

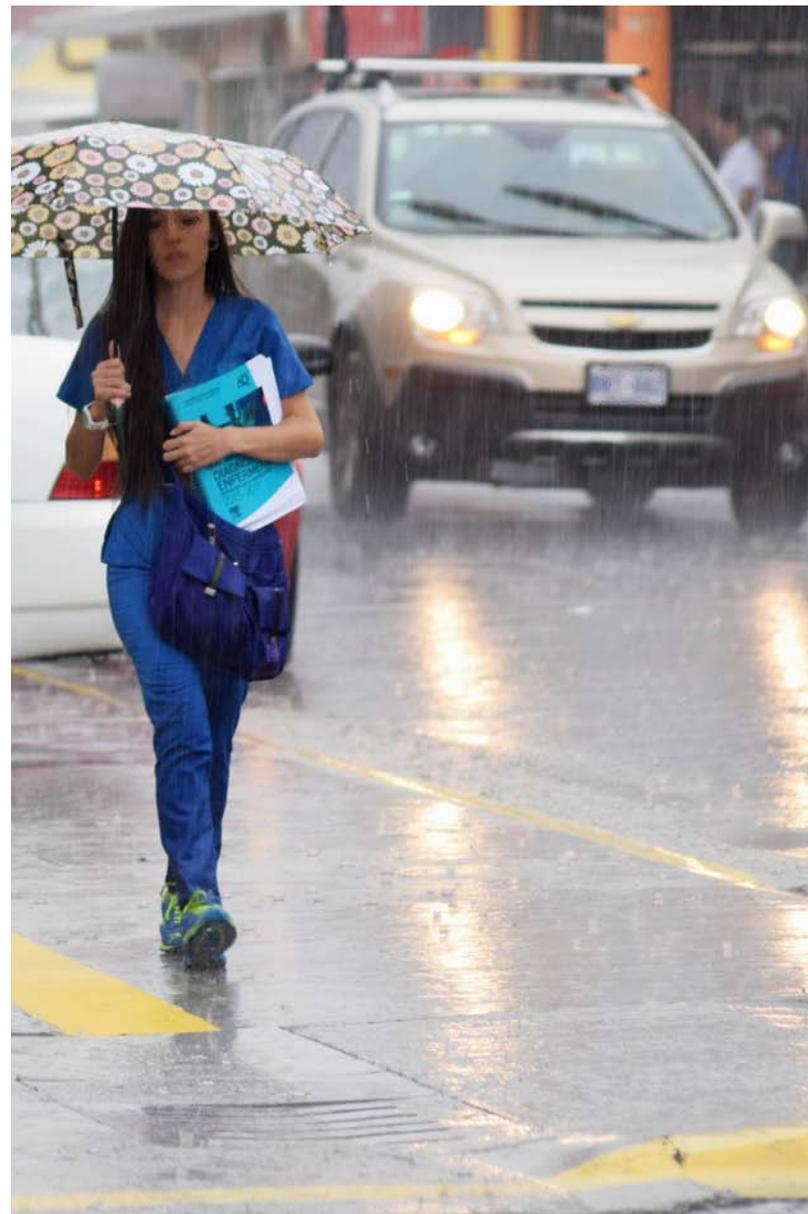
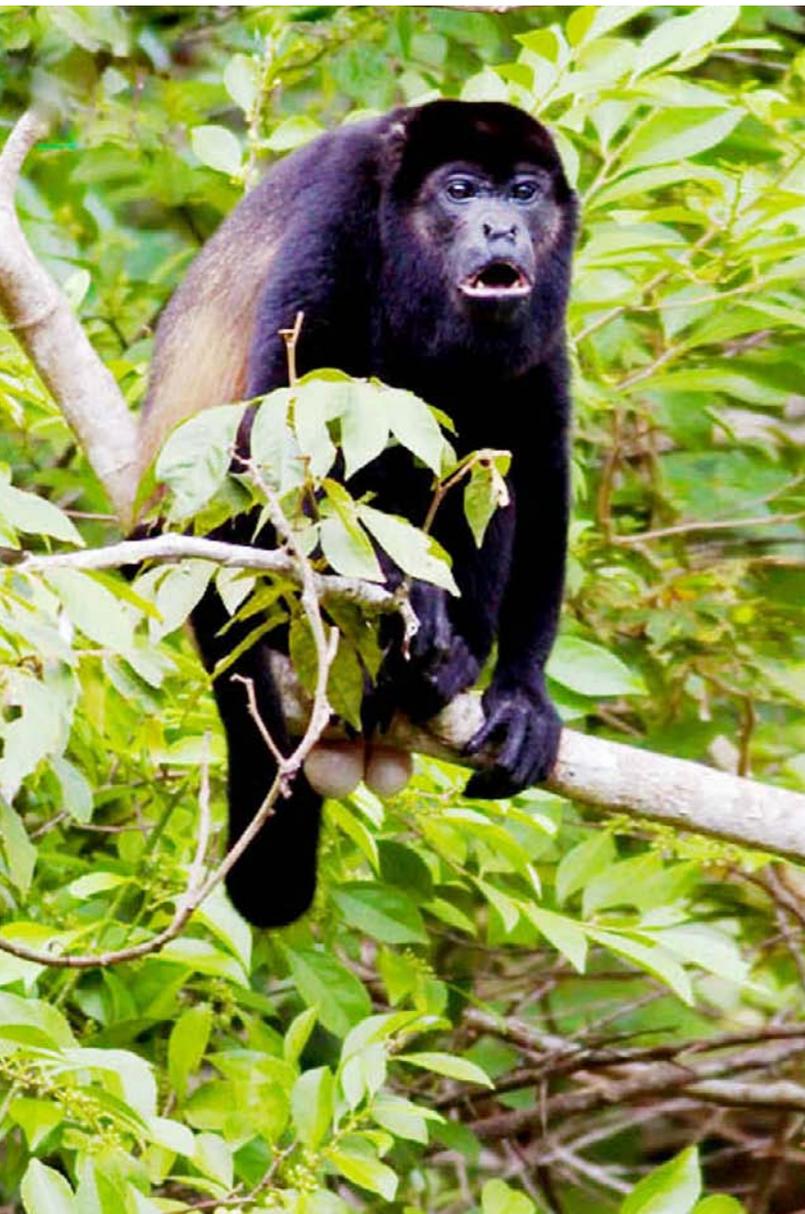
TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

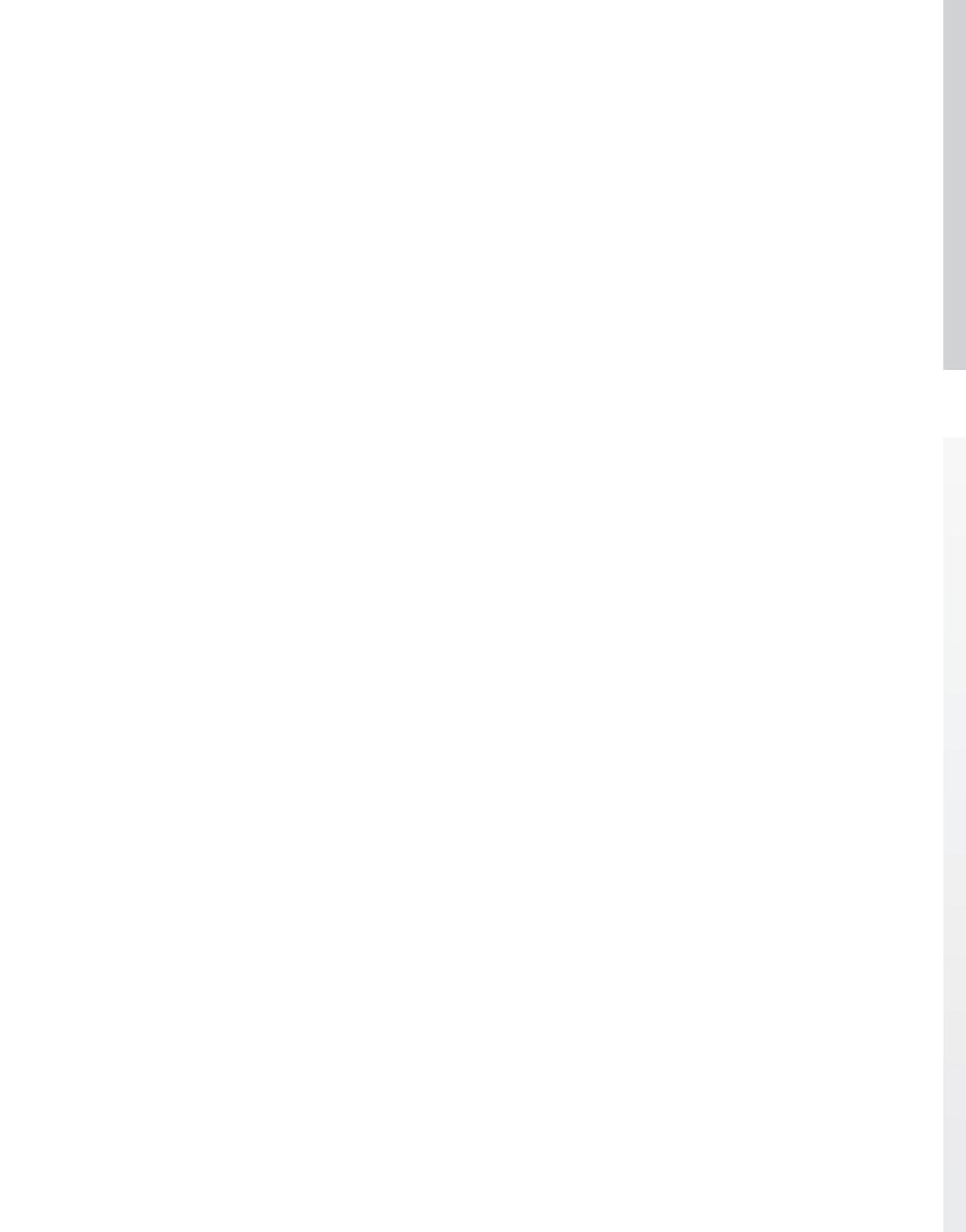


ISSN 1409 - 2034

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 |

Muerte de monos Congo (*Alouatta palliata*) en Costa Rica durante la sequía producto del evento El Niño 2015-2016

JOSÉ ALBERTO RETANA¹

Resumen

Utilizando fuentes noticiosas, se precisó el período de tiempo y las zonas donde se reportó la muerte de monos Congo (*Alouatta palliata*) durante los años 2015 y 2016. A partir de información meteorológica de Liberia, Guanacaste, Costa Rica; se caracterizó el comportamiento de la lluvia, la temperatura máxima y mínima en la región de mayor impacto por sequía producto del fenómeno El Niño. Las muertes se reportaron entre noviembre del 2015 y marzo del 2016. A pesar de que el fenómeno de El Niño causó una de las mayores sequías registradas en el Pacífico Norte de Costa Rica, el período de análisis correspondió a condiciones normales de lluvia, pero con temperaturas diurnas y nocturnas por encima del promedio. La verdadera causa de muerte de los animales, debe ser identificada a partir de las autopsias que correspondan.

PALABRAS CLAVE: MONOS CONGO, SEQUÍA, VARIABILIDAD CLIMÁTICA, EL NIÑO, BIODIVERSIDAD.

Abstract

News sources reported Congo monkey's death (*Alouatta palliata*) during 2015 and 2016. Was characterized the behavior of rain, maximum and minimum temperature in the region of greatest impact of drought product of El Niño: Guanacaste, Costa Rica. The deaths were reported between November 2015 and March 2016. Although the phenomenon of El Niño caused a major drought in the North Pacific of Costa Rica, the analysis period was normal rain, but with day and night temperatures above average. The real cause of death of animals must be identified from autopsies.

KEYWORDS: MONKEY, DROUGHT, CLIMATE VARIABILITY, EL NIÑO, BIODIVERSITY.

1. Introducción

La fase cálida del evento ENOS (El Niño-Oscilación Sur), conocida popularmente como El Niño, ha sido caracterizada exitosamente en cuanto al efecto que tiene sobre las precipitaciones anuales en Costa Rica. Desde la década de los ochenta, los estudios realizados han logrado identificar las zonas del país que presentan la mejor señal de ENOS, en otras palabras, las regiones que con mayor probabilidad pueden presentar escenarios secos, lluviosos o normales (Ramírez, 1990;

Fernández y Ramírez, 1991; Vega y Stolz, 1997; Stolz y Sánchez, 1998; Retana y Villalobos, 2000, Alvarado, 2011).

De acuerdo con Alvarado (2011), el Pacífico de Centroamérica tiene altas probabilidades de experimentar condiciones secas durante la presencia de la fase cálida de ENOS. Para el caso del Pacífico costarricense y la Región Central del país, la señal de El Niño se ajusta a un escenario de lluvias por debajo del promedio. La probabilidad de que se desencadenen eventos extremos secos en estas regiones es alta, sobre todo en el

1 Ingeniero Agrónomo. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas, Instituto Meteorológico Nacional. Correo electrónico: jretana@imn.ac.cr

Pacífico Norte (Retana y Villalobos, 2000). Por ese motivo, normalmente las condiciones de sequía experimentadas durante El Niño, impactan en forma decidida todas aquellas actividades que utilicen el agua como recurso primario, siendo el sector biodiversidad uno de ellos.

A pesar de que en teoría el tejido biológico de una región se encuentra adaptado a las condiciones climáticas imperantes, los eventos hidrometeorológicos extremos se pueden convertir en una amenaza real para el equilibrio y la sobrevivencia de los ecosistemas en el corto plazo. Lamentablemente la dificultad de la observación sistemática y sostenible de la biodiversidad, así como su métrica, son limitantes para el estudio de relaciones bioclimáticas asociadas con eventos de variabilidad.

En el cuadro 1 se resumen los impactos observados en el sector vida silvestre de Costa Rica, basados

en algunos estudios técnicos y análisis de series de tiempo. Se incluye, además, algunas fuentes noticiosas que han sido recurrentes durante años Niño.

En los primeros meses del 2016, distintas fuentes noticiosas divulgaron observaciones sobre la muerte de monos en diferentes partes de Mesoamérica. De acuerdo con estos reportajes, una posible explicación se encuentra en las difíciles condiciones de sobrevivencia debido a la sequía que se presentó durante estos meses.

El objetivo del presente estudio fue recopilar documentación referente a la muerte de monos Congo (*Alouatta palliata*), asociada a las condiciones de clima, sobre todo de temperatura y precipitación en las zonas mayormente afectadas por la sequía extrema del Pacífico de Costa Rica, relacionada con la presencia del fenómeno océano atmosférico El Niño.

Cuadro 1. Impactos del evento El Niño en el sector biodiversidad de Costa Rica

Componente del sector	Región climática	Impacto	Naturaleza del estudio o fuente	Fuente
Marea Roja	Aguas del Pacífico de Costa Rica	Aparición de marea roja debido al calentamiento de las aguas, que se relaciona con la presencia de algas (dinoflagelados) que pueden producir toxinas.	Fuentes noticiosas durante años Niño. Coinciden con observaciones y estudios técnicos en otros países.	Novo, 2012; Diario de Hoy, 2003; Gutiérrez, 2004; Soto, 2004.
Pesca	Aguas del Pacífico de Costa Rica	Disminución en la captura de atún y otras especies pelágicas, al migrar por aumento en la temperatura superficial del mar.	Publicación Técnica. Estudios del proyecto SATPESCA. Fuentes noticiosas durante años Niño. Coinciden con observaciones y estudios técnicos en otros países.	Tabash, 1995 (información base de temperaturas de captura); Delgado, 1997; Jiménez, 1997; Leitón y Delgado, 1997.
Langosta gregaria	Pacífico Norte	Altas temperaturas y brillo solar, aunado a condiciones secas asociadas con el fenómeno de El Niño, pueden promover un aumento de la oviposición de las langostas y una mayor población con altas probabilidades a gregarizar.	Estudios técnicos que incluyen análisis estadísticos de temperatura superficial del mar con observaciones en campo.	Retana 1996, 2000.

Componente del sector	Región climática	Impacto	Naturaleza del estudio o fuente	Fuente
Incendios forestales	Pacífico Norte, Central	Aumentan las condiciones para que los incendios forestales se propaguen: viento, calor, sequedad.	Publicación Técnica. Análisis estadístico de series de tiempo	Villalobos, Retana y Acuña, 2000; Retana, 2003.
	Pacífico Norte y Zona Norte	La temperatura superficial del mar en las regiones Niño, puede ser considerada como predictor de incendios forestales dada la buena correlación con área quemada.	Publicación Técnica. Análisis estadístico de series de tiempo	Stolz y Campos, 2014.
Abejas	Pacífico Central	Disminución en la producción de miel de abeja por baja polinización. Descontrol en la floración por aumento temperatura. Disminución de la población de abejas.	Reuniones de discusión y entrevistas con productores. Observación de campo. No hay estudio técnico. Fuentes noticiosas	Reunión con productores agropecuarios Pacífico Central, 2013 y 2014; Vargas, 2006.
Ballenas	Aguas del Pacífico Sur de Costa Rica	Aumenta el avistamiento de ballenas y delfines. Las notas no relacionan directamente el fenómeno con las observaciones, pero se habla de disminución de oferta alimenticia en el océano.	Fuentes noticiosas durante años Niño. Coinciden con observaciones.	Vargas, 2009.
Tortugas	Costas del Pacífico de Costa Rica	Alteraciones en el arribo y disminución en la anidación de tortugas para el desove, principalmente la Baula.	Fuentes noticiosas durante años Niño.	Soto, 2015; Calderón, 2012; López, 2007; Vargas, 2007; Arrieta, 2005.
Monos	Pacífico Norte y Central	Monos mueren por efectos de la sequía.	Fuente noticiosa durante año Niño 2016. Coincide con otras similares en Nicaragua	Jiménez, 2016.
	Pacífico Sur	Mil monos mueren en el 2006 por stress hídrico luego de una tormenta en Corcovado. Estos son animales muy vulnerables ante variaciones climáticas.	Reunión de expertos en Costa Rica.	Gudiño, 2007.
	Pacífico Sur	Muerte de monos podría ser debido a fuertes precipitaciones durante el 2005.	Fuente noticiosa	Coto, 2006.
	Australia	Los koalas bajan de los árboles y cambian hábitat debido al calor y la sequía.	Noticia relacionada	Agencia EFE, 2013.

Fuente: elaboración propia, con información de estudios técnicos y observaciones periodísticas frecuentes durante años Niño.

2. Metodología

A partir de fuentes noticiosas principalmente escritas, se identificó el período de tiempo probable de muerte de monos Congo (*Alouatta palliata*) y los puntos de reporte.

Se caracterizó el comportamiento de la lluvia y la temperatura durante dicho período de análisis. Para ello se utilizó el registro histórico de la estación de Liberia, Guanacaste, de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional, debido a que es una de las estaciones que registró el mayor impacto de la sequía en Costa Rica.

Se utilizaron como medio de comparación, escenarios climáticos generados a partir de los percentiles 90 y 10 de las series históricas. De esta manera tanto la temperatura como la precipitación del 2015, y el 2016, fueron comparadas con los rangos extremos y normales históricos.

3. Resultados

En la figura 1 se presenta la distribución del mono Congo o Aullador en América, el cual se extiende desde el sur de México hasta el norte de Suramérica, principalmente en el Pacífico de Colombia y Ecuador. Se detallan además, los puntos de reporte de muerte de primates durante los meses finales del 2015 y principios del 2016 según REC (2016), País (2016), Bravo (2016), Villareal y Alvares (2016).

La mayor parte de las fuentes noticiosas sospechan, que la causa de muerte fue la deshidratación y la mala nutrición a consecuencia de la sequía que se ha venido presentado en la región desde el año 2014, producto del fenómeno de El Niño. Sin embargo, también se indica que la verdadera causa de muerte se debe de aclarar a partir de estudios y autopsias correspondientes. Las dudas se encuentran en que no solo han muerto ejemplares adultos, hembras en lactancia y crías (los más vulnerables), sino que también se han encontrado especímenes jóvenes muertos (REC, 2016).

Por otra parte, solo en Costa Rica se detalla la muerte de otro tipo de animales silvestres, a pesar de que muchas de ellas están ligadas a otro tipo de evento además de la sequía (Bravo, 2016; Jiménez, 2016). Otro atenuante es que si bien es cierto las muertes coinciden en tiempo (noviembre a marzo) y en espacio (cinturón pacífico del área de distribución), existen otras zonas donde la población de estos primates no se ha visto afectada y más bien se reporta un buen comportamiento reproductivo tal y como



Figura 1. Distribución de monos Congo en América.
Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Alouatta_palliata_Range_Map_cropped.png.

lo indican Villareal y Alvarez (2016). Por este motivo la presencia de alguna enfermedad viral o bacteriana es una de las hipótesis que se plantea, además del factor estresante del clima extremo experimentado.

De acuerdo con la cobertura de la prensa, la mayoría de las muertes se reportaron entre noviembre del 2015 y marzo del 2016, meses que corresponden con la época seca en el Pacífico centroamericano. El fenómeno de El Niño que inició a principios del 2014 y se hizo evidente durante el 2015, fue el causante de una de las mayores sequías en la región. Por tal motivo, las condiciones extremas secas fueron las que precedieron a la época seca climatológica, donde se reportan las muertes de primates.

En el caso particular de Costa Rica, el principal núcleo seco se asentó en el Pacífico Norte, donde algunas zonas presentaron una sequía estacional que se prolongó por varios meses, tal y como se presenta en la figura 2.

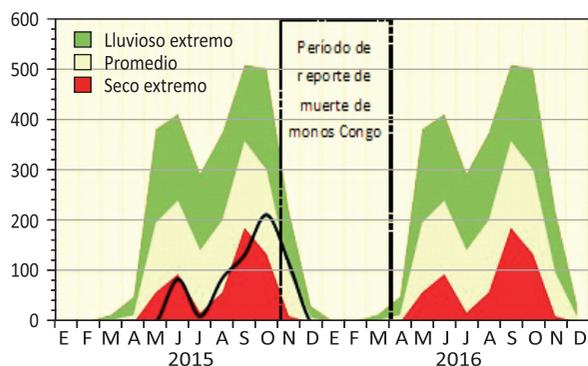


Figura 2. Precipitación mensual durante el 2015 y hasta marzo del 2016, comparado con tres escenarios climáticos. Liberia, Guanacaste. Fuente de datos: Instituto Meteorológico Nacional.

Se puede observar además en la figura 3, la condición extrema seca experimentada durante el 2015. A pesar de esto, en octubre y noviembre la precipitación se normalizó, las lluvias durante estos dos meses lograron atenuar algunas situaciones críticas que surgieron en sectores productivos como en la agricultura de secano, principalmente para granos básicos, así como la disponibilidad de agua para la ganadería.

