente más definida e intensa durante los meses de época lluviosa, presentándose como una franja de lluvias relativamente mejor definida, mientras que cuando la ZCIT se encuentra más al sur su forma es más dispersa.

En general, los datos mensuales del CM-ZCIT indican la necesidad de realizar un análisis detallado de las siguientes características: a) la variación del CM-ZCIT para diferentes años deja en evidencia que no siempre el segundo periodo de lluvias es el más fuerte para la región de análisis, b) se aprecia un leve cambio de posición e intensidad del CM-ZCIT en los meses de julio y agosto asociados a MSD y CLLJ, lo que provoca una disminución de lluvias en el Pacífico, periodo en el que se presenta un aumento bien conocido en las precipitaciones en el Caribe, y c) las variaciones en la temperatura superficial del mar (TSM) pueden explicar parte de la variación intraestacional e interanual del CM-ZCIT.

Los resultados obtenidos concuerdan con los patrones de lluvia conocidos de la región, lo que respalda el aporte que hace la información satelital a las mediciones en superficie para la mejor comprensión de los patrones que se presentan en la atmósfera de América Central. Ya que si bien existen redes de estaciones meteorológicas en tierra con las que se han estudiado estos patrones, el interés de esta investigación se centró en los aportes de las estimaciones satelitales de lluvia, que además brindan datos del CM-ZCIT en las regiones marítimas.

Es muy importante recordar, que desde el mar se desplazan hacia tierra núcleos activos de

convección profunda procedentes de la ZCIT, como los complejos convectivos de mesoescala, así como del paso de ondas tropicales o del aporte de humedad desde el Caribe facilitado por el aumento de intensidad del CLLJ, estas características han mostrado que el principal aporte de humedad para América Central proviene de las regiones oceánicas (Durán-Quesada, Gimeno, Amador y Nieto, 2010).

La climatología mensual del CM-ZCIT se basa en la serie obtenida de los datos de GPCP, por ser la de mayor longitud de registro (34 años). La comparación de la posición de LATC, LONC, P y SPREAD, de GPCP y TRMM se presenta en la figura 4.

Con respecto al patrón meridional (figura 4a), el promedio mensual del LATC resultó en una posición más al norte en el mes de setiembre (otoño del Hemisferio Norte), cuando alcanza en promedio los 12.3°N, en uno de los meses de mayor precipitación de la época lluviosa y más al sur en el mes de marzo (primavera de Hemisferio Norte), cuando desciende a los 3.2°N y se presenta el mes más seco de la época seca.

Es evidente que los meses de diciembre a marzo cuando LATC se ubica en su posición más al sur, son congruentes con la época seca de América Central, mientras que en latitudes más al norte del LATC ocurre en los meses de época lluviosa (mayo a noviembre).

Sin embargo en los promedios mensuales se reflejó pero en forma atenuada, el patrón bimodal de las precipitaciones tipo Pacífico que suelen presentarse con una disminución entre julio y agosto, se observó que la variación latitudinal de la ZCIT no es totalmente responsable del patrón bimodal, en acuerdo con lo mostrado por Magaña et al. (1999). Del análisis interanual del LATC en el periodo de 1979-2012, se encontró que en 11 años (32%) la posición en los meses de julio y agosto fue menor que la de junio y durante los restantes 23 años esta condición no se presentó.

