

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS



ISSN 2953-738X

Volumen 18

Junio 2019



TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

ISSN 2953-738X

Volumen 18

Junio 2019

Dirección y edición:
Dra. Gladys Jiménez Valverde

Comité editorial:
Lic. Werner Stolz España, Ing. José Alberto Retana Barrantes,
Lic. Luis Fernando Alvarado Gamboa, MSc. María Esther Suárez Baltodano.

Diseño y diagramación:
Rodrigo Granados Jiménez

Imágenes de portada:
Café floreado, cortesía del ICAFE.
Arroz, tomada de MAG. Manual de recomendaciones técnicas:
Cultivo de arroz, San José, Costa Rica, 2009.

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 **Impacto de la fase cálida de ENOS (El Niño)
en el cultivo de arroz en Costa Rica**

JOSÉ ALBERTO RETANA

18 **Zonificación climática para la siembra de
café robusta (*Coffea canephora*) en Costa Rica**

KATIA CARVAJAL TOVAR
MARILYN CALVO MÉNDEZ

30 **Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS
v.2 para Costa Rica a escala mensual, período 1981-2013**

NAZARETH ROJAS MORALES

Impacto de la fase cálida de ENOS (El Niño) en el cultivo de arroz en Costa Rica

JOSÉ ALBERTO RETANA¹

Resumen

La fase cálida del fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Sur), conocida popularmente como El Niño, genera escenarios secos en el Pacífico de Costa Rica. Esto ha causado impactos negativos en el sector agrícola principalmente en la producción de secano. El arroz es uno de los cultivos que más frecuentemente se ven afectados. La reconstrucción histórica de los impactos a partir de documentación variada, ofrece la descripción necesaria para sustentar los análisis cuantitativos a partir de variables productivas. Existe evidencia documental sobre el impacto de períodos secos prolongados en el cultivo de arroz en años de El Niño desde 1955. Los análisis estadísticos indican que, a pesar de que el rendimiento disminuye durante estos años, las diferencias no son significativas si se comparan con años Niña o con promedios históricos. El sector arrocero nacional ha logrado superar eventos secos extremos, manteniendo rendimientos muy cercanos al promedio. Aun cuando la tendencia de disminución de rendimientos se mantiene durante años El Niño, la capacidad instalada histórica en el sector permite gestionar el riesgo de producir durante años extremos.

PALABRAS CLAVE: EL NIÑO, AGROMETEOROLOGÍA, VARIABILIDAD CLIMÁTICA, ARROZ DE SECANO.

Abstract

The warm phase of ENSO (El Niño Southern Oscillation) known as El Niño generates dry scenarios in the Pacific of Costa Rica. This has caused negative impacts in rainfed production. Rice is one of the crops that are most frequently affected. The historical reconstruction of the impacts from varied documentation offers the necessary description to sustain the quantitative analysis based on productive variables. There is documentary evidence about the impact of prolonged dry periods on rice in Niño years since 1955. Statistical analyzes indicate that although yields decrease during these years, the differences are not significant when compared to years Niña or historical averages. The national rice sector has managed to overcome extreme dry events, maintaining very close to average yields. Even when the trend of declining yields remains during El Niño years, the historical installed capacity in the sector allows managing the risk of producing during extrem years.

KEYWORD: EL NIÑO, AGROMETEOROLOGY, CLIMATIC VARIABILITY, RAINFED RICE.

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 el clima de Costa Rica, en particular sobre la precipitación y la temperatura. Desde 1980 los estudios realizados han logrado

identificar las zonas del país que presentan la mejor señal de los efectos e impactos de El Niño. En otras palabras, se conocen las regiones que con mayor probabilidad pueden presentar escenarios secos, lluviosos o normales durante la presencia del fenómeno (Ramírez, 1990; Fernández y Ramírez, 1991; Vega y Stolz, 1997; Stolz y Sánchez, 1998; Retana y Villalobos, 2000). A mayor

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

probabilidad de que se presente un escenario determinado de lluvias (seco, normal o lluvioso), mejor señal de El Niño se obtiene. A partir de este conocimiento, se facilita identificar los sectores recurrentemente impactados y relacionarlos con algún comportamiento de las precipitaciones.

Uno de estos sectores es la agricultura, donde particularmente la producción de secano es la que se ve mayormente afectada. Se conoce como agricultura de secano, a aquella producción de cultivos (normalmente a cielo abierto) que no es irrigada por medios artificiales, sino que depende solo del agua precipitada. La cantidad, intensidad, distribución espacial y temporal de la lluvia, así como el agua acumulada a lo largo del ciclo agrícola, son características importantes de la precipitación en relación a la agricultura que no utiliza riego. Dado que el fenómeno de El Niño incide directamente en el comportamiento de la precipitación, la agricultura de secano es afectada de alguna manera. Sin embargo, la agricultura bajo algún sistema de irrigación, también es afectada durante eventos secos extremos. Retana (2012) y Villalobos et al. (2002) demostraron que las fuentes superficiales ven disminuidos sus caudales durante años El Niño. Las fuentes superficiales son la base de los sistemas de irrigación agrícola.

Si las variaciones climáticas son reincidentes, los efectos, los cultivos y las zonas impactadas también lo serán, siempre y cuando no se dé un cambio en la tecnología aplicada a los cultivos, que es el caso del cultivo del arroz.

Identificar y delimitar los efectos de El Niño sobre el cultivo del arroz, es determinante para la planificación de la actividad ante eventos extremos (sequías e inundaciones en el corto y mediano plazo) y el cambio de clima (a más largo plazo). Una forma de buscar patrones y tendencias en cuanto a los impactos de fenómenos de variabilidad climática en sectores socioproductivos, es por medio de la reconstrucción histórica de eventos extremos a partir de fuentes de información. Si

existen patrones que se puedan evidenciar por medio de la descripción cualitativa, deben de ser coincidentes con los análisis cuantitativos que provengan de bases estadísticas. Ambas fuentes son importantes y no son excluyentes.

Este estudio pretende complementar la información cuantitativa sobre el impacto de El Niño en los rendimientos del cultivo del arroz, publicada por Retana et al. (2014) y Retana (2015), con una reconstrucción histórica y cualitativa de eventos hidrometeorológicos extremos, para mejorar el conocimiento sobre los efectos de El Niño en la producción de arroz en Costa Rica.

2. METODOLOGÍA

Se recopiló información histórica a partir de diferentes fuentes, que documentan cualitativamente parte del impacto del fenómeno de El Niño en el sector agrícola de Costa Rica en general y el sector arrocero en particular. La matriz de información que se generó a partir de la documentación histórica, se utilizó para identificar un posible patrón que sustente los resultados cuantitativos obtenidos en estudios anteriores (Retana et al. 2014 y Retana, 2015). Debido a que los datos de la reconstrucción histórica provienen de fuentes noticiosas, se clasifica como información no oficial, parcial y que debe ser considerada como observación puntual documentada.

El patrón encontrado en la reconstrucción histórica de impactos, se relacionó con información cuantitativa ya publicada. En esa ocasión se aplicó un análisis de varianza a los datos de rendimiento anual agrupados en tres escenarios o condiciones: años neutros, años El Niño y años La Niña. El análisis fue hecho para los 21 cantones productores de arroz, que tienen estadísticas suficientes como para comparar los rendimientos obtenidos durante eventos fríos y cálidos de ENOS (años Niña y años Niño). Se promediaron los

resultados para las regiones climáticas: Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Zona Norte y Región Caribe.

Una de las limitantes de este estudio que se debe mencionar, es que la información oficial sobre área y producción que ofrece la Secretaría Ejecutiva y de Planificación del Sector Agropecuario (SEPSA) en www.infoagro.com, y que fue la base para estimar los rendimientos (Ton/Ha) del cultivo del arroz, no permite identificar los cantones que utilizan algún sistema de riego para la producción. En el caso del cantón de Bagaces que tiene el Distrito de Riego Arenal-Tempisque, fue excluido por la poca cantidad de datos históricos. Otra limitante fue la inconsistencia en el rendimiento estimado para algunos cantones, a partir de la información de área y producción. Los datos de rendimiento en algunos cantones, para el período 2007-2017, varían mucho en relación con su promedio histórico. Por esa razón el período de análisis estadístico se limitó al período 1980-2006, a nivel de cantón.

La identificación de años El Niño y La Niña, tomó en cuenta su afectación durante la época lluviosa en el Pacífico de Costa Rica (mayo a noviembre). Se utilizó la clasificación dada por la NOAA (2019) a partir del índice ONI (Oceanic El Niño Index).

3. RESULTADOS

3.1. Impactos históricos de El Niño en el cultivo del arroz

En Costa Rica el cultivo del arroz se ha desarrollado históricamente en la vertiente pacífica del país, sin embargo, también presenta áreas de producción más reducidas en el Caribe y Zona Norte. Dado que la mayor área sembrada se ubica en regiones de régimen Pacífico, el impacto de las fases de ENOS dependerá de las condiciones climáticas que con mayor frecuencia hayan sucedido en cada una de ellas y en las de influencia Caribe. De esta forma, durante La Niña, los escenarios más probables para la Vertiente del Pacífico corresponden con un aumento de lluvias. Según Retana y Solano (2000) y Villalobos (2001), este tipo de escenarios favorecen el aumento en el rendimiento del cultivo. Por otra parte, durante El Niño la mayor probabilidad es que se presenten disminuciones de lluvias e incluso eventos extremos secos (sequías), principalmente en el Pacífico Norte y Región Central. Estas condiciones se asocian con disminuciones en el rendimiento de arroz.

En el cuadro 1 se presenta información de varias fuentes, en las cuales se resume parte de los impactos registrados durante años El Niño, con

Cuadro 1. Efectos de extremos secos durante años El Niño en el cultivo del arroz en Costa Rica

AÑO	ENOS	EFEECTO	ZONA	CULTIVO	IMPACTO	FUENTE
1955	Fase cálida 55.	Época seca muy severa, entrada tardía de la época lluviosa.	Todo el Pacífico.	Arroz, maíz, café	Cultivos en riesgo por falta de agua. Se afecta el período reproductivo. Se insta al Consejo de Producción que actúe rápidamente.	Diario Nacional, 1955.
1957-1958	Fase cálida 57-58.	Déficit primeros meses de 1957, déficit de lluvia segundo semestre 1958.	Pacífico y Región Central.	Arroz y otros cultivos	45% menos de lluvia en Guanacaste y 25% de déficit en el Valle de El General afectan cultivos.	La Prensa Libre, 1958.
1969	Fase cálida 69.	Fuertes lluvias.	Pacífico Sur.	Arroz	Pérdidas de 45 millones de colones.	La Nación, 1969.

AÑO	ENOS	EFEECTO	ZONA	CULTIVO	IMPACTO	FUENTE
1973	Fase cálida 72-73.	La segunda mayor sequía en Liberia.	Pacífico Norte y Región Central.	Arroz, maíz, ganado.	800 mil quintales de arroz perdidos, 100 mil quintales de maíz perdidos. Traslado de ganado. Racionamiento de agua y electricidad	La Nación, 1973.
1976	Fase cálida 76-77.	Segunda mayor sequía en Guanacaste por extensión e intensidad.	Pacífico Norte.	Arroz.	Perdido el 75% del área sembrada	Arroyo y Patterson 1988; IMN 2009.
1977	Fase cálida 76-77.	Sequía meteorológica.	Pacífico Norte.	Arroz, maíz.	7.000 hectáreas de arroz perdidas, principalmente en Carrillo y Santa Cruz	Arroyo y Paterson 1988.
1982	Fase cálida 82-83.	Sequía. En 1982 una de las mayores en Guanacaste.	Pacífico Norte.	Arroz, maíz, pastos.	Pérdidas por 4.500 millones de colones en general. Pérdidas por 500 millones de colones en granos básicos en Guanacaste.	La Nación, 1982.
1983	Fase cálida 82-83.	Sequía a partir de setiembre.	Pacífico Norte.	Arroz.	Pérdidas por 800 mil sacos de arroz en Guanacaste	La Nación, 1984.
1986	Fase cálida 86-87.	Sequía.	Pacífico Norte.	Arroz, maíz.	Pérdidas por \$6 millones. Disminuyó la cosecha nacional	OMM, 1987
1990	Fase cálida 90-95.	Primer semestre deficitario. En octubre se normalizan las lluvias.	Pacífico Norte. Cantón de Santa Cruz el más afectado.	Arroz.	Se siembra solamente en áreas que disponen de riego. Las lluvias de octubre terminan con la sequía experimentada. Pérdidas reducidas	Ramírez, L. 1990.
1991	Fase cálida 90-95.	Sequía.	Guanacaste. Cantones de Abangares, Filadelfia y Liberia.	Arroz.	Pérdidas de 2.000 ha sembradas en Abangares. En Filadelfia pérdidas parciales y en Liberia pocas pérdidas debido a sistemas de riego.	Leitón, 1991.
1992	Fase cálida 90-95.	Sequía.	Pacífico.	Arroz.	Baja producción nacional de arroz. 20% de déficit de lluvia anual. No se reportan grandes pérdidas.	CONARROZ, 2013.
1994	Fase cálida 90-95.	Sequía.	Nacional.	Arroz, maíz y frijoles.	Pérdidas por 4160 millones. Se pierde entre el 4 y 6% de la producción nacional de granos	Fuentes, 1994.
1994	Fase cálida 90-95.	Sequía.	Guanacaste Zona norte.	Arroz, maíz y frijoles.	Pérdidas por 4.290 millones en granos básicos	La Nación, 1994.
1997	Fase cálida 97-98. Mayor evento histórico.	Sequía extrema, una de las mayores experimentadas en el Pacífico Norte y Zona Norte.	Guanacaste Parrita.	Arroz y otros cultivos.	Pérdidas por 4.600 millones en todo el sector agrícola hasta setiembre, 80% de la producción de arroz afectada en Guanacaste y 5% de la producción afectada en Parrita	AP/La República, 1997; Agüero, 1998.

AÑO	ENOS	EFEECTO	ZONA	CULTIVO	IMPACTO	FUENTE
1998	Fase cálida 97-98 Mayor evento histórico.	Sequía extrema durante el primer semestre.	Nacional.	Granos básicos	Daños por 440.500 millones de colones.	Calderón y Cantero, 1999.
2002	Fase cálida 02-03.	Sequía concentrada principalmente en el segundo semestre del 2002. Déficit importante desde el 2001.	Afectada la margen izquierda del Tempisque y extendida al Valle Central y Oriental (Cartago) y el Valle de El General.	Agricultura en general, incluido el arroz	No hay reportes de pérdidas importantes en el cultivo del arroz a pesar de la sequía. La sequía del 2001 junto con el fenómeno de El Niño 2002-2003 produjo impactos significativos en la agricultura de Centroamérica. Costa Rica, a pesar de tener los mismos déficits hídricos de la región, no presentó mayores pérdidas en el sector agropecuario. Para CEPAL (2002), las afectaciones fueron menores al 20% del área total cultivada.	Retana et al, 2014.
2006	Fase cálida 06-07.	Sequía. 20% de reducción de lluvia anual en Guanacaste.	Pacífico Norte, (Cañas, Bagaces), y Zona Norte.	Arroz y caña de azúcar	Embalse del Arenal en punto crítico. Racionamiento de agua en el distrito de riego afectando 25.000 ha de arroz y caña principalmente. En la Zona Norte el INS pagó millones de colones por pérdidas en arroz debido a plagas potenciadas por el clima seco experimentado.	Agüero, 2006(a); Siu, 2007.
2009	Fase cálida 09-10.	Sequía. Se inició con un extenso veranillo y pocas lluvias en noviembre.	Pacífico Norte y Zona Norte.	Arroz, maíz, caña de azúcar, tomate y sandía	Pérdidas por €3.169 millones por afectación a 1200 ha en Guanacaste y pérdidas por €72 millones por 35 ha en la Zona Norte.	Recio, P. 2009; Barquero, 2010.
2012	Fase cálida 2012 no oficial. Solo para Costa Rica.	Sequía durante el segundo semestre del año.	Pacífico Norte y Región Central.	Arroz	Factores políticos, económicos y climáticos condujeron a una disminución del 31% (15.701 ha) del área sembrada en Guanacaste.	Siu, M. 2012.
2014	Fase cálida 14-16. De forma oficial inicia en el 2015 y termina en 2016.	Sequía concentrada en la margen izquierda del Tempisque, y hacia el Valle Central. Déficit histórico de lluvias en Guanacaste.	Pacífico Norte (todos los cantones), Pacífico Central (Aguirre, Garabito, Montes de Oro y Esparza).	Agricultura en general, arroz incluido	9.000 millones de dólares en pérdidas en los cultivos de arroz, maíz, caña de azúcar, sandía y naranja.	CNE, 2015.

relación al cultivo del arroz. La mayor parte de las fuentes es noticiosa, por lo que corresponde con una documentación puntual. El efecto total del fenómeno, debe haber sido consignado en otro tipo de documentos de carácter oficial.

Con base en la información presentada en el cuadro 1, se concluye que el 95% de los años El Niño, han presentado condiciones secas en el Pacífico Norte de Costa Rica afectando entre otros el cultivo del arroz. El 38% de años El Niño reportados en el cuadro 1, coinciden con disminución de la precipitación en el Pacífico Central y se reportan impactos en el cultivo del arroz. En el Pacífico Sur

solo el 28% de los años El Niño han reportado escenarios secos asociados con pérdidas en el cultivo del arroz. Mientras tanto, solo 19% de los años El Niño que se consignan en la tabla, mencionan condiciones secas en la Zona Norte y un impacto negativo en el cultivo del arroz. En el cuadro 2 se resumen los resultados.