Tomando en cuenta esta información, la precipitación durante el período de registro de muertes fue bastante normal. Los meses de octubre y noviembre alcanzaron valores muy cercanos al promedio (en monto mensual), para luego caer a partir de diciembre y hasta marzo a los valores climatológicos propios de la época seca, que son montos muy bajos. En resumen, seis

meses de normalidad en cuanto a precipitación mensual se refiere.

No obstante la normalización de las lluvias, la disponibilidad del recurso en espejos y cursos de aguas tiene un período de respuesta atenuado. La precipitación total en un período dado, no es equivalente al agua aprovechada o efectiva para diversas actividades en ese momento. Por ejemplo, montos promedio de lluvia luego de una sequía, pueden ser insuficientes para la agricultura debido al factor de capacidad de campo y propiedades del suelo. La situación fue crítica para muchos de los ríos estacionales, a partir de las lluvias de setiembre algunos lograron retomar su flujo, sin embargo los caudales disminuyeron sensiblemente. Retana (2012), demostró que los caudales durante años El Niño en la región Pacífico Norte, se ven afectados negativamente. En el cuadro 2 se presentan observaciones hechas a nivel de la carretera, para algunos de los principales ríos de Guanacaste.

En cuanto a la temperatura ambiental, se ha demostrado claramente que durante la fase cálida de ENOS (El Niño), la máxima puede subir 2°C. (Vega y Stolz, 1997; Stolz y Sánchez, 1998). En las siguientes figuras se presenta la temperatura máxima y mínima registrada en Liberia durante el 2015, en comparación con sus extremos históricos.

Se puede observar, que tanto la temperatura diurna como la nocturna superaron sus valores

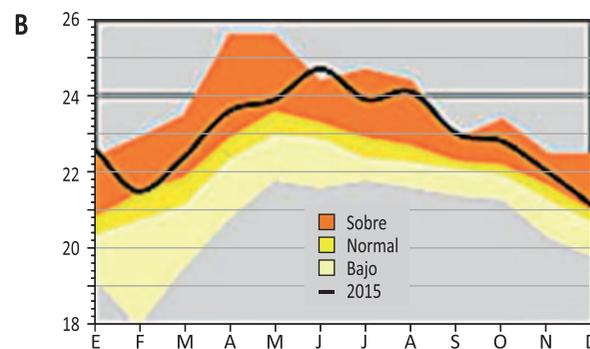
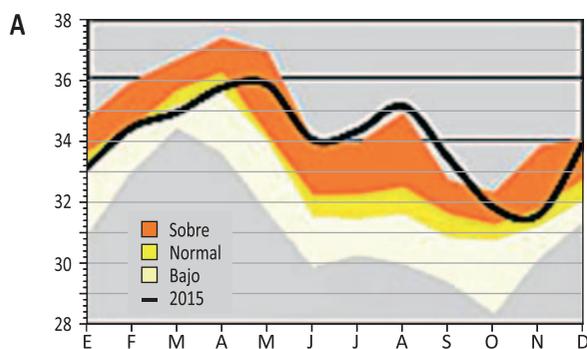


Figura 3. Temperatura durante el 2015 comparado con tres escenarios climáticos. Liberia, Guanacaste. Temperatura máxima (A). Temperatura mínima (B). Fuente de datos: Instituto Meteorológico Nacional.

Cuadro 2. Observaciones a nivel de carretera (ruta 1). Setiembre, 2015

Río	Completamente seco. No hay curso de agua. Suelo seco, todas las piedras expuestas	En vías de secarse completamente. Sin curso de agua, solo charcos y mucha piedra	En vías de secarse. Hay curso de agua, muchas piedras expuestas	Con curso de agua, fluye entre piedras
	0	1	2	3
Ciruela			X	
Seco			X	
Aranjuez		X		
Sardinal		X		
Guacimal				X
Lagarto				X
Cañamazo		X		
Congo	X			
Matapalo			X	
Abangares		X		
Tempisque	Con playones en el centro y a los lados			
Nacaome	X			
Grande	X			
Morote		X		

Fuente: Elaboración propia a partir de observación de campo.

promedio prácticamente durante todo el año. A pesar del aumento de precipitación durante los meses de octubre y noviembre, las temperaturas fueron elevadas. La temperatura se convierte en un elemento atmosférico condicionante de una situación seca. Bajo ciertos forzantes pueden presentarse sequías “frías” que corresponden con períodos de muy poca o nula precipitación, pero con una alta cobertura nubosa y viento que hacen disminuir la sensación térmica. Este tipo de situaciones, no deja de ser común en la Región Central del país durante la época seca, principalmente en los meses de final y principio de año cuando la influencia de los vientos Alisios es mayor. Por otra parte, extensos períodos de baja o nula precipitación pero muy cálidos, crean una mayor sensación de sequedad. Las altas temperaturas aumentan las exigencias hídricas de los organismos, la evapotranspiración se incrementa y el metabolismo se acelera. El estrés es mayor.

En la figura 4 se presenta el pronóstico de un índice de precipitación que es muy utilizado para el monitoreo de sequías y condiciones

extremas. De acuerdo con el Foro Climático para Centroamérica, a partir del 2015, el Índice Estandarizado de Precipitación (IPS) es usado para monitoreo, diagnóstico y pronóstico de sequías en toda Centroamérica, México, Colombia y el Caribe. El pronóstico dado a conocer en noviembre del año pasado, presentaba condiciones secas y secas extremas en algunas de las zonas de distribución del mono Congo en América. Esta situación proyectada, fue bastante cercana a las condiciones observadas durante este período, según lo indica Alvarado (2016).

4. Conclusiones

En resumen, tomando en cuenta que el período de observación de muertes de monos Congo publicados en la prensa se ubican entre noviembre del 2015 y marzo del 2016, se puede afirmar que en Costa Rica estos meses estuvieron influenciados por el fenómeno de El Niño. De acuerdo con Alvarado (2016), El Niño alcanzó su mayor magnitud precisamente durante los meses de final de 2015. A pesar de esto, octubre

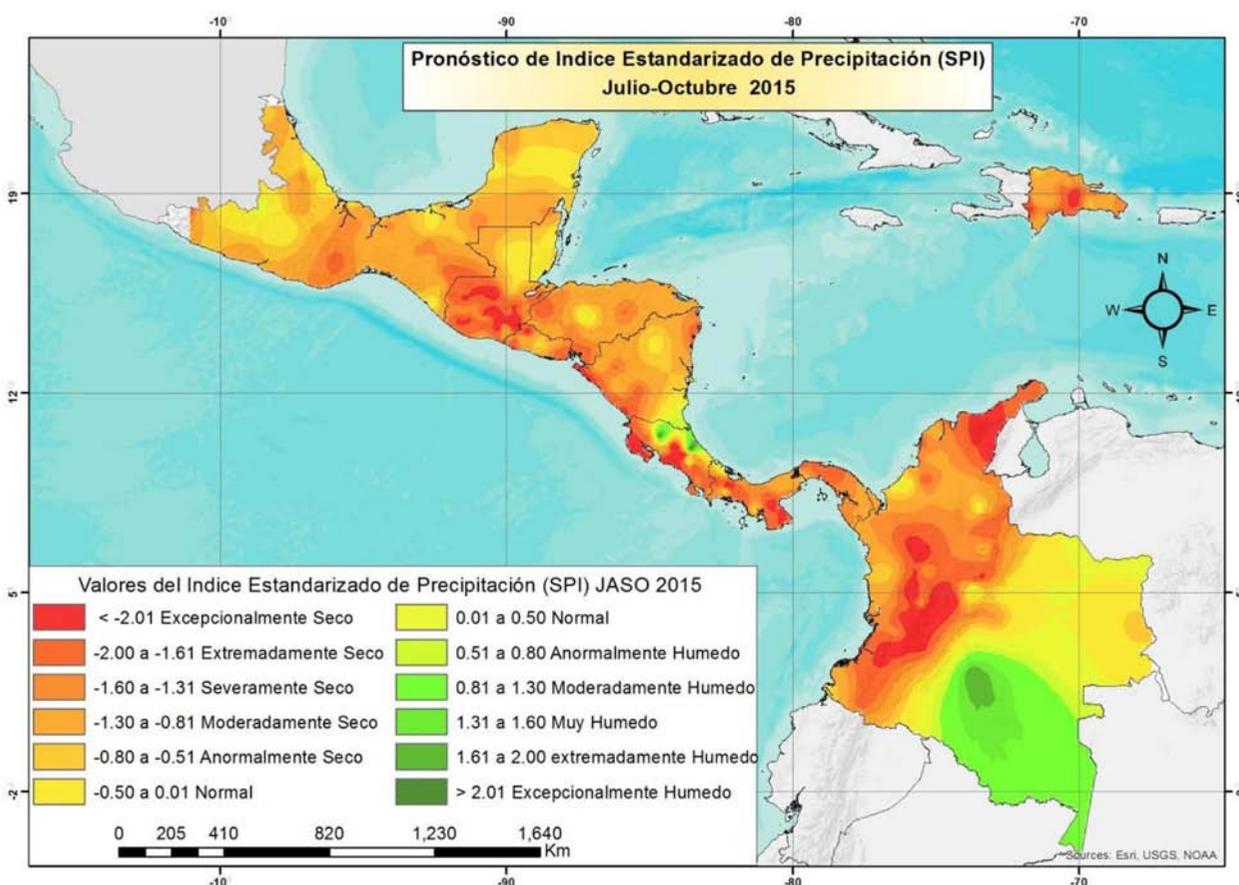


Figura 4. Pronóstico del Índice Estandarizado de Precipitación para Mesoamérica entre noviembre del 2015 y febrero del 2016. Fuente: CRRH-SICA (2015).

y noviembre correspondieron con acumulados mensuales de lluvia dentro del rango normal para Liberia, una de las zonas de mayor impacto de la sequía observada. El calentamiento del mar Caribe da una explicación a este comportamiento (Alvarado, 2016).

La temperatura diurna y nocturna estuvo sobre los valores promedio, mientras que el Índice Estandarizado de Precipitación presumía valores extremos para el período noviembre-diciembre del 2015 y enero-febrero del 2016, principalmente en algunos puntos del Pacífico Norte, Central y Sur del país.

Desde el punto de vista climatológico, las muertes de monos Congo reportadas para Costa Rica fueron precedidas por condiciones secas extremas

hasta setiembre del 2015, altas temperaturas y la influencia de uno de los eventos El Niño más fuertes que se han presentado en la historia instrumental. Solamente con exámenes de laboratorio, se podrá asociar la muerte de estos primates a condiciones particulares de clima.

5. Literatura citada

Agencia EFE. (2013, 03 de octubre). Los koalas se bajan de los eucaliptos ante el aumento del calor y las sequías. *Telenoticias*. Teletica Canal 7.

Alvarado, L. (2016). *Evolución del fenómeno El Niño 2015-2016*. Presentaciones a la Comisión Interinstitucional del Fenómeno ENOS. San José, Costa Rica.

- Arrieta, E. (2005, 07 de marzo). Histórica reducción de nidos de tortugas Baula. *La Prensa Libre*. Nacionales. 5p. San José, Costa Rica.
- Bravo, J. (2016, 10 de abril). También en Costa Rica hay alarma por muerte de monos. *La Prensa*. Nicaragua.
- Calderón, A. (2012, 03 de mayo). Las tortugas Baula ya no llegan a desovar a playa Hermosa. *La Prensa Libre*. Abanico. 8p. San José, Costa Rica.
- CRRH-SICA. (2015). *XLVIII Foro del Clima de América Central*. CRRH-OBSAN-R, UE, PRESANCA-II, PRESISAN, SICA. Santo Domingo, República Dominicana. 18p.
- Coto, S. (2006, 14 de agosto). Presumen que fuertes lluvias ocasionaron muerte de monos. Parque Nacional Corcovado. *La Prensa Libre*. 2p. San José, Costa Rica.
- Delgado, E. (1997, 27 de mayo). Autoridades pesqueras en alerta por El Niño. *La Nación*. 19A. San José, Costa Rica.
- Gudiño, A. (2007, 25 de julio). Expertos analizan en Costa Rica el futuro de los primates, una especie amenazada. *La Nación*. San José, CR.
- Jiménez, M. (1997, 20 de junio). El Niño se hace sentir: sector pesquero con problemas. *La Nación*. 4A. San José, Costa Rica.
- Jiménez, E. (2016, 29 de febrero). Nueve monos mueren por sequía en el último mes en el Pacífico Central y Norte. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- Leitón, P. y Delgado, E. (1997, 23 de junio). El Niño toca la pesca. *La Nación*. El País. 23A. San José, Costa Rica.
- López, J. (2007, 25 de febrero). Anidación de tortugas Baula disminuye en más del 50%. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- Novo, Y. (2012, 11 de abril). Marea roja afecta una de las playas más visitadas del Pacífico. *CrHoy.com.Noticias 24/7*. San José, Costa Rica.
- País, A. (2016, 03 de marzo). Por qué han muerto más de 120 monos Congo en Nicaragua. *Mundo BBC*.
- REC. (2016, 18 de abril). En Panamá investigan la muerte de monos aulladores. *El Comercio*.
- Retana, J. (1996). *El ENOS como posible predictor de plaga de langosta*. En: Berri, J. 1996. Impacto del Fenómeno El Niño sobre los Recursos Hídricos y la Agricultura en Mesoamérica y el Caribe y Nuevas Metodologías para la Aplicación Práctica del Pronóstico Climático Estacional e Interanual. International Research Institute for Climate Prediction Pilot Project. Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University. New York. USA. 26-30pp.
- Retana, J. (2000). Relación entre algunos aspectos climatológicos y el desarrollo de la langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker 1870) en el Pacífico Norte de Costa Rica durante la fase cálida del fenómeno ENOS. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 7(2):64-73.
- Retana, J. (2003). El Niño y los incendios forestales en Costa Rica. Comisión Nacional sobre incendios forestales Costa Rica. *Boletín Oficial*. Edición 3. Diciembre 2002 – Enero 2003. 6-7.
- Retana, J.; Solera, M.; Solano, J. y Alvares, H. (2004). Efecto de la variabilidad climática sobre la fluctuación poblacional de la rata cañera (*Sigmodon hispidus*) en Cañas, Guanacaste. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 10(02):91-98.
- Retana, J. (2012). *Relación entre caudales y eventos cálidos de ENOS en dos puntos de aforo de la Región Chorotega*. Instituto Meteorológico Nacional. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Nota Técnica. 8p.
- Soto, M. (2004, 11 de abril). Bañistas deben tener cuidado ante presencia de marea roja. *La Nación*. Al Día. Global. San José, Costa Rica.

- Soto, M. (2015, 24 setiembre). Arribada de tortugas en Ostional se adelantó. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- Stolz, W. y Campos, M. (2014). Variables atmosféricas y oceánicas como posibles predictores de la temporada de incendios forestales en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 13(2):90-100.
- Stolz, W. y Sánchez, M. (1998). *Costa Rica: El Niño, la prensa y los servicios meteorológicos para el público*. OMM. 47(3):295-196.
- Vega, G. y Stolz, W. (1997). *El fenómeno de El Niño y su impacto en la economía de Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional. Folleto informativo. San José, Costa Rica. 9p.
- Suárez, M. (2001, 03 de abril). Marea roja de Costa Rica amenaza Panamá. *Diario de Hoy*.
- Tabash, F. (1995). *Los grandes pelágicos del pacífico tropical oriental*. In: Quirós, G. 1995. Causas de la riqueza pesquera costarricense. UNA-CONICIT. San José, Costa Rica.
- Vargas, A. (2006, 17 de marzo). Escasez de abejas y aves acabaría con miles de plantas. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- Vargas, A. (2009, 21 de setiembre). Nueva especie de ballena flaca frecuente aguas del Pacífico tico. San José, CR. *La Nación*, Aldea Global.
- Villalobos, R.; Retana, J. y Acuña, A. (2000). El Niño y los incendios forestales en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 7(2):116-123.
- Villareal, R. y Álvarez, R. (2016, 09 de enero). Polémica por muerte de monos Congo en Rivas, Nicaragua. *La Prensa*. Nicaragua.

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. QUESADA¹

Resumen

Con el fin de analizar el régimen de precipitación en la sección Suroccidental de la Cordillera de Tilarán y los alrededores de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes (REBAMB), se analizaron los registros de tres estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes sitios y alturas. Los resultados muestran diferencias significativas en la precipitación reportada para las vertientes Pacífica y subvertiente Norte. Sin embargo, es importante recalcar que en la región influyen características peculiares, como lo es el relieve que impide o permite el ingreso de masas de aire cargadas de humedad. Se encontró que existe un régimen de precipitación muy diferente al de otros sectores del país, influyendo aspectos como la época de incursión de los vientos, tanto del sector Caribe como del Pacífico, así como condiciones de exposición, posición y altitud.

PALABRAS CLAVE: RESERVA BIOLÓGICA, SECCIÓN SUROCCIDENTAL DE LA CORDILLERA DE TILARÁN, RÉGIMEN PRECIPITACIÓN, ALTITUD, EXPOSICIÓN.

Abstract

In order to analyze the state of the precipitation in the southwestern region of the Cordillera de Tilarán and around the Alberto Manuel Brenes Biological Reserve (REBAMB) records of three weather stations located in different sites and heights were analyzed. Results show significant differences in precipitation reported for the Las Pacific region and North zone area. However is important emphasize that in the region influence characteristics peculiar as the relief that prevents or allows the entry of masses of air charged of humidity. Found that there is a precipitation regime very different from that existing in other sectors of the country, influencing aspects as period of incursion of winds from both sector Caribbean and Pacific as well as conditions like exposure, position and altitude.

KEYWORDS: BIOLOGICAL RESERVE, SECCIÓN SUROCCIDENTAL DE LA CORDILLERA OF TILARÁN, REGIME PRECIPITATION, ALTITUDE, EXPOSITION.

1. Introducción

La cordillera de Tilarán es una cadena montañosa de 75 km de extensión, que se ubica entre las depresiones de Arenal y Tapezco. Está conformada por un grupo de serranías con profundos valles y laderas de suave a fuerte pendiente, en las cuales se localizan relictos volcánicos y domos

sub recientes donde predominan rocas volcánicas del grupo Aguacate, que a su vez son cuerpos plutónicos e hipoabisales (Induni, 2011).

El relieve de la zona muestra dos vertientes diferentes, la Sur que es más corta hacia el sector Pacífico y la más extensa que da hacia la subvertiente Norte. La cordillera actúa como

1 Geógrafo especialista en hidroclimatología. Universidad de Costa Rica, correo electrónico: marvin.quesada@ucr.ac.cr

una barrera para las masas de aire cargadas de humedad, las cuales se enfrían al subir sobre la cordillera provocando lluvias del tipo orográfico, que pasan a la vertiente Pacífica aumentando de temperatura a medida que descienden (Waylen & Quesada, 2002; CCT, 2005).

Vargas (1991) indica el relieve juega un papel de gran importancia en la distribución de la precipitación de la zona, ya que el aire ascendente proveniente de la subvertiente Norte lleva a cabo un rozamiento superficial sobre la vegetación de la zona montañosa, originando la formación de estratocúmulos que producen lluvias débiles, lloviznas y nieblas.

La Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes (REBAMB), se ubica en una sección de la cordillera donde es atravesada por una divisoria continental. Esto propicia que una fracción del territorio que compone esta área protegida, se ubique en la subvertiente Norte y otra pequeña parte en el sector Pacífico (SINAC, 2008). Debido a esta peculiaridad geográfica, es que el objetivo de esta investigación fue analizar el régimen de

precipitación en la sección suroccidental de la cordillera de Tilarán, con el fin de obtener datos que muestren el régimen de las lluvias en una zona de gran importancia hídrica como lo es la REBAMB y su zona influencia.

2. Metodología

Con el fin de conocer el régimen de precipitación presente en el área de influencia a la REBAMB, se procedió a analizar los registros de tres estaciones meteorológicas: una del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y dos del Instituto Meteorológico Nacional, en el periodo de 1994 al 2013.

Primeramente se analizó la estación Montes de Oro, ubicada en el sector Pacífico en las coordenadas $10^{\circ} 13' 00''$ latitud Norte y $84^{\circ} 40' 00''$ longitud Oeste, a una altitud de 1.040 msnm. Posteriormente se realizó el análisis del sector Norte con la estación Coopelesca, ubicada en $10^{\circ} 19' 00''$ latitud Norte y $84^{\circ} 23' 00''$ longitud Oeste, a 650 msnm; por último la estación Zarcero, ubicada en $10^{\circ} 11' 00''$ latitud Norte y $84^{\circ} 23'$

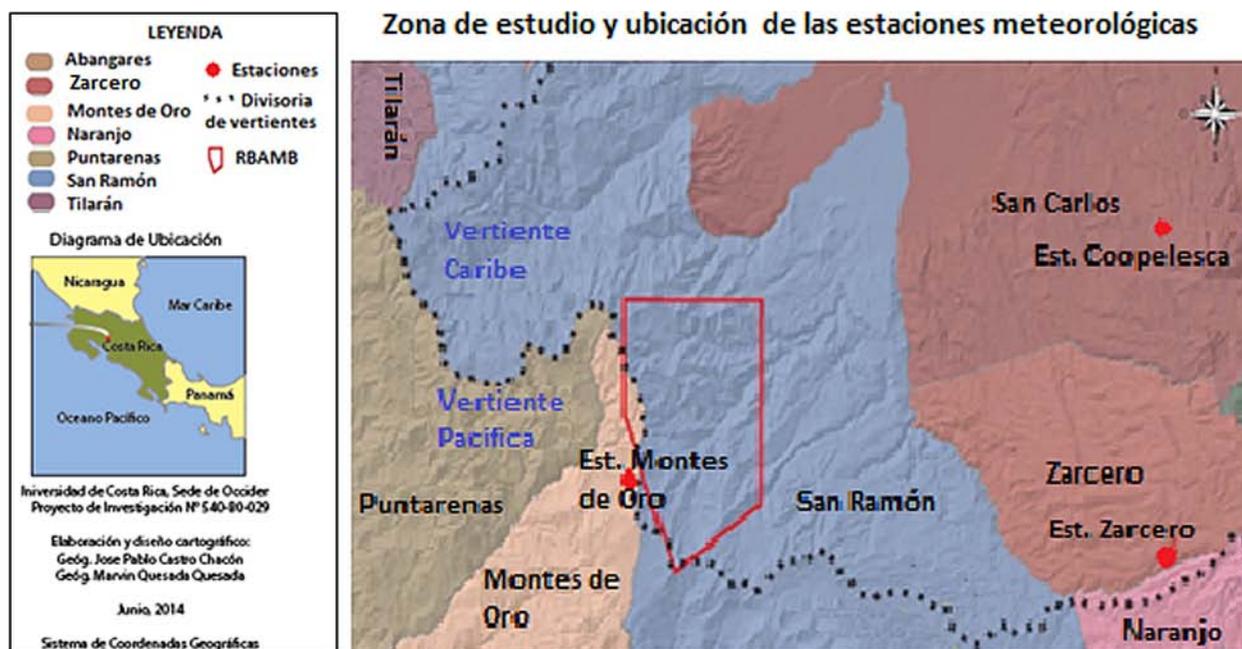


Figura 1. Zona de estudio y ubicación de las estaciones.