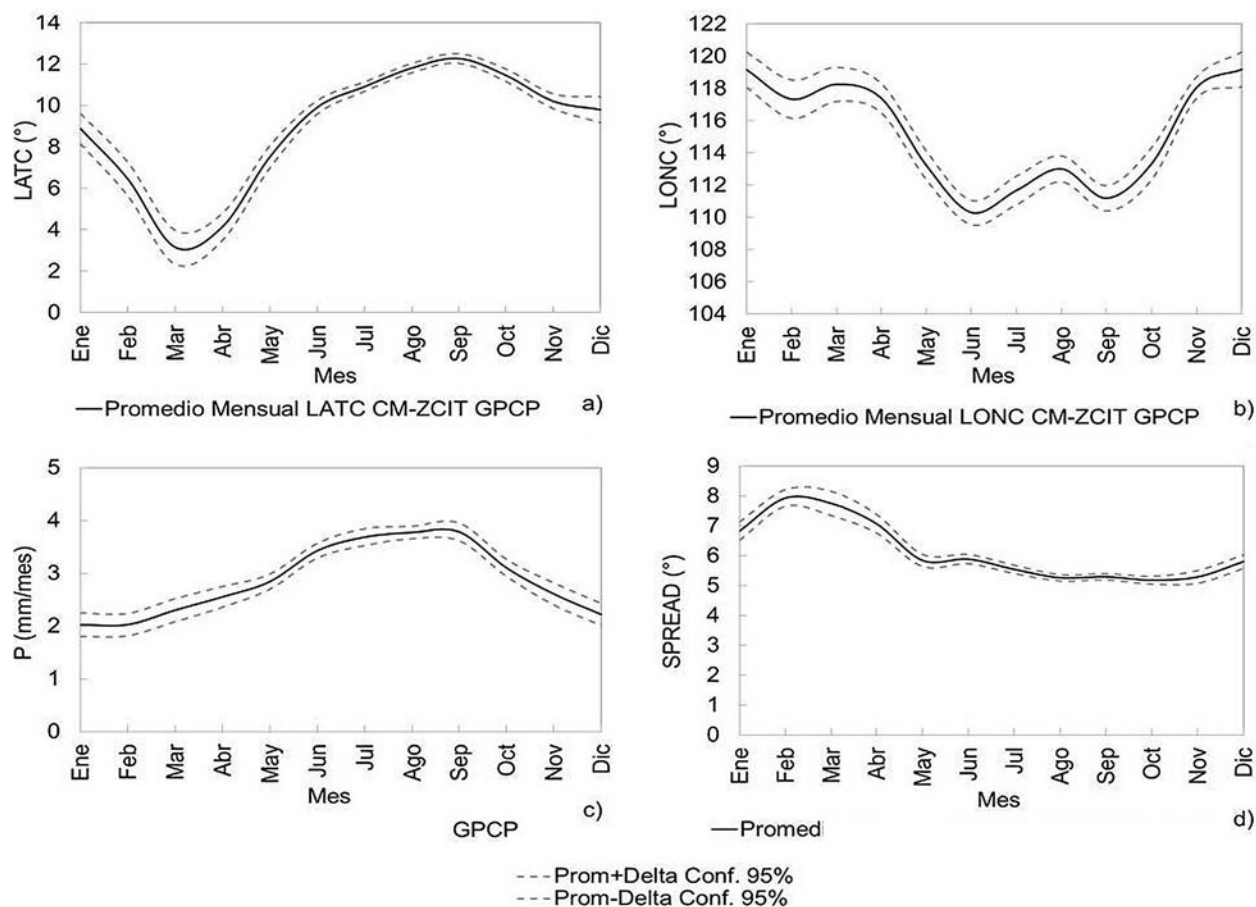


Figura 4. Patrón estacional del CM-ZCIT, basada en datos del GPCP. Periodo 1979-2012. a) variación meridional LATC ($^{\circ}$ /mes), b) variación zonal LONC ($^{\circ}$ /mes), c) variación de la precipitación P en (mm) y d) variación mensual de la SPREAD ($^{\circ}$ /mes).

En cuanto a la variación intraestacional de LONC del CM-ZCIT (figura 4b), se observó que LONC presenta su posición más al oeste en el mes de diciembre y más al este en el mes de junio. Evidentemente, entre los meses de junio y setiembre es cuando LONC está más cercano a América Central, lo que corresponde con el aumento de las precipitaciones en la época lluviosa de la región.

Además, se identificó en el promedio de LONC una característica interesante entre julio y agosto, donde LONC mostró una desviación hacia el oeste, es decir, con tendencia a alejarse de América Central. Esta característica tuvo lugar en el 85% de los años (de 34 años de registro en 29 años LONC estuvo más al oeste en los meses

de julio y agosto). Esta característica puede estar relacionada con la reducción de precipitación en la vertiente Pacífica durante el MSD, periodo en el que además se aceleran los vientos del noreste y este y se da el máximo del CLLJ.

En la variación intermensual de P mostrada en la figura 4c, el patrón bimodal resultó menos perceptible, sugiriendo que es un reflejo del cambio en los patrones de lluvias por la presencia o ausencia del MSD. Los resultados indican una relación baja entre la posición latitudinal de la ZCIT y los efectos del MSD, pero sugieren una mayor relación entre la posición longitudinal de la ZCIT en julio-agosto mostrando una dependencia mayor al CLLJ.

En este caso, la definición del CM-ZCIT que se está utilizando en el presente estudio, corresponde a la región del Pacífico Tropical este. Cuando se trabajó en un dominio que abarcó una mayor porción de la región del Mar Caribe, como el mostrado en Hidalgo, Duran, Amador y Alfaro (2015), la disminución de P en julio y agosto fue estadísticamente significativa, vinculada al MSD. Esta característica puede ser un indicio de que el CLLJ deja de manifestarse en algún punto del Pacífico y que en consecuencia el MSD tiene un límite zonal en el que deja de presentar su

influencia. Podría ser el reflejo de que el MSD es más consistente en el continente; en Magaña et al. (1999) también se muestra que el MSD tiene presencia en muchos lugares del Pacífico.

En SPREAD figura 4d, se observa que de diciembre a abril la dispersión del CM-ZCIT es mayor que la de los restantes meses del año o época lluviosa de América Central, esta característica se asocia con la posición de los núcleos de precipitación que conforman la ZCIT en estos periodos, como se verá en detalle más adelante.