Estos resultados concuerdan con lo investigado por Retana y Villalobos (2000), en cuanto a la probabilidad de que durante un año El Niño, se presenten escenarios secos en las diferentes regiones climáticas. De acuerdo con los autores durante años con presencia del fenómeno de

Cuadro 2. Cantones productores de arroz (SEPSA) y rendimiento promedio histórico de la región climática a la que pertenecen

Región climática	Cantón productor	Rendimiento histórico (ton/ha)	Porcentaje de ocurrencia de escenarios secos durante años El Niño con algún reporte de impacto
Pacífico Central	Orotina	3,77	38
	Aguirre		
	Puntarenas		
	Parrita		
Pacífico Norte	Nicoya	3,55	95
	Santa Cruz		
	Carrillo(Filad)		
	Liberia		
	Canas		
	La Cruz (Sta. Cecilia)		
	Nandayure		
	Abangares		
Bagaces			
Pacífico Sur	Corredores (C. Neily.)	3,35	28
	Osa		
	Pérez Zeledón		
	Golfito (Pto. Jiménez)		
Zona Norte	San Carlos(C. Quesada)	3,21	19
	Guatuso		
	Pocosol		
	Upala		
	Sarapiquí		
	La Fortuna		
Caribe	Limón	2,82	No hay reportes
	Guápiles		
	Guácimo		

El Niño, existen mayores probabilidades de ocurrencia de escenarios secos en el Pacífico Norte de Costa Rica. Dependiendo de la estación meteorológica analizada, las probabilidades de este tipo de escenarios se encuentran entre el 70 y el 80% para esa región. Bajo el mismo análisis, aparece luego el Pacífico Central (50-70%), el Pacífico Sur (50-65%) y la Zona Norte (20-50%).

Se presenta entonces un marco evidente de tres elementos encadenados, con diferentes probabilidades de ocurrir de acuerdo con la zona climática donde se produce arroz: (i) la presencia del fenómeno de El Niño, (ii) un escenario seco a nivel anual, (iii) impacto negativo en el cultivo del arroz de secano. Las condiciones secas extremas producto de El Niño que limitan la disponibilidad hídrica para los cultivos en algún momento del año, tienen mayor probabilidad de ocurrir en la Región Pacífico Norte del país.

De acuerdo con la información presentada en el cuadro 1, la disminución de lluvias puede afectar no solo las áreas en secano, sino aquellas que poseen riego. Por ejemplo, cuando la afectación de la sequía se extiende hacia la Zona Norte, puede causar disminuciones en el embalse del Arenal que es la fuente primaria de alimentación del proyecto del Distrito de Riego Arenal-Tempisque. Como consecuencia, la administración del proyecto raciona la cantidad de agua tal como sucedió en los años 2006, 2009 y 2012 (Agüero, 2006a; Agüero, 2012). Además, como lo demuestra Retana (2012) y Villalobos et al. (2002) los eventos El Niño tienen alta probabilidad de disminuir los cauces de ríos y aguas superficiales en el Pacífico de Costa Rica, afectando todas las actividades socio productivas dependientes del recurso.

Otra forma de afectación a la actividad radica en las acciones preventivas. Ya que la presencia de un evento El Niño tiene una alta probabilidad (70-80%) de producir escenarios secos y secos-extremos en el Pacífico y la Región Central de Costa Rica (Retana y Villalobos, 2000), el solo

pronóstico del evento puede influir sobre el área total de siembra y hasta en la decisión de sembrar o no, afectando la producción nacional y el abastecimiento, tal como sucedió en el 2012 (Siu, 2012). Al ser un fenómeno de impactos globales El Niño puede jugar un papel importante en la oferta y demanda en los mercados habituales de importación de grano.

Por otra parte, si el cultivo se establece los efectos del período seco son directos sobre la fisiología de la planta y van desde la disponibilidad de agua durante el ciclo (lluvia o riego), hasta el aumento en la temperatura ambiental, produciendo mayor demanda transpirativa, aumento del gasto energético por utilización de agua y la aparición de plagas (Retana, 2000; Retana y Villalobos, 1997). Todos estos efectos en conjunto pueden hacer disminuir la producción y el rendimiento del cultivo.

Otro elemento que puede sumar a la relación que se desprende del cuadro 1, es la visión espacial que tiene la sequía en Costa Rica. Existe el denominado corredor seco centroamericano, que contiene zonas geográficas donde con mucha frecuencia se presentan los escenarios más secos durante diversos fenómenos de variabilidad climática (Retana et al. 2012).

Este corredor está compuesto principalmente por planicies al pie de montaña, que limitan el paso de los vientos norestes, creando un efecto Föhn: la humedad proveniente del Caribe queda a barlovento de la montaña, mientras que el viento que pasa hacia el Pacífico es seco y acelerado por los diferentes pasos entre las montañas y volcanes. La agricultura que se desarrolla a lo largo de este corredor, está expuesta a escenarios secos durante varios meses al año y los períodos de siembra se limitan ya sea por un mal inicio de las lluvias en mayo (en cantidad y distribución temporal y espacial) o bien por un veranillo intenso y extenso, que puede hacer disminuir las lluvias mensuales significativamente (de agosto a setiembre) impidiendo o limitando la segunda

siembra. Si la sequía se desarrolla en el segundo semestre del año, los cultivos establecidos resienten disminuciones de lluvia durante los meses en que debería haber mayor oferta (setiembre y octubre) y que coinciden con las fases fenológicas reproductivas que son las más exigentes. Los aumentos de temperatura máxima, viento y radiación, también están asociados con estos períodos de sequía extrema.

En la figura 1 se presenta el corredor seco de Costa Rica, donde se muestra espacialmente el paso de las sequías a lo largo de los últimos 30 años. Debido a la marcada influencia pacífica, está íntimamente asociada con la presencia de eventos El Niño.

3.2. Dimensión de los posibles efectos de El Niño sobre el rendimiento del cultivo de arroz

Lo expuesto hasta el momento es información variada que intenta asociar el fenómeno de El Niño, su probabilidad de generar escenarios secos anuales, la distribución espacial de estos eventos secos y la relación con algún impacto documentado en el cultivo del arroz.

A pesar que la documentación de prensa cita pérdidas en el cultivo del arroz, entre otros cultivos y actividades, no se cuantifica la magnitud o el grado de este impacto negativo. Retana et al. (2014) cuantificaron estos impactos a partir de

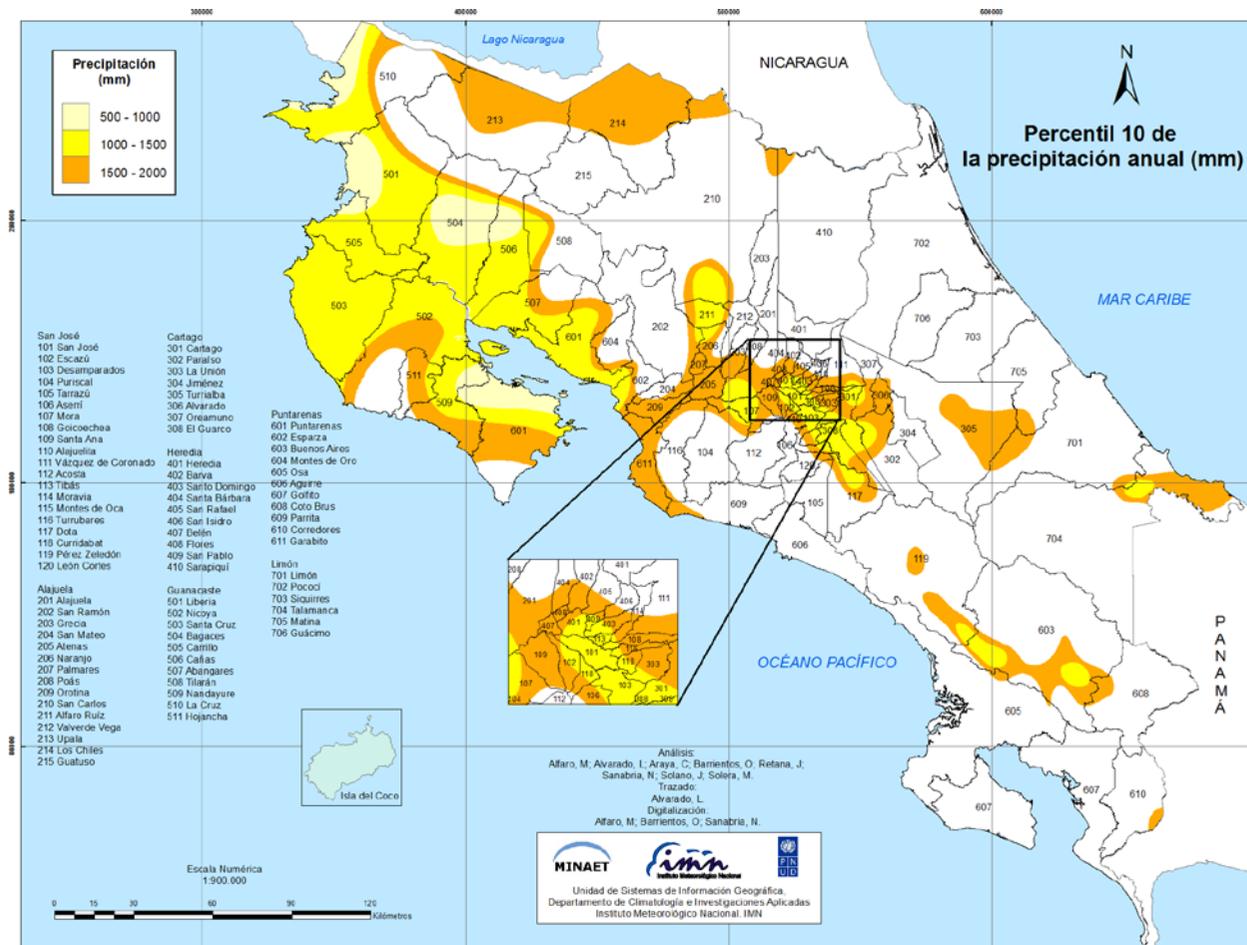


Figura 1. Corredor seco de Costa Rica. Análisis espacial del percentil 10 de la precipitación anual. Período de análisis 1960-2012. Fuente: Retana et al. (2013).

un análisis de la variación de los rendimientos durante años El Niño, La Niña y Neutros.

En el período 1970-2006, en términos anuales y para todo el país, los autores encontraron que el 67% de los eventos El Niño corresponden con la disminución del rendimiento del arroz en relación al promedio nacional. En este mismo período se presentaron 11 años bajo la influencia de eventos La Niña. En el 64% de los casos, se observa aumento en el rendimiento del arroz con relación al promedio histórico de todo el país.

Cuando se desagrega la información por región climática, se logra determinar que el patrón se repite: menores rendimientos durante años El Niño en comparación con años La Niña. Retana y Villalobos (1997) hicieron simulación de rendimientos y estimaron que el rendimiento del cultivo en el Pacífico Norte aumenta conforme aumenta el nivel de precipitación diaria, lo cual puede sustentar los mejores rendimientos durante La Niña.

En la figura 2 se presentan los resultados, comparando los rendimientos históricos (1980-2006) con los obtenidos durante años El Niño en las distintas regiones climáticas.

Cuando se compara el rendimiento de años El Niño contra el promedio histórico de cada región, se obtiene el mismo patrón (figura 2). Sin embargo, las diferencias no son estadísticamente significativas. Además, según Retana (2015) los rendimientos durante un Niño tampoco son significativamente diferentes cuando se comparan con años de fase neutra de ENOS. Las únicas diferencias estadísticas que se detectaron, fueron entre los rendimientos en años Niño comparados con aquellos en años Niña para la Zona Norte del país.

Los resultados presentados en el cuadro 1 también apoyan esta conclusión. Por ejemplo, para los eventos El Niño de 1990, 1991, 1992 y

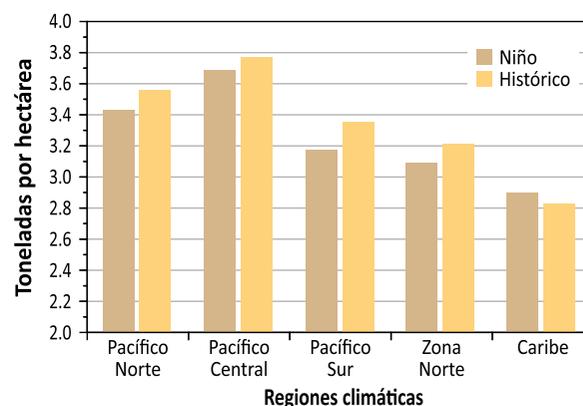


Figura 2. Rendimiento promedio de arroz durante años El Niño en comparación con el promedio histórico (1980-2006). Fuente de los datos de rendimiento: www.infoagro.go.cr

2002, las fuentes consignan pérdidas reducidas, pocas pérdidas, y no se reportan pérdidas importantes, respectivamente. Más aun, durante la sequía del 2001-2002, catalogada por la prensa centroamericana como la peor sequía de los últimos 50 años (Ramírez, 2002), no se presentaron pérdidas importantes en el sector agropecuario de Costa Rica (arroz incluido) a pesar de presentar los mismos déficits hídricos de la región. Según CEPAL (2002), no hubo registros debido a que el área cultivada solo fue afectada en menos del 20% de su extensión total. Los impactos fueron muy locales, pero el sector logró obtener rendimientos muy cercanos a su promedio. Incluso, las condiciones de mercado permitieron que se incentivaran las exportaciones de tubérculos y hortalizas, desde Costa Rica a los países de la región (Calderón y Núñez, 2001).

Tal y como lo exponen Retana et al. (2014), este caso pone de manifiesto que los impactos obedecen en mucho a las condiciones de vulnerabilidad de los sistemas. La vulnerabilidad del sector agropecuario de Costa Rica, es muy diferente a la vulnerabilidad del mismo sector en los países vecinos. Si bien es cierto existe un patrón que describe menor rendimiento del cultivo del arroz durante años El Niño comparado con años La Niña, también es cierto que el sector

agrícola en general y arrocero en particular, ha demostrado ser resiliente durante años de eventos hidrometeorológicos extremos. En años secos el rendimiento ha logrado mantenerse cercano a los valores promedios históricos, el sector se reconstruye luego de los impactos. La cuota nacional de arroz que constituye la verdadera seguridad alimentaria del país en cuanto a este cereal, es competitiva aún en los escenarios climáticos extremos. Esto no puede ser asegurado para la cuota importada, que proviene de países cuyos índices de riesgo climático es mayor que el de Costa Rica (Retana et al. 2014).

En este mismo tema, el IICA (2015) señala que ante un incremento en los precios mundiales de los alimentos (producto de eventos hidrometeorológicos extremos, como El Niño), los países de América Latina y el Caribe más vulnerables serán aquellos que además de tener un alto porcentaje de su población en pobreza o subnutrición, tienen una alta dependencia de las importaciones para satisfacer su oferta doméstica de alimentos. Dependiendo de la magnitud del evento, las presiones inflacionarias internacionales conllevarían un aumento de los precios locales, el que afectará sobre todo a las poblaciones más pobres que destinan un mayor porcentaje de su ingreso a la compra de alimentos.

El evento cálido 2014-2016 provocó una de las mayores sequías en el Pacífico Norte y Región Central de toda la historia instrumental en Costa Rica. Se rompieron los récords de déficit de lluvia mensual en Liberia y la afectación se prolongó intermitentemente desde mayo del 2014 hasta setiembre-octubre del 2015. A pesar de este evento climatológico extremo, la actividad arrocera en el país se ha mantenido. Costa Rica debe asumir el riesgo climático de producir arroz y sobre todo gestionarlo. La vulnerabilidad está demostrada, pero también la capacidad de sobreponerse. La gestión del riesgo climático debe de potenciar la resiliencia del sector.

4. CONCLUSIONES

Los impactos en el rendimiento del arroz durante años El Niño, están asociados con escenarios secos y extremos-secos, que tienen una alta probabilidad de ocurrir principalmente en el Pacífico Norte y con menor probabilidad en el Pacífico Central y Sur. Esta reducción ha causado una tendencia de disminución en los rendimientos del arroz, en la mayoría de los cantones productores de este grano.

A pesar de las tendencias descubiertas, los análisis estadísticos no revelan diferencias significativas entre los rendimientos durante un año Niño en comparación con años La Niña, años Neutro o el promedio histórico, salvo para la Zona Norte donde existen diferencias significativas entre año Niño y año Niña.

A pesar de la recurrencia de este tipo de eventos extremos y su impacto negativo, la producción de dicho cereal se ha logrado mantener como un agente de cultura y desarrollo social y económico. Ciertamente el cultivo del arroz es vulnerable al clima, pero su cultura (el productor, el manejo tecnológico, el aporte al valor social del campesino, la historia) ha demostrado ser igualmente resistente y coherente con la tradición. Costa Rica es históricamente un país productor y consumidor de arroz. El clima no ha desestimulado esta actividad, al contrario la ha exigido a establecer mecanismos incipientes de adaptación a la variabilidad del clima.

Las políticas que se encaminen a fortalecer y proyectar la producción de arroz en Costa Rica, deben de ser consideradas como motores de adaptación a la variabilidad y el cambio climático, donde gestionar el riesgo de producción nacional debe asumirse como un compromiso social y ambiental. La seguridad alimentaria no solo debe suponer asegurar alimento inocuo en forma oportuna y libre a todos los grupos humanos, sino que además debe de asegurar la procedencia

nacional en el caso de que la tradición, la cultura y la protección social lo demanden. De lo contrario, la importación de material de consumo deja el manejo del riesgo climático de producción a naciones que enfrentan escenarios climáticos y sociales más graves que los que actualmente presenta Costa Rica.