00"longitud Oeste, a 1.736 msnm. En la figura 1 se muestra la zona de estudio y la ubicación de las estaciones.

Con la información de estas tres estaciones, se procedió a realizar un estudio sobre la distribución mensual de las lluvias en las mismas, análisis que fue representando por medio de gráficos hechos con el programa Excel versión 2007.

3. Resultados y discusión

La primera sección del análisis se basa en información meteorológica registrada en la estación Montes de Oro. En la figura 2 se pueden observar los promedios mensuales de precipitación durante la estación seca, que se extiende desde febrero hasta abril. Las precipitaciones mensuales en su mayoría no superaron los 100 mm, no obstante en época lluviosa en algunas regiones de influencia a la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes pueden ser superiores a los 450 mm mensuales.

En esta región también influyen flujos de viento como los Oestes Sinópticos y los Oestes Ecuatoriales. Además, podrían intervenir disturbios de origen ciclónico (huracanes o tormentas tropicales) en el Mar Caribe, que

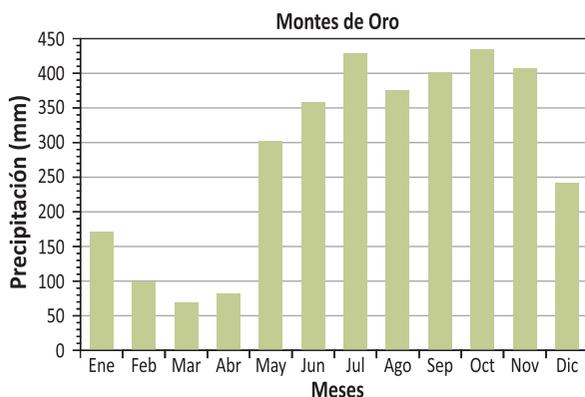


Figura 2. Promedios mensuales de precipitación registrados en la estación Montes de Oro para el periodo 1994 -2013. Fuente: elaboración propia con registros del Instituto Costarricense de Electricidad.

pueden ocasionar temporales. También, existen sistemas de vientos de mesoescala de ciclo diurno, con componente del Oeste, que influyen en el régimen lluvioso durante los meses de mayo a octubre. Finalmente, se tiene la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), la cual influye en la producción de lluvias durante los meses de septiembre y octubre. La precipitación máxima se produce en el mes de julio y se debe a la incursión de los vientos Alisios (Araya, 2010).

Al llegar los vientos alisios a la ZCIT, éstos ascienden a la atmósfera por choque frontal y se condensan para producir la lluvia, por lo que dicha zona se caracteriza por presentar una alta nubosidad y fuertes lluvias. Además, como resultado del ciclo anual de las temperaturas superficiales del aire y de la circulación de los vientos Alisios, la ZCIT presenta una migración Norte-Sur-Norte durante el año, pasando por encima del territorio nacional dos veces por año. Por esta razón, en general ocurren dos temporadas más lluviosas y dos temporadas más secas (Waylen y Quesada, 2002; Hurtado y Meza, 2014). Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente, pareciera que en el área en estudio su mayor influencia se da en los meses de septiembre y octubre.

Al analizar la información meteorológica registrada en las estaciones de Copelesca y Zarcero, ubicadas en la subvertiente Norte, se encuentran semejanzas con lo reportado por la estación de la vertiente Pacífica (ver figura 3).

La configuración orográfica de las cordilleras tiene influencia sobre el clima de la zona, principalmente por los aportes de humedad provenientes del Caribe. La típica distribución de precipitación del Caribe se caracteriza por no tener una estación seca, sino que presenta una disminución de precipitaciones entre los meses de febrero a abril y la estación lluviosa de mayo a enero que es bastante fuerte (Retana, 2003).

La estación de Copelesca muestra los valores más bajos entre marzo y abril, sin embargo,

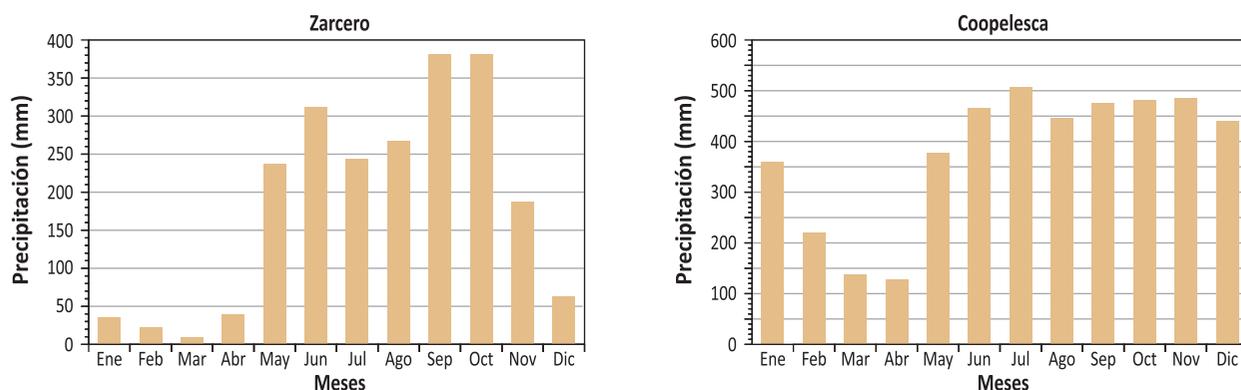


Figura 3. Promedios mensuales de precipitación registrados en las estaciones meteorológicas de Zarco y Coopelesca para el periodo 1994 -2013. Fuente: elaboración propia con registros del Instituto Meteorológico Nacional.

no se alcanzan valores menores a los 100 mm demostrándose de esa forma que estas solamente tienen recesiones de lluvias y no un periodo seco. A partir del mes de mayo se da un incremento en los valores de precipitación, los cuales se mantienen durante prácticamente todo el resto del año.

Por el contrario, la estación de Zarco a pesar de ubicarse en la subvertiente Norte, así como la de Montes de Oro, presentan un comportamiento

bimodal, con una estación seca bien definida entre diciembre y marzo, una recesión de lluvias entre julio y agosto y dos máximas, la primera en junio y la segunda en septiembre u octubre, siendo los meses de abril y noviembre meses de transición de una época a la otra. En la figura 4 se muestra, que la región de Zarco presenta niveles de precipitación anual similares a algunos sectores de la sección Pacífica.

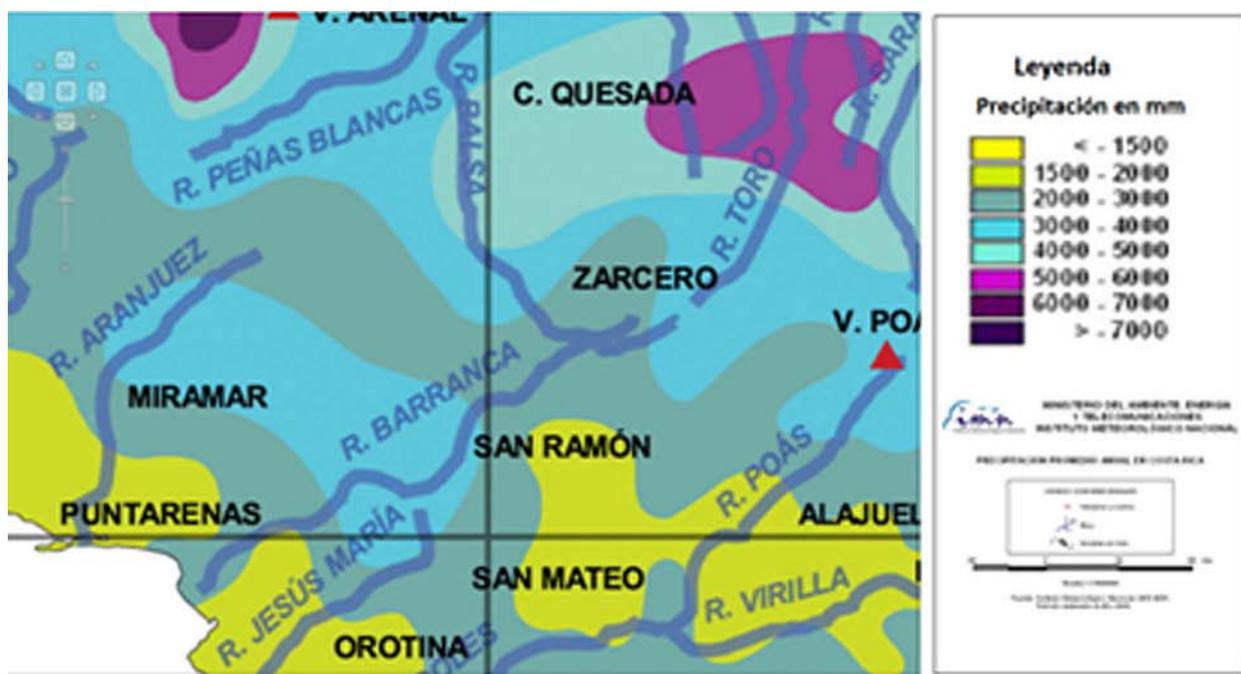


Figura 4. Mapa de precipitación anual del Instituto Meteorológico Nacional. Fuente: Atlas Climatológico de Costa Rica, 2004.

La razón por la cual la vertiente Occidental es más seca que su contraparte Oriental, se debe a que el flujo Alisio del noreste logra superar la línea de crestas y bajar por la ladera desde la cima particularmente en horas de la tarde, ocasionando un efecto de subsidencia. Esos vientos que se conocen como “vientos Catabáticos”, pierden su humedad en barlovento y al pasar al flanco Occidental de la cordillera de Tilarán ocasionan un aumento en la velocidad del viento y la predominancia de masas de aire seco. Por consiguiente, una parte de la REBAMB y sus alrededores, es más seco que el flanco Oriental durante los meses de enero a abril y ligeramente durante julio-agosto.

Sin embargo, la ubicación de la REBAMB en la cima de la cordillera induce a que se presenten condiciones muy particulares, que corresponden a un régimen de precipitación específico que no es el típico ni del Caribe ni del Pacífico, sino que hay una mezcla de ambos. A este régimen de precipitación podría dársele el nombre de régimen de divisoria continental de aguas o de línea de crestas.

Elizondo (2007) señala, que las irregularidades de relieve entre las planicies de la subvertiente Norte y las montañas ubicadas en San Ramón, Zarcero y San Carlos, generan cambios topográficos abruptos asociados al pie de monte y a la presencia de fuertes depresiones en los cañones de los ríos, que junto a cambios de temperatura, alta precipitación y humedad producen neblinas espesas durante todo el año, esto principalmente en las partes altas de la cordillera de Tilarán. Esto propicia una gran diversidad de zonas de vida incluidas dentro del Corredor Biológico Paso de las Nubes, ubicado al este de la REBAMB. Sin embargo, la autora señala que esta nubosidad ha disminuido en los últimos años, conforme ha cambiado la cobertura boscosa en la zona montañosa y en las regiones adyacentes (subvertiente Norte), lo que provoca una menor retención de la humedad y una disminución en la evapotranspiración de los

bosques remanentes. Esto podría ser un indicio de que aún en estas altitudes en las que se encuentra el área en estudio, el cambio climático empieza a producir efectos sobre todo en la precipitación horizontal.

3.1. Comportamiento en la precipitación según su altitud

En la figura 5, se muestra la altitud y precipitación reportada en las estaciones pluviométricas del sector Caribe. En la subvertiente Norte la estación de Zarcero es la que presenta la mayor elevación (1.736 m) y está ubicada en las cercanías de la línea de crestas. Sin embargo, esta muestra los valores más bajos de precipitación si se compara con la estación Coepelesca. Esto demuestra lo indicado por Pacheco (2012), sobre el óptimo pluviométrico o pluviográfico, donde se explica que las zonas bajas reciben menos lluvia porque se benefician menos del ascenso orográfico y están afectadas por la evaporación de la lluvia que cae desde la base de las nubes. Por encima del óptimo pluviométrico, la disminución de la humedad del aire conforme aumenta la altitud y de la cantidad de agua precipitable con las lluvias convectivas a nivel local, son los dos factores que explican la disminución de la precipitación conforme aumenta la altura.

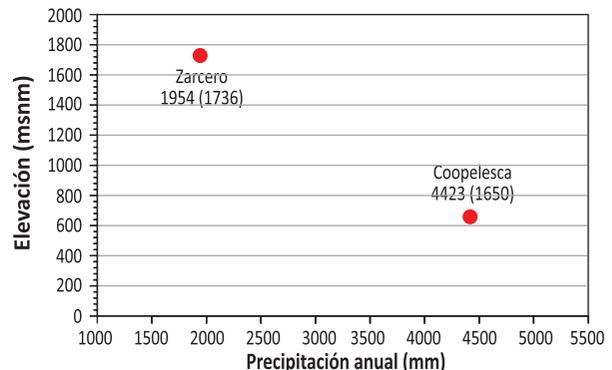


Figura 5. Registro anual de precipitación y elevación de las estaciones presentes en la subvertiente Norte. Fuente: Elaboración propia con datos de precipitación del Instituto Meteorológico Nacional.

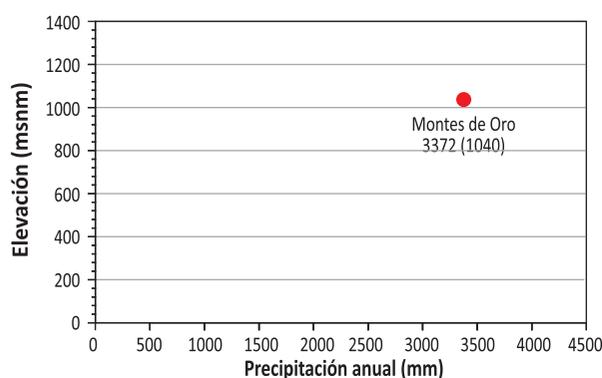


Figura 6. Registro anual de precipitación y elevación de la estación ubicada en el sector Pacífico. Fuente: Elaboración propia con datos de precipitación del Instituto Costarricense de Electricidad.

En la figura 6, se puede observar la altitud y la precipitación reportadas en la estación pluviométrica del sector Pacífico. En la región que forma parte del sector más alto de la cuenca del río Abangares, la precipitación media anual ronda los 3.000 mm. En el periodo comprendido entre septiembre y octubre, se registra la mayor cantidad de lluvia, aportando aproximadamente un 19% y 21% respectivamente, de la precipitación promedio anual (Rojas, 2011).

4. Conclusiones

Según los resultados derivados del análisis de la sección suroccidental de la cordillera de Tilarán y de la zona de influencia de la REBAMB, tanto en la subvertiente Norte como en la vertiente Pacífica convergen variedad de microclimas. Se encontró, que el régimen de precipitación está influenciado por factores como el relieve y las masas de aire cargadas de humedad, que inciden de manera más fuerte sobre la cantidad de milímetros precipitados en los sectores que comprende este estudio.

Se muestra, que en la sección suroccidental de la cordillera de Tilarán, zona de influencia de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, existe una mayor influencia climática de la subvertiente Norte. Sin embargo, para determinar el clima

no basta con estudiar únicamente los datos provenientes de las estaciones meteorológicas, ya que en las cercanías del área silvestre protegida convergen gran cantidad de factores climáticos y no climáticos como son el relieve, la exposición y ciertos cañones de ríos, que podrían alterar dichas condiciones.

Además, en esta región ocurre un régimen de precipitación muy distinto al que se da en la vertiente Pacífica y en la subvertiente Norte, siendo este un régimen muy particular de zonas ubicadas en las líneas de crestas del sector montañoso de Costa Rica o muy cercanas a estas, donde en el mes de julio se registra una primera máxima producto de la incursión de los vientos Alisios por el sector Caribe y una segunda máxima en los meses de septiembre u octubre, como consecuencia de la influencia de los Oestes Ecuatoriales y de la presencia de la ZCIT.

Por consiguiente, al analizar una región en la cercanía de la divisoria continental, no solo se debe considerar la altitud, sino otros factores como son la dirección de los vientos, la época del año, la canalización de masas de aire. Incluso a muy cortas distancias puede cambiar el panorama, o sea tener unos lugares muy lluviosos y otros muy secos, esto se origina como producto de la diferenciación orográfica, las condiciones ístmicas, la influencia marítima, los vientos y el tipo de emplazamiento.

5. Agradecimientos

Se agradece especialmente a funcionarios del Instituto Meteorológico Nacional y del Instituto Costarricense de Electricidad, por facilitar los datos mensuales de las estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio, y a Pablo Carazo Fernández, por la realización de la figuras y por sus valiosas sugerencias. Además, se le reconoce a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, por el apoyo parcial en el financiamiento de esta investigación.

6. Bibliografía

- Araya, M. (2010). *Climatología en periodos quincenales secos, húmedos y de transición en las regiones climáticas del Norte y Pacífico Norte de Costa Rica*. Recuperado de: http://www.geo.una.ac.cr/phocadownload/Trabajo_de_Graduacion/2010/tesis_2010-03.pdf
- Centro Científico Tropical. (2005). *Plan de Manejo de la Reserva Biológica Monteverde*. Puntarenas, Costa Rica.
- Elizondo, Y. (2007). *Ficha técnica para la propuesta del corredor biológico paso de las nubes (CBPN)*. Recuperado de: http://www.sinac.go.cr/corredoresbiologicos/documentacion/accvc/cb_pasonubes.pdf
- Hurtado, F y Mesa, J. (2014). Reconstrucción de los campos de precipitación mensual en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. *DYNA*, Vol. 81, Núm. 186.
- Induni, G. (2011). *Los volcanes de Costa Rica: geología, historia, riqueza natural y su gente*. 3ed. Editorial UNED. San José, Costa Rica.
- Pacheco, H. (2012). El índice de erosión potencial en la vertiente norte del Waraira Repano, Estado Vargas, Venezuela. *Revista Colombiana de Geografía* Vol. 21, No. 2. Recuperado de: <file:///C:/Users/Pablo/Downloads/Dialnet-ElIndiceDeErosionPotencialEnLaVertienteNorteDelWar-4003866.pdf>
- Retana, J. (2003). Relación entre la temperatura superficial del Mar (TSM) y anomalías de temperatura del aire en el Pacífico Norte de Costa Rica durante años ENOS como posible Predictor de Potencialidad de Plaga de Langosta. *Revista Tópicos Meteorológicos*, 10 (1).
- Rojas, N. (2011). *Cuenca río Abangares*. Recuperado de: http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/cuenca_rio_abangares_0.pdf
- SINAC, UCR. (2008). *Plan General de Manejo de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes (Administración Compartida)*. San Ramón: UCR-ACCVC-Onca Natural.
- Vargas, G. (1991). *Algunas consideraciones geográficas, geológicas y ecológicas de la cuenca del río San Lorenzo, San Ramón, Alajuela, Costa Rica*. En: R. Ortiz (editor). Memoria de Investigación Reserva Forestal de San Ramón, 1:17-22. Serie Cátedra Universitaria.
- Waylen, P. y Quesada, M. (2002). *The effect of Atlantic and Pacific sea surface temperature on the Mid-Summer drought of Costa Rica. Environmental change and weather sustainability*. España: Instituto Pirenaico de Ecología.

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).

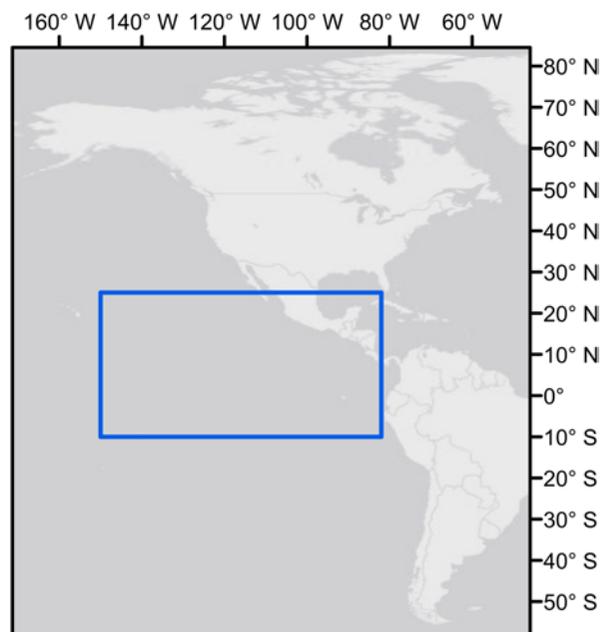
Para las comparaciones estadísticas y teleconexiones con procesos climáticos de gran escala se usaron índices atmosféricos y oceánicos, tales como los indicadores de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) de las regiones Niño1&2, Niño3, Niño4, Niño3&4, el índice Multivariado de ENOS (MEI) (Wolter and Timlin, 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.