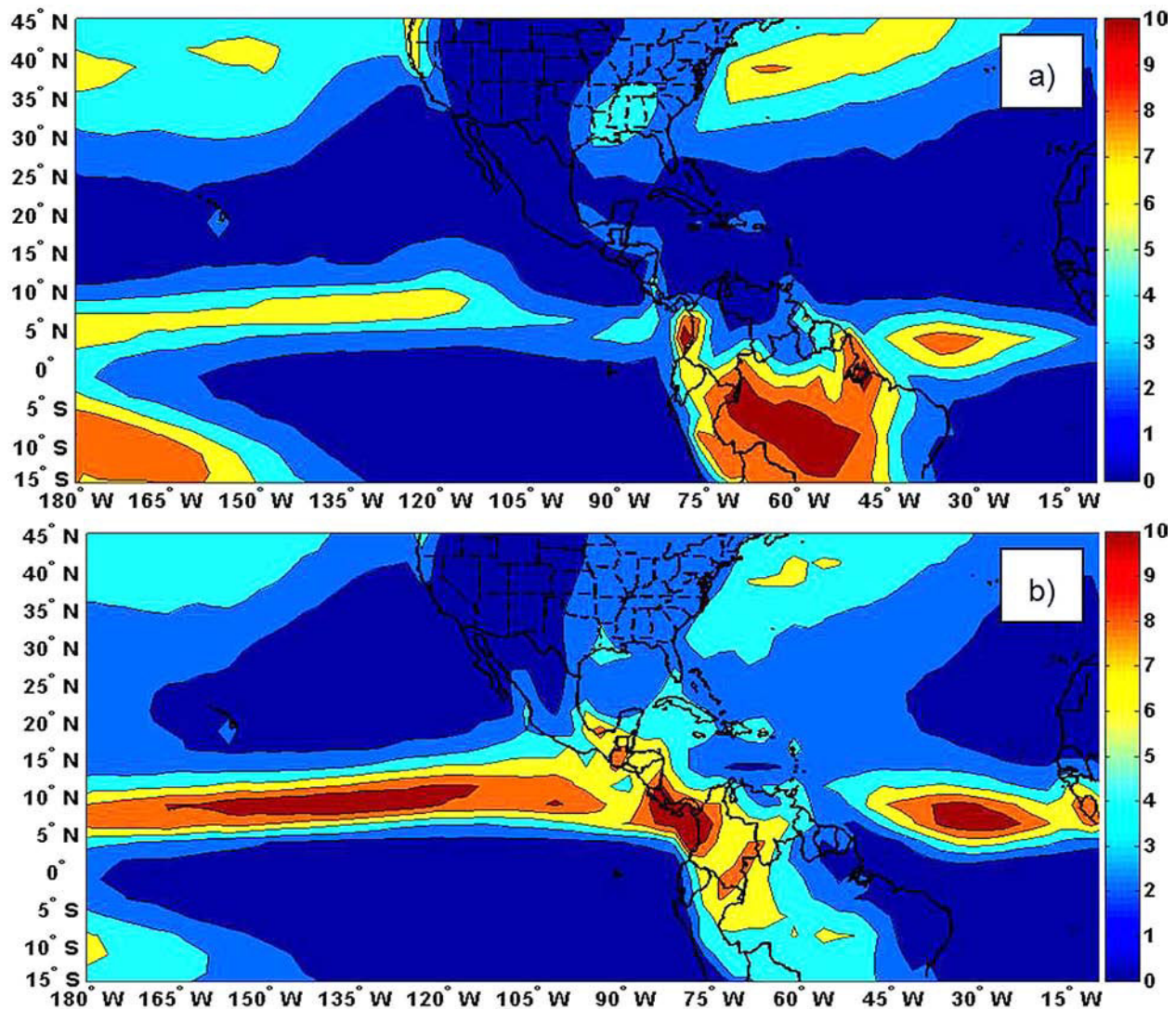


Figura 5. Ubicación espacial de la ZCIT en el trimestre a) DEF y b) JJA, con datos de precipitación (mm/mes) del GPCP del periodo 1979-2012.

Debido a la alta importancia que tiene el MSD en la distribución de las lluvias en América Central se realizó un análisis de los años individuales, ya que el promedio del conjunto de años (1979-2012) enmascara la disminución de P. En la serie P la disminución entre julio y agosto se presentó en el 59% de los años, exactamente 20 años tuvieron esta característica, de los cuales seis años presentaron la disminución en julio y 14 años en agosto.

Quirós (2015) realizó un análisis de la distribución espacial intraestacional de la ZCIT, para lo que se prepararon los mapas promedio mensual de la ZCIT en el Pacífico Tropical este. La climatología indicó, que efectivamente la ZCIT se desplaza al sur y se debilita en los meses de diciembre a marzo. Se verificó que en abril la ZCIT aumenta de intensidad al tiempo que se desplaza hacia el norte, este mes se caracteriza por ser de transición entre la época seca y la lluviosa en Costa Rica.

También se observó, una característica importante que denota los posibles efectos en la ZCIT con otros sistemas tropicales. En los meses de diciembre a mayo la ZCIT se observa como una sola banda de lluvia, mientras que a partir de junio con el inicio de la época de ciclones tropicales y ondas tropicales la ZCIT se comienza a observar fragmentada, con una deformación en los 90-88°W tal como se demostró en Quirós (2015).