5. LITERATURA CONSULTADA

- Agüero, M. (2006a, 07 de noviembre). Represa Arenal tiene el nivel más bajo de los últimos seis años. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- Agüero, M. (2006b, 07 de noviembre). Agricultores deberán racionar uso de agua. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- Agüero, M. (1998, 12 de enero). País sin apoyo frente a El Niño. *Al Día*. San José, Costa Rica.
- Agüero, M. (2012, 20 de julio). Embalse para abajo y no llueve. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- Arroyo, L. y Patterson, O. (1988). *Tipos y distribución de algunos peligros naturales en Costa Rica (sismicidad, vulcanismo, deslizamientos, sequías e inundaciones)*. Universidad Nacional. Escuela de Ciencias Geográficas. Comisión Nacional de Emergencias. Heredia, Costa Rica. 30-100p.
- La República. (1997, 2 de setiembre). Emergencia nacional por El Niño. *La República*, San José, Costa Rica. Pág. 5A.
- Barquero, M. (2010, 13 de abril). El Niño deja pérdidas por €3200 millones al agro. *La Nación*, San José, Costa Rica.
- Calderón, A. y Núñez, M. (2001, 2 de octubre). Sequía incentiva exportaciones. *La República*. San José, Costa Rica. Pág.10A.
- CEPAL. (2001). *Impacto socioeconómico y ambiental de la sequía del 2001 en Centroamérica*. Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe. 20p.
- CONARROZ, (2013). *Informe estadístico período 2011-2012*. Corporación Arrocera Nacional. Departamento de Inteligencia de Mercado. San José, Costa Rica. 58p.
- Diario Nacional. (1955, 17 de mayo). El Consejo Nacional debe actuar rápidamente ante un inminente riesgo. *Diario Nacional*. San José Costa Rica. Pág. 6.
- Fernández, W. y Ramírez, P. (1991). El Niño, la Oscilación del Sur y sus efectos en Costa Rica: Una revisión. *Tecnología en Marcha*. 11(1):3-10.
- Fuentes, J. (1994, 11 de octubre). Inquietud por sequía en el país. *La República*. San José, Costa Rica. Pág. 3A.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2009). *Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica*. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. IMN-CRRH-MINAET-PNUD. San José, Costa Rica. 75p.
- IICA. (2015). El fenómeno de El Niño en la agricultura de las Américas. *Boletín Técnico*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 19p.
- La Nación. (1969, 7 de octubre). Arrecian lluvias sembrando pánico, muerte y destrucción. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- La Nación. (1973, 8 de abril). Centroamérica enfrenta la peor sequía en 50 años. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- La Nación. (1982, 10 de octubre). Se prevé falta de pastos para ganado por sequía. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- La Nación. (1984, s.f.). Confirman pérdidas de 800 mil sacos de arroz por mal tiempo. *La Nación*. San José, Costa Rica.
- La Nación. (1994, 21 de octubre). Una sequía anunciada. *La Nación*, Editorial. San José, Costa Rica. Pág.13A.
- La Prensa Libre. (1958, 28 de enero). Año 1957: seco y caluroso en la mayor parte del

- territorio. *La Prensa Libre*. San José, Costa Rica. Pág.18.
- Leitón, P. (1991, 25 de febrero). Clima arrasó con granos. *La Nación*. San José, Costa Rica. Pág.6A.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2019). *Historical El Niño and La Niña Episodes Based on the ONI computed using ERSST.v5*. Recuperado de: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf
- OMM. (1987). El sistema climático mundial en 1986. *Boletín de la OMM*. Organización Meteorológica Mundial 36(3):185p.
- Ramírez, P. (1990). El fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur. *Boletín Meteorológico*. Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas. Instituto Meteorológico Nacional. Costa Rica. Año XIV-Abril. P3-5.
- Ramírez, L. (1990, 8 de julio). Alerta por estragos de El Niño. *La República*, San José, Costa Rica. Pág.8.
- Ramírez, P. (2002). *La sequía del 2001 en Centroamérica. Un caso de discusión entre variabilidad y cambio climático*. Comité Regional de Recursos Hídricos. Foro Regional del Clima. Documento técnico. 5p.
- Recio, P. (2009, 24 de agosto). No llueve en Guanacaste. Peligra la cosecha de arroz. *Al Día*. San José, Costa Rica.
- Retana, J. y Villalobos, R. (1997). El Calentamiento Global: Una evaluación en el cultivo de arroz utilizando un modelo de simulación. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 4 (2):159-168. San José, Costa Rica.
- Retana, J. y Villalobos, R. (2000). Caracterización pluviométrica de la fase cálida de ENOS en Costa Rica con base en probabilidades de ocurrencia de eventos en tres escenarios: seco, normal y lluvioso. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 7(2):117-124
- 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. y Solano, J. (2000). *Relación entre las inundaciones en la cuenca del Tempisque el fenómeno de la Niña y los rendimientos de arroz de secano en Guanacaste*. Instituto Meteorológico Nacional. Gestión de Desarrollo. San José, Costa Rica. 9p.
- 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.
- Retana, J.; Alvarado, L.; Araya, C.; Sanabria, N.; Solano, J.; Solera, M. y Alfaro, M. (2012). Caracterización del corredor seco en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 11(1):18-28.
- Retana, J.; Alvarado, L.; Sanabria, N.; Córdoba, J.; Villalobos, R.; Solano, J.; Rojas, N.; Hernández, K.; Solera, M. y Jiménez, E. (2014). *Seguridad alimentaria y el cambio climático en Costa Rica: Granos Básicos*. Instituto Meteorológico Nacional, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Ministerio de Ambiente y Energía. 96p.
- Retana, J. (2015). Vulnerabilidad del arroz ante amenazas climáticas en Costa Rica. *Tópicos meteorológicos y oceanográficos*. 14(1):05-17. ISSN: 1409-2034. Recuperado de: <http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/revista/topicosmet20151/index.html>.
- Siu, M. (2007, 29 de agosto). INS paga 66 millones a agricultores por fenómenos climáticos. *La Prensa Libre*. San José, Costa Rica.
- Siu, M. (2012, 24 de julio). Primera cosecha arrocerca cae tras pérdida de 15701 ha de cultivo. *Crhoy.com*. San José, Costa Rica.

- 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*. Oficina de pronósticos. Instituto Meteorológico Nacional. Folleto informativo. San José, Costa Rica. 9pp.
- Villalobos, R. (2001). Impacto del fenómeno El Niño sobre la producción de arroz y frijol en dos regiones agrícolas de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. (8)1,19-25.
- Villalobos, R.; Retana, J.; Ramírez, S. y Machado, P. (2002). *Mejoramiento de la capacidad técnica para mitigar los efectos de futuros eventos de la variabilidad climática en Costa Rica. El Niño*. Proyecto Mitigación de Desastres en Centroamérica. Gobierno de Japón- BID. CRRH-CEPREDENAC-IMN-SEPSA-ICE. San José, Costa Rica. 182p.

Zonificación climática para la siembra de café robusta (*Coffea canephora*) en Costa Rica

KATIA CARVAJAL TOVAR¹
MARILYN CALVO MÉNDEZ²

Resumen

Se realizó la zonificación climática para el establecimiento de *Coffea canephora* utilizando los requerimientos climáticos del cultivo: precipitación anual 2.000 mm bien distribuidos durante el año, de dos a tres meses secos, temperatura promedio anual de 26 °C, con valores mínimos de 21 °C y máximos de 30 °C. La zonificación se realizó en tres etapas, la primera consistió en la extracción de las capas de información geográfica en formato Shapefile, utilizando los programas ArcGIS 10.0 y QGIS; la segunda etapa, por medio de un álgebra de mapas en el SIG se llevó a cabo una extracción de aquellas áreas donde se sumaban todas las condiciones climatológicas y en la tercera etapa las áreas fueron contrastadas a través de gráficos con la distribución anual de la precipitación y la temperatura. Las áreas que se consideran más apropiadas para la siembra de “robusta” son el Pacífico Central y Sur, así como el cantón de Upala.

PALABRAS CLAVE: COFFEA CANEPHORA, CAFÉ, ROBUSTA, ZONIFICACIÓN, GIS, TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN.

Abstract

Climatic zoning for *Coffea canephora* was done using crop climatic requirements: annual precipitation of 2.000mm well distributed throughout the year, two to three dry months, annual average temperature of 26 °C, minimum of 21 °C and maximum of 30 °C. Zoning was done in three stages, the first one was the extraction of the geographic information layer which is on Shapefile format, using programs ArcGIS 10.0 and QGIS; the second stage, consisted in the use of map algebra in GIS, to carry out an extraction of those areas where all the climatological conditions were added. In the last stage all areas were contrasted, using graphics of the annual precipitation distribution and temperature. The most appropriate areas for planting “robusta” are Central and South Pacific and Upala.

KEYWORDS: COFFEA CANEPHORA, COFFEE, ROBUSTA, ZONING, GIS, TEMPERATURE, PRECIPITATION.

1. INTRODUCCIÓN

Los límites de capacidad de producción de los recursos de tierras vienen determinados por el clima, las condiciones del suelo, y por el uso y manejo aplicados al mismo; lograr esto requiere de políticas correctas, una planificación basada en el conocimiento y las demandas del uso sobre

estos recursos, así como la relación que se da entre el suelo y su aprovechamiento (FAO, 1997).

La zonificación agrícola tiene aplicación para diversos aspectos que deben ser comprendidos en la planificación. Al delimitar las zonas agrícolas se están identificando áreas con potencialidad para el desarrollo que pueden responder en un

1 Ingeniera agrónoma. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional. Correo electrónico: kcarvajal@imn.ac.cr

2 Licenciada en geografía. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional. Correo electrónico: mcalvo@imn.ac.cr

plazo muy breve a un fuerte impulso de progreso, como resultado de la concentración de los medios técnicos y financieros disponibles (OEA, 1974).

En 1988 se promulgó el decreto ejecutivo N°18135-MAG, que prohibía la siembra de café robusta (*Coffea canephora*) en el país (no rige para fines de investigación), adjudicando principalmente razones de protección a la calidad y el prestigio del café de Costa Rica; complementariamente en el año 1989 se firmó el decreto N°19302, que autorizaba al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y al Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) para eliminar las siembras existentes de “robusta” (SCIJ, 1988; SCIJ, 1989).

En el año 2009 la Asamblea de representantes de los sectores cafetaleros del país, durante el desarrollo del XXXVIII Congreso Nacional Cafetalero Ordinario, aprobó una moción para analizar el tema de la siembra comercial de café robusta en Costa Rica. Dicha moción indica: “el ICAFE analizará la posibilidad de impulsar un programa de siembra de café robusta en el país, con el fin de aumentar la producción nacional total, recuperando niveles que garanticen el abastecimiento del consumo nacional y la exportación” (ICAFE, 2016). En el 2018, mediante decreto N°41110-MAG se autoriza la siembra, el cultivo, el beneficiado y la comercialización de *Coffea canephora* en Costa Rica (SCIJ, 2018).

Debido a lo anterior, se realizó un convenio entre el ICAFE y el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), para determinar con base a requerimientos climáticos del cultivo las zonas en las que se puede sembrar el café “robusta”.

Las condiciones agroclimáticas más aptas para el cultivo han sido definidas en Brasil, de acuerdo a un análisis complejo en donde se integraron una serie de elementos no sólo climáticos, sino también de uso de tecnologías agrícolas (distancias de siembra, niveles de fertilización y mecanización de labores, entre otros) y

características socioeconómicas de las localidades (acceso a servicios públicos, vías de transporte, servicios de salud) (ICAFE, 2016).

Se determinó que las características climáticas más aptas para el cultivo son: temperatura entre 21 y 30 grados Celsius (°C), con un promedio anual de 26 °C y precipitación entre 1.000 y 3.000 milímetros (mm); además, una altitud de 400 a 600 metros sobre el nivel de mar (m.s.n.m.) (Pereira et al., 2008). En el país existen gran cantidad de microclimas que pueden permitir o favorecer el cultivo de variedades robusta, pero también podrían dificultar el manejo de enfermedades como el “ojo de gallo” (*Mycena citricolor*), por los altos regímenes lluviosos tal es el caso de la zona norte del país (ICAFE, 2016). Jaramillo-Robledo (2005), afirma que la temperatura óptima para el cultivo de *C. canephora* es de entre 22 y 26 °C.

La temperatura óptima (media anual) para el cultivo del café robusta va de 24 a 30 °C, y la precipitación óptima de 2.000 a 3.000 mm anuales (International Coffee Organization, 2018).

Es importante indicar, que las áreas que tienen potencial para la siembra de café robusta en Costa Rica son marginales para el café arábico, por lo que no deberían competir ya que son localidades totalmente diferentes. La mayoría de la caficultura en Costa Rica está por encima de los 800 m.s.n.m. y esta especie es para zonas bajas (ICAFE, 2016).

El objetivo de este trabajo fue realizar una zonificación climática para el establecimiento de café “robusta” (*Coffea canephora*) en Costa Rica.

2. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en la identificación de zonas apropiadas para el cultivo del café robusta (*C. canephora*), tomó como base las características climáticas de esta variedad, es decir, las regiones apropiadas para la zonificación

debían tener una temperatura promedio anual de 26 °C, con valores mínimos de 21 °C y máximos de 30 °C, una época seca bien marcada de al menos dos o tres meses y una precipitación anual mayor a 2.000 mm, preferiblemente distribuidos durante el año (Pereira et al., 2008).

La primera etapa de la metodología consistió en la extracción de las capas de información en formato Shapefile, correspondiente a las variables de precipitación anual acumulada y temperatura media mensual máxima y mínima, de las zonas que cumplían con los criterios mencionados. Para este ejercicio se usó un sistema de información geográfica (SIG), y se utilizaron los programas, ArcGIS 10.0 y QGIS.

Dichas variables ya habían sido medidas y cartografiadas para todo el país en el Atlas Climatológico de Costa Rica del año 2015, elaborado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, s.p.). En estos mapas se consignaron datos mensuales de estaciones meteorológicas distribuidas a través de todo el país y recogidos desde el año 1960 al 2013.

En la segunda etapa se realizó la extracción de aquellas áreas donde se sumaban todas las condiciones climatológicas, es decir, las zonas donde existía un traslape de todas las capas. Este proceso se realizó mediante el álgebra de mapas en el SIG.

En la tercera etapa se contrastaron las áreas extraídas con la distribución anual de la precipitación y la cantidad de meses secos identificados durante el año. Es importante indicar que, para Costa Rica se definen como meses secos aquellos en los que haya un acumulado de lluvia menor a 60 mm (Arnfield, 2018; Kottek, et al., 2006)

Se realizó el análisis de datos de las estaciones meteorológicas seleccionadas, los cuales fueron procesados estadísticamente para

obtener promedios mensuales de precipitación y temperaturas. El criterio de selección de las estaciones fue su cercanía con las áreas delimitadas previamente y la disponibilidad de datos de precipitación y temperatura.

3. RESULTADOS

En la primera delimitación de las áreas aptas para el cultivo, se extrajeron las capas correspondientes a precipitación anual (figura 1), las áreas con temperatura media en el rango de 24 °C a 28 °C (figura 2), las áreas con temperatura máxima en el rango de 28 °C a 30 °C (figura 3) y las áreas con temperatura mínima en el rango de 20 °C a 22 °C (figura 4). Se puede observar en dichas figuras que la mayoría de las condiciones climáticas exceptuando la temperatura máxima, se cumplen en zonas de la vertiente del Caribe, Zona Norte, Pacífico Central y Pacífico Sur.

Es importante indicar, que de la información proveniente del IMN no se puede extraer una capa solo con el valor de 26 °C, por lo que hubo que ajustarse a los rangos más cercanos a dicho promedio.

Sin embargo, en esta etapa las áreas delimitadas fueron muy amplias y heterogéneas entre sí, por lo que se procedió a realizar una extracción de aquellas donde se sumaban todas las condiciones climatológicas.

El resultado de esta segunda delimitación corresponde a la zonificación climática de las áreas potenciales de café robusta (*Coffea canephora*), que toma en cuenta la precipitación, la temperatura máxima, mínima y media. Como se muestra en la figura 5, dichas áreas se ubican principalmente al norte de la Cordillera de Guanacaste, entre la Cruz y Upala, al noroeste de Ciudad Quesada, al sur de Siquirres y Limón, hasta el Valle de la Estrella; y en el Pacífico Central y Sur, desde Jacó hasta Golfito, además de algunas áreas

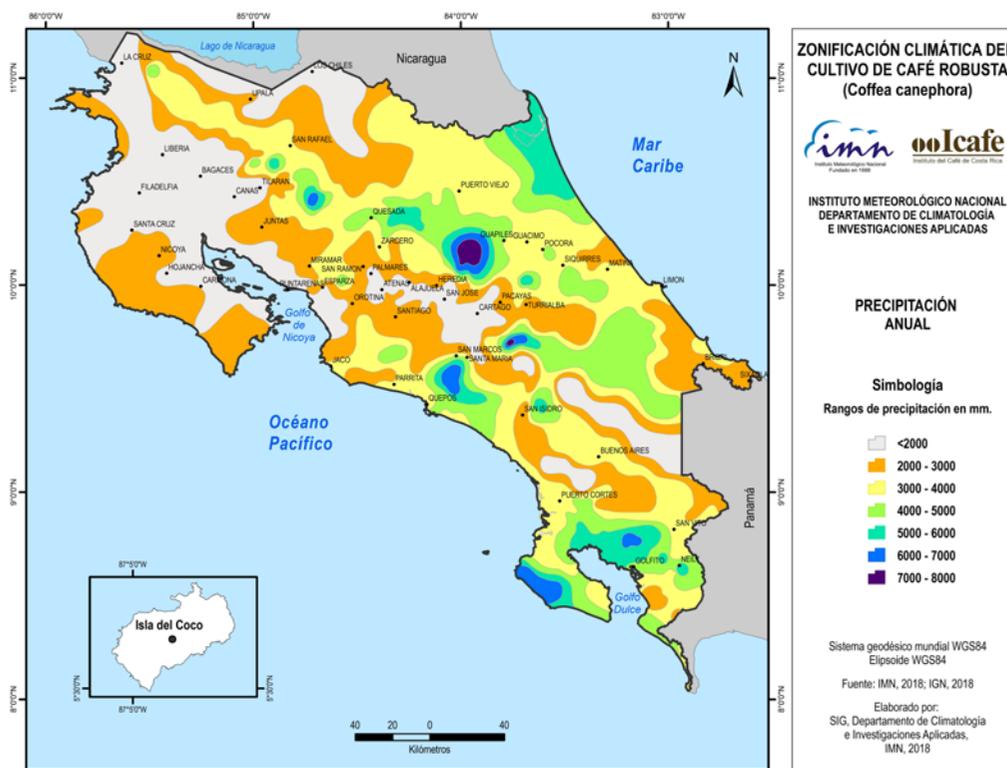


Figura 1. Precipitación según los requerimientos climáticos del cultivo de *Coffea canephora*.

