

Ministerio de Ambiente y Energía
Instituto Meteorológico Nacional

Número

1

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS



ISSN 1409 - 2034

Volumen 14

Junio 2015



San José, Costa Rica

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

ISSN 1409 - 2034

Volumen 14

Junio 2015

Editora:

Dra. Gladys Jiménez Valverde

Director de publicación:

MSc. Roberto Villalobos Flores

Comité editorial:

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

Diseño y diagramación:

Rodrigo Granados Jiménez

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

CONTENIDO

- | Pág. | Artículo |
|------|--|
| 5 | Vulnerabilidad del arroz ante amenazas climáticas en Costa Rica
JOSÉ ALBERTO RETANA BARRANTES |
| 18 | Estudio de la evaporación para el cálculo del inicio y conclusión de la época seca y lluviosa en Costa Rica
KARINA HERNANDEZ ESPINOZA, WALTER FERNÁNDEZ ROJAS |
| 27 | Uso de un criterio de validación cruzada para la evaluación de un método multivariado de relleno de datos
JOSÉ LUIS ARAYA LÓPEZ |
| 37 | Comparación de la emisión de óxido nitroso en el sector cafetalero de Costa Rica para el 2013, utilizando los niveles 1 y 2 de IPCC
JOHNNY MONTENEGRO BALLESTERO |
| 46 | Análisis del impacto de los ciclones tropicales en la Cuenca del Caribe según fuentes hemerográficas (1870-2007)
FLORA SOLANO CHAVES(+), ERIC ALFARO MARTÍNEZ, RONALD DÍAZ BOLAÑOS |
| 76 | Influencia de factores climáticos en la producción de frijol en Costa Rica. Estudio regional: UPALA
JOHNNY MONTENEGRO BALLESTERO |

Vulnerabilidad del arroz ante amenazas climáticas en Costa Rica

JOSÉ ALBERTO RETANA BARRANTES¹

Resumen

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), la vulnerabilidad de un sistema se puede estimar a partir de los componentes de sensibilidad y exposición. Bajo este concepto, se estimó la vulnerabilidad a nivel cantonal del cultivo de arroz en Costa Rica para el período 1980-2006. Para calcular la exposición se utilizó como indicador el promedio de área sembrada. Para calcular la sensibilidad se utilizó como indicador la disminución en el rendimiento durante años de fases ENOS (El Niño, La Niña, Neutro). Se considera que las variaciones en el clima debido a ENOS son semejantes al escenario de cambio climático propuesto por el Instituto Meteorológico Nacional. Se encontró que durante la fase cálida (El Niño), los rendimientos tienden a ser menores en toda la vertiente Pacífica y Zona Norte, mientras que en el Caribe tienden a aumentar. Durante la fase fría (La Niña), la tendencia en el Pacífico es de aumento mientras que en el Caribe se observaron disminuciones del rendimiento. Los comportamientos secos y lluviosos producto de ENOS son las explicaciones a estas variaciones. A partir de estos resultados se pueden sentar las bases de estrategias de adaptación que contemplen diferentes escenarios de clima y respuesta diferenciales del cultivo.

PALABRAS CLAVE: VULNERABILIDAD, ADAPTACIÓN, CAMBIO CLIMÁTICO, VARIABILIDAD CLIMÁTICA, AGROMETEOROLOGÍA DEL ARROZ, EL NIÑO-OSCILACIÓN SUR.

Abstract

According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the system's vulnerability can be estimated using sensitivity and exposure components. The rice's vulnerability in Costa Rica was estimated for the period 1980-2006. The average planted area was used as exposure indicator, while decreased yield in ENSO phases years was used as sensitivity indicator. It was observed that the ENSO's climate variability is similar to the climate change scenario proposed by the Costa Rican National Meteorological Institute. During the warm phase (El Niño), yields tend to decrease in the Pacific slope and Northern Zone, while in the Caribbean they tend to increase. During the cold phase (La Niña), the yields increase in the Pacific region and they decrease in Caribbean region. Based on the former results, it is possible to propose a number of strategies that take into consideration different climate change scenarios and the response of cultivated areas to the ENSO phases.

KEYWORDS: VULNERABILITY, ADAPTATION, CLIMATE CHANGE, CLIMATE VARIABILITY, METEOROLOGY RICE, EL NIÑO-SOUTHERN OSCILLATION.

1 Ing. Agrónomo. Investigador del Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional. Correo electrónico: jretana@imn.ac.cr. Teléfono (506) 2222-5616.

1. Introducción

La vulnerabilidad es un término usado frecuentemente por diferentes sectores, pero con significados diferentes. Lo usa la academia, el sector de seguros, la gestión de riesgos, las agencias de desarrollo y más recientemente, la comunidad científica estudiosa del fenómeno del calentamiento global actual.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de un sistema o su poca capacidad para soportar los efectos adversos del cambio climático, incluidos la variabilidad climática y los fenómenos extremos. Indica el IPCC que la vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática, al que se encuentra expuesto el sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (IPCC, 2003). De tal manera, el sistema agrícola es vulnerable cuando históricamente se demuestre que ha sido impactado negativamente por eventos de variabilidad climática, la cual sería su vulnerabilidad actual, mientras que la vulnerabilidad futura, es una proyección cuantitativa o cualitativa de los eventuales impactos que un escenario de clima futuro pueda ocasionarle a dicho sistema.

La definición del IPCC concuerda con una recopilación de conceptualizaciones que resume Villagrán (2006), quien cita que la vulnerabilidad puede entenderse desde el grado de exposición y sensibilidad del sistema que es amenazado o presionado. En este marco conceptual, para el presente estudio, se analiza la vulnerabilidad del cultivo del arroz (sistema presionado) ante amenazas climáticas asociadas a la variabilidad climática, específicamente las tres fases del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) que son la fase cálida o El Niño, la fase fría o La Niña y la fase neutral.

De acuerdo con los escenarios del clima futuro desarrollados por el IMN (Alvarado, Contreras y Jiménez, 2011), el país presentará condiciones

secas y lluviosas exacerbadas, en forma diferencial de acuerdo con la zona geográfica; mientras que la temperatura máxima y mínima aumentará en todo el territorio nacional. Estos escenarios guardan similitudes importantes con la huella dejada por los diferentes fenómenos ENOS que han impactado el país y de los cuales hay registro climatológico. Por esta razón, ENOS se convierte en un laboratorio adecuado para estudiar el posible escenario futuro del clima en Costa Rica, pero sobre todo, el riesgo que esto implica y su gestión, donde la adaptación es la clave de la supervivencia de los sectores.