De esta observación se destacan tres condiciones que formaron parte de la hipótesis de trabajo de esta investigación: a) se puede apreciar la porción de la banda de lluvia que se mantiene como ZCIT y permite distinguir con facilidad la porción que corresponde a la Vaguada Monzónica Ecuatorial, definida como “la porción de la ZCIT, donde la vorticidad ciclónica es máxima con el flujo monzónico del suroeste, ubicado al sur del eje de la vaguada” (TAFB, 2011; Quirós, 2015), b) esta deformación de la banda de lluvia en muchos de los casos es producto del paso de ondas tropicales, bajas presiones y la formación de ciclones tropicales, tanto los que se originan

en el Pacífico como los que pasan por el Mar Caribe, provocando que en la climatología se pueda observar su influencia sobre la ZCIT y c) se ve la porción que se mantiene a lo largo del año, predominantemente sobre el continente, desde Colombia a Venezuela, que experimenta mayor fricción y un menor desplazamiento latitudinal.

La observación de la distribución espacial de precipitación indica que existen dos núcleos donde se concentra la intensidad máxima de lluvia de la ZCIT, un sector ubicado entre los 95-130°W y otro entre los 95-75°W, los que se evidenciaron en todos los trimestres DEF, MAM, JJA y SON (DEF y JJA se presentan en la figura 5).

3.2. Variabilidad de la CM-ZCIT con índices oceánicos y atmosféricos

En América Central existen procesos oceánico-atmosféricos que modifican el tiempo atmosférico de la región, entre los que se encuentran el ENOS, las temperaturas del mar en el Atlántico, el CLLJ y otros (Hidalgo et al. 2015). Descripciones de esos procesos se encuentran en Amador et al. (2008, 2016).

En los cuadros 1 y 2 se muestran las correlaciones entre los índices que representan al CM-ZCIT (LATC, LONC, P y SPREAD), y 13 índices oceánicos y atmosféricos. Se resaltan las correlaciones más fuertes ($|r| \geq 0.34$, significativas al 95%). Las altas correlaciones representan un claro indicativo de que las temperaturas oceánicas cumplen un fuerte rol en la posición e intensidad de la ZCIT del Pacífico Este, concordando con los estudios de Okajima, Xie y Numaguti (2003).

En el periodo invernal del Hemisferio Norte (correspondiente al trimestre DEF), las correlaciones fueron altas para LATC, LONC y P con la mayoría de los índices vinculados al ENOS y de LATC con PNA (cuadro 1), verificando la alta dependencia de CM-ZCIT con las TSMs y las condiciones atmosféricas del Pacífico Ecuatorial.

Cuadro 1. Resultados del análisis de las correlaciones lineales del CM-ZCIT con índices oceánicos y atmosféricos para DEF y MAM. Periodo 1979-2012. $|r| \geq 0.34$ significativo al intervalo de confianza del 95%

Período Índice	DEF				MAM			
	LATC	LONC	P	SPREAD	LATC	LONC	P	SPREAD
Niño 1&2	-0.84	-0.49	0.85	-0.15	-0.62	0.14	0.82	-0.41
Niño 4	-0.19	-0.36	0.49	0.08	0.21	-0.41	0.44	-0.44
Niño 34	-0.50	-0.47	0.75	0.07	-0.13	-0.34	0.79	-0.43
Niño 3	-0.67	-0.48	0.84	-0.03	-0.48	-0.04	0.90	-0.44
PDO	-0.17	-0.06	0.30	0.24	-0.01	-0.26	0.49	-0.04
SOI	0.43	0.58	-0.78	-0.36	0.05	0.34	-0.66	0.25
MEI	-0.53	-0.51	0.79	0.16	-0.28	-0.27	0.90	-0.38
ONI	-0.50	-0.46	0.75	0.08	-0.10	-0.36	0.80	-0.39
PNA	-0.48	-0.04	0.34	-0.02	-0.17	0.13	0.36	-0.19
CLLJ	-0.33	0.04	0.35	0.15	0.20	-0.23	0.30	-0.07
AMO	-0.21	0.23	-0.04	-0.62	-0.31	0.40	0.20	-0.74
TNA	-0.13	0.24	-0.01	-0.44	-0.07	0.24	0.32	-0.63

Cuadro 2. Resultados del análisis de las correlaciones lineales del CM-ZCIT con índices oceánicos y atmosféricos para JJA y SON. Periodo 1979-2012. $|r| \geq 0.34$ significativo al intervalo de confianza del 95%

Período Índice	JJA				SON			
	LATC	LONC	P	SPREAD	LATC	LONC	P	SPREAD
Niño 1&2	-0.91	0.02	0.84	0.60	-0.84	-0.11	0.89	0.72
Niño 4	-0.48	-0.59	0.22	0.25	-0.51	-0.63	0.60	0.43
Niño 34	-0.71	-0.55	0.46	0.36	-0.76	-0.55	0.76	0.63
Niño 3	-0.90	-0.32	0.67	0.46	-0.85	-0.39	0.83	0.69
PDO	-0.40	-0.18	0.63	0.43	-0.36	-0.22	0.51	0.56
SOI	0.55	0.62	-0.42	-0.26	0.52	0.56	-0.71	-0.72
MEI	-0.86	-0.43	0.71	0.56	-0.71	-0.53	0.83	0.71
ONI	-0.70	-0.56	0.49	0.37	-0.76	-0.56	0.76	0.63
PNA	-0.16	0.19	0.18	0.01	0.06	0.47	-0.14	-0.02
CLLJ	0.59	0.67	-0.48	-0.24	0.37	0.41	-0.63	-0.51
AMO	0.05	0.43	-0.21	-0.26	-0.02	0.30	-0.14	-0.31
TNA	-0.01	0.54	-0.04	-0.12	-0.14	0.24	-0.07	-0.21