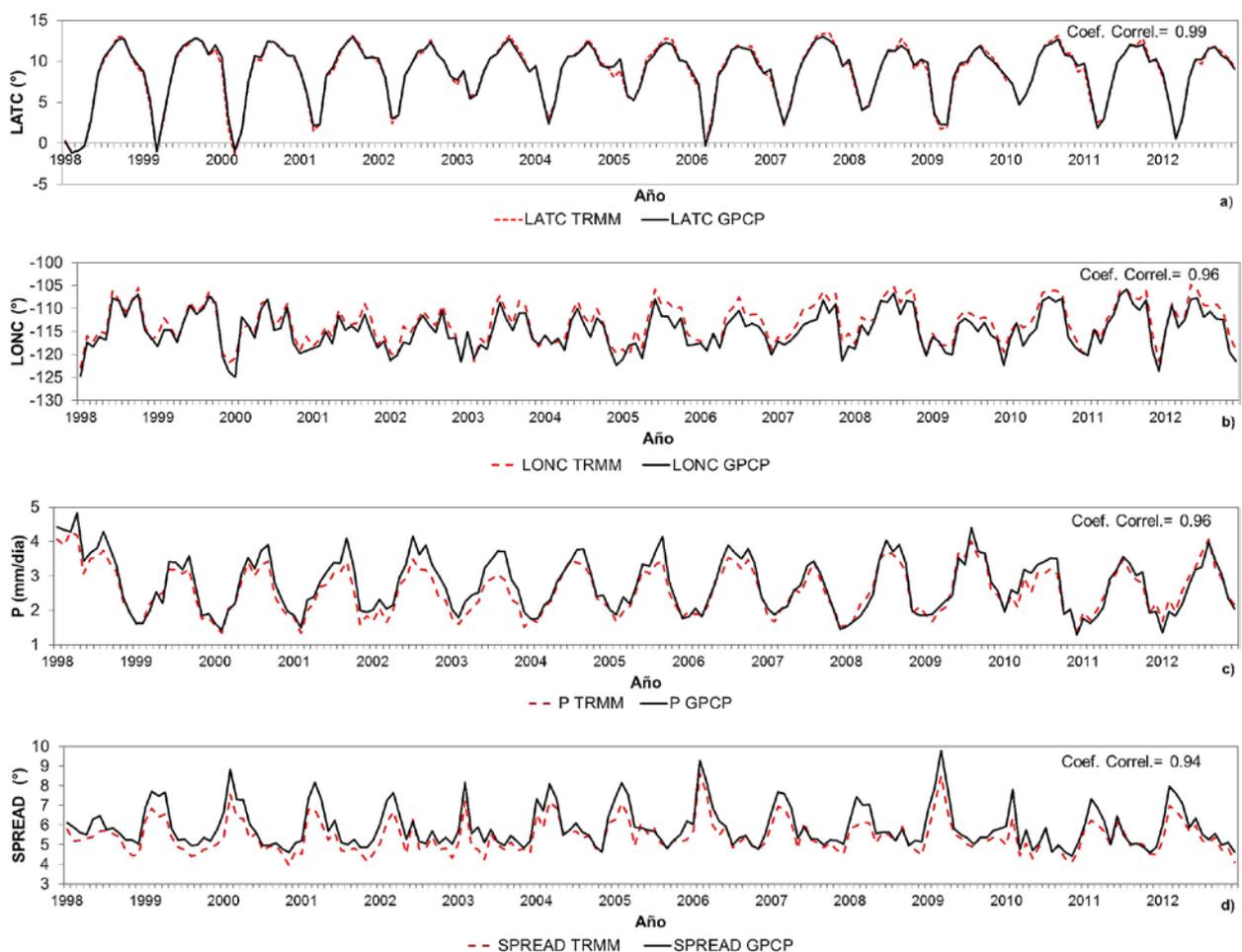


Figura 2. Índice CM-ZCIT, datos de TRMM y GPCP (1998-2012): a) LATC, b) LONC, c) P y d) SPREAD.

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

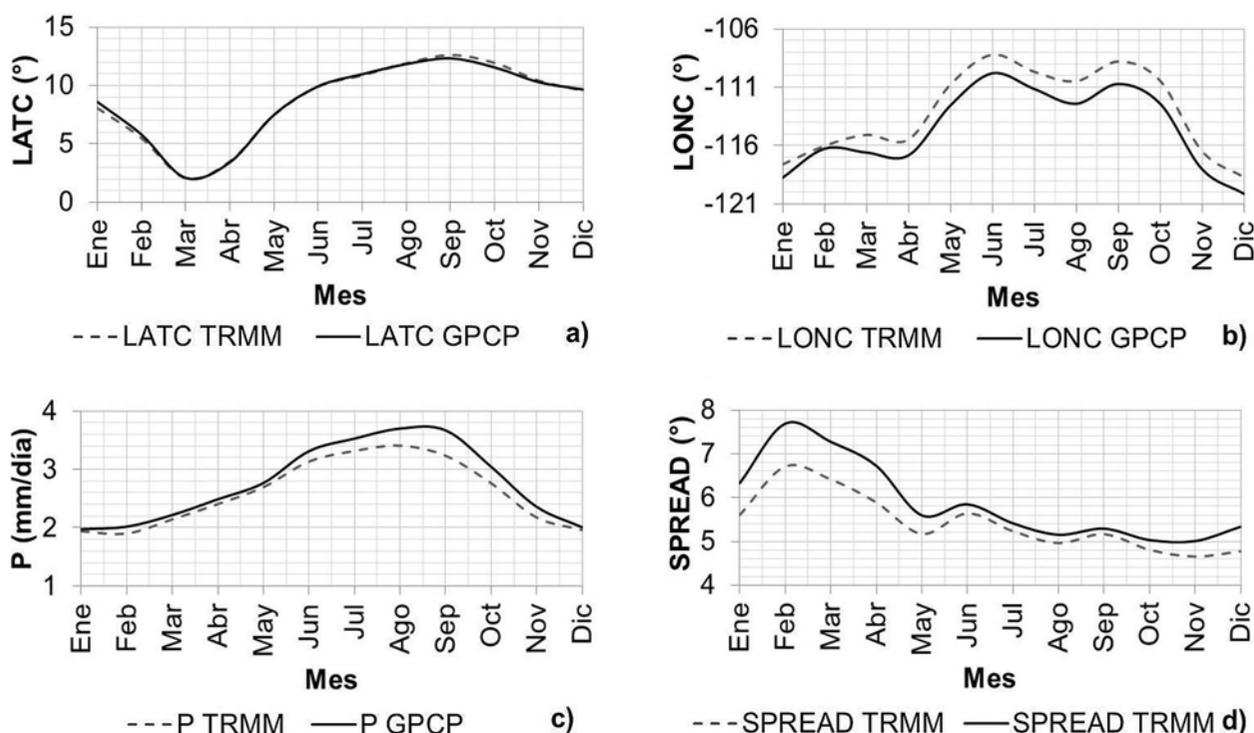


Figura 3. Ciclo anual de las series mensuales de TRMM y GPCP. Correlación lineal de 0.9 de ambas series. a) LATC, b) LONC, c) P y d) SPREAD. Periodo 1998-2012.

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.

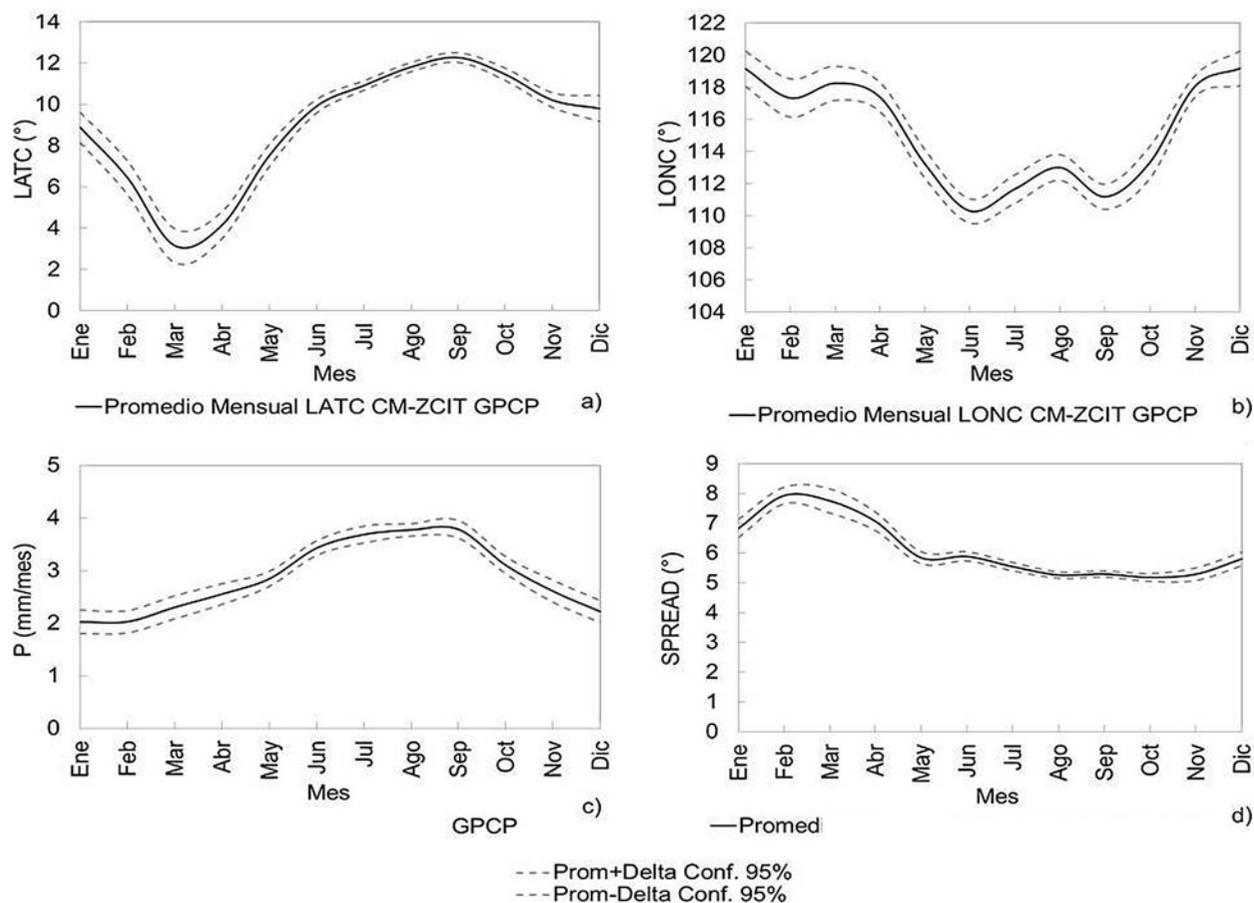


Figura 4. Patrón estacional del CM-ZCIT, basada en datos del GPCP. Periodo 1979-2012. a) variación meridional LATC ($^{\circ}$ /mes), b) variación zonal LONC ($^{\circ}$ /mes), c) variación de la precipitación P en (mm) y d) variación mensual de la SPREAD ($^{\circ}$ /mes).

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.

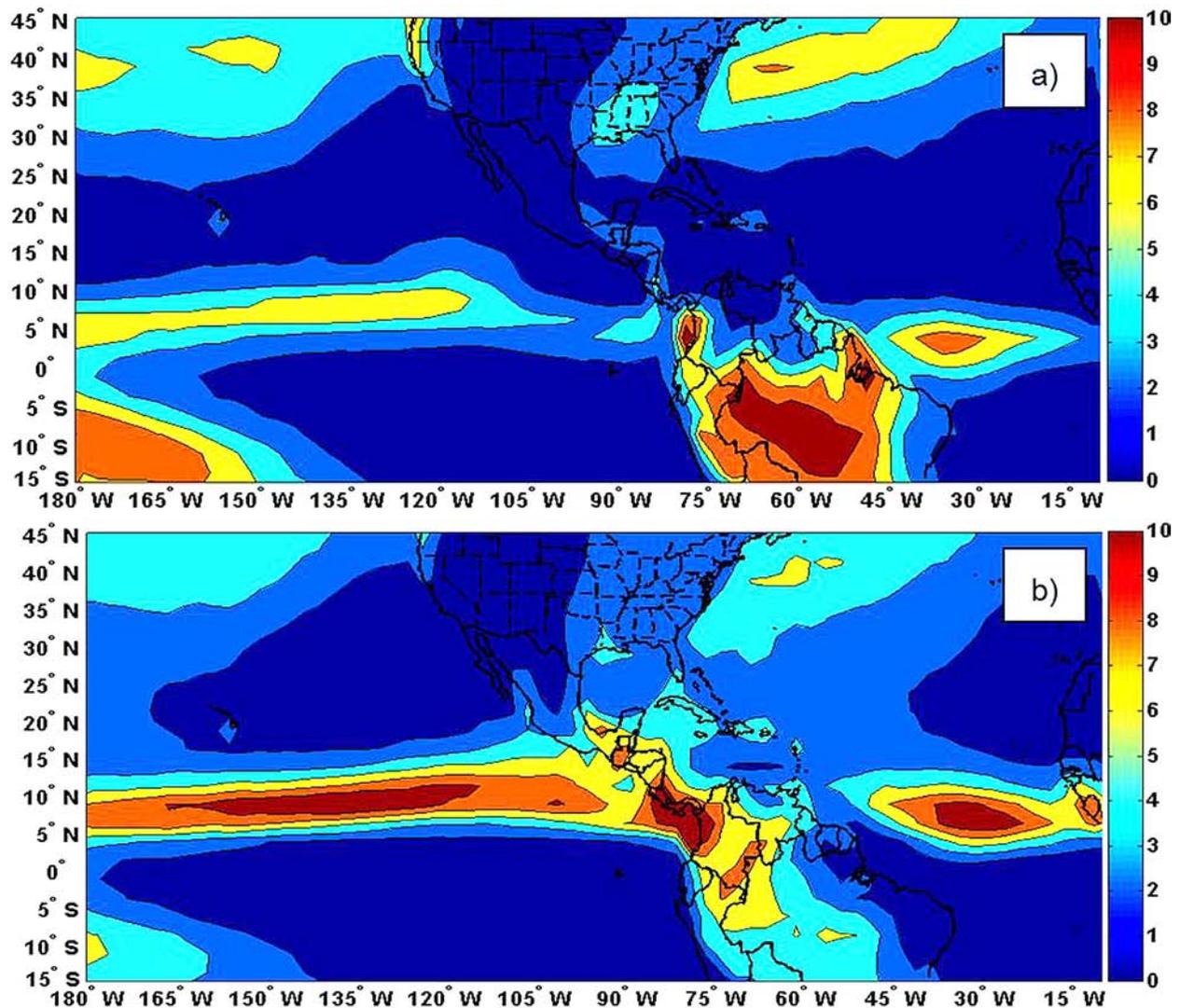


Figura 5. Ubicación espacial de la ZCIT en el trimestre a) DEF y b) JJA, con datos de precipitación (mm/mes) del GPCP del periodo 1979-2012.

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.

Assessment of Central America Regional Climate Outlook Forum maps, 1998-2013

ERIC J. ALFARO^{1,2,3}, HUGO G. HIDALGO^{1,2},
NATALIE P. MORA¹, PAULA M. PÉREZ, BERNY FALLAS⁴

Abstract

Starting 1997, the Regional Climate Outlook Forums or RCOFs have taken place in different Latin American countries, as an effort to generate climatic prediction products. Since 2000, the Forum is organized in Central America by the Regional Water Resources Committee (CRRH), which is the technical secretariat of the Central American Integration System, or SICA, responsible for the coordination of activities related to weather forecasts, climate, water resources and climate change assessment. Since 2007 and after every RCOF, meetings are being held with different stakeholders in order to study the possible climate impacts on various socio-economic sectors of the Isthmus. In this work, 41 climate prediction maps of precipitation produced by the forums were evaluated. For this purpose, 156 rain gauge stations were used along with 689 and 17158 grid points from TRMM and CHIRPS data sets respectively. The cumulative seasonal rainfall were also compared with other three perspectives: the outputs of the Climate Predictability Tool (CPT); the prediction based on the persistence of the conditions observed in the previous month of the forum (RCOF); and another one always predicting neutral conditions. The results showed that the RCOFs maps have a value added for decision-makers, as most of the time they shown skilled predictive ability. The prospects based upon the prediction of always-neutral conditions showed the least predictive ability, meaning that making decisions without taking into consideration the climate outlook information is worse than using the RCOF maps. Moreover, the inclusion of objective tools and giving them a more specific weight in the consensus map production could be a factor that increases the predictive ability of the forums.

KEYWORDS: SEASONAL CLIMATE PREDICTION, CENTRAL AMERICA, REGIONAL CLIMATE OUTLOOK FORUMS

Resumen

Desde el año 1997, se han llevado a cabo en diferentes países de Latinoamérica los Foros Regionales de Predicción Climática con el objetivo de generar productos de predicción climática. En América Central, este foro es organizado desde el año 2000 por el Comité Regional de Recursos Hidráulicos o CRRH, el cual es la secretaría técnica del Sistema de Integración Centroamericano o SICA, encargada de coordinar las actividades relacionadas al pronóstico del tiempo, clima, recursos hídricos y cambio climático. A partir del año 2007, se realizan reuniones luego del foro de predicción climática, que tienen como finalidad estudiar los posibles impactos climáticos en distintos sectores socioeconómicos del istmo. En este trabajo se evaluaron 41 mapas de predicción climática de precipitación producidos por el foro, usando un conjunto de 156 estaciones pluviométricas, así como 689 y 17158 puntos de rejilla de los conjuntos de datos TRMM y CHIRPS, respectivamente. Los acumulados estacionales de la precipitación también fueron comparados con otras tres perspectivas: las salidas de la Herramienta de Predictibilidad Climática o CPT, la predicción basada en la persistencia de las condiciones observadas el mes previo al foro y una basada siempre en la predicción de condiciones neutrales. Los resultados mostraron que los mapas del foro tienen un valor agregado para los tomadores de decisión, ya que mostraron habilidad predictiva la mayoría de las veces. Las perspectivas

1 Center for Geophysical Research, University of Costa Rica.

2 School of Physics, University of Costa Rica.

3 Center for Research in Marine Sciences and Limnology, University of Costa Rica.

4 Hydrology Department, Costa Rican Institute for Electricity.

Emails: erick.alfaro@ucr.ac.cr, hugo.hidalgo@ucr.ac.cr, natali.morasandi@ucr.ac.cr, paula.perez@ucr.ac.cr, bfallasl@ice.go.cr

basadas en la predicción siempre de condiciones neutrales fueron las que mostraron la menor habilidad predictiva, lo que significa que tomar decisiones sin tomar en cuenta la perspectiva climática, es peor que usar los mapas del foro. También, el darle un peso mayor dentro del proceso de consenso al uso herramientas objetivas de predicción climática, podría ser un factor que aumente la habilidad predictiva de los foros.

PALABRAS CLAVE: PREDICCIÓN CLIMÁTICA ESTACIONAL, AMÉRICA CENTRAL, FOROS REGIONALES DE PREDICCIÓN CLIMÁTICA.

1. Introduction

As Maldonado, Alfaro, Fallas, and Alvarado (2013) explain, Central American National Meteorological and Hydrological Services (NMHS) hold periodic Regional Climate Outlook Forums (RCOF) to discuss seasonal precipitation predictions produced by all countries. Since 1997, RCOFs have taken place in various Latin American countries, in an effort to produce seasonal prediction products (IRI, 2001). They have been funded by several international agencies with the assistance of local and regional entities such as the Regional Water Resources Committee (CRRH) in Central America (Donoso & Ramirez, 2001; Garcia-Solera & Ramirez, 2012). Since 2000, the Forum is organized in Central America by the CRRH, which is the technical secretariat of the Central American Integration System or SICA, and is responsible for the coordination of activities related to weather forecasts, climate, water resources, and climate change assessment in Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua and Panama (Garcia-Solera & Ramirez, 2012). Alfaro, Soley, and Enfield (2003) add that generally, these forums gather representatives of the NMHS, as well as members of the scientific and academic community, who work on the elaboration of regional and local climate forecasts for the next season.

The objective of these forums is to use national climatic experience to elaborate a regional consensus for the climate outlook. In Central America, precipitation accumulation is the variable generally forecasted for the months following a particular forum. The forecast is presented in a format that is useful for the agencies involved as

stakeholders. The recommended methodology for the forecast is quite simple and this forecast is later integrated geographically with the coordinated inputs from the countries of the region, and it is used as a tool by the meteorological services and as a basis for expected impact scenarios by stakeholders and decision-makers (Alfaro et al. 2003).

Garcia-Solera and Ramirez (2012) explain that, in order to produce the outlooks, RCOFs also analyze hindcasts and statistical analysis given by each of the NMHS of the region. In this work, distribution of RCOF meeting venues by country is: 10 in Costa Rica, 7 in Panama, 6 in Guatemala, 6 in El Salvador, 6 in Honduras, 3 in Nicaragua, 2 in Belize and 1 in Mexico.

Other data used to produce the outlooks in Central America include the most recent evolution of anomalies and sea surface temperature forecasts of the Tropical Atlantic and Pacific oceans; such information is contained in:

- The observed values of Multivariate ENSO Index (MEI; Wolter & Timin, 2011).
- The Pacific Decadal Oscillation (PDO; Mantua, Hare, Zhang, Wallace, & Francis, 1997).
- The Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO; Enfield, Mestas-Nunez, & Trimble, 2001).
- The Tropical North Atlantic observed anomalies (TNA; Enfield & Alfaro, 1999) and atmospheric pressure forecast.
- The general circulation model seasonal forecasts.
- The hind precipitation data of analog data for the forecast period.
- The probabilities for precipitation scenarios for the period.

- The analysis of canonical correlation or CCA with the Climate Predictability Tool (CPT; Mason & Tippett, 2016).
- The Atlantic and Pacific Oceans hurricane season forecast.

Since 2007, as explained by Maldonado et al. (2013), after every RCOF, meetings with different socioeconomic stakeholders take place in order to study the possible climate impacts of the outlooks on the Central American region. According to Garcia-Solera and Ramirez (2012), the aims of these meetings are to analyze the effects, impacts, and climatic variability projections in different sectors including agriculture, water, fisheries, health and nutrition, risk management and energy, and to produce disaster prevention and mitigation strategies, according to the climate scenarios proposed at the end of each forum. CRRH turns Seasonal Climate Outlooks into risk scenarios used by food-related sectors to support their decisions and minimize food insecurity. This is accomplished as a coordinated effort carried out by specialized entities of SICA, turning the product into sectoral climate risk scenarios that could guide early warnings about actual and potential threats to food security.

The objective of this work is to assess the skill of Central American RCOF maps. This assessment is important since the main goal of the seasonal outlook is to provide information and advice to risk management and food security stakeholders according to the regional climatic projections. As a result, it is designed to emphasize the most relevant impact analysis and foreseeable effects, for risk prevention and mitigation (Garcia-Solera & Ramirez, 2012).

2. Data and Methodology

As a first step, we collected all maps produced by the RCOFs in Central America from 1998 to 2013. To increase the sampling size, in the analysis we

also included the outlook maps of the 1998 and 1999 forums organized by the Water Center for the Humid Tropics of Latin America and The Caribbean (CATHALAC) in collaboration with the CRRH (Donoso & Ramírez, 2001). Outlook seasons in these forums are normally for May-June-July (MJJ), August-September-October (ASO) and December-January-February-March (DJFM) accumulated precipitation.

According to García-Solera and Ramírez (2012), the reason for that selection is mainly because precipitation patterns in Central America define three planting seasons: the *primera* in April, the *postrera* in August–September, and the *apante* or winter season in DJFM. RCOF organizes its outlooks so that they can disseminate information to users before the beginning of each planting season. Actually, web meetings produce updates of these outlooks that include also April and November, to attend the start and the end of the rainy season. We collected 13 maps of MJJ season, 12 maps of ASO, as well as 12 maps of DJFM. Additionally the 1998, 2000 and 2001 June-July-August maps were included, along with the 2001 September-October-November one. Outlook maps were obtained from the CRRH archives.