La respuesta del sector agropecuario nacional ante los eventos ENOS pasados, las acciones emprendidas y los impactos en los cultivos, son la base de un plan de adaptación que debe dirigir al sector hacia un aumento de su resiliencia, una disminución de la vulnerabilidad y por consiguiente disminuir el riesgo de pérdida ante eventos extremos del clima. Si el sector agropecuario de Costa Rica se adapta al impacto de El Niño y La Niña, estaremos dando un paso firme hacia la adaptación al cambio climático.

2. Metodología

Para estimar la vulnerabilidad, en congruencia con la definición del IPCC (2003) y la de Villagrán (2006), se caracterizaron dos componentes: exposición y sensibilidad del sistema. Los indicadores de cada componente son el área de siembra y los rendimientos a nivel de cantón, para un período comprendido entre 1980 y el 2006.

La exposición se analizó a partir de los registros históricos del área sembrada a nivel de cantón, que es reportada oficialmente por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a partir de los informes del Consejo Nacional de Producción (CNP) y la Oficina Nacional del Arroz (CONARROZ).

El área sembrada como indicador de exposición muestra un movimiento positivo, a mayor área

sembrada mayor exposición ante la amenaza y por lo tanto mayor vulnerabilidad. La sensibilidad del sistema está referida al impacto que los eventos de El Niño y La Niña han ocasionado sobre el rendimiento del arroz, a nivel de cantón. La información del rendimiento se obtuvo a partir de los reportes oficiales del MAG, CNP y CONARROZ.

El rendimiento como indicador de sensibilidad, presenta un movimiento negativo, a menor rendimiento, mayor sensibilidad y mayor vulnerabilidad. Se considera que la actividad arroceras de un cantón es sensible a alguna fase de ENOS, si sus rendimientos caen por debajo del valor promedio histórico. Es importante mencionar que a pesar de que la vulnerabilidad es una forma de expresar la debilidad del sistema, también puede ser usada para definir aquellas zonas expuestas pero que presentan mejores rendimientos que los promedios durante alguna fase de ENOS. En este caso también fueron identificadas y diferenciadas.

Dado que la actividad arroceras en Costa Rica se desarrolla mayoritariamente en el Pacífico del país, los años de análisis corresponden con aquellos años ENOS que al menos abarcaron de mayo a noviembre (período lluvioso en el Pacífico).

Los datos de rendimiento se agruparon en tres factores de variación: años Niño, años Niña y años Neutro. Se aplicó un análisis de varianza para determinar diferencias entre los tratamientos, este ejercicio se repitió para 22 cantones productores de arroz. Estas zonas cuentan con estadísticas suficientes, como para comparar los rendimientos obtenidos durante eventos fríos y cálidos de ENOS. Se excluyeron del análisis aquellos cantones que no presentan un buen registro histórico. Se aplicó la prueba de Medias de Tukey, para establecer diferencias estadísticas entre las medias de las muestras poblacionales.

Los resultados fueron llevados a un Sistema de Información Geográfica, para visualizar las distribuciones espaciales de la vulnerabilidad y sus componentes.

3. Resultados

3.1. Exposición

De acuerdo con la [figura 1](#), se muestra que para el período de 1980 al 2006, la región con mayor área sembrada en promedio fue el Pacífico Norte. Le siguen en su orden el Pacífico Sur, la Zona Norte el Pacífico Central, el Caribe y por último la Región Central. De acuerdo con la fuente de información, la Región Central dejó de producir arroz en el año 1992, mientras que los últimos registros del Caribe corresponden a 1999 (para el registro de 1980 al 2006).

A pesar de que según el MAG-GFA (2010) la implementación de los proyectos de riego en Guanacaste y la existencia de organizaciones de productores ha favorecido que el área de siembra se mantenga en forma sostenida, su tendencia histórica es negativa, tal y como se observa en la [figura 2](#).

En la [figura 3](#) se presenta la evolución porcentual del área dedicada al cultivo del arroz, en seis regiones climáticas del país. El mayor aporte de forma constante se presenta en el Pacífico Norte y el Pacífico Sur; en el Pacífico Central se observa una disminución progresiva del área y la Zona Norte muestra una incorporación importante a

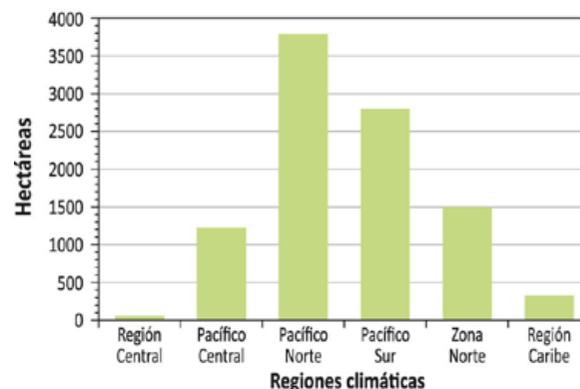


Figura 1. Promedio de área sembrada de arroz, por región climática. 1980-2006. Fuente de los datos: www.infoagro.go.cr

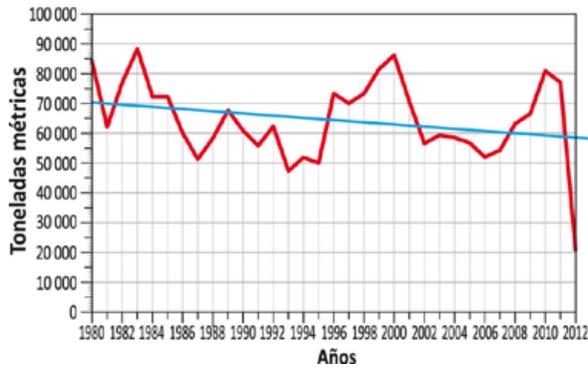


Figura 2. Área sembrada de arroz a nivel nacional y línea de tendencia histórica 1980-2011. Fuente de los datos: www.infoagro.go.cr