En el trimestre DEF el signo opuesto que muestran las correlaciones de LATC y LONC con los índices oceánicos del ENOS, indica que para una anomalía positiva de la TSM del Pacífico Tropical (El Niño), más lejana será la ubicación de CM-ZCIT con respecto a América Central; asimismo, para los índices del ENOS (MEI y ONI). El signo opuesto en MEI, también es congruente con una ZCIT más alejada de la región y con más intensidad, y los signos de las correlaciones positivos con SOI indican una ZCIT más lejana, dado que con LATC

tuvo una correlación de 0.43 y de 0.85 con LONC, al mismo tiempo más intensa por la correlación de signo negativo con P (-0.78) y más dispersa por la correlación con SPREAD (-0.36).

Además, en este trimestre es interesante observar que la ZCIT presenta una correlación muy alta de P con las cuatro regiones de El Niño, mostrando valores de 0.49 a 0.85, los cuales indicarían que el periodo de DEF puede tener una ZCIT más activa en cantidad de precipitación en el Pacífico Tropical

Este, con temperaturas oceánicas cálidas en las regiones de El Niño justo en los meses de época seca de la región de América Central.

Por otra parte, con los índices que representan los patrones de TSM del Océano Atlántico se obtuvieron correlaciones significativamente altas de la componente SPREAD con AMO y TNA durante DEF, sugiriendo que temperaturas oceánicas del Atlántico más cálidas (frías) se asocian con una menor (mayor) dispersión de los núcleos nubosos de la ZCIT. Las razones para esta relación son aún desconocidas, ya que no hay evidencia de que estas variables climáticas tengan relación con LATC, lo cual hubiera justificado la correlación dado que posiciones más al norte de la ZCIT son usualmente relacionadas con menor dispersión (figura 4).

Es decir, un Pacífico Ecuatorial cálido (frío) resultaría en una ZCIT más lejana a América Central, pero con una mayor (menor) dispersión de los núcleos convectivos de la ZCIT y mayor fractura de la banda de lluvia, lo que en consecuencia podría estar indicando que la dispersión de la ZCIT se debe a los vientos alisos del Hemisferio Norte que se ven acelerados (débiles), lo que ocurre por ir de una masa fría (cálida) a una cálida (fría), lo mismo que se manifestó para un Atlántico frío (cálida). Para ver más detalles del efecto del dipolo de temperaturas de ambos océanos sobre la ZCIT, son necesarios análisis de la combinación de índices del Pacífico con los del Atlántico.

En la primavera del hemisferio norte (MAM), las correlaciones significativas se presentaron entre los índices del ENOS y P, LATC y LONC, indicando un CM-ZCIT más lejano de América Central, condición que se podría esperar cuando las regiones del Niño 1&2 y del Niño 3 están cálidas, una ZCIT más al oeste depende más de la región Niño 4 (ver cuadro 1).

Gran parte de la posición del CM-ZCIT tiene que ver con el establecimiento de núcleos de convección

en el Pacífico Central, durante eventos cálidos de ENOS (El Niño) y la consecuente disminución de esta precipitación durante los eventos fríos de ENOS (La Niña).

Sin embargo, la intensidad de la ZCIT indicada por P y SPREAD, mostró que en condiciones cálidas de las regiones del ENOS es altamente probable una ZCIT con mayores cantidades de lluvia, lo que indica núcleos de nubes convectivas importantes. Esto no contradice el hecho de que con un evento El Niño, América Central presente importantes déficit de lluvia, ya que el dominio está cargado hacia la parte oceánica y lo que indican las correlaciones es que pese a que la ZCIT puede estar con núcleos de lluvia intensos, estos estarían muy separados de América Central posiblemente localizados en los núcleos de convección en el Pacífico Tropical Central y no en la costa Pacífica de América Central, mostrando una ZCIT mal definida (poco robusta). De hecho, es posible que la acción de estos centros de convección en el Pacífico Central o la influencia de procesos climáticos del Caribe, promuevan una circulación zonal con ramas descendentes que favorezcan la subsidencia en el Pacífico del istmo, causando bajas precipitaciones durante eventos de El Niño (Hidalgo et al. 2015). Además, se observaría una ZCIT más fragmentada o deformada por la presencia de más ciclones tropicales en la cuenca del Pacífico Oriental en eventos de El Niño y los núcleos separados de la ZCIT se relacionan directamente con la convección de los ciclones, que tienen un movimiento natural que los aleja de las costa de América Central y dejan más seca la región.

Dado lo anterior, cuando las TSM del Pacífico Ecuatorial son más cálidas, la porción más intensa de la ZCIT estaría más alejada de América Central y por lo tanto los resultados son congruentes con los patrones de lluvias y temperatura ambiente observados en la región. Una ZCIT más robusta y cercana a América Central podría favorecer las precipitaciones del inicio de la época lluviosa,

que tiene lugar justamente entre abril y mayo, lo contrario se podría presentar con el escenario de una ZCIT más lejana y dispersa.