All maps were digitalized enclosing the regions predicted as Below Normal (BN), Neutral (N), and Above Normal (AN). Those are the three categories used by the RCOF for the seasonal rainfall accumulations (figure 1).

The RCOF outlook maps were assessed using three data sets. The first dataset is from gauge stations. In this case we considered a total of 156 gauge stations with monthly precipitation observations provided by the NMHS in Central America during a training workshop on climate prediction, organized by the CRRH in June 2014 in San Jose, Costa Rica. Station locations are shown in figure 2. Since each meteorological station has a distinct time coverage, a common time series length was determined according to the availability of data in

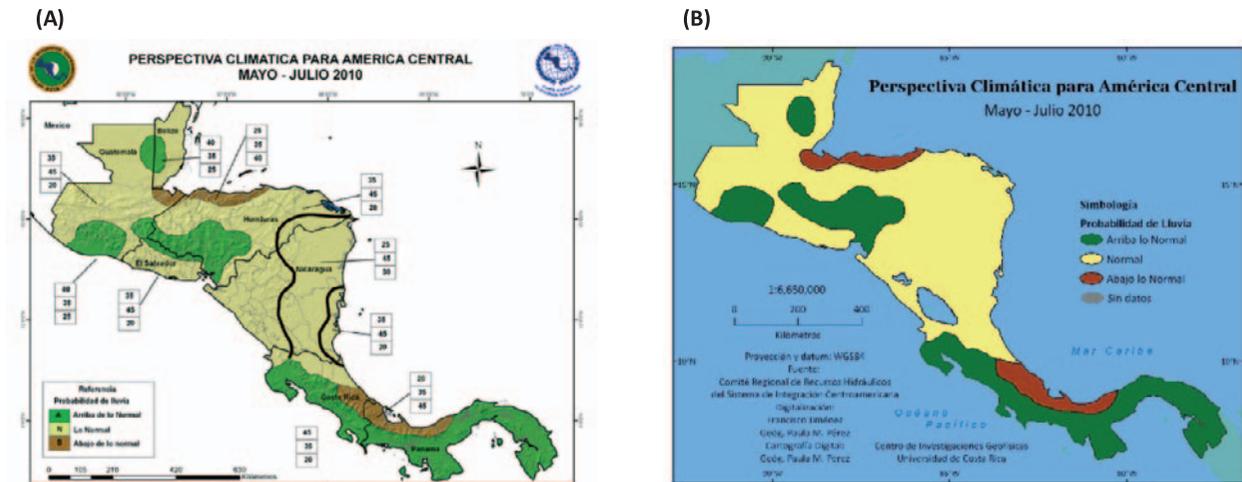


Figure 1. Example of digitalization of the RCOF maps. The map contained in the RCOF document for MJJ 2010 is presented in (A), and its digitalization enclosing the regions predicted as Below Normal (BN, brown), Neutral (N, yellow or light brown) and Above Normal (AN, green) is presented in (B). Source: CRRH-SICA.

the different stations of figure 2. Therefore, the selected time series length covers from January 1979 to March 2014. The 1979-1997 period was used to calculate the tercile thresholds and 1998-2014 to compare with the RCOF maps. The gaps in the time series were filled using the methodology described by Alfaro and Soley (2009), which combines autoregressive models and Empirical Orthogonal Functions (EOFs) methods.

The other two datasets are from the Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) and the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS). Since some areas of Central America have no good gauge stations coverage, mainly at the Caribbean slope, we also used the TRMM (Huffman et al., 2007) and the CHIRPS (Funk et al., 2015) datasets to have full spatial coverage over the isthmus, as additional sources to assess the RCOF maps.

TRMM monitors tropical and subtropical precipitation and is a joint satellite mission between the National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). In this study, the

TRMM 3B42 version 6 algorithm, for precipitation rate estimates were chosen.

These TRMM estimates correspond to a 3-hourly average centered at the middle of each 3-hour period (i.e., 0Z, 3Z, 6Z, 9Z, 12Z, 15Z, 18Z, and 21Z). The final 3B42 product data are available at 0.25 x 0.25° spatial resolution extending from 50°S to 50°N. For the present study, the evaluation using the TRIMM data covered the 1998-2014 period, since this a limitation due to the shorter time span of these data compared to the availability of station data. In order to transform the satellite precipitation data into a daily frequency, it was necessary to merge the 3-hourly data, considering the local time. After that, seasonal precipitation estimates were calculated for 689 grid points over the isthmus.

The CHIRPS dataset blends data from weather stations and weather satellites with extraordinary accuracy, providing a detailed record of global rainfall stretching back more than 30 years (<http://www.vox.com/2016/4/11/11389550/drought-prediction-agriculture>). The latest version (version 2.0) spans 50°S–50°N (and all

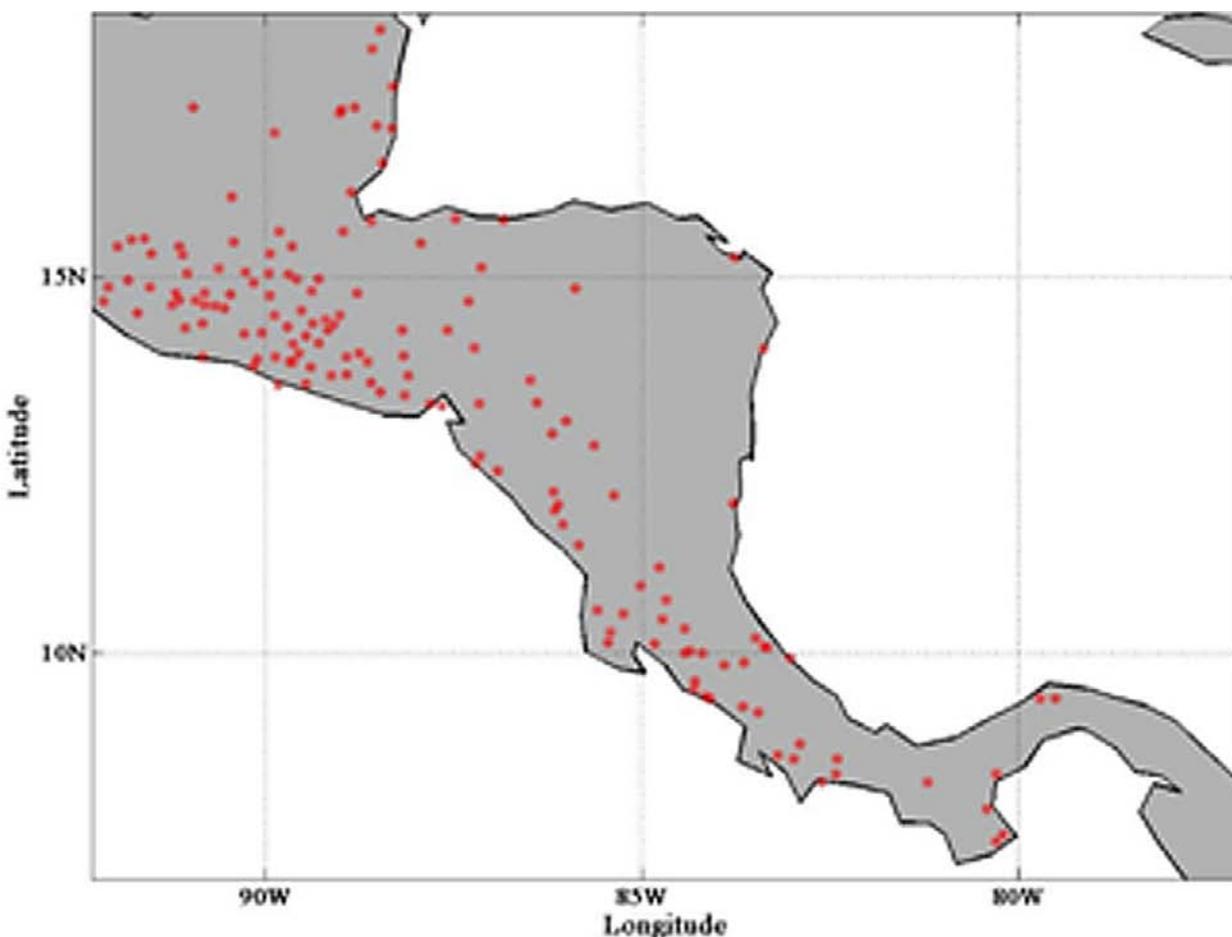


Figure 2. Location of the rain gauge stations used (red dots).

longitudes), and starts in 1981 to near present. CHIRPS incorporates 0.05° resolution satellite imagery with in-situ station data to create gridded rainfall time series for trend analysis and seasonal drought monitoring. Seasonal precipitation estimates were calculated for 17158 grid points over the isthmus.

The assessment of each forum map was done using the same observed seasonal categories (i.e. BN, N and AN) in the station observations, the TRMM and CHIRPS datasets. These comparisons are illustrated in Figure 3. The rainfall gauge observations were also compared with a) the Canonical Correlation Analysis (CCA) output models using the Climate Predictability Tool (CPT) for the same RCOF seasons, b) using the

persistence of the observed station anomaly previous to the RCOF season and c) using a seasonal forecast always based on the Neutral category.

The CPT, elaborated by the International Research Institute for Climate and Society (IRI, Mason & Tippett, 2016, <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/tools/cpt/>), was chosen because it is nowadays in use for operative seasonal climate predictions in Central America by the NMHSs.

As in the work of Maldonado, Rutgersson, Alfaro, Amador, and Claremar (2016), the extended reconstructed sea surface temperatures (ERSSTv3b, Smith, Reynolds, Peterson, &

Lawrimore, 2008) were used as predictors in the CCA models. The sea surface temperature (SST) anomalies were constructed using a combination of observed data along with models and historical sampling grids. This global database has a horizontal resolution of 2.5 by 2.5.

The SST domain bounded by 63°N-10°S and 152°E-15°W was considered in order to capture the signal of the most important climate variability modes for the Central American isthmus. These variability modes are El Niño Southern Oscillation (ENSO), the North Atlantic Oscillation (NAO), PDO, AMO and the TNA, which have shown to be relevant in terms of rainfall climate variability (Fallas-López & Alfaro 2012a, 2012b).

The above CCA methodology is based on Maldonado et al. (2013; 2016) and it is implemented and summarized as follows: the fields (SST anomalies, predictors and seasonal accumulates, predictands) are first reduced by means of principal component analysis (PCA) to assure stability in the CCA parameters. A maximum of 10 EOFs and CCA modes in the filtering stage are allowed. This threshold is

suggested here to avoid overparameterisation. The optimal combination of EOFs and CCA modes are calculated by means of the goodness index (mean Kendall τ). The maximum possible number of CCA modes, however, is determined first by the minimum number of EOFs between both fields. Then, with the goodness skill, the maximum number of CCA modes is found for the best fit to avoid any overparameterisation in the model $Y_1 = b^T \cdot X$, where the elements of b are the ordinary least-squares regression coefficients computed with CCA, and Y_1 is the predicted value of Y . The τ was computed using cross-validation models with 5-month window since 1979 to the RCOF season for each station in all the models. It is worth mentioning that, at the end, the models would not necessarily have 10 EOF and CCA modes. Monthly SST anomalies fields from the month before the RCOF season were analyzed as potential predictors (lead-time). Each experiment was conducted with the observed persistence of the rain gauge station records during the previous two months, e.g. prior to the RCOF seasons accumulates.

Summarizing, six comparison experiments were done: 1) RCOF maps vs Stations Observations,

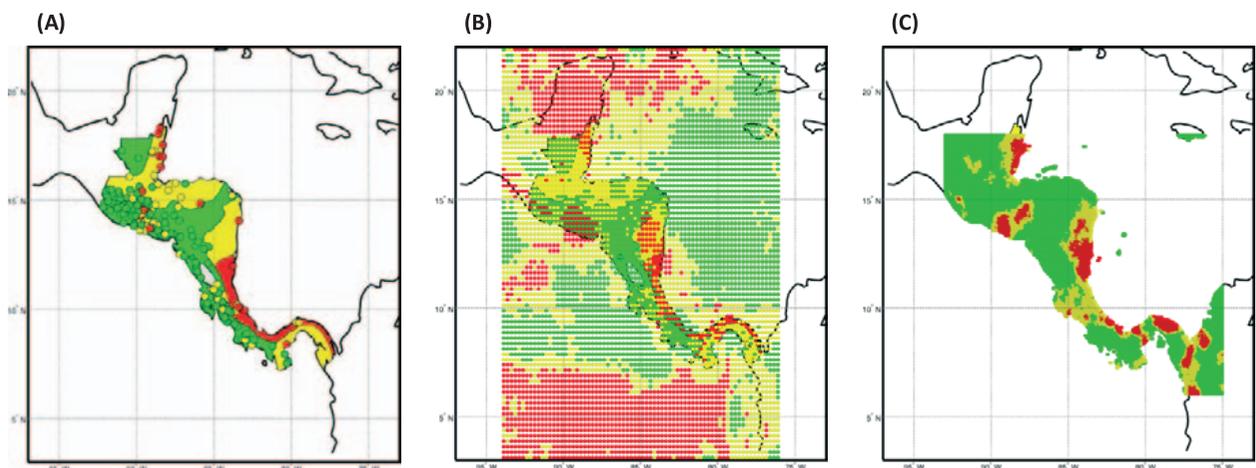


Figure 3. Example of the ASO 2010 RCOF map comparison with the observed Below Normal (BN, red), Neutral (N, yellow) and Above Normal (AN, green) categories in (A) rainfall gauge stations, (B) TRMM and (C) CHIRPS grid data. Only grid data points over land at Central American isthmus were used for these comparisons in (B) and (C), including the areas of Belize, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica and Panama.

2) RCOF maps vs TRMM grid data, 3) RCOF maps vs CHIRPS grid data, 4) CTP outputs vs Station Observations, 5) Previous Month Persistence vs Station Observations and 6) Always Neutral Forecast vs Station Observations.

The performance of the outlooks were assessed using the Skill Score (SS) and the Gerrity score (Wilks, 2011; Mason & Stephenson, 2008) based on a 3 x 3 contingency table for BN, N and AN categories for outlooks and observations (Alfaro et al., 2003). SS transforms the information that the Hit Rate (HR) coefficient gives, where:

$$HR = \frac{(f_{11} + f_{22} + f_{33})}{n} * 100 \quad (1)$$

f_{ij} are the observed occurrences in the 3 x 3 contingency table and n is the total number of prediction-observation pairs.

We calculated the SS as:

$$SS = \frac{100 * (HR - 33.33)}{(100 - 33.33)} \quad (2)$$

Note that when a prediction is completely random $SS = 0$, and when the correspondence is exact ($\Pr\{\text{Success}\}=1$) $SS = 100$, meaning a perfect group of hits. This last case tells us that the empirical probabilities of the smallest diagonal are null. Negative values of the SS indicate that misses dominate in our analysis.

Gerrity score is similar to the SS with the exception that now the predictions having two erroneous terciles are much more downgraded than those that only have one, and we can express it as:

$$Gerrity = \frac{(z_1)}{z_2} * 100 \quad (3)$$

where z_1 is the sum of the weighted frequencies; for the positive correlation between predictions and observations:

$$z_1 = 1.25 * f_{11} - 0.25 * f_{12} - 1.00 * f_{13} - 0.25 * f_{21} + 0.50 * f_{22} - 0.25 * f_{23} - 1.25 * f_{31} - 0.25 * f_{32} + 1.25 * f_{33}$$

Now, z_2 is the sum of the weighted frequencies in a perfect group of hits. If the predictions were random and all the empirical frequencies of the contingency table tended to the same value (z_1) then Gerrity score would tend to zero. On the other hand if we had a perfect prediction then the ratio z_1/z_2 would tend to one and the Gerrity score would tend to 100. As with the SS, negative values of the Gerrity score would indicate that misses dominate our analysis.

The scores were first calculated for every seasonal outlook, considering all stations or grid points. This was done to study the RCOFs skill trough time. We compared the score median outlooks from 1998 to 2007 with those from 2008 to 2013, to study if any statistical difference was observed. The scores were also calculated for every station and for all outlook seasons, in order to spatially study the RCOFs skill.

3. Results

Figures 4 and 5 show the box plot of SS and Gerrity score values for outlooks made for MJJ, ASO, DJFM and all seasons. Results from figures 4 and 5 show that all the comparisons between RCOFs maps and station observations (label 1) had positive median values. Using grid databases from TRMM or CHIRPS, for a full isthmus coverage, did not systematically improved or degraded the scores median values (labels 2 and 3) when they were compared with the station observation results. Higher P_{75} score values were observed in all comparisons between CTP outputs and station observations (label 4) and the highest scores were for the MJJ 2010 outlook. Comparisons between previous RCOFs month persistence and station observations (label 5) also had positive median and P_{75} values in all seasons, but they were not systematically better than those obtained between RCOFs maps vs station observations and between CTP outputs vs station observations. Most of the positive outliers in Figs. 4d and 5d are for the ASO seasons. Outlooks based

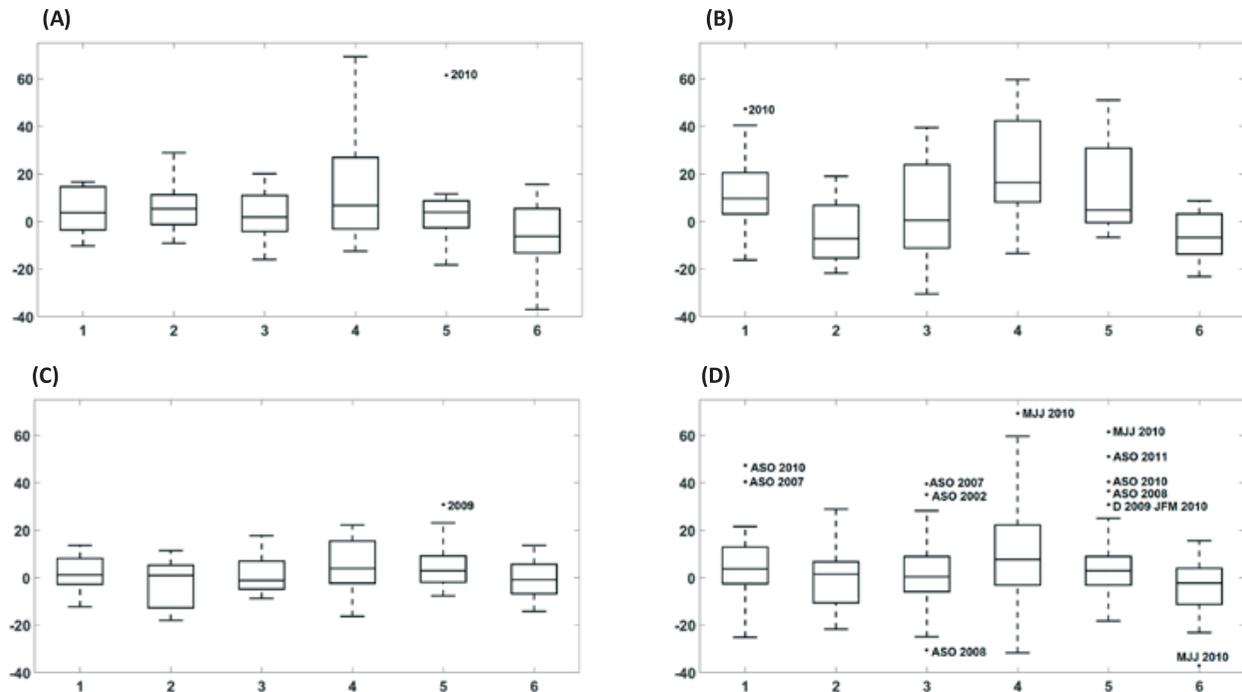


Figure 4. Box plot of SS values for outlooks made for (A) MJJ, (B) ASO, (C) DJFM and (D) all seasons. Black asterisks are for the outliers behind the whiskers ($P_{75} +$ or $P_{25} - 1.5$ IQR for upper or lower outliers). Box plot comparisons are for: 1) RCOF maps vs Stations Observations, 2) RCOF maps vs TRMM grid data, 3) RCOF maps vs CHIRPS grid data, 4) CTP outputs vs Station Observations, 5) Previous Month Persistence vs Station Observations and 6) Always Neutral Forecast vs Station Observations.

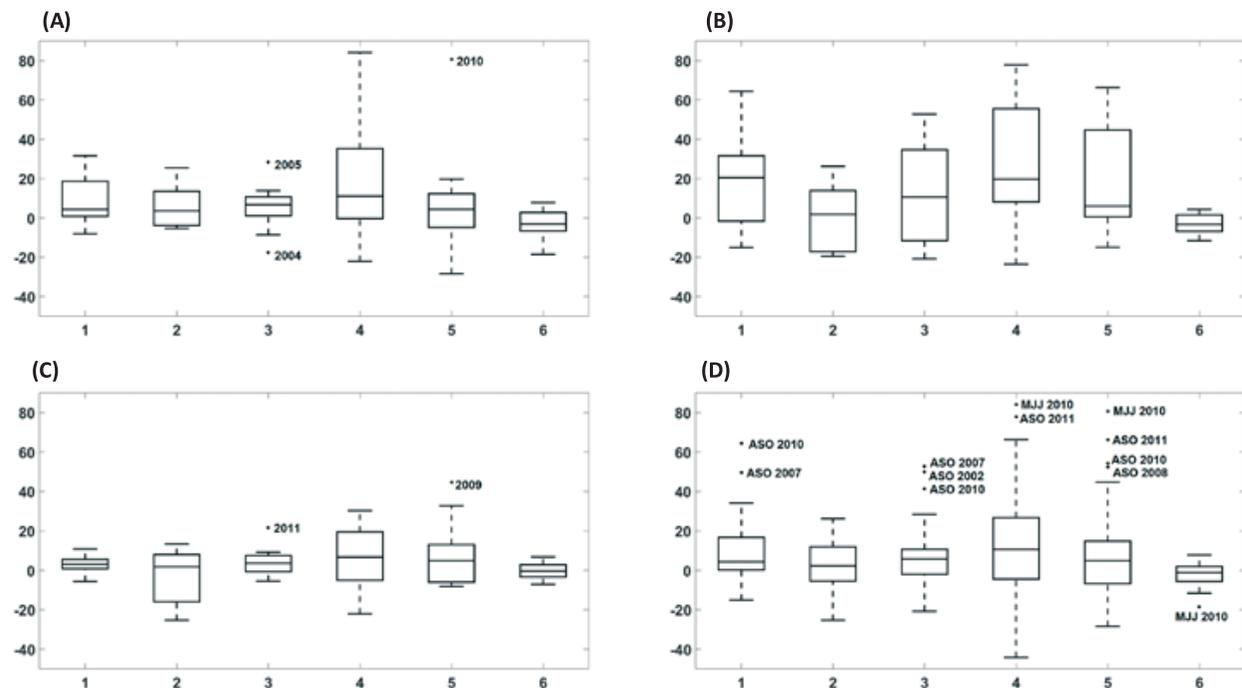


Figure 5. Same as figure 4 but for Gerrity score values.

on an Always Neutral forecast had the worse median results in all cases (see label 6 in Figures 4 and 5). SS and Gerrity score values comparing individual outlook maps and observed rainfall gauge values for MJJ, ASO, DJFM and all seasons are presented in figures 6 and 7, respectively.