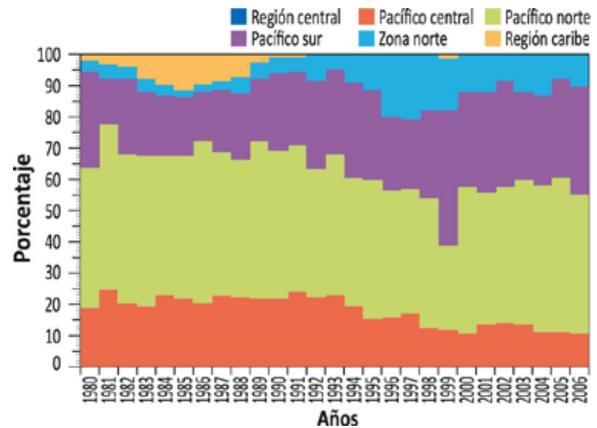


Figura 3. Evolución porcentual del área sembrada de arroz, por región climática. 1980-2006. Fuente de los datos: www.infoagro.go.cr

partir de la década de los noventa. La inclusión de la Zona Norte, agrega una región con un régimen de precipitación diferente al del Pacífico. La Zona Norte está influenciada por el mar Caribe, el lago de Nicaragua e incluso por eventos del Pacífico, como se ha podido observar en los episodios El Niño más recientes.

En la figura 4 se presentan los cantones de mayor exposición (históricamente han contribuido con mayor área de siembra para el cultivo, desde 1990 al 2011). Se observa la concentración del área en el Pacífico de Costa Rica, principalmente

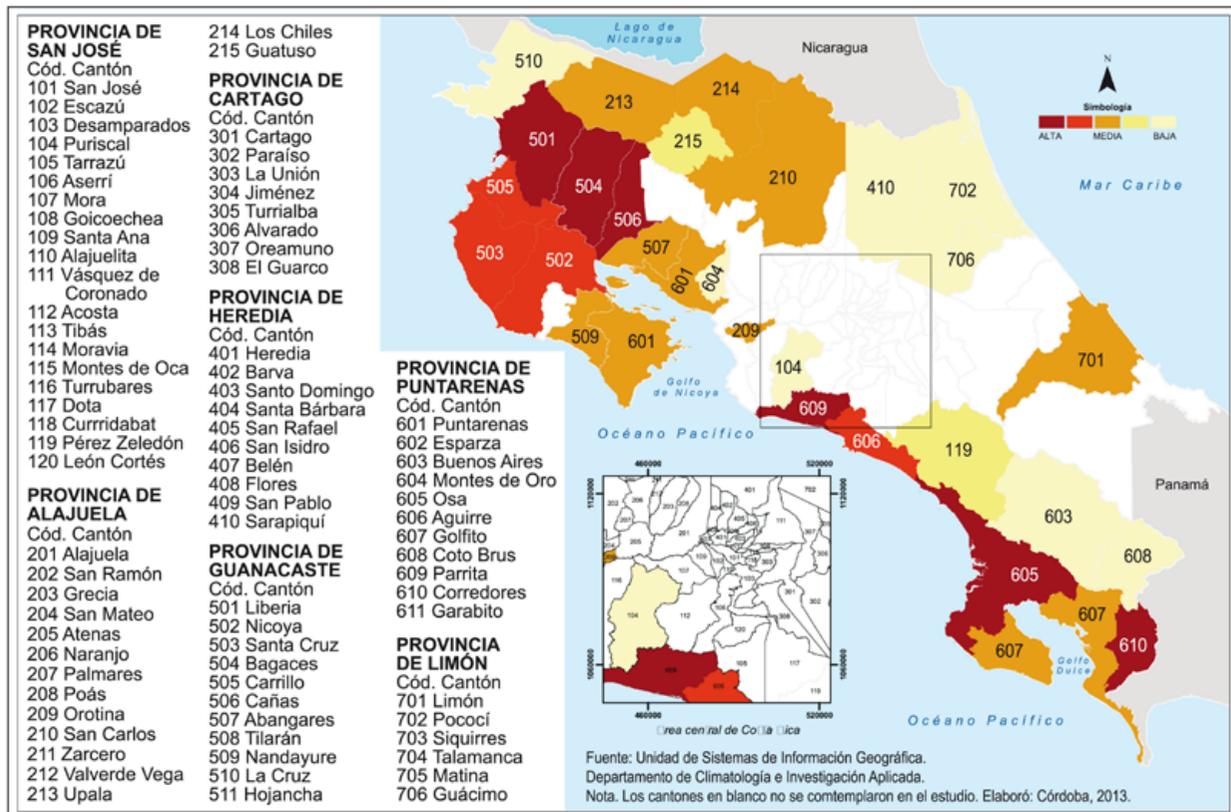


Figura 4. Exposición del cultivo de arroz: promedio del área sembrada para el período 1980-2006.

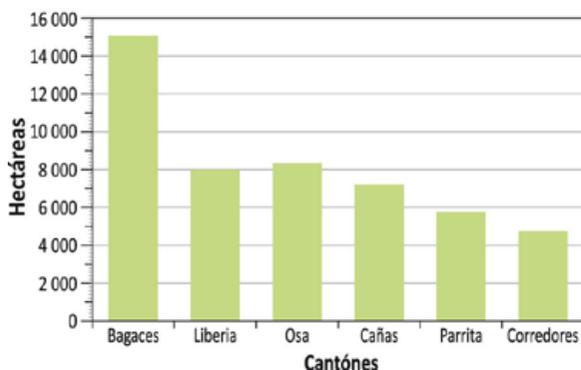


Figura 5. Cantones de mayor exposición. Área promedio sembrada (1980-2006). Fuente de los datos: www.infoagro.go.cr

hacia el margen izquierdo del río Tempisque en Guanacaste, en el Valle de Parrita y hacia el sur de la Fila Brunqueña.

Los cantones que más contribuyen con área de siembra son Bagaces, Liberia, Osa, Cañas, Parrita y Corredores, tal y como se observa en la figura 5.