En MAM las correlaciones también fueron altas con el AMO y TNA, es decir que temperaturas oceánicas del Atlántico más cálidas (frías) se asociaron con una menor (mayor) dispersión de los núcleos nubosos de la ZCIT, de igual forma que se había observado para DEF.

Al analizar el trimestre que corresponde al verano del Hemisferio Norte (JJA) cuadro 2, se encontraron las correlaciones altas entre el índice del Niño1&2 y Niño3 con LATC, con P y con SPREAD, indicando que a temperaturas cálidas de la región Niño1&2, o bien de Niño 3, el CM-ZCIT estará más al sur, más intenso y con más dispersión; bajo estas mismas características para el CM-ZCIT se encontraría a la ZCIT por las correlaciones con las regiones Niño4 y Niño3&4, pero con estas se obtuvo además una buena correlación con LONC que podría estar indicando una ZCIT más al oeste en cuanto las TSM sean cálidas en el Pacífico, lo cual es consistente con la presencia de núcleos convectivos en el Pacífico Central.

Es importante resaltar, que los otros tres índices asociados al ENOS (SOI, MEI y ONI) también indicaron una ZCIT más hacia el sur, más al oeste, con mayor P y mayor SPREAD bajo condiciones del ENOS cálido y viceversa para condiciones frías del ENOS.

En JJA se encontró una buena correlación de PDO con LATC, P y SPREAD, la existencia de una relación significativa entre el comportamiento de la ZCIT y la PDO sugiere que cuando se presenta la fase positiva de la PDO la ZCIT se observaría más hacia el sur, más fuerte y más dispersa y lo opuesto cuando PDO está en fase negativa, es decir con condiciones similares a las de ENOS, sumándose a los efectos de la ZCIT cuando PDO es positiva (negativa) y el ENOS cálido (frío). Es interesante recalcar el papel de la PDO en el clima del Pacífico (Mantua, Hare, Zhang, Wallace y

Francis, 1997; Minobe, 1997), ya que su influencia sugiere que la precipitación en América Central puede tener influencias de carácter multidecenal, proporcionada por las variaciones climáticas del Pacífico Norte.

Por otra parte, resulta interesante que en el verano del hemisferio norte aparezcan correlaciones altas y del mismo signo con los índices que representan anomalías (en las TSM y presiones atmosféricas) del Océano Atlántico y Mar Caribe (AMO, TNA y CLLJ), tal es el caso de TNA y AMO con LONC (0.43 y 0.54, respectivamente), que manifiestan una ZCIT más al este, con las anomalías positivas en estos índices sugiriendo que tanto para la escala decenal como mensual condiciones más cálidas en el Atlántico corresponden con un CM-ZCIT más cercano a América Central, posible influencia en el centro de masa de la lluvia del Caribe de la región.

La relación más interesante se presentó entre CLLJ con tres de las cuatro componentes del índice de CM-ZCIT, las correlaciones del CLLJ fueron de 0.59 con LATC, 0.67 con LONC y -0.48 con P, en acuerdo con Hidalgo et al. (2015) que sugiere que cuanto mayor sea la magnitud del índice del CLLJ, más al sur, más al oeste y débil estará la ZCIT, lo que tiene como resultado que la región de América Central reciba un déficit de precipitaciones en la vertiente Pacífica. El mecanismo de esta conexión se sugiere en Hidalgo et al. (2015).

En el otoño del hemisferio norte (SON), es particularmente interesante ver cómo para todos los índices ENOS se presentan correlaciones significativamente altas con SPREAD, esta constante relación indica que en este trimestre la ZCIT se puede observar más dispersa y fracturada, como también lo sugiere Hidalgo et al. (2015). Además, se mantienen los valores de correlaciones significativamente altas con los índices del ENOS y las componentes LATC, LONC y P.

Al mismo tiempo, en dicho trimestre se mantienen las correlaciones altas con CLLJ y las cuatro componentes del CM-ZCIT, indicando una ZCIT

más hacia el sur, más al oeste, más débil y menos dispersa, cuando el CLLJ se encuentra fuerte, por el contrario una ZCIT más al norte, más al este, más intensa y más dispersa, cuando el CLLJ está débil. Esto sugiere una importante contribución de las condiciones del Atlántico en el trimestre de SON, meses de la época lluviosa de la región de América Central, vinculadas a la posición de la ZCIT. Un cambio tan importante en la posición de la ZCIT implica una disminución del mecanismo que aporta una componente muy fuerte de la humedad, que necesita América Central para su producción de lluvia, justo en los meses (SON) en los que la época lluviosa alcanza su máximo de actividad.

4. Conclusiones

El valor de utilizar las series de datos de lluvia estimada con importantes aportes de la información satelital, permite conocer cómo éstos reaccionan a los patrones de precipitación conocidos en la región de América Central, lo que permite tener una base para comparar con los estudios de cambio climático, en los que la validación del modelo la realizan con datos estimados o reanalizados.

Además, CM-ZCIT se encuentra en promedio más tiempo en la región tropical norte y en el equinoccio de primavera alcanza su posición más al sur, según se observó en ambas series de datos, GPCP y TRMM.