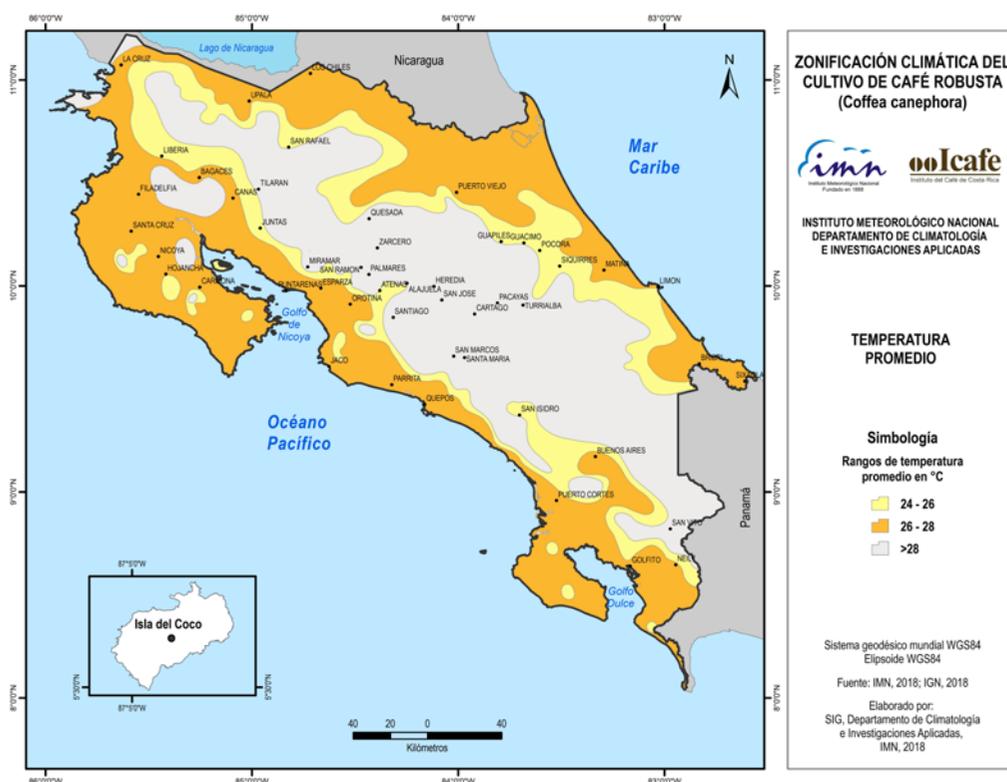


Figura 2. Temperatura media según los requerimientos climáticos del cultivo de *Coffea canephora*.

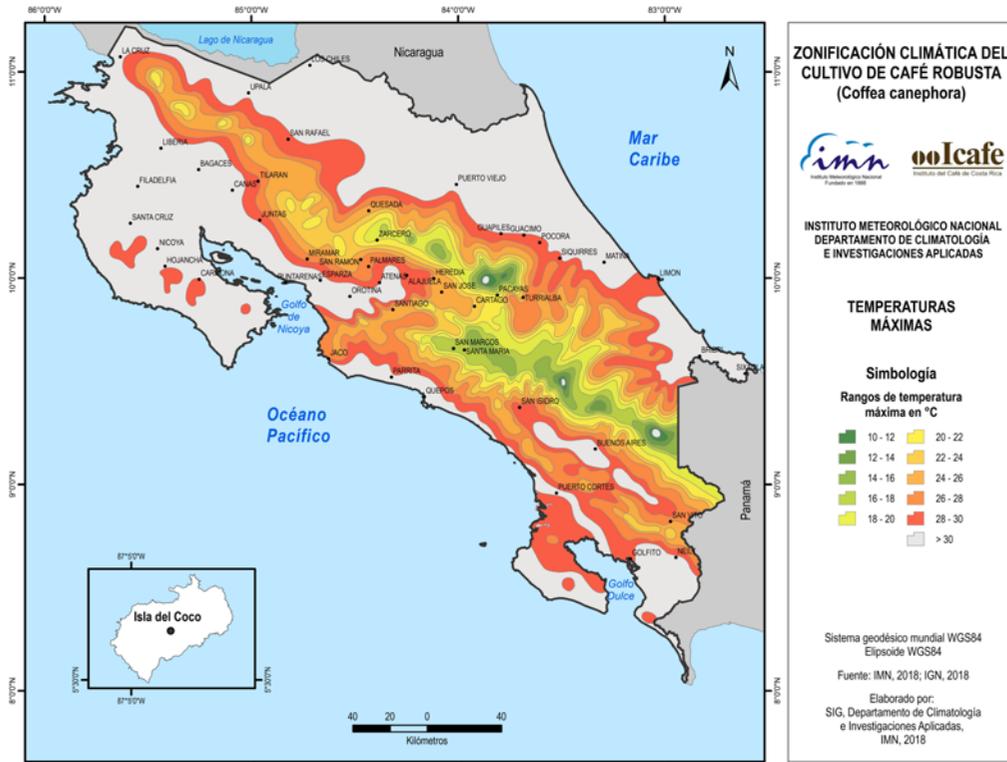


Figura 3. Temperatura máxima según los requerimientos climáticos del cultivo de *Coffea canephora*.

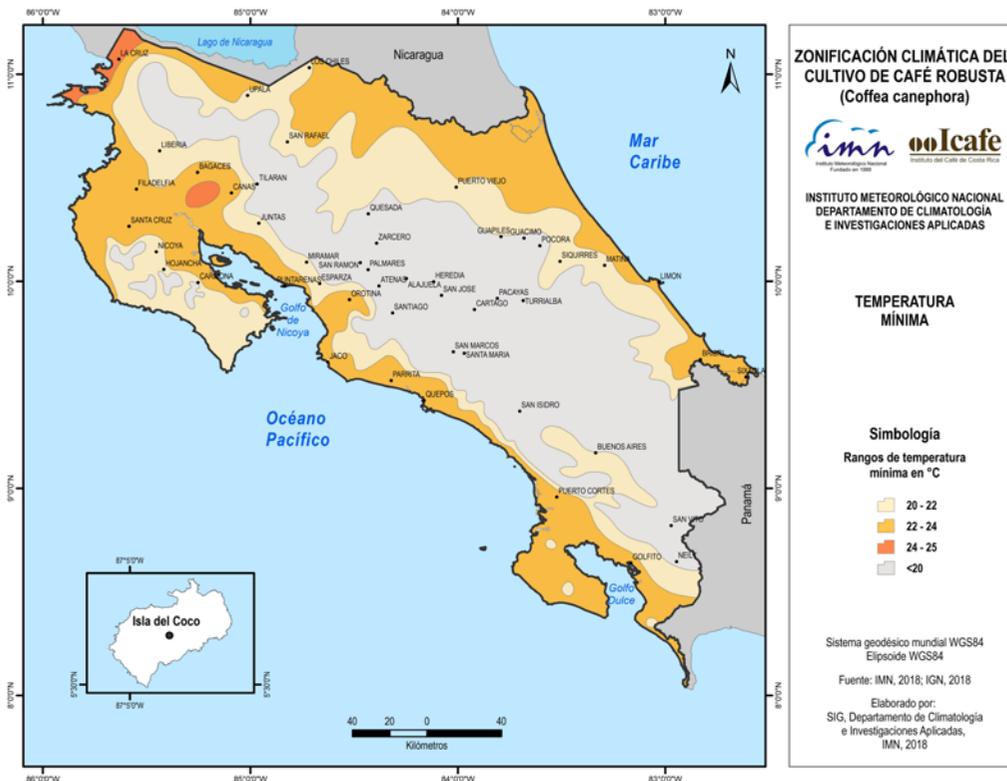


Figura 4. Temperatura mínima según los requerimientos climáticos del cultivo de *Coffea canephora*.

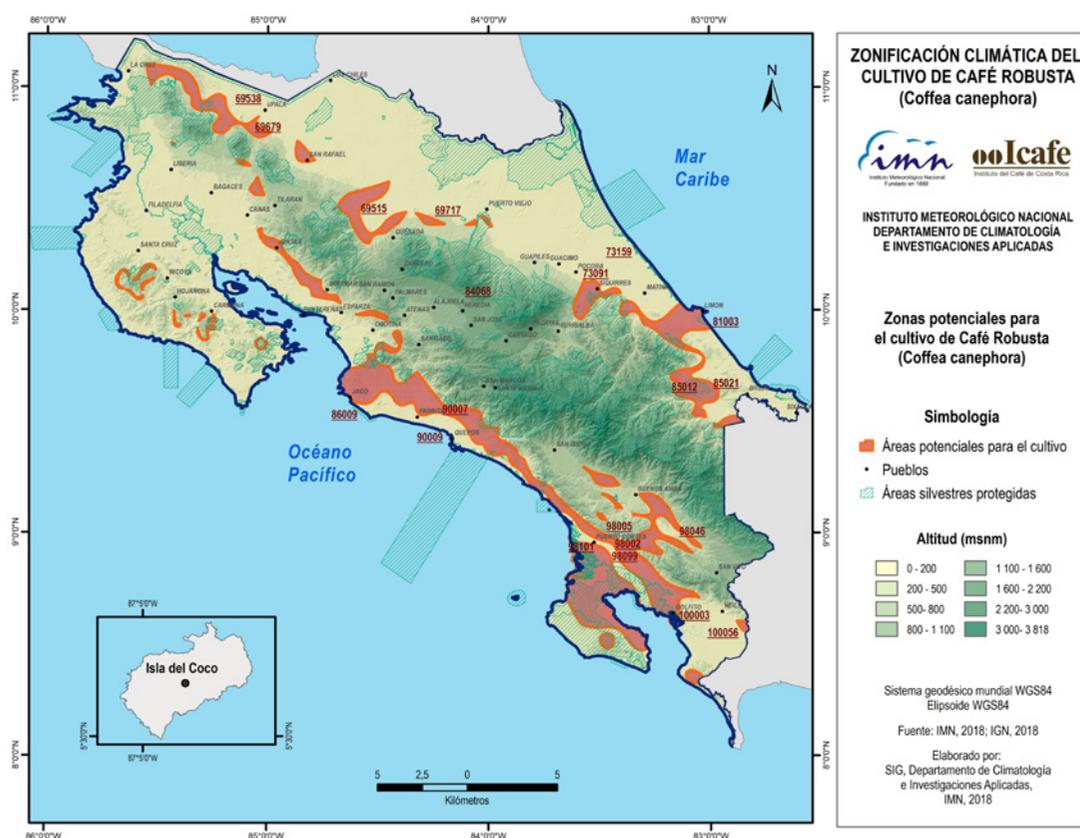


Figura 5. Áreas potenciales para la siembra de *Coffea canephora* tomando en cuenta la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima recomendada

de la Península de Osa. Estas áreas se caracterizan por tener una topografía entre ondulada a plana, con altitudes que van desde los 0 a 1.200 m.s.n.m., siendo que el 84% de estas se ubican entre los 0 y los 400 m.s.n.m.

El uso de la tierra predominante en estas zonas es de bosque maduro y secundario (48%), el 27% está dedicado al sector primario y el restante 25% corresponde a áreas urbanas, humedales, manglares, plantaciones forestales y otros usos. Además, el 19% corresponde a áreas protegidas con diferentes categorías de manejo, que incluyen parques nacionales, reservas forestales y zonas protectoras (cuadro 1).

Una vez que se delimitaron las áreas, se seleccionaron las estaciones meteorológicas que estuvieran ubicadas dentro de éstas para

Cuadro 1. Uso de la tierra en las áreas delimitadas preliminarmente para el cultivo de *Coffea canephora*

COBERTURA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Otros usos	9.168,88	1,76
Áreas Urbanas	6.848,15	1,31
Cuerpos de agua	8.687,40	1,67
Manglar	10.130,17	1,94
Plantaciones forestales	11.490,95	2,21
Cultivos anuales	13.204,11	2,53
Cultivo permanente	20.802,40	3,99
Nubes y sombras	84.208,00	16,16
Bosque secundario	99.560,63	19,11
Pastos	107.449,49	20,62
Bosque maduro	149.566,80	28,70
TOTAL	521.117,00	100,00

Cuadro 2. Estaciones meteorológicas ubicadas en lugares cercanos a zonas potenciales para el cultivo de *Coffea canephora*

ESTACIÓN	NOMBRE	UBICACIÓN
90009	Damas, Quepos	Aguirre
90007	Damas	Aguirre
90013	Finca Damas	Aguirre
81003	Limón	Limón
98005	Palmar	Palmar Sur
98099	Palmar Sur	Palmar Sur
98002	Palmar Sur	Palmar Sur
98101	Finca 3 Palmar Sur	Palmar Sur
100615	La Palma, Palmar Sur	Palmar Sur
69538	Upala	Upala
69679	Upala	Upala
10056	Coto 42	Coto 42
73159	Finca El Carmen, Siquirres	El Carmen de Siquirres
73091	Hacienda El Carmen	El Carmen de Siquirres
10003	Golfito	Golfito
85012	Hitoy Cerere	Limón
69717	Hotel Pozo Azul, Rio Tirimbina	La Virgen de Sarapiquí
86009	Jaco	Jacó
69015	Quebrada Azul	Florencia de San Carlos

caracterizar la distribución de las lluvias y los meses secos. En el cuadro 2, se presentan las estaciones utilizadas para el análisis.

En la tercera etapa, se analizaron los datos de precipitación y temperatura de las estaciones seleccionadas. En las figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16, muestran los resultados para cada

una de las regiones, los cuales son la base para definir las áreas más apropiadas para el cultivo de robusta.

Tomando en consideración que mes seco es aquel donde la precipitación acumulada es menor a 60 mm, se puede observar que las zonas de Limón (figura 7), Coto 42 (figura 10), El Carmen

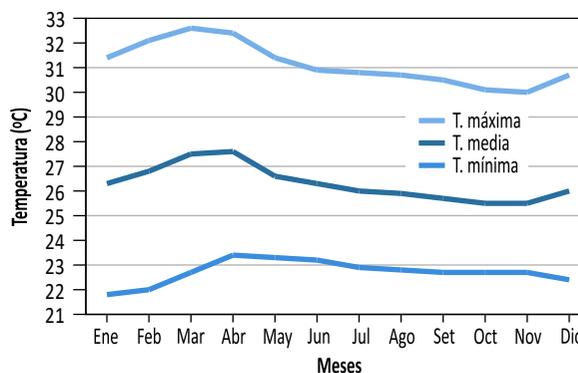
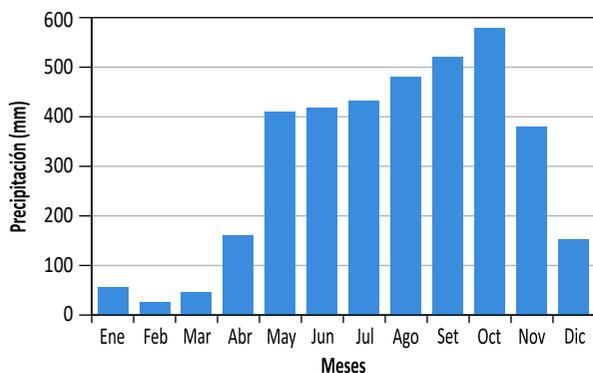


Figura 6. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en las estaciones Damas (90009, 90007, 90013).

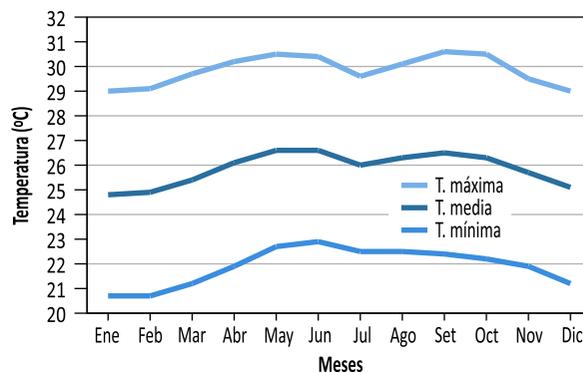
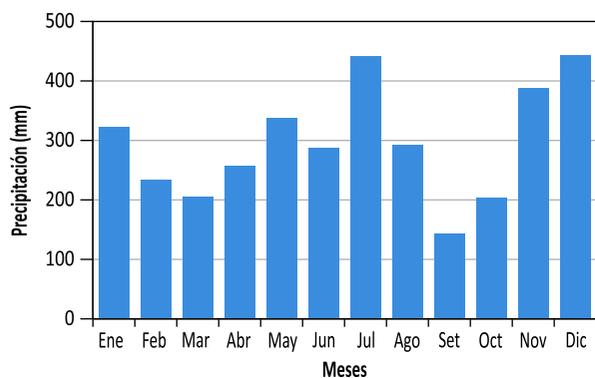


Figura 7. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en la estación Limón (81003).

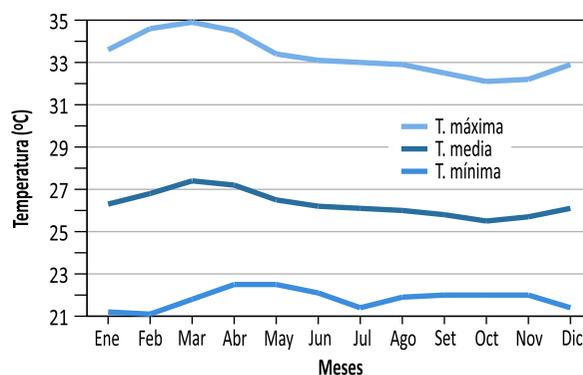
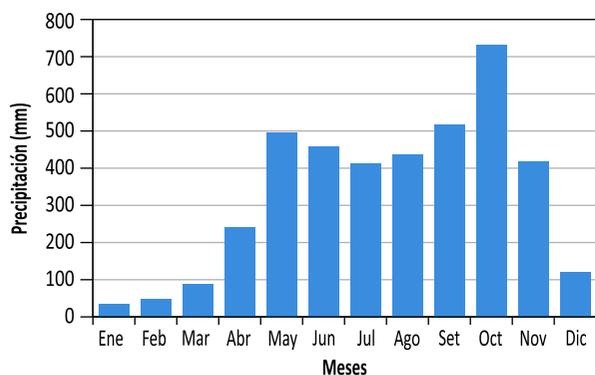


Figura 8. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en las estaciones Palmar Sur (98005, 98099, 98002, 98101, 100615).