We do not present the comparisons between RCOFs maps and TRMM or CHIRPS gridded data because they did not systematically improved or degraded the scores median values when compared with the station observation results in figures 4 and 5. None of the median value differences between the 1998-2007 and 1998-2013 was statistically significant under the Mann-Whitney-Wilcoxon

non parametric test, but all of the differences were positive, except for SS values in figure 6c for DJFM outlooks. Having a positive difference in Figures 6c and 7c results, means that misses in the 1998-2013 DJFM outlooks are mainly by one category. Highest scores were observed for the ASO 2010 outlook. The worst outlooks using the SS were observed for the JJA 1998, the first one celebrated in Central America, and for ASO 2003 using the Gerrity score, mainly because misses by two categories dominated that last outlook comparison. From figure 6, it was observed that 69.2, 83.3, 50.0 and 63.4% of the SS values are positive for the MJJ, ASO, DJFM and all seasons outlooks. Observed values for Gerrity score are 84.6, 66.7, 83.3 and

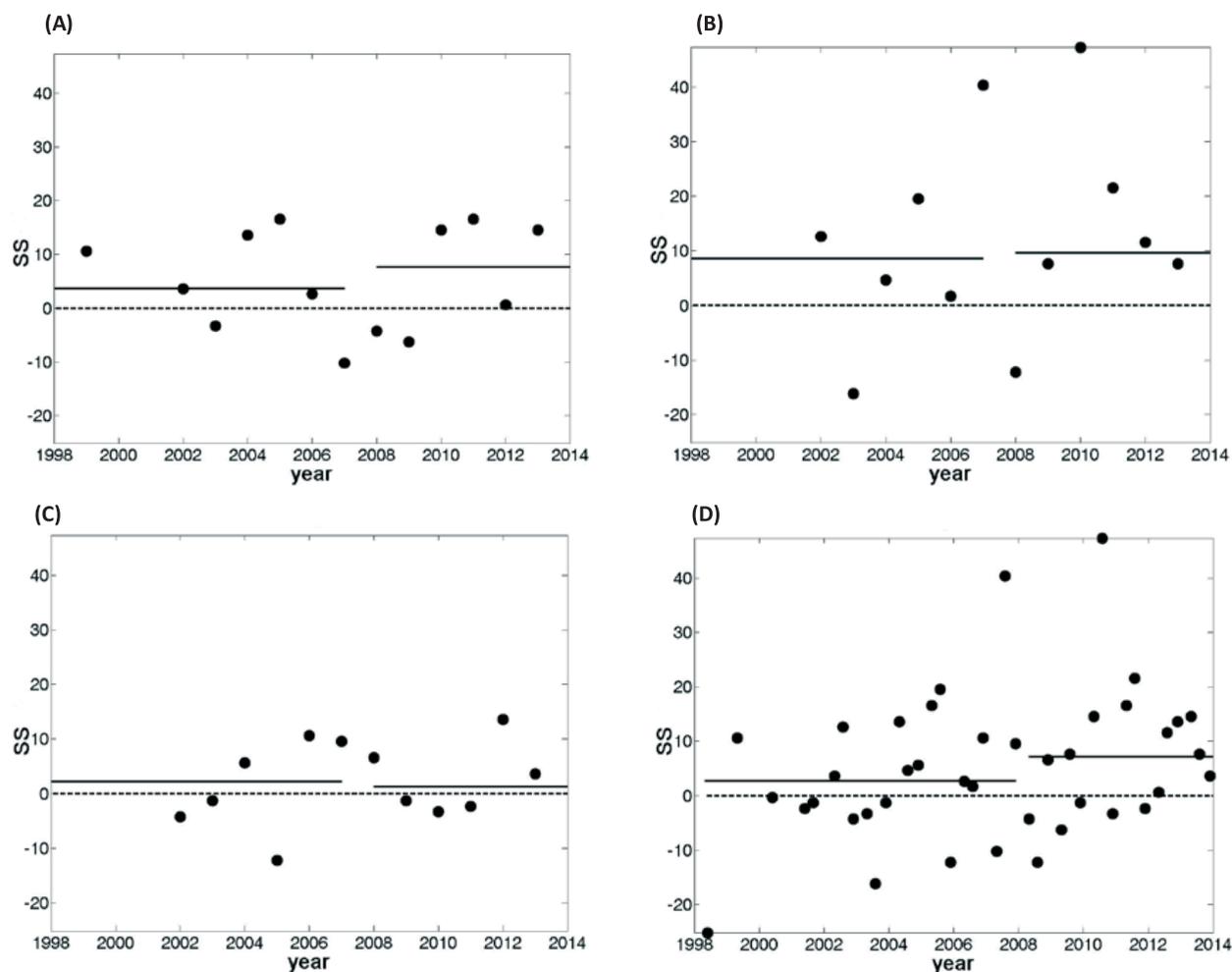


Figure 6. SS values comparing individual RCOF maps and observed rainfall gauge values for (A) MJJ, (B) ASO, (C) DJFM and (D) all seasons. Horizontal solid lines are the median value for 1998-2007 and 1998-2013 periods, respectively.

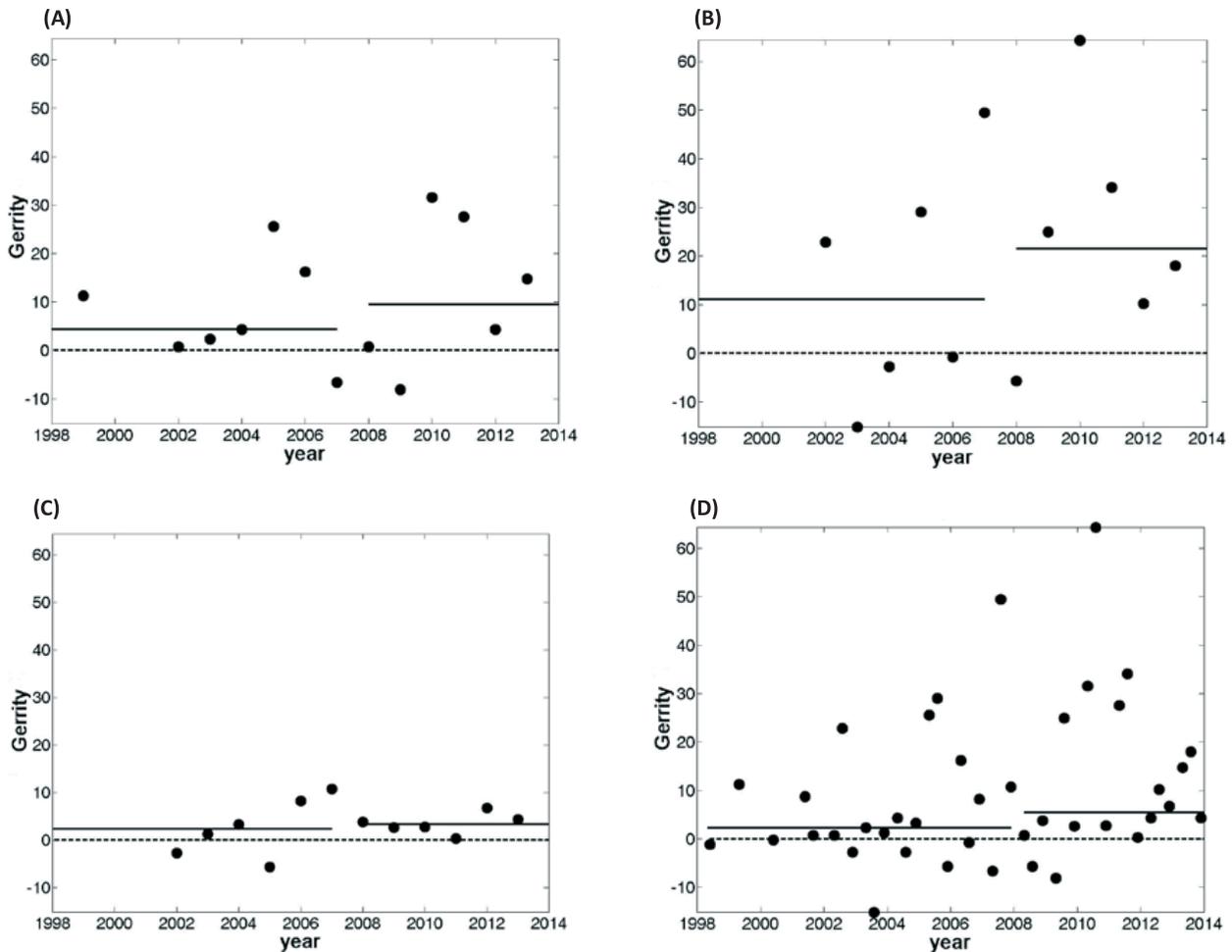


Figure 7. Same as figure 6 but for Gerrity score values.

75.6%, respectively (figure 7). Notice that DJFM season outlooks have the worst assessment scores and that, in general, the percentage of positive Gerrity score values are greater than those of the SS, except for ASO season outlooks.

This could reflect that misses by one category dominated those outlook comparisons, except for ASO. The lower SS and Gerrity scores for DJFM could mean that drivers modulating the rainy season in Central America (typically from April to November, Taylor & Alfaro, 2005) are better understood than those modulating during the dry season (typically from December to March, Taylor & Alfaro, 2005). Predictive schemes for different aspects of the rainy season were studied by Enfield and Alfaro (1999), Alfaro (2007a), Fallas-

López and Alfaro (2012a, 2012b), Maldonado et al. (2013; 2016), but just Fallas-López and Alfaro (2012a, 2012b) produced predictive schemes for the dry season.

The spatial distribution of Gerrity score comparing RCOF maps and the rain gauge observations is presented in Figure 8. It is observed that ASO showed the best score values except for the North Caribbean slope of Central America, this region was extended for MJJ, in which the best scores were observed at the South and North Pacific slope. DJFM had the lowest skill values, except for some lobes across the isthmus.

These patterns are maintained when CPT outputs and rain gauge observations are compared (Figure

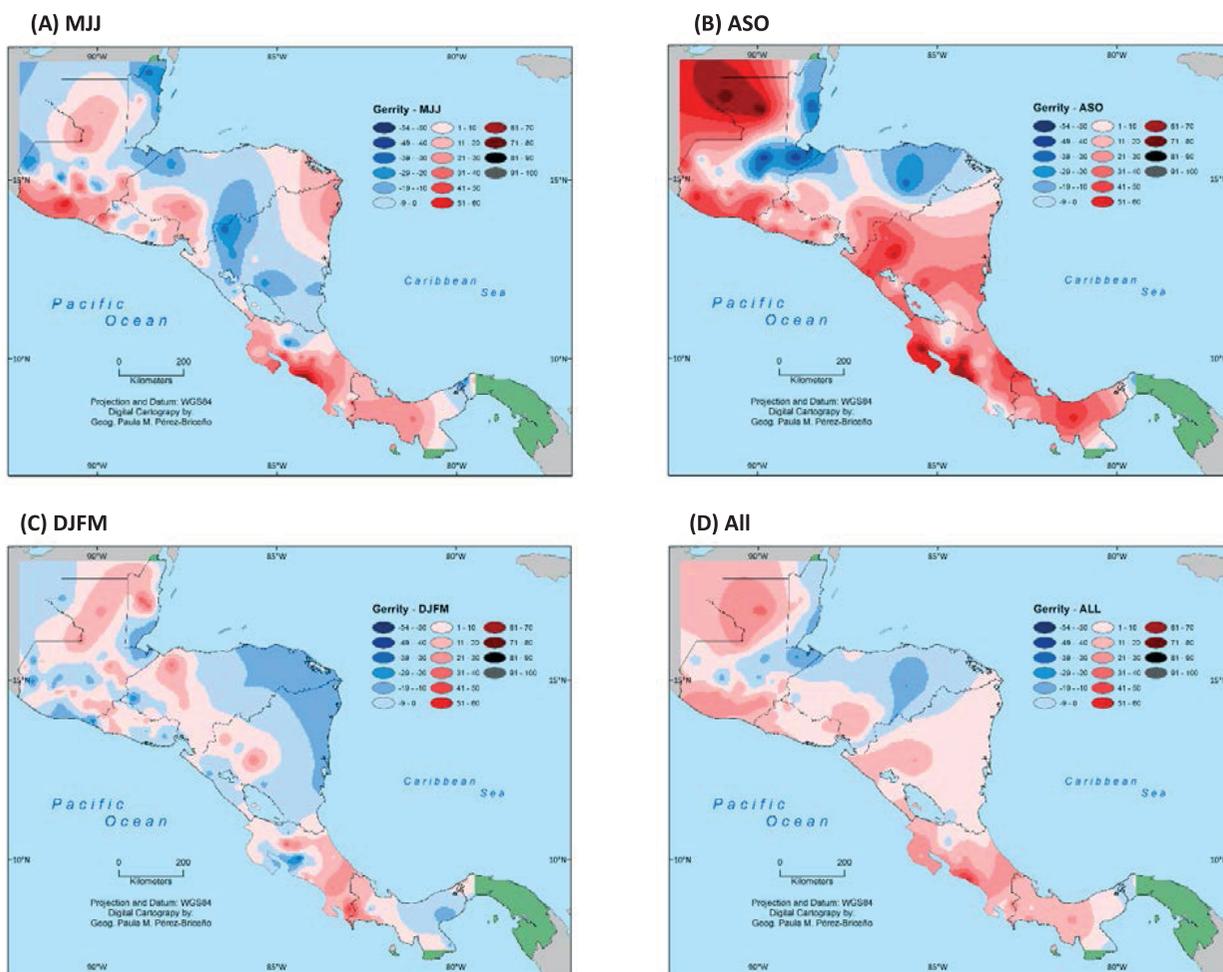


Figure 8. Spatial distribution of Gerrity score comparing RCOF maps and rain gauge observations.

9) but the area with skillful score values increased as well as the score values, even for DJFM.

The percentage of negative SS and Gerrity score values for all the comparison maps is presented in table 1.

Table 1. Percentage of stations or grid points having negative SS (A) or Gerrity (B) score values for: 1) RCOF maps vs Stations Observations, 2) RCOF maps vs TRMM grid data, 3) RCOF maps vs CHIRPS grid data, 4) CTP outputs vs Station Observations, 5) Previous Month Persistence vs Station Observations and 6) Always Neutral Forecast vs Station Observations

	(A)				(B)			
	MJJ	ASO	DJFM	All	MJJ	ASO	DJFM	All
1	41.67	21.79	35.9	34.62	32.69	24.36	49.36	20.51
2	45.43	47.46	51.67	53.7	43.54	52.54	55.01	43.25
3	48.81	30.26	36.78	41.76	43.1	28.74	45.91	29.88
4	26.92	13.46	30.13	19.23	21.15	20.51	39.1	17.31
5	39.1	33.97	49.36	21.15	34.62	23.08	43.59	17.95
6	65.38	54.49	37.82	60.26	65.38	72.44	58.33	60.26

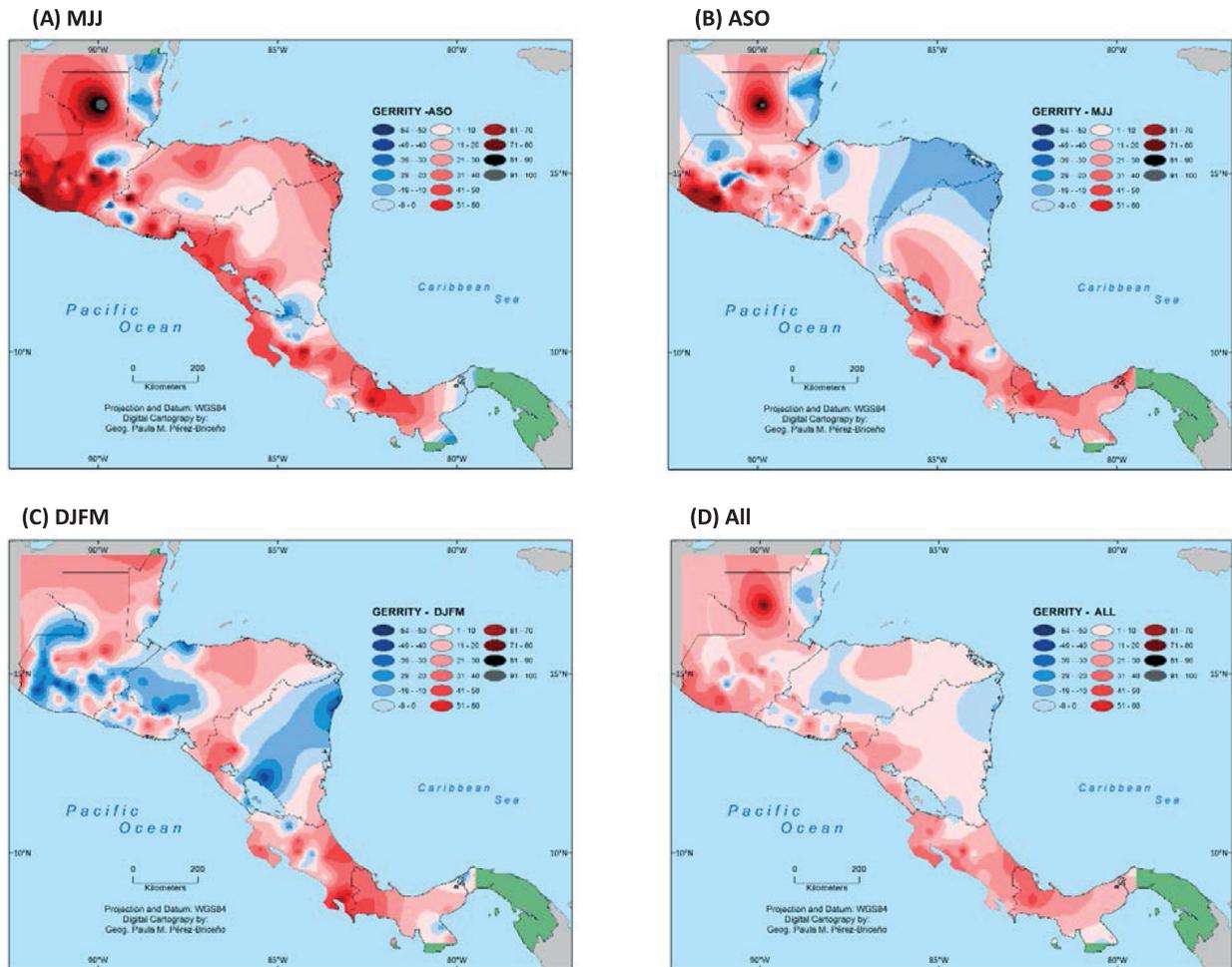


Figure 9. Spatial distribution of Gerrity score comparing CPT outputs and rain gauge observations.

Notice that RCOF maps did not have percentages greater than 50% in any season and that outlooks based on always neutral category showed the highest percentage values in almost all the cases. Outlooks values based on persistence, support its inclusion also on CCA predictive schemes that had the lowest percentages.

4. Discussion

Alfaro et al. (2003) mentioned that scientific and academic communities have discussed certain problems that arise during the development of the forums and how the research results can be better used to improve the forums products. One

of the problems identified during the RCOFs is that because there is not a standardized methodology for producing the forecast, the contributions from different countries can result in a disjointed regional forecast that is sometimes physically inconsistent across political borders. Moreover, it appears that the statistics behind the used tools are not familiar to some of the participants, such that the national climate forecasts are sometimes based only on subjective evaluations. This is supported in some way by the results presented in figures 4 and 5.

Notice that highest P_{75} score values were observed for all the comparisons between CTP outputs (e.g. an objective tool) and station observations. Some

of the roots of the problems mentioned above have been identified: i) the resources of some institutions are limited to the routine tasks and only a small portion of their budget is allocated for research and capacity building; and ii) there have been very few opportunities for training on the concepts required for the RCOFs.

To alleviate the last problem mentioned in the previous paragraph, CRRH has been very active about training the RCOFs participants. According to the information given by this Committee, 22 training activities were conducted to RCOFs participants in Central America (figure 10), since they are in charge of the RCOFs process, e.g. year 2000.

Activities were mainly lectures and workshops in tools and statistical concepts useful for climate seasonal forecast. The Center for Geophysical Research (CIGEFI) at the University of Costa Rica had also collaborated with the capacity building activities of Central America RCOF mentioned above, and also distributing its papers production on subjects of seasonal climate prediction, climate variability, climate change and themes related to drivers that modulates climate in Central America (García-Solera & Ramírez, 2012).

However, none of the median value differences between the 1998-2007 and 1998-2013 were statistically significant (figures 6 and 7), in spite that all the differences were positive, except for SS values in figure 6c for DJFM outlooks. It means that knowledge has not had a cumulative effect in the RCOF participants through the last years as figure 10 suggested. This could be explained by adding two problems to the ones mentioned at the beginning of this section.

The first one is related to the fact that the resources of some institutions are limited to the routine tasks, so they cannot allocate enough time for working or going deeply in the tools in which they were trained. The second one could be related with the fact that RCOF participants have changed

through the time, and the transmission of acquired knowledge is not always guaranteed to the newer RCOF participants by the former ones. Conscious of this last problem, CRRH has encouraged the same people participation in the RCOFs, but the policies about this issue are different through the participants institutions.

According to García-Solera and Ramírez (2012), one important future goal is to empower RCOFs to use more objective tools (results from figures 4, 5, 8 and 9 support the idea around this goal) such as more specific and detailed recommendations that would allow it to improve the quality of the outlook scenarios in the different sectors. Another goal is to strengthen the relationship between stakeholders and decision-makers so as to allow CRRH to more effectively identify end-users vulnerability to climate variability. They add that CRRH envisions creating a new tool that would allow them to measure the economic value of the information produced through the COF, as well as the value of the meteorological services. It would also be useful to be able to measure the difference between decisions made with and without the Seasonal Climate Outlooks, such as how many people have not been affected due to that decision. If such a tool could be developed, it could help interest those who can pay or contribute to the service. In that sense, Moreno (2015) developed recently a tool to assess the economic value of

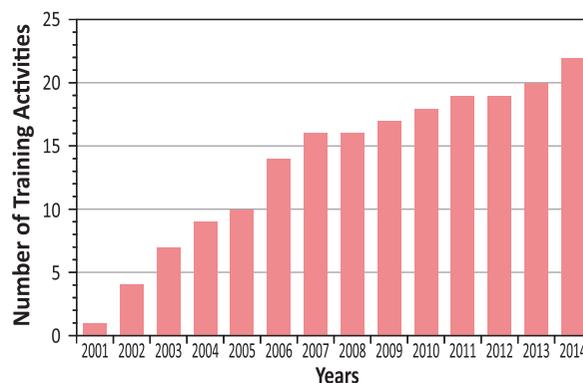


Figure 10. Cumulative number of training activities for the Central American RCOF participants, January 2001 - June 2014 (Source: CRRH).

the climate variability information in different regional socioeconomic sectors.