En resumen los patrones mensuales de las dos series, mostraron las principales características del patrón de lluvias de América Central, aunque el comportamiento bimodal en la precipitación solo se presentó en algunos años.

Pese a que la posición promedio de la ZCIT no se ve claramente afectada durante el MSD, el análisis de los años individuales indicó que la disminución entre julio y agosto se presentó en un 59% de

los años, exactamente 20 años tuvieron esta característica, de los cuales seis años presentaron la disminución en julio y 14 años en agosto. También, las series mostraron que en la segunda mitad del año se presenta un máximo entre setiembre y octubre, que se caracteriza por ser el periodo máximo de la época lluviosa y que como indicaron las series analizadas no se presentó en todos los años.

En el promedio de LONC, la característica más interesante se presentó entre julio y agosto, donde LONC indicó una desviación hacia el oeste, con tendencia a alejarse de América Central en esos meses durante eventos cálidos del ENOS.

En la variación intermensual de P, el patrón bimodal resultó menos perceptible posiblemente por la amplia zona del Pacífico Este ecuatorial de la que se extrajeron los datos.

La correlación alta de P con las cuatro regiones de El Niño, indicaría que el periodo de DEF puede tener una ZCIT más activa en cantidad de precipitación, con temperaturas oceánicas cálidas en las regiones de El Niño.

El aumento (disminución) de P con eventos cálidos (fríos), se asocia a la presencia de una mayor actividad convectiva, provocada por la presencia de mayor cantidad de calor latente disponible en la zona ecuatorial, con temperaturas oceánicas y atmosféricas más cálidas. Este resultado concuerda con los obtenidos por Quirós y Alfaro (2009), en donde temporadas de mayor precipitación en la región sobre y alrededor de la Isla del Coco (ubicada en el Pacífico Ecuatorial) se asociaron a eventos cálidos del ENOS.

Las correlaciones de los índices del ENOS con SPREAD, reflejan que condiciones oceánicas y atmosféricas del ENOS en fase cálida tendrán una alta posibilidad de una ZCIT dispersa, con lo que se esperaría un ingreso de núcleos convectivos a tierras centroamericanas en menor frecuencia,

además por la correlación alta con P se esperaría que estos núcleos aunque sean dispersos, pueden ser intensos y aportar un alto contenido de precipitación, porque tuvieron un buen contenido calórico y de humedad para su desarrollo.

Los resultados obtenidos de las correlaciones lineales consideradas, indicaron que existe una estrecha relación de la variabilidad intraestacional de la ZCIT, en respuesta a los cambios que tienen las celdas de Hadley con las variaciones de presión atmosférica que son consecuencia de los cambios en la TSM de la franja tropical.

Estos resultados están en acuerdo con los análisis realizados por Fallas y Alfaro (2012), que muestran a través de análisis canónicos con un gran número de estaciones de América Central, la alta influencia que ambas masas oceánicas tienen sobre los patrones de lluvia de la región. Al mismo tiempo se mantienen las correlaciones altas de CLLJ con las componentes del CM-ZCIT, sugiriendo una ZCIT más hacia el sur, más al oeste, más débil y menos dispersa cuando el CLLJ se encuentra fuerte, y por el contrario una ZCIT más al norte, más al este, más intensa y más dispersa cuando el CLLJ está débil. Esto significa una importante contribución de las condiciones de Atlántico en el otoño para la región de América Central, vinculadas a la posición de la ZCIT. Un cambio tan importante en la posición de la ZCIT, implica una disminución del mecanismo que aporta una componente muy fuerte de la humedad, que necesita América Central para su producción de lluvia, justo en los meses (SON) en los que la época lluviosa alcanza su máximo de actividad.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a Dr. Eric Alfaro, Dr. Jorge Amador y Dr. Walter Fernández por sus valiosas sugerencias y comentarios. También expresan su agradecimiento al Centro de Investigaciones Geofísicas por haber proporcionado apoyo en la

generación de algunos de los datos utilizados en esta investigación.

Hugo Hidalgo es financiado parcialmente por los proyectos 805-B3-413, B4-227, A9-532 (CSUCA-ASDI), B3-600, B6-143 (Vicerrectoría de Investigación de la UCR, CONICIT y MICITT), B0-810 y A4-906. Agradece además el apoyo de la Escuela de Física de la UCR.

6. Referencias

- Amador, J. (1998). A Climate Feature of the Tropical Americas: The Trade Wind Easterly Jet. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos.*, 5(2), 91-102.
- Amador, J. (2008). *The Intra-Americas Sea Low-level Jet Overview and Future Research. Trends and Directions in Climate Research: Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146, 153-188. doi: 10.1196/annals.1446.012.
- Amador, J.A., Rivera, E.R., Durán-Quesada, A.M., Mora, G., Sáenz, F. Calderón, B. & Mora, N. (2016). The easternmost tropical Pacific. Part I: A climate review. *Biología Tropical*. 64:S1-S22.
- Adler, R.F.; Huffman, G.J.; Chang, A.; Ferradaro, R.; Xie, P.P.; Anowiak, J.; Rudolf, B.; Schneider, U.; Curtis, S.; Vin, D.; Gruber, A.; Susskind, J.; Arkin, P. & Nelkin, E. (2003). The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–Present). *American Meteorological Society*.
- Chen, B. Lin, X. & Bacmeister, J.T. (2008). Frequency Distribution of Daily ITCZ Patterns over the Western–Central Pacific. *American Meteorological Society*, 21, 4207–4222. doi: 10.1175/2008JCLI1973.1.
- Dettinger, M.D., Cayan, R.D., Díaz, H.F. & Meko, D.M. (1998). North–South Precipitation Patterns in Western North America on