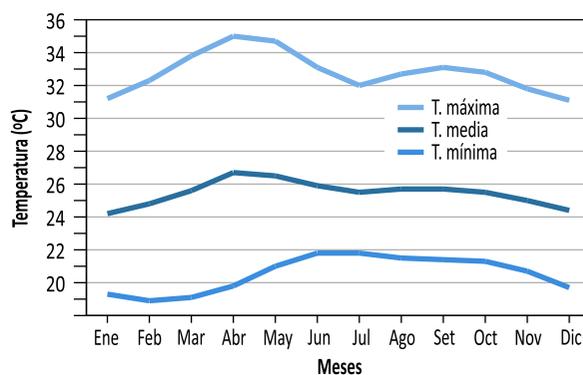
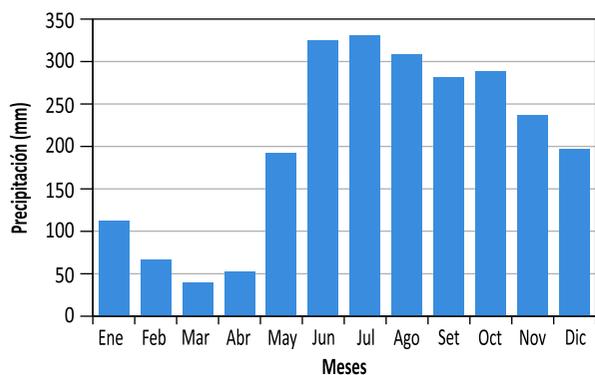


Figura 9. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en las estaciones Upala (69538, 69679).

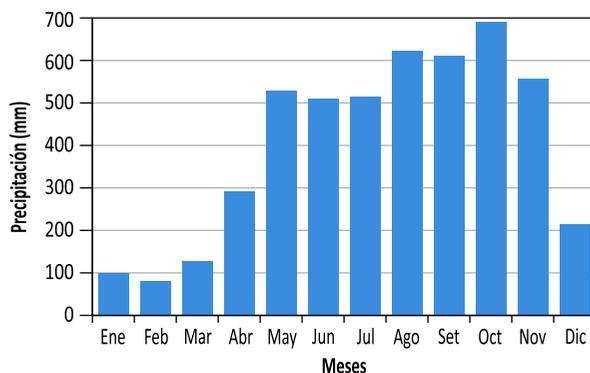


Figura 10. Precipitación (mm) en las estación Coto 42 (10056).

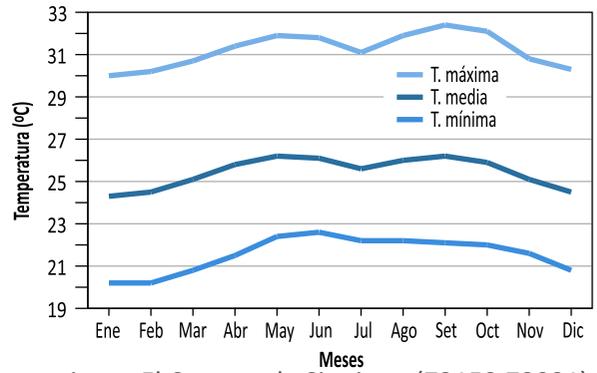
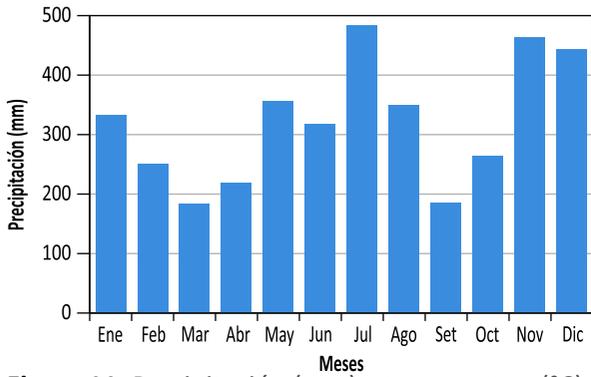


Figura 11. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en las estaciones El Carmen de Siquirres (73159,73091).

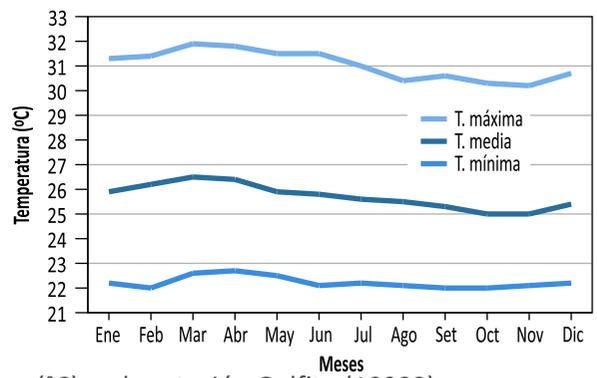
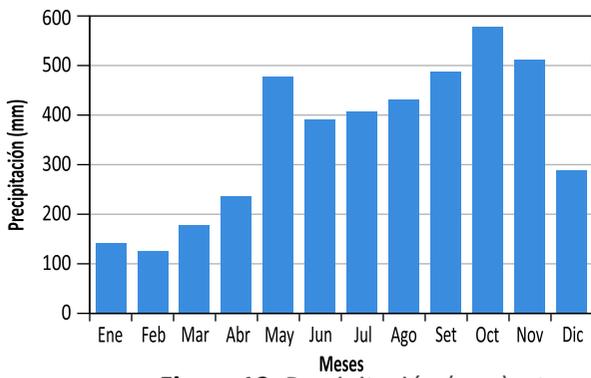


Figura 12. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en la estación Golfito (10003).

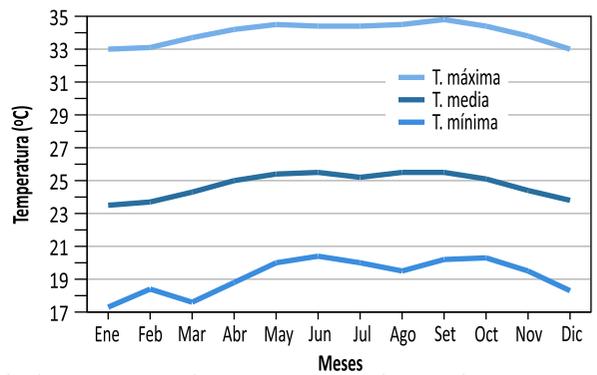
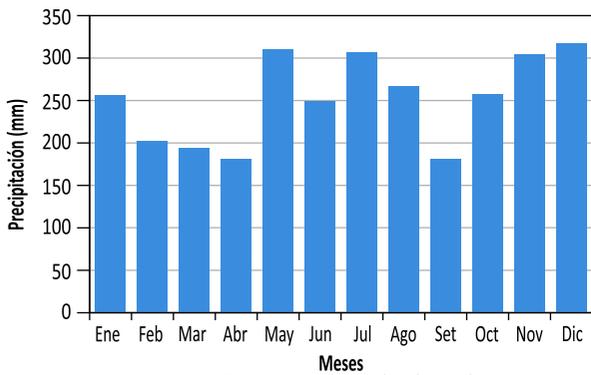


Figura 13. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en la estación Hitoy Cerere (85012).

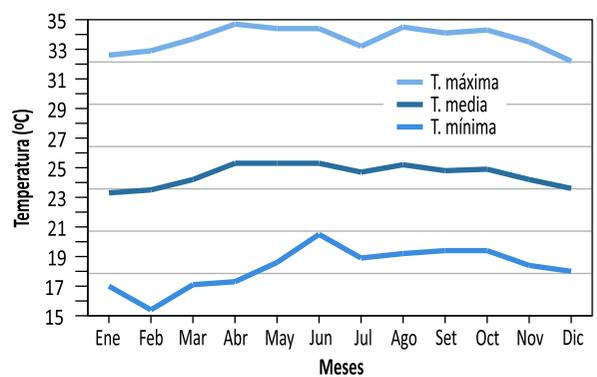
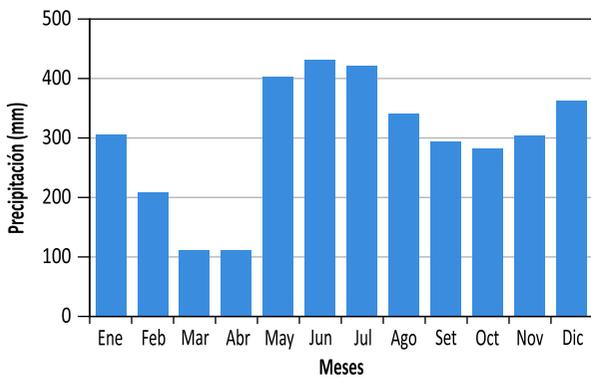


Figura 14. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en la estación Hotel Pozo Azul (69717).

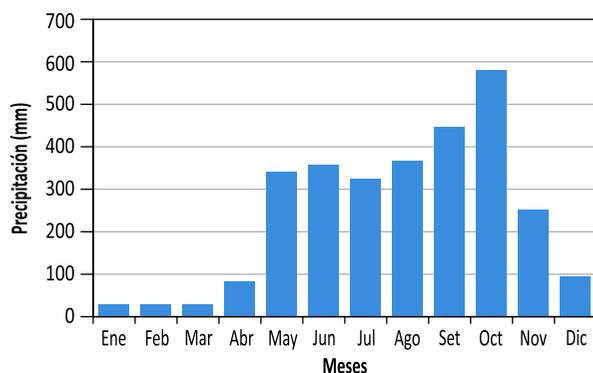


Figura 15. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en la estación Jacó (86009).

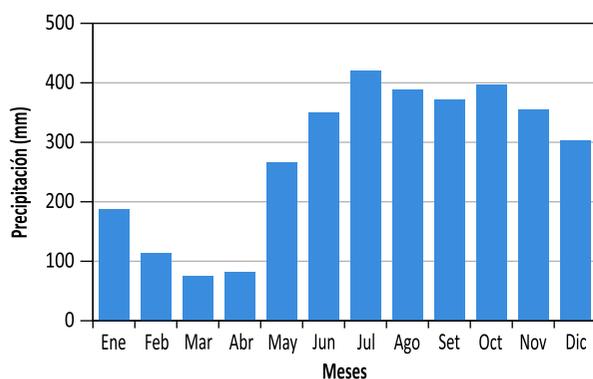
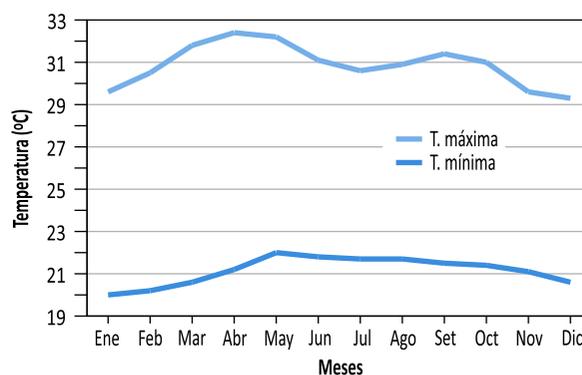


Figura 16. Precipitación (mm) y temperatura (°C) en la estación Quebrada Azul (69015).



de Siquirres (figura 11), Golfito (figura 12), Hitoy Cerere (figura 13), Hotel Pozo Azul (figura 14) y Quebrada Azul (figura 16), no cumplen con este requerimiento del cultivo.

Las estaciones que se ubican en el cantón de Aguirre (figura 6), Palmar Sur (figura 8), Upala (figura 9) y Jacó (figura 15), son las que presentan la mejor distribución de precipitación durante el año, así como los dos o tres meses secos requeridos por este cultivo.

En la figura 17, se presenta la zonificación climática final para el café "robusta" para la cual se tomaron en cuenta sólo aquellas regiones que cumplían con todos los requisitos climáticos del cultivo. El área de esta zonificación climática abarca en total 279.930,16 hectáreas (2.799,30 km²).

4. CONCLUSIONES

- Este estudio permitió realizar la delimitación de las áreas recomendadas para el cultivo de café robusta (*C. canephora*), las cuales son diferentes a las áreas en las que se ha sembrado históricamente esta variedad, con excepción de Upala.
- El área total determinada con base a los requerimientos climáticos del cultivo es de 279.930,16 hectáreas (2.799,30 km²) y se caracteriza por tener una topografía de plana a ondulada, ubicada principalmente en áreas bajas, es decir, en zonas muy diferentes a aquellas en las que se siembra actualmente el *Coffea arabica*.
- De acuerdo con las condiciones climáticas y los resultados de este estudio, las áreas que se consideran más apropiadas para la siembra de

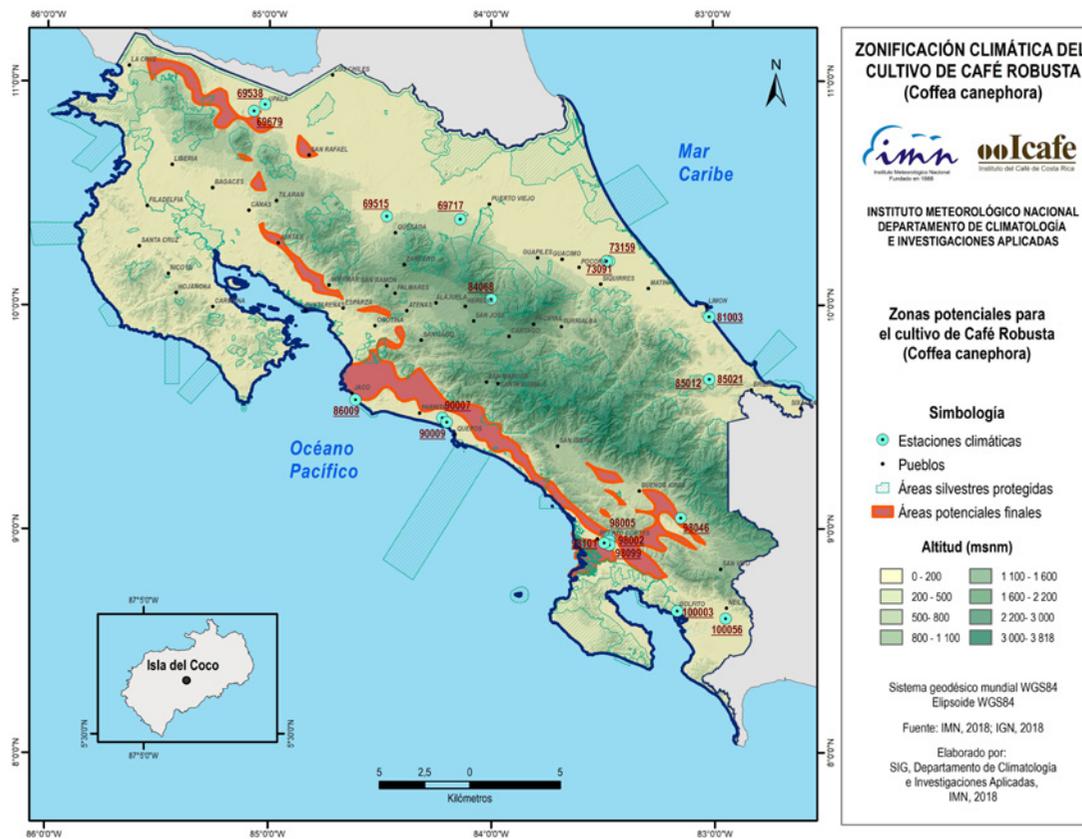


Figura 17. Zonificación climática para el cultivo de *Coffea canephora*.

café “robusta” son el Pacífico Central y Sur, así como el cantón de Upala.

- Debe tomarse en cuenta que esta zonificación climática está basada en condiciones climáticas ideales para el cultivo, sin embargo, se deben considerar otras variables, tales como la topografía, las características del suelo, el uso de la tierra y aspectos socioeconómicos.

5. REFERENCIAS

- Arnfield, A.J. (2018). *Köppen climate classification*. Recuperado de: <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>
- FAO. (1997). Zonificación agro-ecológica Guía general. *Boletín de Suelos de la FAO 73*. Recuperado de: <https://www.mpl.ird.fr/crea/taller-colombia/FAO/AGLL/pdfdocs/aezs.pdf>

Gualotuño Ortiz, C. (2016). *Adaptación de dos variedades de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) con tres distancias de plantación* Pedro Vicente Maldonado. Licenciatura. Universidad Central de Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7941/1/T-UCE-0004-14.pdf>

ICAPE. (2016). *Sobre la Viabilidad Legal y Técnica de sembrar Café Robusta en Costa Rica, Aspectos a Considerar por la comisión*. Recuperado de: http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informe_comision_cafe_robusta/A1%20Marco%20Teorico%20-%20Cafe%20Robusta.pdf

IMN. (s.p.). *Atlas Climatológico de Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional-Costa Rica.