Estos cantones son los que se encuentran más expuestos ante las amenazas del clima, ya que históricamente contribuyen con la mayor área de siembra. Por tanto, los primeros grupos vulnerables desde un punto de vista eminentemente de producción agrícola, son los grupos de productores dedicados a la siembra de arroz en estos cantones. Ahora bien, de estos cantones dos se encuentran dentro del distrito de riego Arenal-Tempisque (Cañas y Bagaces), por lo que las amenazas

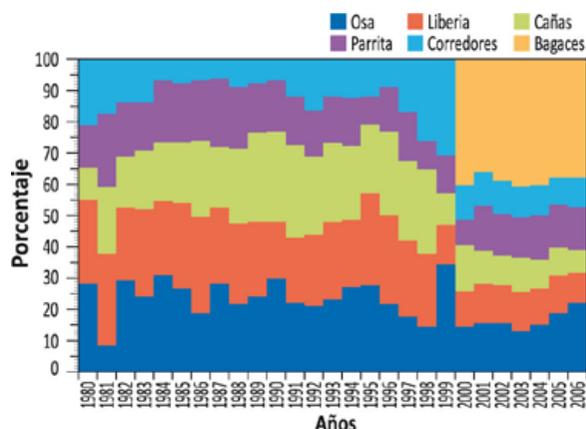


Figura 6. Evolución porcentual del área dedicada a la siembra de arroz en los cantones de mayor exposición. 1980-2006. Fuente de los datos: www.infoagro.go.cr

ante eventos secos extremos podrían estar amortiguadas por la resiliencia que aporta este complejo de riego. De hecho de acuerdo con la información de Infoagro, a partir del año 2000 se incorpora el cantón de Bagaces como el mayor contribuyente de área sembrada (figura 6).

En resumen, la mayor vulnerabilidad por exposición se presenta en Bagaces, Liberia y Cañas del Pacífico Norte; en Parrita del Pacífico Central y en Osa y Corredores del Pacífico Sur. Estos cantones corresponden igualmente, con los de mayor producción y rendimiento promedio para el período de análisis (figura 7). De tal forma que su exposición obedece a un aspecto agrícola

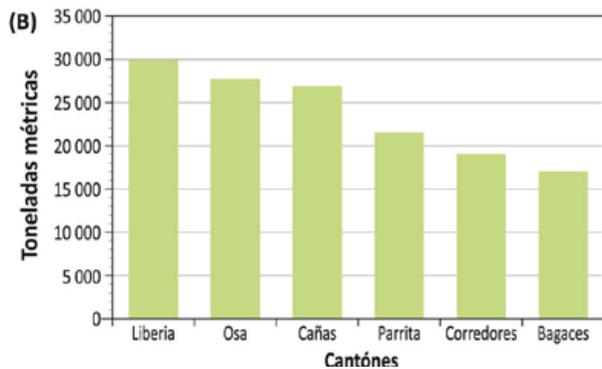
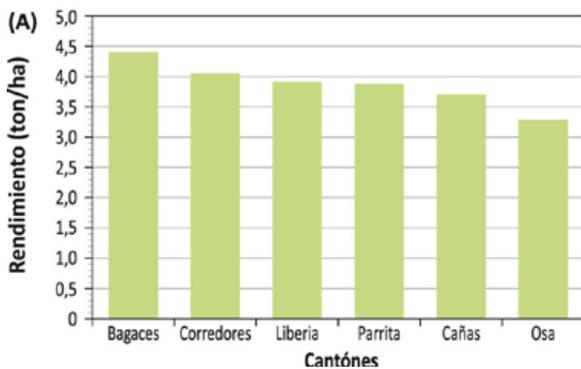


Figura 7. Rendimiento (A) y producción (B) promedio de los cantones de mayor exposición. 1980-2006. Fuente de los datos: www.infoagro.go.cr

positivo: las zonas de mayor área sembrada son las zonas de mejor rendimiento y producción en el país. Si se analiza el promedio de la producción cantonal entre 1980 y 2006, se encuentra que estos cinco cantones de mayor exposición, han aportado el 59,6% de la producción nacional.

3.2. Sensibilidad

Algunos limitantes a considerar son los siguientes:

- El rendimiento de un cultivo no depende exclusivamente del factor clima, existe una serie de variables que intervienen como son: suelo, genética, manejo, plagas, enfermedades. De acuerdo con Lomas y Herrera (1985), solo el 20% de la variabilidad en el rendimiento de arroz de secano en Guanacaste puede ser explicado por la precipitación.
- El efecto de ENOS sobre el clima es diferencial de acuerdo con la zona geográfica y no puede ser considerado como una modificación constante, en el sentido de que no todos los ENOS producen el mismo efecto. De acuerdo con Retana y Villalobos (2000), El Niño influye sobre la probabilidad de obtener escenarios secos, normales o lluviosos en una zona determinada del país. Estas probabilidades pueden ser altas, medias o bajas.
- Los eventos ENOS que se analizaron en este estudio, son aquellos que han permanecido a partir de mayo por lo menos seis meses, esto para asegurar su influencia sobre la temporada de lluvias. Sin embargo, se han presentado eventos extremos secos y lluviosos que no están asociados a condiciones ENOS y que han afectado la producción agropecuaria nacional, como por ejemplo la sequía del 2001 y las condiciones excepcionalmente lluviosas del 2010.

Para Alvarado (2001), ENOS es la fuente de variabilidad interanual climática dominante en los

trópicos. En Costa Rica, las fases de ENOS producen efectos diferenciados, la fase cálida o El Niño se asocia con condiciones secas principalmente en el litoral Pacífico y Región Central, en el Caribe el escenario predominante es el lluvioso, mientras que para la Zona Norte no existe un patrón definido en cuanto al comportamiento de las precipitaciones. Estas condiciones climáticas han afectado una serie de actividades agropecuarias en Costa Rica, siendo las gramíneas como los pastos, maíz, caña de azúcar y arroz, unos de los cultivos más afectados (Villalobos et al., 2002).

En la [figura 8](#) se presenta la anomalía del rendimiento a nivel nacional (desviación del valor promedio), con respecto a la ocurrencia de las dos fases de ENOS.

De acuerdo con los datos a nivel nacional, se descubre un patrón bien definido. Para el período de registro 1970-2006, se contabilizan 12 años con presencia de eventos El Niño y 11 años con presencia de eventos La Niña, tal y como se presenta en la [figura 8](#). De este registro en el 67% de los casos El Niño, se ha observado una disminución del rendimiento del arroz con relación al promedio móvil de dos períodos. De

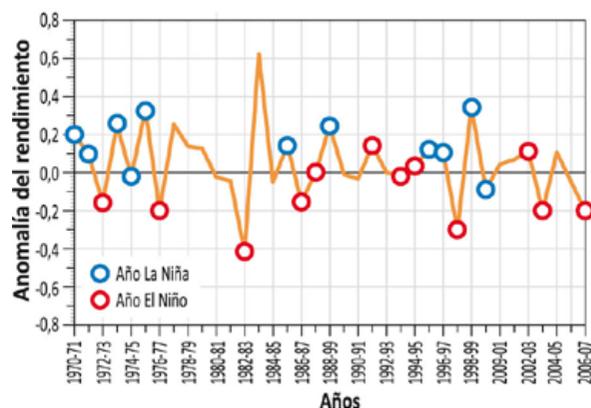


Figura 8. Rendimiento nacional del cultivo del arroz, expresado como anomalía estandarizada a partir del promedio móvil de dos períodos, en relación con los años de influencia del fenómeno La Niña y El Niño. 1970-2006. Fuente de los datos: CNP, SEPSA, www.infoagro.go.cr y CONARROZ.

la misma manera, Villalobos (2001) demostró que el 60% de los años El Niño, han correspondido con rendimientos de arroz inferiores al promedio histórico en Liberia.