This goal is important, since results from figures 4 and 5, showed that outlooks based on an Always Neutral forecast had the worst median results for all cases, so RCOFs maps have an aggregate value to decision-makers. Notice for example that 75.6% of the Gerrity scores in figure 7d are positive, meaning that they are skillful most of the times and that misses are normally by one category.

Additionally, all the comparisons between RCOFs maps and station observations had positive median values in figures 4 and 5.

An important aspect in the region is the creation of a Regional Climate Service. This is pointed out by Garcia-Solera and Ramirez (2012) as a major goal not just for Central America but for an extended region that includes Mesoamerica.

It means to institutionalize the service, where there would be personnel dedicated only for the creation of climate products including the Seasonal Climate Outlooks and their associated outputs. These outlooks could include products related with the onset and the end of the rainy season (e.g. Enfield & Alfaro, 1999; Fallas-Lopez & Alfaro, 2012a), extreme wet or dry event occurrences along with the occurrence of rainy days (e.g. Maldonado et al., 2013), the Mid-Summer Drought beginning and intensity (e.g. Maldonado et al., 2016; Fallas-Lopez & Alfaro, 2012a) or mean, maximum and minimum temperatures (Alfaro, 2007b; Fallas-Lopez and Alfaro 2014) among others.

Spatial distributions of scores presented in figures 8 and 9 showed that in general most of the region have skillful lobes, but especially during the ASO season and on the Pacific slope of Central America. Regions with negative skill score values may represent areas in which climate drivers modulating precipitation are not well understood. Notice that during the consensus process for the

RCOF maps, SST anomalies of surrounding oceans are pondered. The inclusion of other predictor fields or tools as in Muñoz, Díaz-Lobatón, Chourio and Stock (2016), could improve the predictability in those regions, along with a better understanding of climate annual cycle variability, especially at the Central American Caribbean slope (Saenz & Amador, 2016). Noticed also that this slope shows the smallest density of stations for logistic reasons, so improving the number of stations there could contribute also to improve the knowledge of climate variability and prediction over those low skillful regions. In spite that TRMM and CHIRPS grid data sets can give full spatial coverage, rainfall gauge station observations are still necessary for the validation of those datasets.

5. Conclusions

According to Garcia-Solera and Ramirez (2012), the Central American RCOFs is an institutionalized governmental process, actually following the World Meteorological Organization's Global Framework of Climate Services.

They concluded that all Central American countries benefit from the Seasonal RCOF, which is issued three times a year, and all countries can easily access it. It is regionally and nationally focused. Operational climate services are at the core of this RCOF process.

The Seasonal Climate Outlook is an international public good provided by the RCOF. Both private sectors and Central American governments use it for decision-making. The Seasonal Climate Outlook does promote free and open exchange of climate-relevant observational data while respecting national and international data policies. They do facilitate and strengthen rather than duplicating information and RCOF was built through user-provider partnerships that include all stakeholders.

Our results showed that RCOFs maps have an aggregate value to decision-makers, because

they have skillful information most of the times. Additionally, outlooks based on an Always Neutral forecast had the worse median skill results for all cases, this information is useful for decision-makers, meaning that decisions taken without considering climate outlook information is worse than those taken in account the RCOF maps most of the times.

The inclusion of objective tools and given them a more specific weight in the consensus map production, could increase the RCOFs skill. For example, in our study highest skill score values were observed for all the comparisons between outlooks based on pure CTP outputs and station observations. RCOF participants are already familiar and trained with these kind of tools, e.g. CPT or contingency tables, and some countries already present their seasonal outlooks based on them.

Another aspect is that regions having the lowest density of stations showed also lower skill score values. Therefore, improving the number of rainfall stations in those regions, including the maintenance of actual network, would increase the knowledge of climate variability and the drives that modulated precipitation there, those aspects could result in better predictability schemes over an extended area of Central America helping decision making processes.

6. Acknowledgments

The authors would like to recognize the partial support of the following University of Costa Rica projects during this research: V.I. 805-B6-143 (UCR, CONICIT-MICITT), 805-B4-227, 805-B3-600, 805-B0-065 and 805-A9-532. Also to Luis F. Alvarado, IMN, Costa Rica and Patricia Ramirez, CRRH-SICA, for their comments and help with the manuscript. To the Central American National Weather and Hydrology Services that provided the rainfall data used in this work.

7. References

- Alfaro, E. (2007a). Uso del análisis de correlación canónica para la predicción de la precipitación pluvial en Centroamérica. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 9(2), 33-48.
- Alfaro, E. (2007b). Predicción Climática de la Temperatura Superficial del Aire en Centroamérica. *Ambientico*, 165, 6-10.
- Alfaro, E. & Soley, J. (2009). Descripción de dos métodos de rellenado de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. *Revista de Matemáticas: Teoría y Aplicaciones*, 16(1), 59-74.
- Alfaro, E.; Soley, J. & Enfield, D. (2003). *Uso de una Tabla de Contingencia para Aplicaciones Climáticas (Use of a Contingency Table for Climatic Applications)*. Guayaquil, Ecuador: ESPOL/ FUNDESPOL.
- Donoso, M. & Ramírez, P. (2001). *Latin America and the Caribbean. Report on the Climate Outlook Forums for Mesoamerica*. In: Coping with the climate: A step Forward, Workshop Report. A multi-stakeholder review of Regional Climate Outlook Forums, Pretoria, South Africa (pp. 16-20).
- Enfield, D.B. & Alfaro, E. (1999). The dependence of Caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans. *Journal of Climate*, 12(7), 2093-2103. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2093:TDOCRO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2093:TDOCRO>2.0.CO;2)
- 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(10), 2077-2080. doi: 10.1029/2000GL012745
- Fallas-López, B. & Alfaro, E. (2012a). Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional del campo de precipitación en América Central como apoyo a los Foros Climáticos Regionales. 1: Análisis de tablas de contingencia. *Revista de Climatología*, 12, 61-79.

- Fallas-López, B. & Alfaro, E. (2012b). Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional del campo de precipitación en América Central como apoyo a los Foros Climáticos Regionales 2: Análisis de Correlación Canónica. *Revista de Climatología*, 12, 93-105.
- Fallas-López, B. & Alfaro, E. (2014). Predicción estacional de las temperaturas máximas y mínimas en América Central. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 13(1), 5-26.
- Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S. & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2. doi:10.1038/sdata.2015.66
- García-Solera, I. & Ramírez, P. (2012). *Central American Seasonal Climate Outlook Forum*. The Climate Services Partnership, 8 pp. <http://www.climate-services.org/case-studies/central-american-climate-outlook-forum/> (visited 06/09/2016).
- Huffman, G. J.; Adler, R. F.; Bolvin, D. T.; Gu, G.; Nelkin, E. J.; Bowman, K. P. & Wolff, D. B. (2007). The TRMM Multi-satellite precipitation analysis: Quasi-Global, Multi-Year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *Journal of Hydrometeorology*, 8, 38-55.
- IRI, (2001). *Latin America Regional Report*. In: Coping with the climate: A step Forward Workshop Report. A multi-stakeholder review of Regional Climate Outlook Forums, Pretoria, South Africa, (pp. 136-138).
- Maldonado, T.; Alfaro, E.; Fallas B. & Alvarado, L. (2013). Seasonal prediction of extreme precipitation events and frequency of rainy days over Costa Rica, Central America, using Canonical Correlation Analysis. *Advances in Geosciences*, 33(33), 41-52.
- Maldonado, T.; Rutgersson, A.; Alfaro, E.; Amador, J. & Claremar, B. (2016). Interannual variability of the midsummer drought in Central America and the connection with sea surface temperatures. *Advances in Geosciences*, 42, 35-50. doi:10.5194/adgeo-42-35-2016.
- Mantua, N.J.; Hare, S.R.; Zhang, Y.; Wallace, J.M. & Francis, R.C (1997). A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(6), 1069-1079.
- Mason, S.J. & Stephenson, D. (2008). How do we know whether seasonal climate forecasts are any good? In: Troccoli, A., Harrison, M., Anderson, D.L.T., Mason, S.J. (Eds.), *Seasonal Climate: Forecasting and Managing Risk*. (pp. 259–289). Springer Netherlands.
- Mason, S. J. & Tippett, M. K. (2016). *Climate Predictability*. Tool version 15.3, Columbia University Academic Commons. <http://dx.doi.org/10.7916/D8NS0TQ6>
- Moreno, M. (2015). Valoración del impacto socioeconómico de la variabilidad climática en pesca y turismo. *Revista de Ciencias Sociales*, 147, 73-83.
- Muñoz, A.G.; Díaz-Lobatón, J.; Chourio, X. & Stock, M.J. (2016). Seasonal prediction of lightning activity in NorthWestern Venezuela: Large-scale versus local drivers. *Atmospheric Research*, 172–173, 147–162.
- Sáez, F. & Amador, J. (2016). Características del ciclo diurno de precipitación en el Caribe de Costa Rica. *Revista de Climatología*, 16: 21-34.
- Smith, T.; Reynolds, R.; Peterson, T. C. & Lawrimore, J. (2008). Improvements to NOAA’s Historical Merged Land–Ocean Surface Temperature Analysis (1880–2006). *Journal of Climate*, 21(10), 2283 – 2296.
- Taylor, M. & Alfaro, E. (2005). *Climate of Central America and the Caribbean*. In: Encyclopedia of World Climatology (pp 183-189), Springer, Netherlands.
- Wilks, D.S. (2011). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (vol. 100). Academic Press.
- 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(7), 1074-1087. doi:10.1002/joc.2336

Comportamiento histórico de la emisión de gases con efecto invernadero del sector agropecuario de Costa Rica

JOHNNY MONTENEGRO¹

Resumen

Los Inventarios de Gases con Efecto Invernadero, son realizados periódicamente por los países firmantes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), en los que se incluyen todos los sectores establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), siendo uno de ellos el sector agropecuario.

Sin embargo, las metodologías oficiales para realizar dichos inventarios han ido evolucionando con el tiempo, por lo que los resultados de los mismos no son comparables. Por esta razón se hace necesario actualizarlos con una misma metodología, de manera tal que se pueda comparar el comportamiento de una actividad o sector en relación con las emisiones y absorciones, siendo importante además priorizar y definir estrategias de mitigación.

El presente documento uniformiza metodológicamente los resultados reportados en los seis inventarios realizados para el sector agropecuario de Costa Rica, desde 1990 y hasta el 2012. También incluye todos los años entre los inventarios oficialmente reportados por nuestro país a la CMNUCC.

Se analiza el comportamiento de las emisiones de metano y óxido nitroso del sector bovino por sistema de producción (carne y cría, leche y, doble propósito), y se explican los cambios en magnitud y tendencia de las mismas observadas en el tiempo.

De igual forma se analizan las emisiones del sector agrícola, con énfasis especial en las actividades que generan la mayor cantidad de ellas (café, caña de azúcar, banano y palma africana) en ese lapso de tiempo, para finalmente relacionarlas de manera proporcional con el total nacional.

Este documento permite visualizar de manera concreta la evolución del sector agropecuario, con respecto a las emisiones de los gases causantes del calentamiento global.

PALABRAS CLAVE: INVENTARIOS NACIONALES, SECTOR AGROPECUARIO, EMISIÓN GASES EFECTO INVERNADERO, GANADERÍA, AGRICULTURA.

Summary

Greenhouse gas inventories are performed periodically by the signatory countries of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), and that involve all sectors defined by IPCC, in which is included the agricultural sector. However, the official available methodologies to do the inventories have been evolving over time, and for this reason they are not directly comparable. As a result, it is necessary to develop them under the same methodology, because in that way they can be compared over time allowing at the same time to prioritize and to define mitigation strategies in any specific sector or activity.

This document methodologically uniform the available data for the six inventories performed since 1990 and until 2012 for the agricultural sector of Costa Rica, but also includes all the years between inventories officially reported by our country to the climate change UNFCCC.

1 Investigador en Cambio Climático y Agricultura, Convenio Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) – Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Costa Rica, email: jmontenegro@inta.go.cr ó jmontenegro@imn.ac.cr

The behavior of methane and nitrous oxide emitted by cattle is analyzed according to production system (beef and breeding, milk and, dual-purpose), also are explained some reasons for observed changes in magnitude and trend over time in the emissions.

Similarly, the emissions from the agricultural sector are analyzed, with special emphasis in those activities (coffee, sugar cane, banana and palm) that generate the largest magnitude of them.

This document displays in short and concrete way the evolution of the agricultural sector in terms of greenhouse gas emissions.

KEY WORDS: NATIONAL INVENTORIES, AGRICULTURAL SECTOR, GREENHOUSE GAS EMISSION, LIVESTOCK, AGRICULTURE.

1. Introducción

Costa Rica al igual que los países firmantes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), efectúa periódicamente Inventarios Nacionales de Gases con Efecto Invernadero (GEI), que incluyen los sectores determinados por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), entre los que se encuentra el sector agropecuario. La influencia que este sector tiene en las emisiones del país es importante, sin embargo también contribuye notoriamente en la captura y retención de carbono atmosférico en los diferentes sistemas de producción.

Con respecto a las emisiones, es importante dar seguimiento a las mismas ya que esto permite determinar un patrón, al mismo tiempo que se conocen las actividades que más contribuyen. No obstante, debido al cambio en algunos parámetros y en la metodología de cálculo de los GEI que se ha venido experimentando en el tiempo (IPCC, 1996; IPCC, 2000; IPCC, 2006) para reducir la incertidumbre asociada a la cuantificación de las emisiones, no es posible realizar la comparación directa de los valores oficiales para los inventarios de 1990, 1996, 2005, 2010 y 2012, reportados por Costa Rica a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.

Por esta razón, el objetivo de este trabajo es presentar la información recalculada de los

inventarios antes mencionados, utilizando la metodología más reciente del IPCC (2006), así como con los factores de emisión desarrollados en los últimos años para distintas actividades agropecuarias bajo condiciones nacionales. Esto permitirá conocer la evolución de las emisiones de una determinada actividad, así como también realizar comparaciones entre ellas y determinar donde se deberían desarrollar acciones de mitigación.

Este proceso es muy importante considerando que Costa Rica tiene como objetivo país alcanzar la carbono neutralidad, ya que la homogenización de los resultados de los inventarios de gases contribuirá notoriamente a clarificar tendencias y planificar acciones que conlleven a la consecución de este objetivo nacional.

2. Materiales y Métodos

2.1. Aspectos generales

Los resultados incluidos en este documento corresponden a las cifras que se han venido reportando en las Comunicaciones Nacionales y que están en los respectivos Inventarios Nacionales de Gases con Efecto Invernadero (GEI) del Sector Agricultura (en este sector se incluye el componente pecuario, según lo establecido en las directrices del IPCC) realizados en nuestro país (1990, 1996, 2000, 2005, 2010 y 2012) y publicados por el Instituto Meteorológico

Nacional, pero recalculados utilizando los índices de emisión nacionales desarrollados en los últimos años y las Directrices usadas en la preparación de Inventarios Nacionales (IPCC, 2006) para toda la serie de datos. Adicionalmente, se incluyeron nuevas series de datos y estadísticas que ahora están disponibles, las cuales sustituyen a las estimaciones antes realizadas, y que al ser consideradas para el presente análisis representan una fuente de variación con respecto a las emisiones reportadas, pero contribuyen a reducir la incertidumbre del sector.

Los datos que se muestran no necesariamente coinciden con los reportados previamente, pero al estar calculados bajo una misma metodología son comparables en el tiempo. La utilización de la misma metodología de cálculo fue una sugerencia realizada por el IPCC a los países, ya que permite comparar los cambios ocurrido en el tiempo en la generación de GEI entre actividades, ofreciendo mayor claridad para la toma de decisiones relacionadas con acciones de mitigación.

Este análisis no incluyó las emisiones y absorciones provenientes del cambio de uso del suelo, es decir, aquellas originadas por la transformación de áreas forestales a pasturas o a terrenos dedicados a cultivos y viceversa. Tampoco se incluyó el sector pesca.

2.2. Emisión de gases con efecto invernadero

La emisión total de GEI proveniente del Sector Agrícola incluye la totalidad de los cultivos reportados en las estadísticas oficiales del país, por las organizaciones del sector entre otros: CORBANA (2015), LAICA (2013), y CONARROZ (2015).

Con respecto al Sector Pecuario además de los bovinos se incluyeron ovinos, caprinos, búfalos, caballos, mulas y asnos, cerdos, y aves. Sin embargo,

para este análisis en algunas ocasiones solo se referencia a los bovinos, tal y como se menciona explícitamente en la sección correspondiente. Los pastos se consideraron exclusivamente asociados con la ganadería bovina.

Para efectos comparativos, en las figuras y secciones correspondientes se realizaron las transformaciones requeridas para expresar las cifras en unidades de CO₂ equivalente, multiplicando el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) por 21 y 310 respectivamente (IPCC, 2006).

Con respecto al análisis efectuado a algunas actividades del Sector Agropecuario, este se limitó a aquellas que presentaban las mayores áreas totales a nivel nacional (la ganadería bovina, y los cultivos de café, banano, caña de azúcar y palma africana), sin considerar la magnitud de las mismas por unidad de área, ya que ello significaría un enfoque de análisis diferente.

Los cultivos mencionados, presentan emisiones por unidad de área similares o inferiores a otros no considerados para el análisis comparativo, sin embargo, fueron incluidos en este análisis debido a la superficie que cubren (representan el 57% del área total dedicada a la agricultura) y en consecuencia, tienen gran importancia en la emisión total para el país.

Finalmente, cuando se compara con la emisión nacional, esta incluye además de la proveniente del Sector Agrícola, la emisión de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono, según corresponda, de los sectores energía, residuos sólidos y procesos industriales. La emisión del sector forestal también se encuentra incluida en el total nacional.

2.2.1 Ganadería bovina

Las estimaciones del ganado bovino se realizaron para cada uno de los tres sistemas de producción existentes: carne y cría, leche y doble propósito. En

cada uno de ellos se hizo necesario desarrollar un modelo de simulación de la dinámica poblacional, utilizando las estadísticas disponibles. Para ello se utilizaron los datos oficiales de la Encuesta Ganadera Nacional de 1988 (CORFOGA, 1989), Censo Ganadero del 2000 (CORFOGA, 2000) y la Encuesta Ganadera del 2012 (CORFOGA, 2013). Con la información anterior, los índices técnicos (mortalidad, parición, carga animal) de cada uno de los sistemas productivos y la información de extracción de cabezas e importación de animales obtenida del CNP (2015), se desarrollaron los modelos para estimar la población de bovinos según categoría animal para cada uno de los sistemas de producción antes mencionados.

2.2.1.1 Metano entérico

La estimación del metano entérico proveniente de los bovinos, se realizó utilizando un modelo matemático para la simulación de la generación de este gas, el cual considera la categoría animal, el peso vivo, la ganancia de peso o producción de leche, la calidad nutritiva del forraje consumido especialmente relacionado con su digestibilidad y el suplemento ofrecido (concentrado, melaza, residuos hortícolas). Basado en esta información, el modelo estima el consumo y la generación potencial de metano que se produciría en el rumen.

2.2.1.2 Metano de excretas

Para la estimación del metano proveniente de las excretas sólidas en el sistema de producción de carne y doble propósito, se utilizó el valor por defecto propuesto por el IPCC (2006), mientras que en el caso del sistema de producción de leche se consideró adicionalmente la práctica del paleteo (distribución de la boñiga en el campo), acción que desarrollan algunas fincas (Montenegro, 2014) y que tiene efecto positivo ya que reduce la emisión de metano proveniente de las excretas sólidas de los bovinos.

2.2.1.3 Pastos

Para estimar la emisión de gases que se genera en el suelo cubierto por gramíneas y dedicado al pastoreo de los bovinos, se requiere disponer de la extensión cubierta por los pastos, sin embargo, no existe información detallada y frecuente de la misma, únicamente se dispone de información proveniente de la encuesta ganadera nacional (1988) y de los censos ganaderos (CORFOGA, 2000 y 2013).

Con el propósito de cubrir este faltante, se estimó el área de pasturas de acuerdo con el siguiente procedimiento: primero se estimó la carga animal total para cada año multiplicando la población de cada categoría animal proveniente del modelo poblacional, por la correspondiente unidad equivalente detallada en el cuadro 1, y sumando los respectivos valores obtenidos.

La información de la carga animal promedio reportada en las anteriores referencias, se utilizó para hacer extrapolación lineal y de esta forma obtener la carga animal faltante. Relacionando la carga animal total estimada en el anterior procedimiento con el promedio de carga animal obtenida por la extrapolación lineal, se calculó el área de pastos para cada año desde 1990 hasta el 2012.

Cuadro 1. Valores utilizados para estimar carga animal

Categoría animal	Unidad Animal Equivalente
Terneros (as)	0,25
Novillos (as)	0,6
Vaquilla, toretes	0,75
Vacas adultas	1,0
Toros	1,0

2.2.1.3.1 Óxido nitroso proveniente del suelo cubierto por pasturas

La estimación de la generación de este gas en pasturas, se realizó con base en índices de emisión provenientes de resultados de campo

(Montenegro y Abarca, 2001; Montenegro, 2013), que se han obtenido en diferentes estudios efectuados en Costa Rica, los cuales incluyen la utilización de fertilizante nitrogenado.

La generación del óxido nitroso proveniente de las excretas líquidas (orina), se consideró incluida como parte de los índices de emisión generados en el país para el suelo cubierto por pasturas, ya que cuando se realizaron dichas investigaciones no se hizo discriminación por esta variable al momento de realizar los muestreos de campo.

2.2.1.3.2 *Quema de pasturas*

La generación de metano y óxido nitroso proveniente de las quemas de las pasturas, se realizó utilizando la metodología Nivel II propuesta por el IPCC (2006), en las Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases con Efecto Invernadero, utilizando los datos de área quemada reportada en las estadísticas nacionales (CONIFOR, 2014).

2.2.2 *Cultivos*

2.2.2.1 *Café*

Para estimar la emisión de óxido nitroso en este cultivo, se asumió que los niveles de fertilización aplicados han sido estables en el tiempo (Víctor Chaves, Investigador del CICAPE, comunicación personal) y las estadísticas nacionales de área cultivada.