- International Coffee Organization. (2018). *Aspectos botánicos sobre café*. Recuperado de: http://www.ico.org/es/botanical_c.asp
- Jaramillo-Robledo, A. (2005). *Clima Andino y Café en Colombia*. Chinchiná. CENICAFE. 196 páginas. Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/17/15.%20Agroclimatolog%C3%ADa%20cafeto.pdf>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 15 (3), 259-263.
- OEA. (1974). *Estudio realizado por el Departamento de Desarrollo Regional con la colaboración del Consejo Nacional de Planificación y Coordinación Económica (CONAPLAN) del Gobierno de El Salvador*. Organización de los Estados Americanos. Recuperado de: <http://www.oas.org/USDE/publications/Unit/oea34s/ch039.htm>
- Pereira, A.R.; Camargo, Â.P. y Camargo, M.B.P. (2008). *Agrometeorología de cafezais no Brasil*. Campinas: Instituto Agrônomo. 127p.
- SCIJ. (1988). *Prohíbe la siembra de la especie denominada Coffea Canephora "Robusta"*. Decreto Ejecutivo N° 18135-MAG Sistema Costarricense de Información Jurídica. Recuperado de: www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=4766&nValor3=111991&strTipM=TC#up
- SCIJ. (1989). *Autoriza Eliminar Siembras "Coffea Canephora Robusta"*. Decreto Ejecutivo N°19302-MAG: Sistema Costarricense de Información Jurídica. Recuperado de: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=12018&nValor3=112212&strTipM=TC
- SCIJ. (2018). *Autoriza la siembra, cultivo, beneficiado y comercialización de Café "Coffea Canephora" en Costa Rica*. Decreto Ejecutivo N°41110-MAG: Sistema Costarricense de Información Jurídica. Recuperado de: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86479&nValor3=112210&strTipM=TC

Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS v.2 para Costa Rica a escala mensual, período 1981-2013

NAZARETH ROJAS MORALES¹

Resumen

Para determinar la validez en el uso de datos de precipitación mensual de la base de datos climática Climate Hazard Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS v.2), para Costa Rica, se realizó una comparación con las series históricas de siete estaciones meteorológicas, ubicadas en las diferentes regiones climáticas del país, para un período de 30 años (1981-2013). La metodología de validación se basó en tres tipos de análisis: exploratorio y descriptivo a partir de gráficas de series de tiempo y estadísticos (media, desviación estándar, coeficiente de variación, porcentaje de datos faltantes), un análisis comparativo para el cual se calcularon diferentes medidas de error (RMSE, MAE, ME, E, BIAS, R y R²), y el análisis de probabilidad, mediante el cual se evaluó si las series de tiempo siguen la misma función de distribución de probabilidad mediante la prueba de T apareada, para las distribuciones normales o la prueba no paramétrica de Wilcoxon. En términos generales, a partir del análisis del sesgo en el proceso de validación de las dos series de datos, se considera que los resultados son aceptables, pues es importante destacar que en Costa Rica solamente cinco estaciones meteorológicas son utilizadas para el ajuste de interpolación de los datos en CHIRPS v.2., por otro lado, se debe considerar que en el país, el clima es modificado por diferentes factores, tales como el relieve, la ubicación ístmica, la influencia oceánica y la circulación general de la atmósfera, entre otros.

PALABRAS CLAVE: CHIRPS V.2, PRECIPITACIÓN, VALIDACIÓN, RMSE, MAE, ME, E, BIAS, R, R².

Abstract

To determine the validity of the use of monthly precipitation data from the Climate Hazard Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS v.2), for Costa Rica, a comparison was made with the historical series of seven meteorological stations, located in different climatic regions of the country in which the country has been divided, for a period of 30 years (1981-2013). The validation methodology was based on three types of analysis, the exploratory and descriptive based on time series and statistical graphs (mean, standard deviation, coefficient of variation, percentage of missing data), a comparative analysis for which different error measures were calculated (RMSE, MAE, ME, E, BIAS, R and R²), and the probability analysis, by which we evaluated whether the time series follow the same probability distribution function by the paired T test for normal distributions or the non-parametric Wilcoxon test. In general terms, based on the bias analysis in the validation process of the two data series, the results are considered acceptable, because it is important to highlight that for Costa Rica only five meteorological stations are for the adjustment of the interpolation of the data in CHIRPS v.2., on the other hand, it is important to take into account in the country, the climate is modified by different factors, such as relief, location, oceanic influence and the general circulation of the atmosphere, among other factors.

KEYWORDS: CHIRPS V.2, PRECIPITATION, VALIDATION, RMSE, MAE, ME, E, BIAS, R, R².

1 Ingeniera agrícola. Investigadora del Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas del Instituto Meteorológico Nacional. Correo electrónico: nrojas@imn.ac.cr.

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica la medición de la precipitación data de más de 100 años, sin embargo, aún existen limitaciones en cuanto a la distribución homogénea de las estaciones. Un 26% del total de las estaciones activas administradas por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), se localizan dentro del Gran Área Metropolitana, que corresponde a 2.044 km² (aproximadamente un 4% de la superficie del país). Esta distribución de las estaciones, demuestra limitaciones en cobertura geográfica, además en algunas estaciones los registros no son continuos, o bien el sistema de medición de las estaciones ha cambiado de convencional a automático.

Durante mucho tiempo, la información de precipitación generada por las estaciones meteorológicas era la única fuente de datos para la realización de estudios y pronósticos; actualmente se cuenta con una serie de modelos de datos estimados de lluvia generados a partir de imágenes satelitales.

CHIRPS v.2 es una de las diferentes bases de datos climáticas de precipitación que procesa imágenes satelitales con una resolución de 0,05°, ajustadas con datos de estaciones in situ. Dicha base de datos contiene información desde el año 1981 hasta la fecha, en una extensión espacial comprendida entre las latitudes 50°S y 50°N y a lo largo de todas las longitudes. El proceso para la generación de los datos de CHIRPS se basa en tres componentes principales: Climate Hazards Precipitation Climatology (CHPClim); Climate Hazard Group Infrared Precipitation (CHIRP) y observaciones in situ de precipitación obtenidas a partir de varias fuentes, los cuales en proceso permiten generar las series históricas de cuadrículas pluviométricas (Funk et al., 2015b).

CHIRPS v.2 está diseñada principalmente para medir sequías agroclimáticas, sin embargo, esta base de datos también ha demostrado un

desempeño mixto si se utiliza para cuantificar inundaciones, en particular en intervalos cortos de tiempo. En algunos casos cuando faltan valores por razones de cobertura satelital incompleta, CHIRPS v.2 usa un modelo climático de reanálisis para rellenar las brechas de datos (IRI, 2015).

Diferentes estudios de validación realizados sobre el desempeño de bases de datos climáticas a partir de datos observados, consideran que en efecto las estimaciones de precipitación generada por imágenes satelitales están sujetas a sesgos e incertidumbres, debido a la naturaleza indirecta de las mediciones por satélite. Las incertidumbres asociadas surgen de varios factores, dentro de los que se pueden citar: la estimación a través de la reflectancia superior de la nube, la radiación térmica, el algoritmo para la generación de resultados, la frecuencia de traslado del satélite e incluso la geografía del terreno. Es por ello que se recomienda realizar procesos de validación de las modelaciones con datos observados mediante pluviómetros, para reducir el error inducido en los resultados finales de los estudios o pronósticos (Joyce, et al. 2004; Damberg y Aghakouchak, 2013; Hong, et al., 2004; Green y Morrissey, 2000; Hossain, et al. 2006; Chang y Chiu, 1997; citados por Aghakouchak et al., 2009).

Estudios recientes realizados por Funk et al. (2015), Paredes et al. (2016) y Urrea et al. (2016), concluyen que, en algunos países de Norte y Sur América las estimaciones de precipitación provenientes de CHIRPS v.2, constituyen una alternativa aceptable de información para áreas donde no se disponga de una adecuada distribución espacial de estaciones meteorológicas. Una de las fortalezas de CHIRPS v.2, es que provee datos que se generan con una resolución espacial más alta que los productos actualmente disponibles para la región, por otro lado, la resolución temporal es relativamente alta y en términos generales representa bien la estacionalidad y la precipitación acumulada total, con un mejor desempeño en las zonas con menor relieve.

El objetivo de este estudio fue validar los datos de precipitación mensual, de la base de datos climática CHIRPS v.2 en Costa Rica, utilizando los registros de siete estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio costarricense, para el período comprendido entre 1981-2013. La validación se realizó, analizando el ajuste de las funciones de distribución de probabilidad de las series de tiempo de ambos grupos de datos, así como con métricas numéricas de error, considerando los datos de las estaciones meteorológicas como los datos reales.

2. METODOLOGÍA

2.1. Generación de los datos para la validación

Para el proceso de validación de los datos de CHIRPS v.2, se utilizaron registros de precipitación mensual acumulada para el período 1981-2013. Los datos presentados corresponden a los registros de siete estaciones meteorológicas administradas por el IMN (cuadro 1). Se seleccionó una estación meteorológica representativa para cada una de las regiones climáticas en las que se ha clasificado el territorio de Costa Rica.

Dentro de los criterios establecidos para seleccionar estas estaciones, está que las estaciones tuvieran un mismo sistema de registro

de datos y que los porcentajes de datos faltantes fueran menores al 10% durante el período establecido para la validación que corresponde de 1981 a 2013.

Mediante un criterio geoespacial se seleccionaron los píxeles de la base de datos CHIRPS v.2 y se escogieron los que circunscribieran el punto de localización de las estaciones meteorológicas seleccionadas, con el fin de erradicar el error introducido al interpolar las estimaciones en un producto cuadrículado. Según Seiler (2009), Toté et al. (2015) y Urrea et al. (2016), el uso de los datos puntuales da como resultado un proceso de validación más preciso, ya que la varianza de las estimaciones de los satélites es más suave en el espacio y el tiempo.

2.2. Estadísticas de validación

2.2.1 Análisis exploratorio y descriptivo

El análisis exploratorio y descriptivo consta de gráficos y estadísticos de las series de tiempo de precipitación de los datos CHIRPS v.2 y de las estaciones, que permiten identificar el comportamiento de estas variables (Urrea et al., 2016). Los estadísticos descriptivos analizados son la media, la desviación estándar, el coeficiente de varianza y el porcentaje de datos faltantes.

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas para proceso de validación

Región climática	Estación	Número	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
Región Central	Aeropuerto Internacional Juan Santamaría	84-21	10° 0'	84° 12'	932
Pacífico Norte	Nicoya	72-101	10° 8'	85° 27'	120
Pacífico Central	Barú	96-02	9° 16'	83° 52'	5
Pacífico Sur	Coto 42	100-56	8° 36'	82° 57'	15
Caribe Sur	Limón	81-03	9° 57'	83° 1'	5
Caribe Norte	La Lola	77-02	10° 5'	83° 23'	40
Zona Norte	San Vicente	69-556	10° 17'	84° 22'	1.450

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional.

2.2.2 Análisis comparativo

El análisis comparativo permite identificar las estimaciones sobre y subestimaciones de los datos de CHIRPS, con respecto a los datos in situ correspondientes a las series de precipitación de las estaciones meteorológicas (Urrea et al., 2016).

Para este proceso de análisis se utilizaron diferentes medidas de análisis de error (cuadro 2), dentro de las que se pueden citar la raíz del error medio absoluto (RMSE), que mide las diferencias entre dos variables, es decir mide la magnitud promedio de los errores estimados. Los valores más bajos de RMSE indican mayores tendencias centrales y en general errores extremos más pequeños.

El error medio absoluto (MAE) y el error medio (ME) proveen información de la magnitud promedio de la estimación del error. El ME puede tomar datos positivos que indican que la lluvia modelada está sobreestimada con respecto a los datos reales, mientras que un valor negativo indica una subestimación. El MAE solamente genera datos positivos. Ambos tienen una puntuación perfecta de cero.

El Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E), cuantifica la precisión de la estimación de la precipitación en relación con los datos de precipitación observados, los resultados van de $-\infty$ a 1, con una puntuación perfecta de uno. Valores negativos significan que la media del dato real es mejor que la estimación basada en imágenes de satélite, cero significa que la media del dato real es tan buena como la estimación y uno corresponde a una coincidencia perfecta entre las mediciones observadas y las estimaciones.

El sesgo (BIAS) refleja el grado en el que el valor estimado está sobrestimado o subestimado con respecto al valor real, el valor óptimo es igual a uno y es no dimensional.

El coeficiente de correlación de Pearson (R), se usa para evaluar qué tan bien corresponden las

Cuadro 2. Medidas de error usadas en el análisis comparativo

Ecuación	Unidad	Rango	PP
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(P-O)^2}{n}}$	mm	$[0, \infty)$	0
$MAE = \frac{1}{n} \sum P-O $	mm	$[0, \infty)$	0
$ME = \frac{1}{n} \sum P-O$	mm	$[0, \infty)$	0
$Eff = \frac{\sum(P-O)^2}{\sum(O-\bar{O})^2}$	-	$(-\infty, 1]$	1
$Bias = \frac{\sum P}{\sum O}$	-	$[0, \infty)$	1
$r = \frac{\sum(P-\bar{P})(O-\bar{O})}{\sqrt{\sum(P-\bar{P})^2} \sqrt{\sum(O-\bar{O})^2}}$	-	$[-1, 1]$	1
r^2	-	$[0, 1]$	1

estimaciones a los valores observados, puede tomar valores entre -1 y 1, este último es la puntuación perfecta. El coeficiente de determinación (R^2) indica la calidad del modelo de estimación para replicar los datos observados y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por medio del modelo. Puede tomar valores entre 0 y 1 (Willmott, 1982; Funk et al., 2015b; Toté et al., 2015; Vidal, 2016; Paredes et al., 2016 y Dembélé y Zwart, 2016) (ver cuadro 2).

2.2.3 Análisis de probabilidad

Las pruebas para dos muestras relacionadas permiten comprobar si hay diferencias entre las distribuciones de dos poblaciones, a partir de dos muestras dependientes o relacionadas. Mediante las pruebas de T apareada (prueba paramétrica) y Wilcoxon (prueba no paramétrica), se evaluó si ambas series de tiempo (datos de estaciones de IMN y datos de CHIRPS v.2) siguen una misma distribución de probabilidad.

La hipótesis nula propone que las muestras se distribuyen de manera normal. Mediante la prueba de T apareada se evalúa si las series de tiempo para cada uno de los pares de cada estación y su

correspondiente valor de la base de datos CHIRPS v.2, siguen la misma función de distribución de probabilidad. Esta prueba se realiza para los casos en que se compruebe el supuesto de normalidad.

Dicha prueba permite analizar la hipótesis de igualdad de medias para las observaciones a comparar, en este caso, los datos mensuales de precipitación de las estaciones del IMN y el correspondiente valor de la base de datos de CHIRPS v.2. La prueba se basa en la distribución de la variable diferencia entre los pares de observaciones.

En los casos en los que no se cumple el supuesto de normalidad para las muestras, el análisis para la distribución de la probabilidad se determinó mediante la prueba de Wilcoxon. La hipótesis nula del contraste de Wilcoxon postula, que las muestras proceden de poblaciones con la misma distribución de probabilidad; la hipótesis alternativa establece que hay diferencias respecto a la tendencia central de las poblaciones.

El contraste se basa en el comportamiento de las diferencias entre las puntuaciones de los elementos de cada par asociado, teniendo en cuenta no solo el signo, sino también la magnitud de la diferencia. Cuando la diferencia es nula, la pareja correspondiente se elimina del análisis de forma que el tamaño de la muestra es n . A continuación, se asignan rangos desde

uno hasta n atendiendo únicamente al valor absoluto de las diferencias y se suman los rangos correspondientes a las diferencias positivas y a las diferencias negativas por separado. Si la hipótesis nula es cierta, los pares de las muestras tienen el mismo valor central y es de esperar que los rangos se distribuyan aleatoriamente entre las diferencias positivas y negativas y, por tanto, que ambas sumas de rangos sean aproximadamente iguales.

Cuando $n > 25$ y la hipótesis nula es cierta, la distribución muestral de T tiene una distribución aproximadamente normal.

El estadístico de prueba es el valor Z para una muestra relativamente grande utilizando la distribución de probabilidad normal:

Para el nivel de significación deseado, se rechaza la hipótesis nula si Z pertenece a la región crítica localizada en las dos colas o en una cola de la normal tipificada, según la naturaleza de la hipótesis alternativa (Kazmier y Díaz, 1993).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras de la uno a la ocho se presentan las series de tiempo de precipitación, de las estaciones seleccionadas para el estudio de validación y los respectivos datos de los píxeles de la base de datos CHIRPS v.2.

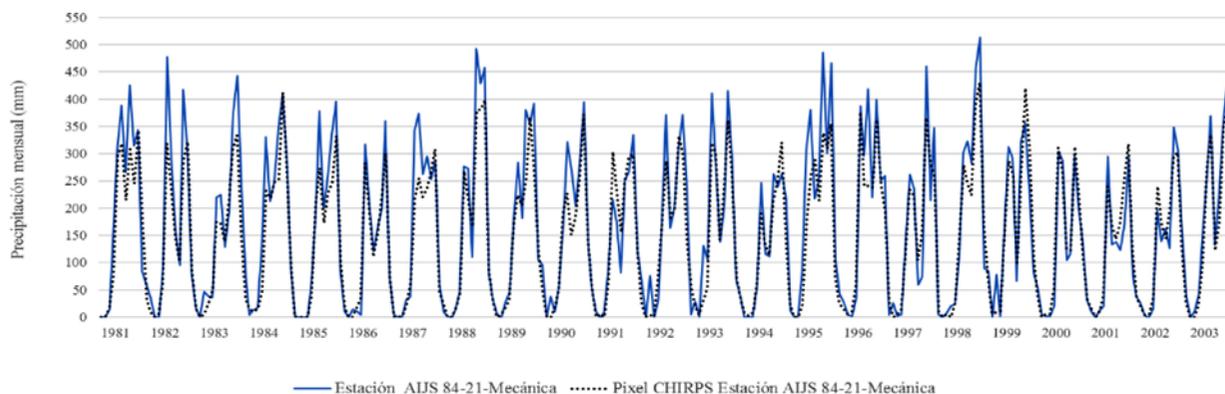


Figura 1. Serie de tiempo mensual estación Aeropuerto Internacional Juan Santamaría-Mecánica.

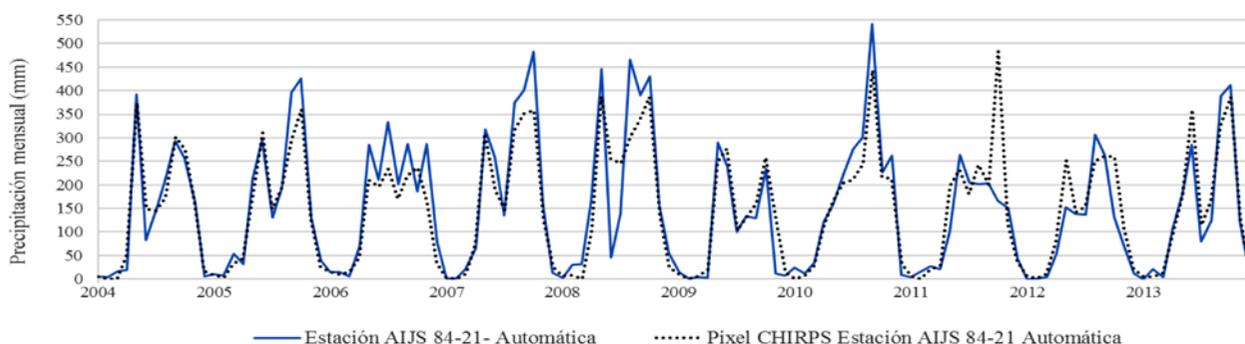


Figura 2. Serie de tiempo mensual estación Aeropuerto Internacional Juan Santamaría-Automática.