Por otra parte, en este mismo período se presentaron 11 años bajo la influencia de eventos La Niña, donde en el 64% de los casos se observa un aumento del rendimiento del arroz con relación al promedio móvil de dos períodos. En este tema Retana y Solano (2000) concluyen, que durante eventos La Niña existe una alta probabilidad de que el rendimiento de arroz sobrepase el promedio histórico, en los cantones productores de Guanacaste.

A nivel nacional, parece que los disturbios climáticos ocasionados por eventos El Niño pueden asociarse con disminuciones en el rendimiento de arroz, mientras que los efectos en el clima producto

de eventos La Niña favorecen el cultivo, lo cual se refleja en aumentos en su rendimiento.

El análisis del comportamiento en el rendimiento nacional permite obtener una señal clara. Sin embargo, es necesario bajar la escala espacial para estudiar los efectos de ENOS sobre los rendimientos de arroz. Un análisis de las tendencias regionales del rendimiento se presenta en la figura 9, los resultados son promedios regionales del período 1980-2006, agrupados en tres tipos de años: Niño, Niña y Neutro.

En todas las regiones del Pacífico y la Zona Norte, existe una clara tendencia de que se obtienen mejores rendimientos en el cultivo del arroz durante la fase de La Niña, en comparación con las otras dos fases de ENOS, comportamiento que está asociado con condiciones más lluviosas de lo normal. Al respecto Lomas y Herrera (1987)

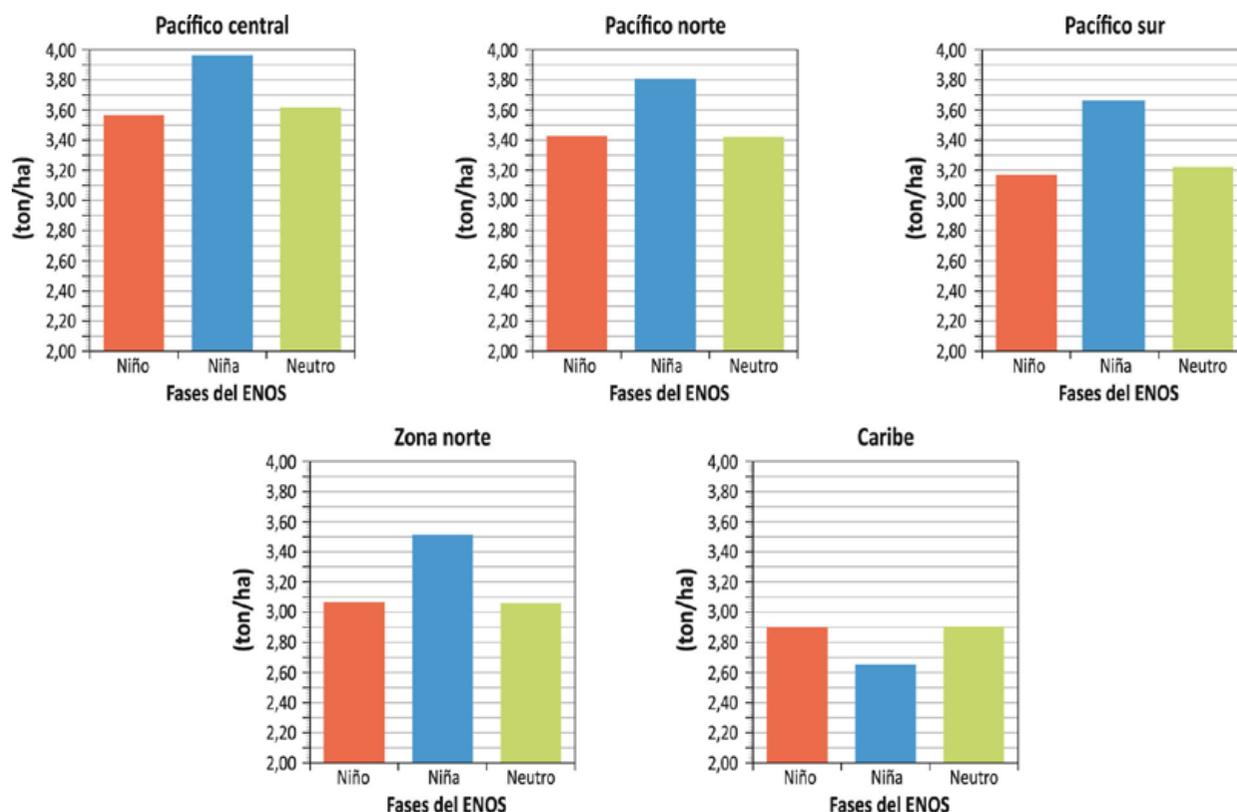


Figura 9. Rendimiento promedio de arroz durante las diferentes fases de ENOS. Período de análisis 1980-2006. Fuente de los datos: www.infoagro.go.cr

encuentran, que la cantidad de lluvia promedio para Guanacaste durante el ciclo total del cultivo es inferior a los requerimientos de la planta, lo cual es una de las razones que explica una mejoría en los rendimientos conforme aumenta la precipitación en esta zona. Para Retana y Solano (2000), existe una relación entre años de eventos La Niña, con inundaciones pasivas en algunos de los principales cantones productores de arroz de secano en Guanacaste. Estas inundaciones no son erosivas del cultivo, por el contrario permiten aumentar los niveles hídricos justamente durante la fase reproductiva que corresponde con el llenado del grano durante el mes de octubre y que es a su vez la fase fenológica que demanda mayores requerimientos hídricos.