Los índices de emisión utilizados provienen de mediciones directas, efectuadas en el sistema de producción bajo sombra y a plena exposición, realizados por Montenegro y Abarca (2001) y Montenegro y Herrera (2014).

2.2.2.2 *Banano*

De manera similar que con el cultivo del café, para el banano se asumió que el nivel de fertilizante

nitrogenado aplicado no ha variado en el tiempo (Sergio Laprade, Coordinador de Protección Ambiental CORBANA, comunicación personal).

Con base en lo anterior y considerando los cambios en el área bajo este cultivo, se estimó la emisión de óxido nitroso utilizando los índices de emisión provenientes de mediciones directas realizados por Montenegro y Abarca (2001), y Montenegro, Laprade y Sandoval (2012).

2.2.2.3 *Caña de azúcar*

El área cultivada de caña de azúcar se basó en lo reportado en las estadísticas nacionales, mientras que el área cosechada es la indicada en las estadísticas de la Liga Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA, 2013).

La estimación de la emisión de óxido nitroso en este cultivo, se basó en el estudio de Montenegro y Chaves (2013), y se asumió que los niveles de fertilización con nitrógeno se han mantenido (Marco Chaves, Director Ejecutivo DIECA, comunicación personal).

2.2.2.3.1 *Quemas*

Para estimar la emisión de CH_4 y N_2O proveniente de las quemas en caña de azúcar, se utilizaron los resultados de la investigación realizada por Montenegro y Chaves (2013) en la cual se usaron datos provenientes de diferentes determinaciones que se realizaron en el campo, antes y después de la quema de este cultivo, así como de la metodología propuesta por el IPCC (2006). Para los cálculos se asumió que se quema el 50% del área cosechada.

2.2.2.4 *Palma africana*

El manejo agronómico de este cultivo, en el cual está incluida la fertilización nitrogenada, se basó en Quesada (2000) y se consideró una gestión estable en el tiempo. La información del área de

siembra provino de SEPSA (2014), mientras que la emisión del N_2O se estimó utilizando el valor por defecto del IPCC (2006), debido a que en este cultivo no hay datos disponibles de mediciones realizadas en Costa Rica.

2.2.2.5 Otras actividades agrícolas

Los cálculos de la emisión de GEI se realizaron para todas las actividades agrícolas, en las cuales existe estadística oficial de área y se consideraron de manera exclusiva las emisiones del sector primario, comprendiendo desde 1990 y hasta el 2012.

En esta investigación no se consideraron los GEI provenientes del tratamiento de aguas residuales en beneficios de café, ingenios azucareros, mataderos y empaque de carne, entre otros, ya que estos se incluyen en el Sector Residuos del Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero.

3. Resultados

3.1. Ganadería bovina

La ganadería bovina es el principal emisor de gases con efecto invernadero (GEI) del Sector Agrícola, lo que ocurre por varias razones dentro de las que se destaca la población del hato nacional, que supera el millón y medio de cabezas (CORFOGA, 2012). Esto tiene un efecto directo en la emisión de CH_4 entérico, el reciclaje de nitrógeno que realizan los bovinos mediante las excretas sólidas y líquidas, así como la aplicación de fertilizante en las pasturas del sistema de producción de leche intensivo, que estimula la formación y emisión del N_2O . Influye también en la magnitud de la emisión de este gas, el área de pastos existente, la cual es de aproximadamente 1.26 millones de hectáreas (CORFOGA, 2012).

Para el 2012, los bovinos emitieron alrededor del 72% de GEI de todo el Sector Agrícola aunque

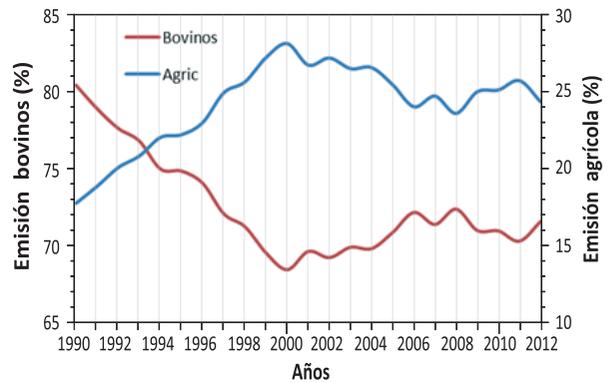


Figura 1. Emisión del sector bovino y agrícola, CO_2e en %, con relación al total agropecuario. Costa Rica, 2015.

el mayor porcentaje se presentó a inicios de la década de los noventa (ver figura 1).

Por su parte, el Sector Agrícola incrementó su participación porcentual en la emisión a partir del 2000 a valores cercanos al 25%, como consecuencia de la reducción experimentada en el sector pecuario, la restante diferencia porcentual y que no se muestra en la figura, se debe a la participación de otras especies de animales presentes en el país, tales como cabras, búfalos, caballos, cerdos y aves, entre otros.

Con respecto a la emisión absoluta del sector bovino, expresada como CO_2 equivalente, esta presentó tendencia al incremento a partir del 2000 y se ubicó aproximadamente en 2.300 Gg para

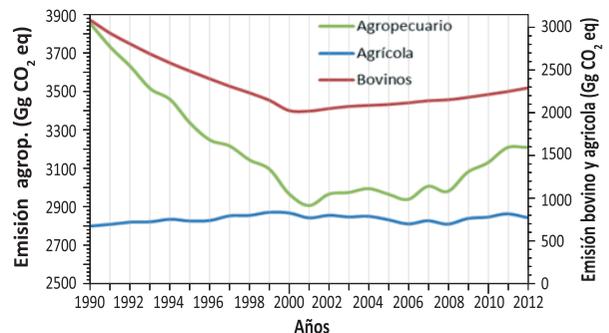


Figura 2. Emisión de CO_2 equivalente, del sector ganadero bovino, agrícola y agropecuario. Costa Rica, 2015.

el 2012 (figura 2). La reducción experimentada durante la década de los noventa, se debe a la disminución del hato nacional (CORFOGA, 2000) y a la liberación del área de pastos. Debido a su magnitud este cambio influyó de manera directa la totalidad de la emisión del sector agropecuario, tal y como se muestra en la figura 2.

Seguidamente se presentan dos secciones, la primera de ellas contiene el análisis del comportamiento de la emisión de metano entérico para cada uno de los sistemas de producción bovina: carne y cría, leche, y doble propósito; la segunda está enfocada en la emisión del N_2O derivada del reciclaje de nutrientes y por la aplicación de fertilizante nitrogenado a las pasturas.

3.1.1 Emisión de metano según sistema de producción

La emisión total de metano entérico de los bovinos (figura 3), muestra el mismo patrón de comportamiento en el tiempo determinado para la emisión de todo el Sector Agropecuario (figura 2). La reducción experimentada durante la década del 90 en la emisión de este gas, se explica por la disminución del hato nacional en más de 800.000 cabezas (CORFOGA, 2000) y el incremento posterior al 2000 se debe a la recuperación del hato nacional (CORFOGA, 2013), particularmente por el crecimiento presentado en el sistema de doble propósito y de lechería especializada, aunque sin alcanzar los niveles observados a mediados de la década de los noventa.

Si bien existen diferentes factores que influyen la cantidad de metano entérico emitido, tales como la calidad del forraje y el nivel de consumo, la magnitud de la emisión depende de la población bovina total. Es por ello, que históricamente la mayor emisión de metano entérico se produce en el hato de carne (figura 3), debido a que es el sistema de producción donde existe la mayor población animal. Por esta razón, al inicio de los

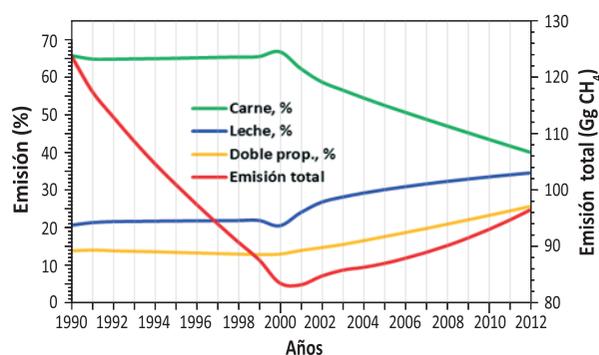


Figura 3. Emisión total de metano entérico de los bovinos en Gg y contribución porcentual de cada sistema de producción. Costa Rica, 2015.

años noventa la emisión de metano en el hato de carne representó poco más del 65% (figura 3) proporción que se redujo hasta alrededor del 40% en el 2012.

Los sistemas de producción de leche y doble propósito, con menor número de animales que el anterior, presentaron menos emisión de este gas (34% y 25%, respectivamente) en el 2012, valores superiores a los observados 22 años antes (figura 3), lo cual es el resultado del incremento poblacional de estos hatos.

3.1.2 Óxido nítrico

Otro importante gas que se genera en la actividad bovina, al igual que en otros sectores, es el óxido nítrico (N_2O), el cual se origina de tres fuentes: a) el nitrógeno que reciclan los bovinos en pastoreo en las excretas sólidas y líquidas (Montenegro, 2013), b) la liberación del nitrógeno contenido en la materia orgánica en descomposición en el suelo y, c) del fertilizante nitrogenado que se aplica a las pasturas, principalmente en el sistema de producción de leche especializado para incrementar la biomasa disponible para el consumo de las vacas en producción en sistemas de manejo intensivos.

Por las razones antes expuestas, las pasturas constituyen la principal fuente de este gas;

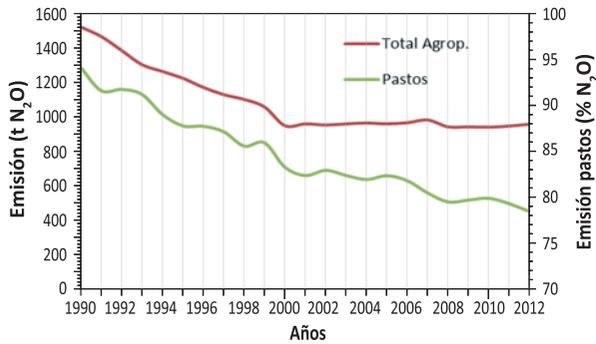


Figura 4. Emisión total de óxido nítrico toneladas del sector agropecuario y contribución porcentual de las pasturas. Costa Rica, 2015.

históricamente han generado hasta el 94% de la emisión del N_2O del Sector Agropecuario (figura 4), en momentos en que la ganadería estuvo en su mayor auge, pero para el 2012 y con tendencia a la baja relativa, emitía cerca del 78% del total del sector. En términos absolutos la emisión del Sector Agropecuario se ha mantenido relativamente estable desde el 2000.

Con respecto a la distribución de la emisión de este gas entre los diferentes sistemas de producción ganadera, es claro que el sistema de producción de leche especializada a pesar de ser donde casi de manera exclusiva se utiliza nitrógeno para estimular el crecimiento de las pasturas, no es el que aporta más N_2O a la atmósfera (figura 5). La razón es que la producción de lechería especializada tiene la menor área en pastos y en consecuencia la magnitud de la emisión es inferior a la de los restantes sistemas productivos bovinos (figura 5).

La mayor emisión de este gas proviene de las pasturas dedicadas a la ganadería de carne, esto debido a la gran extensión dedicada a esta actividad, a pesar del hecho de presentar un bajo índice de emisión por unidad de área ($0,72 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Cabe destacar, que la emisión de este gas se ha ido reduciendo en el tiempo por la disminución del área dedicada al pastoreo.

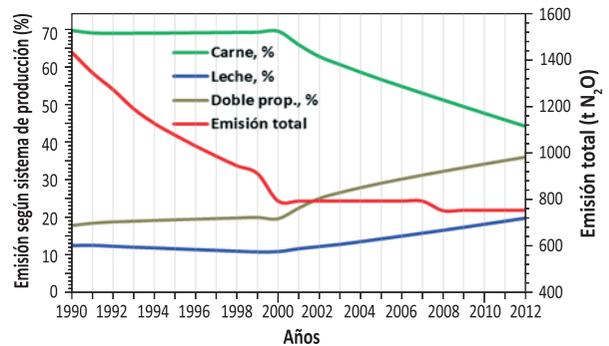


Figura 5. Emisión total de óxido nítrico toneladas de las pasturas y contribución porcentual de cada sistema de producción. Costa Rica, 2015.

En lo que respecta a la magnitud de la emisión en el sistema de producción de doble propósito, este muestra un valor intermedio entre los de leche y carne (figura 5).

En conclusión, las emisiones que proceden de la fermentación entérica de los bovinos se han reducido en el tiempo, ya que representaban aproximadamente 68% al inicio de los noventa y en el 2012 este valor correspondió al 63% del total agropecuario, con un cambio en la tendencia en el 2000 cuando alcanzó su punto más bajo (59%) para mostrar cierto nivel de estabilidad a partir del 2007 (figura 6). Por su parte, la proporción proveniente del suelo cubierto por las pasturas dedicadas al pastoreo de los bovinos se redujo sostenidamente, del 11% al 7%, esto básicamente

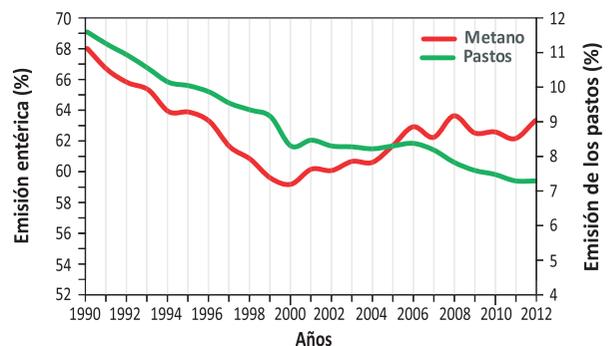


Figura 6. Contribución porcentual de las emisiones provenientes de la fermentación entérica y de las pasturas, con respecto al total del sector agropecuario. Costa Rica, 2015.

por la reducción del área de pastos, tal y como fuera señalado anteriormente.

Considerando ambos componentes combinados, para el 2012 representaban el 70% del Sector Agropecuario y el 17% del total nacional, mientras que el Sector Agropecuario representó 24% del total nacional. Esto muestra claramente la importancia de desarrollar acciones de mitigación en este sector y particularmente en la ganadería bovina, por lo que se justifica la ejecución de Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA por sus siglas en inglés) como las que se están gestando. Este tipo de acciones contribuirá positivamente a la reducción de emisiones del sector ganadero bovino y al mejoramiento de las condiciones económicas del productor al implementarse prácticas que incrementarán la productividad de las fincas.

3.2. Emisión GEI en algunos cultivos perennes

La emisión de GEI del sector agrícola ha sido muy irregular en el tiempo (figura 7), principalmente debido a las fluctuaciones en el área sembrada de cultivos anuales, lo cual está regido por los precios de mercado que estimulan o no a los productores para el incremento en los terrenos dedicados a una o más actividades agrícolas, lo que ha hecho

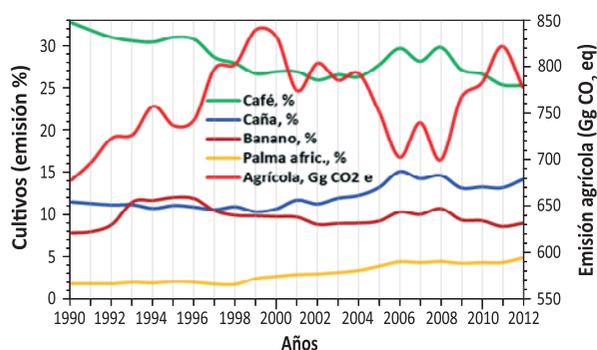


Figura 7. Contribución porcentual de las emisiones de algunos cultivos con relación al total agrícola. Costa Rica, 2015.

que la emisión haya presentado un rango de entre 671 y 819 Gg de CO₂ equivalente (figura 7), lo cual en buena medida es resultado del incremento en el área de siembra que pasó de 396.011 hectáreas en 1990 a 427.187 en el 2012.

Los cultivos perennes analizados muestran tendencias más estables, debido a que por su naturaleza productiva de mediano plazo las áreas sembradas cambian poco en el tiempo, con manejos muy constantes, lo que se refleja en la emisión, tal es el caso de las actividades señaladas en la figura 7. A pesar de ello, la palma africana ha incrementado sus emisiones, mientras que el café las ha disminuido, ambos como resultado de cambios en el área de siembra.

La mayor proporción de la emisión se determinó en el cultivo de café, a pesar de la reducción del 6% experimentada en el tiempo (figura 7) a consecuencia de la disminución del área sembrada, probablemente por el cambio de uso del suelo de agricultura a urbanismo. Las restantes actividades agrícolas reseñadas muestran incrementos porcentuales en la emisión en el orden del 2% al 3% (figura 7). De manera conjunta, estos cultivos representaban en el 2012 aproximadamente el 48% del total de las emisiones del sector.

La tendencia de la emisión para los cultivos de banano, caña de azúcar y palma africana es similar, en el sentido de que se han ido incrementando en el tiempo, ya que representaban el 3,3% en 1990, incrementándose hasta el 9% en el 2012, cuando se incluye el café estos valores se aumentan de 8,4% hasta 11,4% (figura 8).

La tendencia observada en el cultivo del café se explica por el cambio ocurrido con la emisión en el Sector Agropecuario, la cual disminuyó durante la década de los noventa, situación que influye significativamente en la de todo el Sector Agropecuario y hace que desde el punto de vista relativo se incremente la emisión del café. A partir del 2008 debido a que la emisión del Sector

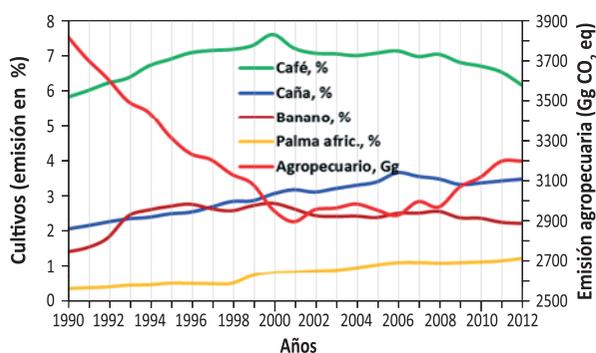


Figura 8. Emisión total del sector agropecuario, Gg de CO₂ eq., y contribución porcentual de algunos cultivos. Costa Rica, 2015.

Agropecuario tiende a incrementarse, hace que la importancia relativa del café tienda a decrecer (figura 8).

El incremento observado en el Sector Agropecuario se explica por el crecimiento experimentado en el hato bovino y su estrecha relación con la emisión de metano (figura 6).

4. Conclusiones

Tal y como se pudo determinar, el Sector Agropecuario ha venido reduciendo su aporte relativo a las emisiones de GEI ya que en los últimos siete años ha decrecido un 3% en el total nacional.

En el caso del Sector Ganadero (específicamente del metano proveniente de la fermentación entérica de los bovinos y del óxido nitroso de los suelos cubiertos por las pasturas) ha mantenido estable su aporte al total del Sector Agropecuario, representando aproximadamente el 70% del mismo, aunque su contribución al total nacional se redujo aproximadamente un 2% en los últimos años.

Estos cambios con relación al total nacional se deben al incremento observado en el sector energía, el cual ha crecido reduciendo la importancia relativa de los restantes sectores.

5. Literatura citada

- Chacón, A.; Jiménez, G.; Montenegro, J.; Sasa, J. y Blanco, K. (2014). *Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero y absorción de carbono en Costa Rica 2010*. Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, GEF, PNUD. 64 p.
- Chacón, A.; Montenegro, J.; y Sasa, J. (2009). *Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero y absorción de carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005*. Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, GEF, PNUD. 78 p.
- Consejo Nacional de Producción. (2015). *Sistema de Información de mercados agroalimentarios*. Recuperado de: <http://www.simacr.go.cr/index.php/informacion-de-mercados/pecuario/bovinos>
- Comisión Nacional de Incendios Forestales. (2014). *Reporte de Incendios Forestales*. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>
- Corporación Arrocería Nacional. (2015). *Informes anuales estadísticos*. Recuperado de: http://www.conarroz.com/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=98
- Corporación Bananera Nacional. (2015). *Estadísticas bananeras*. Recuperado de: <https://www.corbana.co.cr/categories/estadisticas-bananeras?page=1>.
- Corporación Ganadera. (1989). *Encuesta ganadera nacional*. Costa Rica.
- Corporación Ganadera (2000). *Censo bovino nacional*. Costa Rica. 7 p
- Corporación Ganadera (2013). *Informe de encuesta ganadera 2012*. Costa Rica. 72 p.
- Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar. (2013). *Cómo se distribuye y donde se cultiva territorialmente la caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica?* Recuperado de: <https://www.>

- laica.co.cr/biblioteca/verSubcategoria.do?p=1&c=443&s=1777
- Instituto Meteorológico Nacional. (1998). *Inventario nacional de fuentes y sumideros de gases con efecto invernadero en Costa Rica año 1996*. MINAE-IMN San José, Costa Rica. 66p.
- Instituto Meteorológico Nacional. (1995). *Inventario nacional de fuentes y sumideros de gases con efecto invernadero en Costa Rica año 1990*. MIRENEM-IMN. San José, Costa Rica. 81p.
- Montenegro, J. (2013). *El cambio climático y el sector agropecuario costarricense: contribuyendo con la mitigación*. 165 p.
- Montenegro, J. (2014). *Los sistemas de producción de leche de los socios de la Cooperativa Dos Pinos y la emisión de gases con efecto invernadero*. Informe de investigación. 46 p.
- Montenegro, J. y Abarca, S. (2001). *Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global*. 135 p.
- Montenegro, J. y Chaves, M. (2013). La quema en el cultivo de la caña de azúcar y su impacto en la emisión de gases con efecto invernadero en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 12(2):35-51.
- Montenegro, J. y Herrera, J. (2013). Emisión del óxido nitroso (N₂O) en el sistema de producción café sin sombra en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 12(1):22-34.
- Montenegro, J.; Laprade, S. y Sandoval, J. (2012). *Desarrollo de opciones de mitigación de óxido nitroso en el cultivo de banano: Evaluación de diferentes fuentes nitrogenadas*. IV Congreso Internacional sobre el Banano celebrado en San José del 21 al 23 de febrero del 2012. 14p.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (1996). *Greenhouse Gas Inventory Workbook*. Chapter 4, Agriculture. 63 p.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2003). *Good practice guidance and uncertainty management in National Greenhouse Gas Inventories*. Chapter 4, Agriculture. 134 p.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. 91 p.
- Quesada Herrera, G. (2000). *Tecnología de la palma aceitera*. MAG. 42 p.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (2014). *Boletín Estadístico N. 24*. San José, CR. 188 p.

Instituto Meteorológico Nacional

Sitio web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