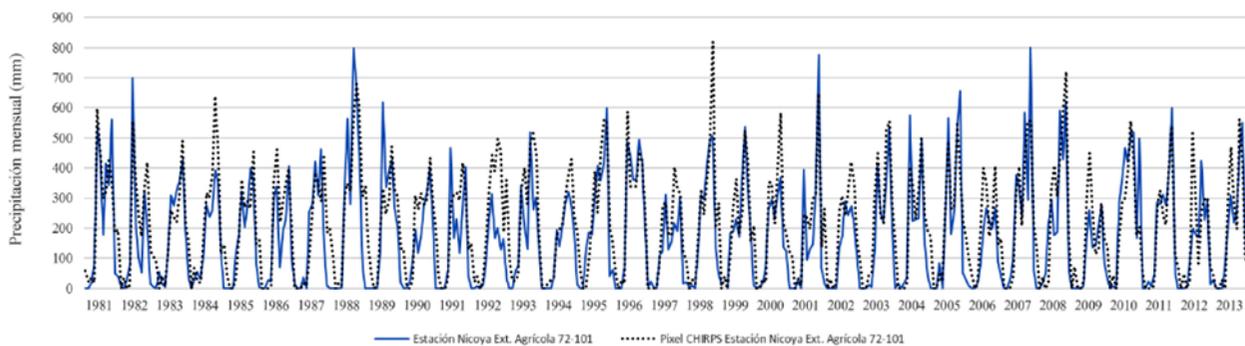


Figura 3. Serie de tiempo mensual estación Nicoya Extensión Agrícola.

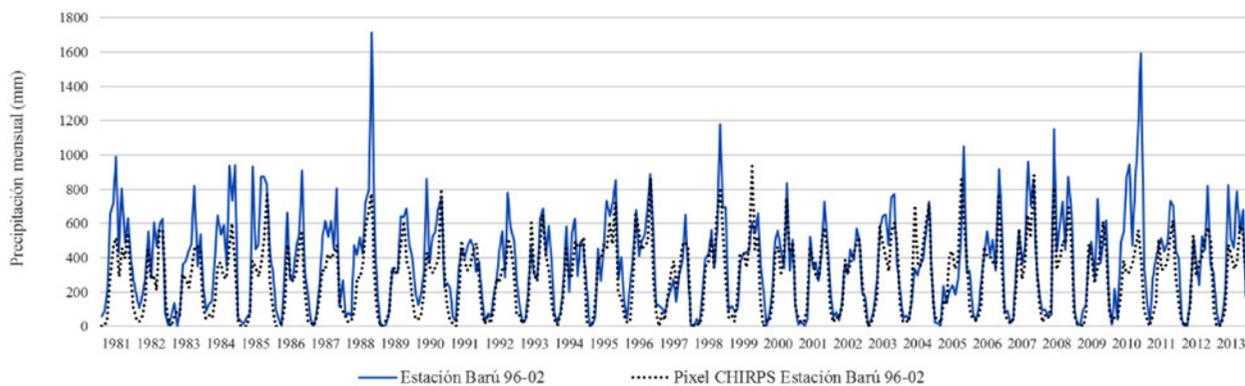


Figura 4. Serie de tiempo mensual estación Barú.

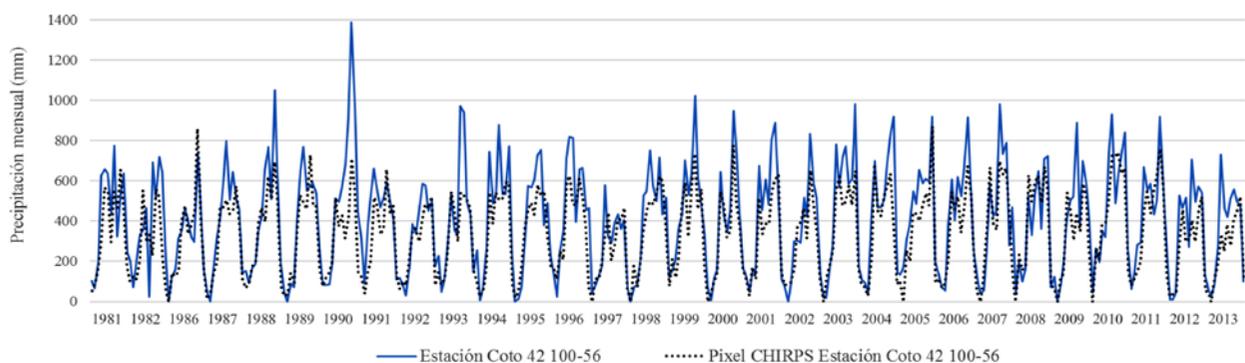


Figura 5. Serie de tiempo mensual estación Coto 42.

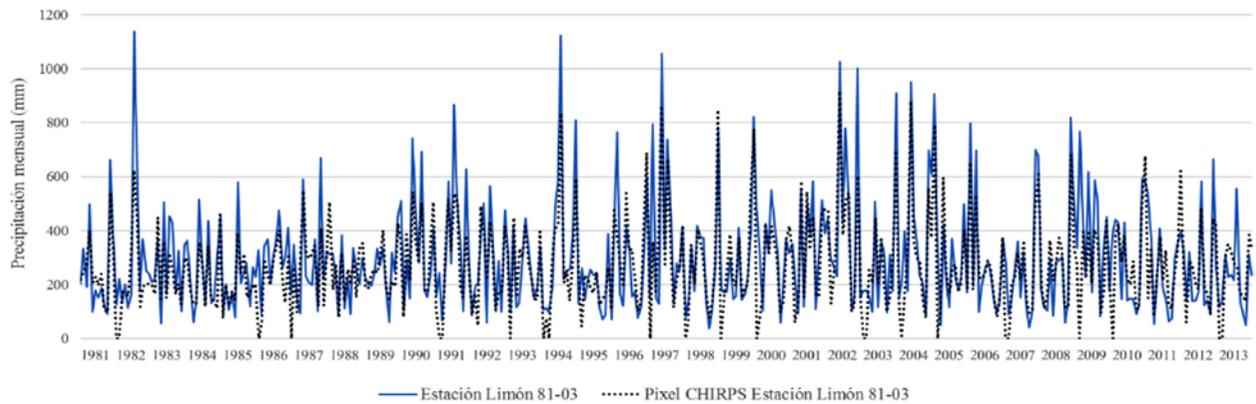


Figura 6. Serie de tiempo mensual estación Limón.

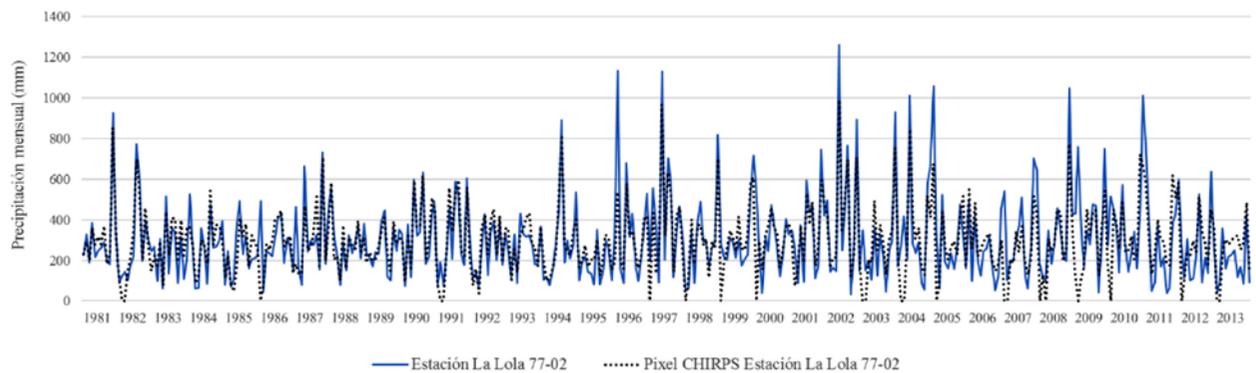


Figura 7. Serie de tiempo mensual estación La Lola.

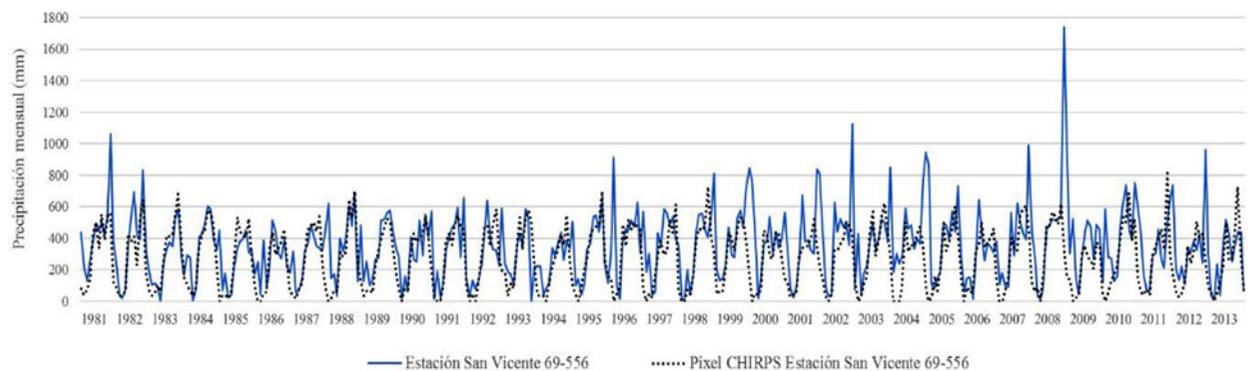


Figura 8. Serie de tiempo mensual estación San Vicente.

En la figura 9 se muestra el ciclo anual y la curva de masa, del registro 1981-2013, de las estaciones meteorológicas analizadas y los respectivos pixeles de CHIRPS v.2.

Del análisis exploratorio se determinó que CHIRPS v.2 presenta adecuadamente características de

la precipitación, como la media y la precipitación acumulada en la mayoría de los casos.

En el caso de las estaciones La Lola (77-02), ubicada en la región Caribe Norte y la estación Limón (81-03) en el Caribe Sur, los datos de CHIRPS v.2 tienden a subestimar la precipitación para el

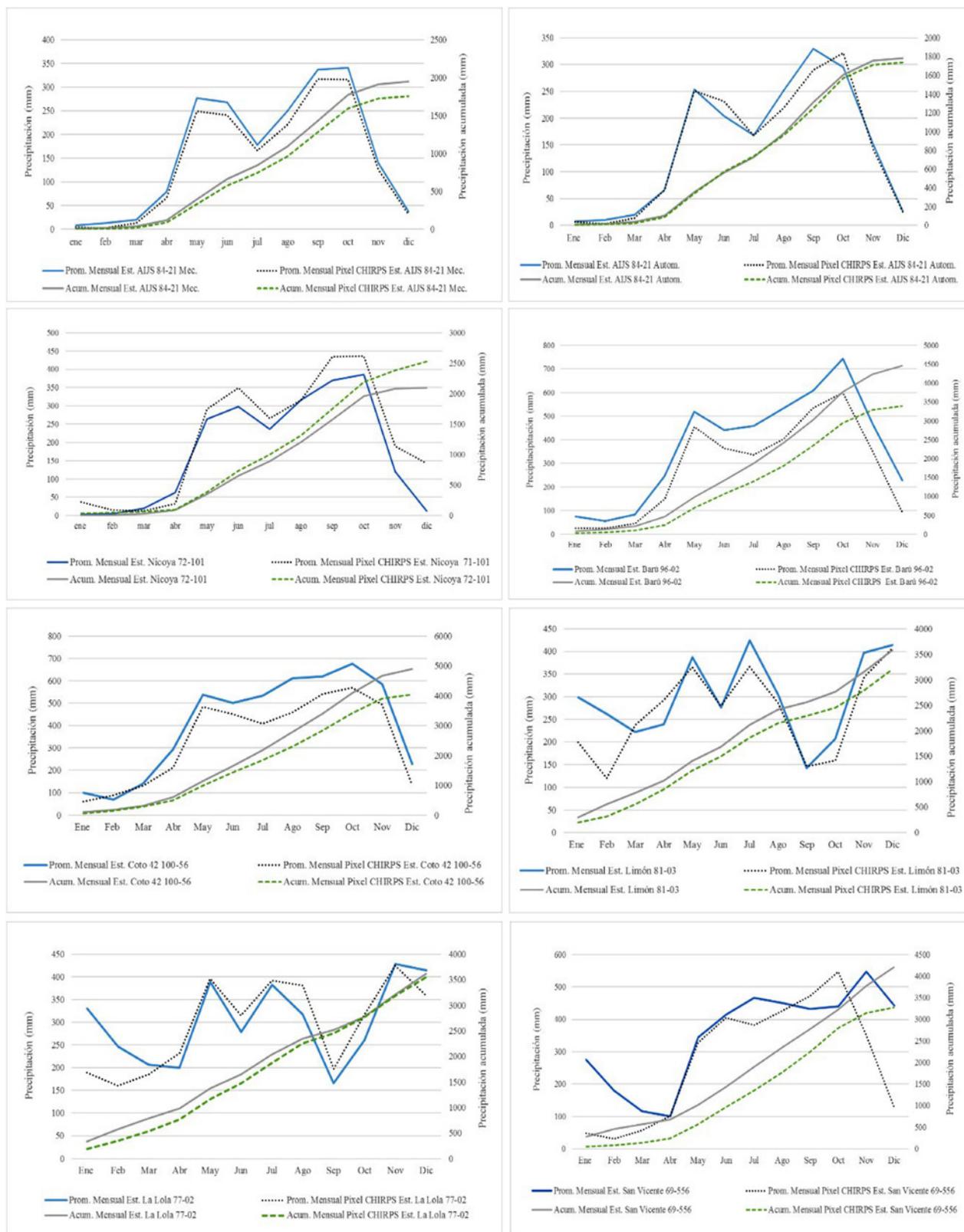


Figura 9. Ciclo anual y curva de masa (acumulado mensual) de las estaciones de análisis y sus respectivos pixeles de validación CHIRPS.

primer período mínimo lluvioso comprendido entre los meses enero a marzo. Sin embargo, en ambas estaciones CHIRPS v.2 se genera una buena estimación de la precipitación para el segundo período lluvioso, comprendido entre los meses de noviembre a diciembre.

El análisis de este período lluvioso es muy importante para efectos de la presente investigación, ya que este aporte de lluvias se debe principalmente a la influencia de frentes fríos procedentes del Hemisferio Norte, que se asocian con el primer máximo de lluvias entre diciembre y enero para esta región (IMN y CRRH, 2008). En términos generales, para el primer período lluvioso que inicia en abril y finaliza en agosto-setiembre en ambas estaciones, existe un buen ajuste en los datos de precipitación de la base de datos climática CHIRPS v.2. Entre julio y agosto en la zona del Caribe el viento Alisio se intensifica y aumenta el ingreso de ondas tropicales y vaguadas de altura a la costa, generando en este período un aporte porcentual de lluvias del 46% en ambas regiones, tendencia que se observa en las figuras.

En las estaciones Barú (96-02) y Coto 42 (100-56), ubicadas en el Pacífico Central y Sur, respectivamente, a lo largo del año se observa un buen ajuste en la variabilidad temporal de la precipitación; sin embargo, específicamente para el mes de octubre en la estación Barú los datos de CHIRPS v.2 tienden a ser menores hasta en 125 mm.

Es importante recalcar, que la ubicación geográfica y la influencia oceánica en estas dos regiones las hacen vulnerables a sufrir impactos de fenómenos atmosféricos que pueden causar eventos extremos de precipitación, que quizás el modelado de CHIRPS v.2 no considera. Por ejemplo, en IMN y CRRH (2008) se realizó un análisis de la precipitación anual de estaciones representativas del valle de Parrita, que concluye que el 77% de los eventos extremos lluviosos puede ser explicado por la fase fría de ENOS (La Niña),

mientras que este mismo análisis realizado para la región del Pacífico Sur establece una probabilidad del 82% de que un evento lluvioso extremo sea coincidente con este mismo fenómeno.

La estación San Vicente Ciudad Quesada (69-556) está ubicada en la región climática de la Zona Norte, la cual está influenciada por varios fenómenos atmosféricos que varían el comportamiento de la lluvia, tales como las fases de ENOS y la influencia estacional de los frentes fríos, que son la causa principal de extremos lluviosos durante los meses de fin y principio de año. De acuerdo con Retana y Villalobos (2000), citado por IMN y CRRH (2008), los eventos El Niño tienen la misma capacidad de producir escenarios sobre o bajo el promedio, sin embargo, este fenómeno no es la única fuente de las anomalías climáticas que ocurren en esta región, lo cual dificulta las predicciones climáticas.

Estas condiciones de variabilidad en la zona se pueden analizar en los resultados de comparación de los datos de precipitación de la estación San Vicente (69-556) y los datos estimados por CHIRPS v.2, pues se determinó que justo para los meses de noviembre y diciembre CHIRPS v.2 genera datos hasta 300 mm menos, para enero esta diferencia es de 225 mm, mientras que para abril no hay diferencia. Durante estos meses de acuerdo con la climatología de la región, normalmente los excesos de lluvia están asociados directamente a la influencia de frentes fríos, por lo tanto, es posible que la modelación de CHIRPS v.2 se pueda ver afectada por esta condición climática.

Para la estación San Vicente, CHIRPS v.2. estima bien el período lluvioso (mayo-diciembre), donde en promedio se registra el 93% de la lluvia anual, a excepción de julio, mes en el cual CHIRPS v.2. tiende a subestimar el acumulado. De todas las estaciones utilizadas para el estudio de validación, esta es la que presenta mayor diferencia entre los datos estimados y los datos tomados in situ.

Para el análisis comparativo se calcularon 10 medidas de error diferentes: Media, la Desviación Estándar y datos faltantes, la raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), el Error Medio Absoluto (MAE), el Error Medio (ME), la Tasa de Sesgo (BIAS), Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E), el Coeficiente de Correlación (R) y el Coeficiente de Determinación (R^2). En los cuadros 3 y 4 se presentan los resultados.