Con el fin de pasar de escala regional a cantonal, se aplicó un análisis de varianza a 21 cantones productores de arroz, que tienen estadísticas suficientes como para comparar los rendimientos obtenidos durante eventos fríos y cálidos de ENOS. Los resultados revelan que no existen diferencias significativas en rendimiento, sin embargo, las diferencias muestran patrones espaciales interesantes. En el [cuadro 1](#) se presentan los resultados obtenidos a nivel de cantón, analizando un período de rendimientos desde 1980 al 2006.

Cuando se comparan los rendimientos, se observa un patrón claro de disminución durante El Niño y de aumento durante La Niña en todas las regiones de régimen Pacífico y en la Zona Norte, lo cual concuerda con el análisis regional. En el Caribe, este patrón se invierte: durante El Niño el rendimiento aumenta y durante La Niña el rendimiento disminuye, este comportamiento es debido a que en el Caribe la fase cálida de ENOS trae condiciones más húmedas, mientras que la fase fría tiende a disminuir la precipitación.

De los 14 cantones de régimen Pacífico, el 78% presentó rendimientos inferiores al promedio durante eventos El Niño. El promedio de reducción fue de 0,32 ton/ha. En la Zona Norte, el 100%

de los cantones disminuye su rendimiento en aproximadamente 0,22 ton/ha, mientras que en el Caribe, los rendimientos tienden a aumentar a razón de 0,11 ton/ha en promedio.

Durante La Niña, el 85% de los cantones de régimen Pacífico aumentan su rendimiento en 0,49 ton/ha, mientras que el 100% de los cantones de la Zona Norte aumentan su rendimiento en 0,46 ton/ha. En el Caribe, los rendimientos disminuyen en promedio 0,24 ton/ha.

En la [figura 10](#) se presenta la distribución espacial de los efectos de El Niño sobre el rendimiento del arroz en Costa Rica, a nivel cantonal. En términos de sensibilidad, se considera que las menores disminuciones encontradas (Parrita), así como los rendimientos positivos (La Cruz, Nandayure,

Cuadro 1. Diferencias en el rendimiento promedio de arroz (ton/ha) durante las diferentes fases de ENOS en relación con el rendimiento histórico. Período de análisis 1980-2006

REGION	CANTON	NIÑO	NIÑA
Pacífico Central	Orotina	-0,31	0,33
	Aguirre	-0,30	0,50
	Parrita	-0,06	0,29
Pacífico Norte	Nicoya	-0,52	0,64
	Santa Cruz	-0,30	0,50
	Carrillo	-0,37	0,38
	Liberia	-0,10	0,25
	Canas	-0,28	0,81
	La Cruz	0,21	0,14
	Nandayure	0,07	-0,07
Pacífico Sur	Corredores	0,18	0,34
	Osa	-0,17	-0,16
	Perez Zeledon	-0,36	1,15
	Golfito	-0,74	0,56
Zona Norte	San Carlos	-0,11	0,34
	Guatuso	-0,17	0,05
	Los Chiles	-0,10	0,33
	Upala	-0,40	0,27
	Sarapiquí	-0,33	1,30
Caribe	Limon	0,15	-0,07
	Guapiles	0,07	-0,41

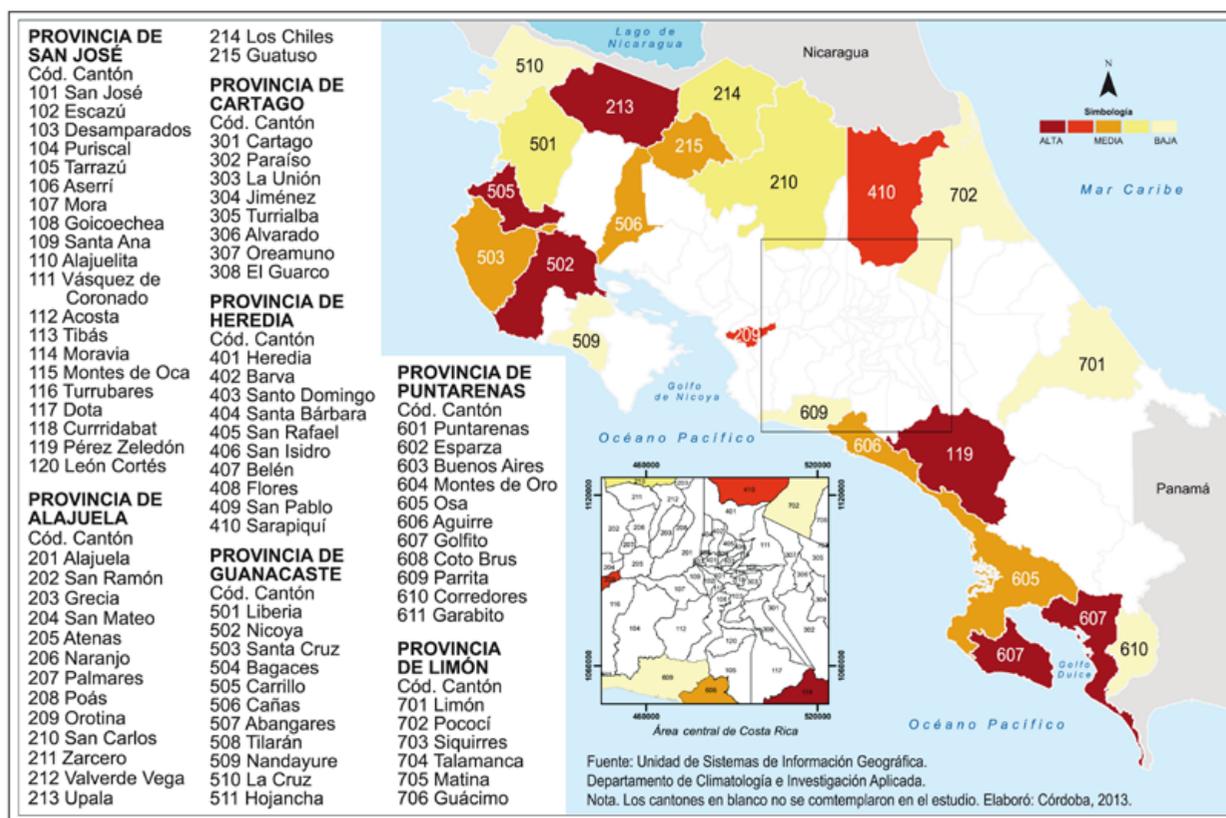


Figura 10. Sensibilidad del cultivo del arroz durante El Niño: promedio del rendimiento durante la fase cálida de ENOS para el período 1980-2006. Fuente de los datos: www.infoagro.go.cr

Corredores, Limón y Guápiles) corresponden con la sensibilidad más baja del registro.