- Interannual-to-Decadal Timescales. *American Meteorological Society*.
- Durán-Quesada, A.M., Gimeno, L., Amador, J. A. & Nieto, R. (2010). A Lagrangian approach to moisture sources for Central America: Part I. Moisture sources identification. *Journal of Geophysical Research*, 15, doi:10.1029/2009JD012455.
- Enfield, D.B. & Alfaro, E.J. (1999). The dependence of Caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans. *Journal Climate*, 12: 2093-2103. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2093:TDOCRO>2.0.CO](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2093:TDOCRO>2.0.CO).
- Enfield, D.B., Mestas-Nunez, A.M. & Trimble, P.J. (2001). The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, 28:2077-2080. doi: 10.1029/2000GL012745.
- Fallas, B. y Alfaro, E. (2012a). Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional del campo de precipitación en Centroamérica como apoyo a los Foros Climáticos Regionales. 1: Análisis de tablas de contingencia. *Revista de Climatología*, 12, 61-79 ISSN 1578-8768.
- Fallas, B. y Alfaro, E. (2012b). Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional del campo de precipitación en Centroamérica como apoyo a los Foros Climáticos Regionales. 2: Análisis de Correlación Canónica. *Revista de Climatología*, 12, 93-105 ISSN 1578-8768.
- Hidalgo, H.G, Duran, Q.A., Amador, J.A. & Alfaro, E.J. (2015). The Caribbean Low Level Jet, the Inter-tropical Convergence Zone and precipitation patterns in the Intra Americas Sea: A proposed dynamical mechanism. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97, 41–59. doi:10.1111/geoa.12085
- Huffman, G.J.; Adler, R.F.; Bolvin, D.T.; Gu, G.; Nelkin, E.J.; Bowman, K.P.; Hong, Y.; Stocker, E. & Wolff, D.B. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): & Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *American Meteorological Society. Journal of Hydrometeorology*, 8, 38:55. doi: 10.1175/JHM560.1.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Leetmaa, A. & Reynolds, R. (1996). *The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project*. American Meteorological Society. 77:437471. doi:[http://dx.doi.org/10.1175/15200477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO](http://dx.doi.org/10.1175/15200477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO); 2.
- Magaña, V.; Amador, J. & Medina, S. (1999). The Midsummer Drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 12, 1577-1588. doi: 10.1175/1520-0442(1999)012<1577:TMD OMA>2.0.CO;2.
- Mantua, N.J.; Hare, S.R; Zhang, Y.; Wallace, J.M. & Francis, R.C. (1997). A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, pp 1069-1079.
- Minobe, S. (1997). A 50-70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America. *Geophysical Research Letters*, Vol 24, pp 683-686.
- Okajima, H.; Xie, S, & Numaguti, A. (2003). Interhemispheric Coherence of Tropical Climate Variability Effect of the Climatological ITCZ. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 81(6), 1371-1386.
- Quirós E. y Alfaro, E. (2009). Algunos aspectos relacionados con la Variabilidad Climática en la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Climatología*, 9, 33-44 ISSN 1578-8768.
- Quirós, E. (2015). *Variabilidad Climática de la Zona de Convergencia Intertropical y su Influencia en la Hidrometeorología Centroamericana*. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

- Schneider, T.; Bischoff, T., & Haug G.H., (2014). Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone. *Nature*. 513, 45–53. doi:10.1038/nature13636.
- Small, R.G.; De Szoeki, S.P. & Xie, S.P. (2009). The Central American Midsummer Drought: Regional Aspects and Large-Scale Forcing, American Meteorological Society. *Journal of Climate*, 20, 4853–4873. doi: [10.1175/JCLI4261.1](https://doi.org/10.1175/JCLI4261.1).
- TAFB. (2011). *Changes to the TAFB portion of the unified surface analysis*. National Hurricane Center (NHC-NOAA).
- Wallace, J.M. & Gutzler, D.S. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109, 784-812.
- Walker, G.T. & Bliss, E.W. (1932). *World Weather VI Memorial Royal Meteorological Society*, 4, No. 36, 53-84.
- Walker, G.T. & Bliss, E.W. (1937). *World Weather VI. Memorial Royal Meteorological Society*, 4, No. 39, 119-139.
- Wang, Ch. & Magnusdottir, G. (2006). The ITCZ in the Central and Eastern Pacific on Synoptic Time Scales. American Meteorological Society. *Monthly Weather Review*, 134, 1405-1421. doi: 10.1175/MWR3130.
- Wolter, K. & Timlin, M. S. (2011). El Niño/ Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*, 31, 14 pp., 1074-1087.

Instituto Meteorológico Nacional

Sitio web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