Los resultados del Coeficiente de Variación (C.V.) (cuadro 3) permiten definir que existe mayor dispersión en la distribución de las medias de los datos, en las estaciones de validación del IMN, excepto para las estaciones Barú (96-02) y San Vicente (69-556), lo que implica mayor heterogeneidad en los valores de precipitación observados.

De acuerdo con los resultados de las medidas de error (cuadro 4), las estaciones con mayor valor de raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) son: San Vicente (69-556), Barú (96-02) y Coto 42 (100-56). Esto implica que en estas estaciones la diferencia entre los datos fue mayor entre el estimador correspondiente a los datos de las estaciones y el estimado concerniente a los registros de la base de datos climática CHIRPS v.2.

Con respecto a los valores obtenidos del Error Absoluto Medio (MAE), el valor más alto de todas las estaciones seleccionadas para la validación de esta base de datos climática corresponde a la estación Barú (96-02), seguido de San Vicente (69-556). Como se observa en la figura 10, los registros de precipitación de estas estaciones y los datos en CHIRPS v.2 presentan una misma variabilidad

Cuadro 3. Medidas estadísticas de resumen

	Datos	Media (mm)	D.E.	C.V. (%)	Mín (mm)	Máx (mm)	Datos faltantes (%)
Estación AIJS Automática 84-21							
IMN	120	148,67	138,38	93,08	0,00	542,30	0
CHIRPS	120	144,85	124,56	85,99	0,00	484,30	0
Estación AIJS Mecánica 84-21							
IMN	276	162,35	143,10	88,14	0,00	513,30	0
CHIRPS	276	146,09	123,78	84,73	0,00	430,96	0
Estación Nicoya 72-101							
IMN	396	162,35	143,10	88,14	0,00	513,30	4,43
CHIRPS	396	146,09	123,78	84,73	0,00	430,96	0
Estación Barú 96-02							
IMN	396	371,89	277,38	74,59	0,00	1715,00	0,75
CHIRPS	396	282,60	214,53	75,91	0,00	933,63	0
Estación Coto 42 100-56							
IMN	360	408,41	260,43	63,77	0,00	1386,20	1,38
CHIRPS	360	337,00	207,26	61,50	0,00	868,31	0
Estación Limón 81-03							
IMN	396	297,87	203,64	68,37	36,00	1139,50	0
CHIRPS	396	266,85	166,72	62,48	0,00	918,78	0
Estación La Lola 77-02							
IMN	396	301,72	203,53	67,46	31,60	1260,20	0,25
CHIRPS	396	295,85	168,41	56,92	0,00	991,29	0
Estación San Vicente 69-556							
IMN	396	350,83	221,45	63,12	2,70	1738,90	1,01
CHIRPS	396	272,98	195,23	71,52	0,00	830,53	0

Cuadro 4. Medidas de error

Medidas de error	Estaciones							
	84-21 AIJS Mecánica	84-21 AIJS Automática	72-101 Nicoya	96-02 Barú	100-56 Coto 42	81-03 Limón	77-02 La Lola	69-556 San Vicente
RMSE	38,50	57,35	94,12	121,23	104,31	97,81	102,18	163,54
MAE	33,38	35,03	76,28	121,67	98,71	85,33	83,26	135,70
ME	-16,26	-3,82	35,84	-89,29	-34,92	-31,02	-5,87	-77,84
MPE	59,05	37,56	49,38	50,91	44,00	36,06	38,87	97,34
E	1,00	0,99	0,88	0,96	0,97	0,97	0,98	-16,76
BIAS	0,90	0,97	1,20	0,76	0,83	0,90	0,98	0,78
R	0,95	0,90	0,84	0,83	0,86	0,81	0,80	0,54
R²	0,90	0,82	0,71	0,68	0,74	0,65	0,63	0,30

a lo largo del año, sin embargo, se muestra una diferencia a favor de los datos propios de la estación del IMN. Un elevado valor de MAE implica un mayor sesgo entre las muestras, al calcular un mayor error en la estimación. Una de las razones que podría fundamentar esta situación, es que en el ajuste de CHIRPS v.2 para Costa Rica no se incluye estaciones meteorológicas en las regiones climáticas del Pacífico Central y Zona Norte, por lo que no hay un ajuste más preciso en estas zonas.

De los resultados obtenidos para el Error Medio (ME) (cuadro 4), a excepción de la estación Nicoya (72-101), para el resto de las estaciones, los datos son negativos, lo que implica una subestimación de los datos de precipitación de la base de datos climática CHIRPS v.2., con respecto a los datos de las estaciones. De la misma manera que MAE, los mayores valores se definieron para las estaciones Barú (96-02) y San Vicente (69-556).

Con respecto a los resultados del Coeficiente de Eficiencia (E) (cuadro 4), la estación AIJS (84-21) mecánica arrojó un valor de 1, lo que implica una coincidencia perfecta entre la media de los datos observados y los estimados. Este resultado se justifica ya que esta es una de las estaciones utilizadas por CHIRPS v.2 para el proceso de calibración.

A excepción de la estación San Vicente (69-556), para el resto de las estaciones el valor de E es muy cercano a uno, lo que implica que con respecto a la media del dato real si bien no es exacta a la media de los análogos estimados, la diferencia no es considerable. En el caso de la estación San Vicente (69-556), E generó un valor de -16.76, lo que implica una mayor diferencia en las medias.

Para el Sesgo (BIAS), la estación Nicoya Extensión Agrícola (72-101) generó un valor superior a uno, lo cual explica la relación de sobreestimación de los datos de CHIRPS v.2 con respecto a los datos observados, tal como se analizó con el resultado de ME para esta estación.

En términos generales, las estaciones presentaron coeficientes de correlación (R) superiores a 0,75, excepto la estación San Vicente Ciudad Quesada (69-556), con un valor de 0,54, lo cual se razona a partir de las justificaciones expuestas anteriormente.

Se observó una buena correlación en la estación Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, tanto para la estación mecánica como automática de entre 0,90 y 0,95, debido a que esta estación es una de las que se ha utilizado para el ajuste de CHIRPS v.2 en Costa Rica.

Cuadro 5. Coeficiente de correlación mensual

Meses	Estaciones							
	84-21 AIJS Mecánica	84-21 AIJS Automática	72-101 Nicoya	96-02 Barú	100-56 Coto 42	81-03 Limón	77-02 La Lola	69-556 San Vicente
Enero	0,678	0,142	0,047	0,335	0,800	0,751	0,575	0,010
Febrero	0,358	0,644	0,150	0,726	0,689	0,506	0,552	0,089
Marzo	0,699	0,569	0,133	0,367	0,621	0,824	0,598	0,289
Abril	0,840	0,886	0,759	0,645	0,482	0,811	0,866	0,450
Mayo	0,745	0,859	0,720	0,460	0,444	0,938	0,950	0,619
Junio	0,791	0,523	0,392	0,355	0,546	0,873	0,809	0,244
Julio	0,841	0,725	0,516	0,392	0,725	0,883	0,945	0,312
Agosto	0,922	0,901	0,732	0,539	0,403	0,902	0,930	0,568
Setiembre	0,746	0,958	0,532	0,206	0,497	0,800	0,735	0,700
Octubre	0,774	0,397	0,632	0,604	0,653	0,825	0,889	0,391
Noviembre	0,772	0,685	0,460	0,383	0,436	0,855	0,894	0,301
Diciembre	0,688	0,590	0,312	0,812	0,522	0,863	0,916	0,564

A pesar de que la estación Limón (81-03) también es una de las estaciones de validación, el Coeficiente de Correlación se estimó en 0,81. Al analizar integralmente las medidas de error, se considera que esta diferencia puede estar asociada a los fenómenos climáticos que generan eventos extremos de precipitación en esta zona, los cuales probablemente no son apreciados en el modelo de estimación utilizado por CHIRPS v.2.

Al comparar los resultados de Funk et al. (2015), con los de la presente investigación, se puede concluir que a pesar de que en Costa Rica a partir del año 2010 solamente se validan los datos de CHIRPS v.2 con cinco estaciones, los resultados de las medidas de error son muy similares a los resultados obtenidos para Colombia que tiene más de 500 estaciones para el ajuste y Perú con 10 estaciones².

Para determinar la capacidad de predicción de la precipitación mensual por parte de la base de datos climática CHIRPS v.2, se procedió a realizar un análisis de los valores del coeficiente de correlación entre los datos de las estaciones

meteorológicas seleccionadas para la validación y dicha base de datos (cuadro 5).

De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro 5, se determinó que los meses más lluviosos en las estaciones ubicadas en las regiones de la vertiente Pacífica, presentan un mejor ajuste entre los datos. Sin embargo, para los meses correspondientes a la época seca se ha determinado una marcada subestimación de los datos de CHIRPS v.2, en particular para los meses de enero a marzo.

Para el caso de las estaciones ubicadas en la Vertiente del Caribe y Zona Norte, los meses de enero a marzo presentan un menor ajuste que para el resto de meses. Este trimestre se enmarca dentro del primer período lluvioso de la región, que se extiende desde noviembre a abril, donde los acumulados de lluvia pueden llegar a ser hasta de un 40% del total anual (IMN y CRRH, 2008), debido principalmente a la influencia de frentes fríos. Es posible que el algoritmo de los efectos de estos eventos no sea interpretado en la estimación de la precipitación por parte de CHIRPS v.2.

² Fuente: http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/stations/index.html#_sa

Cuadro 6. Pruebas para dos muestras relacionadas

Estación	Supuesto Normalidad (prueba Shapiro -Wilk)	Prueba T apareada (Paramétrica)	Prueba Wilcoxon (No paramétrica)	Ho: $u_1=u_2$	Ho: $u_1 \neq u_2$
AIJS Mecánica	No cumple	0,0000	0,0092		Se acepta
AIJS Automática	No cumple	0,4675	0,0789	Se acepta	
Nicoya	No cumple	0,0001	0,0000		Se acepta
Barú	No cumple	0,0001	0,0000		Se acepta
Coto 42	No cumple	0,0001	0,0000		Se acepta
La Lola	No cumple	0,3443	0,0214		Se acepta
Limón	No cumple	0,0001	0,0001		Se acepta
San Vicente	No cumple	0,0001	0,0001		Se acepta

De acuerdo con el análisis para determinar la distribución de la probabilidad, los datos de lluvia mensual de las estaciones y sus respectivos pares de la base de datos climática CHIRPS v.2, no cumplen con el supuesto de normalidad según los resultados de la prueba de Shapiro-Wilks.

Como prueba no paramétrica para comprobar la hipótesis nula de que las series provienen de la misma función de probabilidad, se utilizó la prueba de Wilcoxon (con un nivel de significancia de 95%). Según los resultados presentados en el cuadro 6, en todos los casos, excepto para los pares de la estación Aeropuerto Internacional Juan Santamaría Automática (84-21), la hipótesis nula se rechaza, por lo que la media de las diferencias de los datos es significativamente diferente de cero.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de validación de los datos de precipitación de CHIRPS v.2, realizado con registros de estaciones meteorológicas ubicadas en puntos representativos de las regiones climáticas de Costa Rica, se considera que esta base de datos estima características importantes de la precipitación como la media, la precipitación acumulada total y la estacionalidad en la escala mensual para el período 1981-2013. Es importante considerar que los datos de las estaciones meteorológicas son registros puntuales, mientras

que CHIRPS v.2. representa la simulación de un área de aproximadamente 25 km².

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis comparativo y exploratorio, se comprobó lo indicado en otros estudios de este tipo, en los que se ha determinado que la precisión de la modelación de los datos de precipitación obtenidos a partir de imágenes satelitales de alta resolución CHIRPS v.2, tienden a disminuir a lo largo de terrenos con topografías montañosas (Vicente et al. y Dinku et al., citados por Paredes et al., 2016). De la misma manera, los resultados de esta validación muestran que los datos de CHIRPS v.2 tienden a ser mejor simulados en zonas planas, situación que se pudo comprobar en el análisis de la estación Nicoya (72-101), que presenta estas características geográficas y en la cual en efecto los resultados de la validación fueron estadísticamente aceptables a partir del análisis del sesgo entre los datos.

En términos generales, para Costa Rica CHIRPS v.2 captura mejor los datos para los meses característicos de la época lluviosa, debido a que en los meses representativos la época seca se observó la tendencia a la subestimación de la precipitación.

En Costa Rica aún no se han realizado estudios para validar el ajuste de los datos estimados de precipitación por parte de CHIRPS v.2., por lo

que los resultados de esta investigación servirán de base para mejorar el proceso de validación y ajuste mediante factores de corrección de la lluvia por parte de esta base de datos satelital. Es importante considerar, la necesidad que realizar un análisis específico para los eventos extremos positivos, ya que en este estudio se determinó que los mismos son subestimados por CHIRPS en todas las estaciones utilizadas para el análisis.

De acuerdo con los resultados, se considera que CHIRPS v.2 es un producto que cuenta con una amplia resolución espacial y temporal, cuyos datos son útiles para diferentes tipos de estudios que requieran datos de precipitación, pues es importante mencionar la falta de homogeneidad en la cobertura de estaciones meteorológicas a lo largo del país, sin embargo, como se indicó anteriormente, es necesario realizar un proceso de ajuste de los datos de precipitación.

Este estudio solamente se realizó para la serie de tiempo mensual, por lo que se recomienda realizar la validación para los datos diarios y anuales, con el fin de comparar las varianzas para justificar el uso de los datos de CHIRPS v.2, según las escalas de tiempo requeridas para diferentes tipos de estudios.

Actualmente, Costa Rica aporta registros de solo cinco estaciones meteorológicas a Climate Hazards Group de la UC Santa Barbara, las cuales se usan para el ajuste mediante interpolación de la precipitación en la base de datos climática CHIRPS v.2. Debido a la necesidad de evolucionar en el uso de datos de precipitación satelital, se considera necesario incorporar a la base CHIRPS v.2 de las estaciones del Instituto Meteorológico Nacional que cumplan con los requisitos de la misma.

5. LITERATURA CITADA

- AghaKouchak, A.; Nasrollahi, N. & Habib, E. (2009). *Accounting for Uncertainties of the TRMM Satellite Estimates*. Remote Sensing 13:606-619. Recuperado de: http://amir.eng.uci.edu/publications/09_ErrorTRMM_RemSen.pdf.
- Damberg, L;& AghaKouchak, A. (2013). *Global trends and patterns of drought from space. Theoretical and Applied Climatology* 1173-4:441-448. Recuperado de: http://amir.eng.uci.edu/publications/13_Drought_Trend_TAAC.pdf.
- Dembélé, M. & Zwart, S. (2016). Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Remote Sensing* 3717:3995-4014.
- Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; González, L.; Tablada, E.; Díaz, M.; Robledo, C. & Balzarini, M. (2008). *Estadística para las ciencias agropecuarias*. 7 ed. Córdoba, Argentina, Brujas.
- Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A. & Michaelsen, J. (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. Scientific Data 2*: Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
- IMN y CRRH. (2008). *El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. Eds. CRRH, IMN, PNUD, MINAET. San José, CR, 75 p.
- IRI. (2015). *Factibilidad del uso de bases de datos climáticos para seguros de índice en América Latina*. 30 p. Recuperado de: http://iri.columbia.edu/wp-content/uploads/2016/10/Latam_data_feas_es.pdf.
- Joyce, R.J.; Arkin, P. & Xie, P. (2004). CMORPH: A Method that produces Global precipitation estimates from passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. *Journal of Hydrometeorology*

- 5:487-503. Recuperado de: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1525-7541%282004%29005%3C0487%3ACAMTPG%3E2.0.CO%3B2>.
- Kazmier, L. y Díaz, A. (1993). *Estadística aplicada a la administración y a la economía*. 2da. ed. México, D.F., McGraw-Hill Interamericana de México.
- Mehran, A.; AghaKouchak, A. & Phillips, T.J. (2014). Evaluation of CMIP5 continental precipitation simulations relative to satellite-based gauge-adjusted observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 1194:1695-1707. Recuperado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013JD021152/abstract>.
- Paredes Trejo, F.J.; Álvarez Barbosa, H.; Peñalozamurillo, M.A.; Moreno, M.A. & Farias, A. (2016). Intercomparison of improved satellite rainfall estimation with CHIRPS gridded product and rain gauge data over Venezuela. *Atmósfera* 294:323-342. Recuperado de: <http://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/ATM.2016.29.04.04/46577>.
- Retana, J. y Villalobos, R. (2000). Caracterización pluviométrica de la fase cálida de ENOS en Costa Rica basado en probabilidades de ocurrencia de eventos en tres escenarios: secos, normal y lluvioso. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 27:124-130.
- Retana, J. (2012). Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio en el clima. *Revista de Ciencias Ambientales*. 442:5-16. Recuperado de: <https://www.google.com/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=eventos%20hidrometeorologicos%20extremos%20lluviosos%20en%20costa%20rica>.
- Seiler, C. (2009). *Implementation and validation of a Regional Climate Model for Bolivia*. Recuperado de: http://precis.metoffice.com/docs/PRECIS_Christian_Seiler_FAN_Bolivia_v1_2.pdf.
- Toté, C.; Patricio, D.; Boogaard, H.; Van der Wijngaart, R.; Tarnavsky, E. & Funk, C. (2015). *Evaluation of Satellite Rainfall Estimates for Drought and Flood Monitoring in Mozambique*. *Remote Sensing* 72:1758-1776. Recuperado de: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/2/1758>.
- Urrea, V.; Ochoa, A. y Mesa, O. (2016). *Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el período 1981-2014*. In XXVII Congreso Latinoamericano de hidráulica. Lima, Perú. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/310844678_Validacion_de_la_base_de_datos_de_precipitacion_CHIRPS_para_Colombia_a_escaladiaria_mensual_y_anual_en_el_periodo_1981-2014.
- Willmott, C. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society* 6311:1309-1313. Recuperado de: [http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477\(1982\)063%3C1309:SCOTEO%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477(1982)063%3C1309:SCOTEO%3E2.0.CO%3B2).



Instituto Meteorológico Nacional

Sitio web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