Los cantones de Carrillo, Nicoya, Pérez Zeledón, Golfito y Upala, son los que presentan mayores impactos (reducción del rendimiento) durante años Niño que afectaron la época lluviosa de estos cantones.

En la figura 11 se presenta la distribución espacial de los efectos de La Niña, sobre el rendimiento del arroz en Costa Rica a nivel cantonal. En términos de sensibilidad, se considera que las menores disminuciones encontradas (Nandayure y Limón) y los rendimientos positivos (Orotina, Aguirre, Parrita, Nicoya, Santa Cruz, Carrillo, Liberia, Cañas, La Cruz, Corredores, Pérez Zeledón, Golfito, San Carlos, Guatuso, Los Chiles, Upala, Sarapiquí), corresponden con la sensibilidad

más baja del registro. El cantón de Pococí es el que mayor probabilidad tiene de disminuir el rendimiento durante años de La Niña, seguido por Corredores y La Cruz.

3.3. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad estimada en este estudio se compone de la exposición y la sensibilidad. Para el ejercicio propuesto, la expresión final de la vulnerabilidad no contempla el peso de alguno de sus componentes debido a la escala utilizada, por este motivo tan importante es el área sembrada como las disminuciones en el rendimiento. Los indicadores se sumaron para obtener el valor final de vulnerabilidad.

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{exposición} + \text{sensibilidad}$$

En la figura 12 se presenta la distribución espacial de la vulnerabilidad, expresada en cinco rangos: alta, media alta, media, baja media y baja. Utilizando la información sobre el precio pagado al productor en el año 2011 y los costos de

producción de una hectárea de arroz (CONARROZ, 2012), en el cuadro 2 se resumen las posibles pérdidas y ganancias económicas causadas por El Niño y La Niña respectivamente.

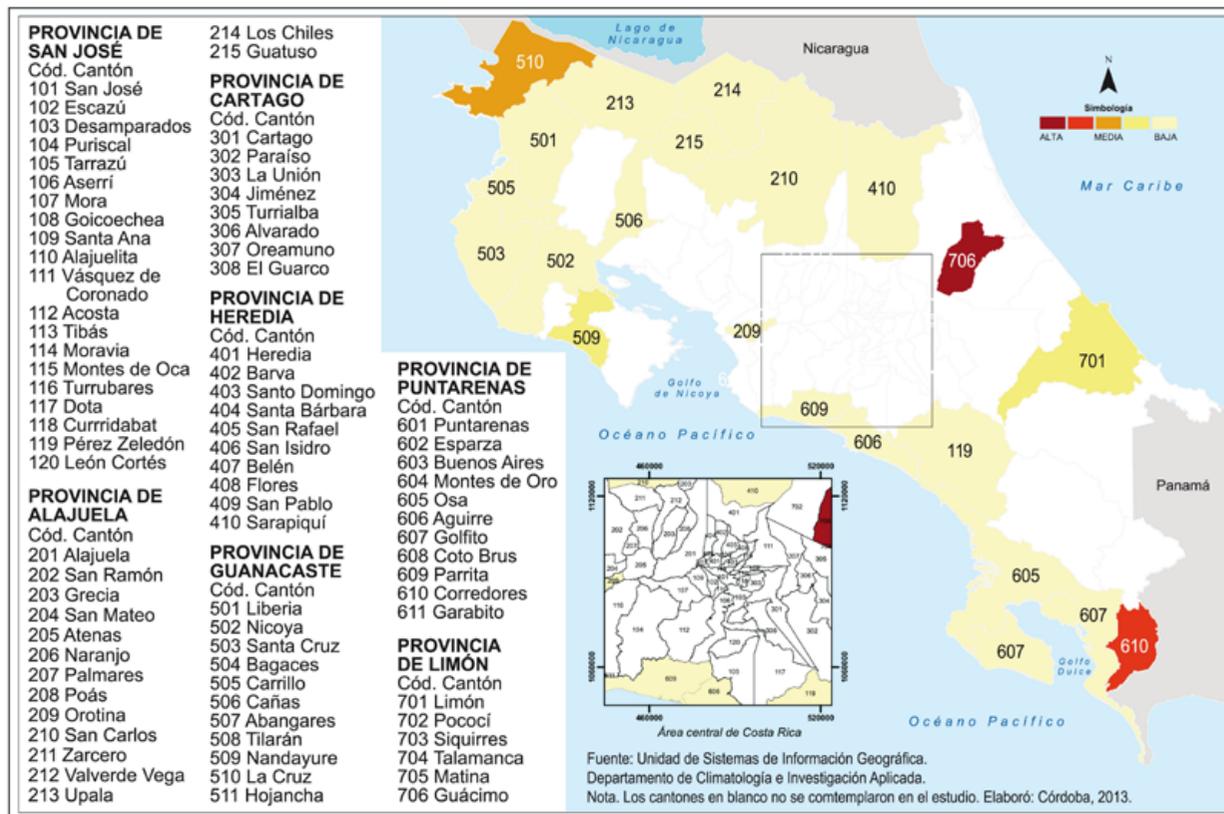


Figura 11. Sensibilidad del cultivo del arroz durante La Niña: promedio del rendimiento durante la fase fría de ENOS para el período 1980-2006. Fuente de los datos: www.infoagro.go.cr

Cuadro 2. Estimación de pérdidas y ganancias económicas con base en el rendimiento regional del arroz durante las fases de ENOS

Fase de ENOS	Región Climática	Aumento o disminución del rendimiento (ton/ha)	Costo económico de la variación del rendimiento (¢/ha)	Porcentaje del costo de producción de una hectárea
El Niño	Pacífico Norte	-0,31	-95. 207	8% de pérdida
	Pacífico Central	-0,22	-67. 566	6% de pérdida
	Pacífico Sur	-0,42	-128. 990	11% de pérdida
	Zona Norte	-0,22	-67. 566	6% de pérdida
	Caribe	+0,11	33. 783	3% de ganancia
La Niña	Pacífico Norte	+0,45	138. 204	12% de ganancia
	Pacífico Central	+0,38	116. 705	10% de ganancia
	Pacífico Sur	+0,68	208. 841	19% de ganancia
	Zona Norte	+0,46	141. 275	13% de ganancia
	Caribe	-0,24	-73. 709	7% de pérdida

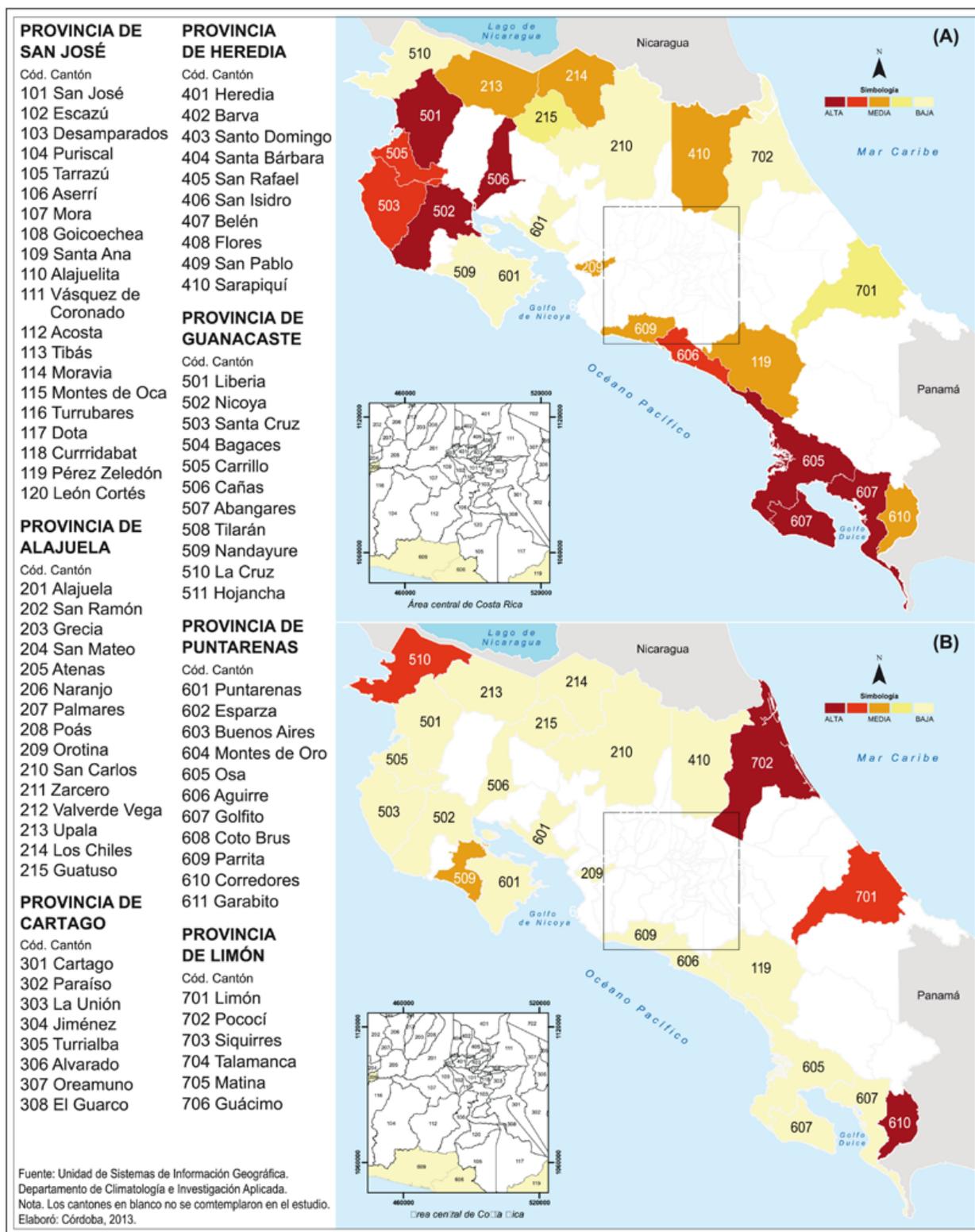


Figura 12. Vulnerabilidad del cultivo del arroz ante las fases de ENOS: El Niño (A) y La Niña (B).

4. Conclusiones

Tanto a escala nacional, como regional y cantonal, los efectos de El Niño sobre el rendimiento del cultivo del arroz son perjudiciales. La condición seca que se asocia a este tipo de eventos, es la posible explicación en la disminución observada. Mientras tanto, los efectos de La Niña sobre los rendimientos son positivos, donde las condiciones lluviosas que imperan en el Pacífico durante estos eventos son la posible explicación a los resultados observados. Estas conclusiones deben de ser tomadas como guías para un nuevo estudio que permita bajar aún más la escala, a nivel de distrito o finca.

El pronóstico de eventos de variabilidad climática que perduran durante varios meses, como el ENOS, adquiere vital importancia cuando existen patrones claros del comportamiento de cultivos y su rendimiento. Actualmente el fenómeno ENOS posee un lapso de pronóstico aceptable (unos dos a tres meses), lo que permite tomar medidas preventivas y adaptativas.

El uso conceptual de la vulnerabilidad, es una herramienta útil para expresar los efectos de eventos de variabilidad climática sobre el sector agropecuario. Las expresiones de estos resultados en Sistemas de Información Geográfica, permite gestionar la información con fines de planificación, y la información sistematizada es vital para iniciar procesos de adaptación a la variabilidad climática y luego, al cambio climático.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, L. (2001). Variabilidad interanual y estacional de la atmósfera libre sobre Costa Rica durante eventos de El Niño. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 8(2), 116-144.
- Alvarado, L., Contreras, W., Jiménez, S. (2011). *Escenarios de Cambio Climático regionalizados para Costa Rica*. Departamento de Climatología e Investigación Aplicada. Instituto Meteorológico Nacional. Ministerio de Ambiente y Energía. San José, Costa Rica.
- Corporación Arrocera Nacional. (2012). *Informe estadístico 2011-2012*. Unidad de Inteligencia de Mercados. San José, Costa Rica.
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. (2003). *Cambio Climático. Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III, al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra. OMM-PNUMA.
- Lomas, J. y Herrera, H. (1985). Weather and rice yield relationships in tropical Costa Rica. *Agricultural and Forest Meteorology*. 35,133-151.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería y Consulting Group S.A. (2010). *Estudio del estado de la producción sostenible y propuesta de mecanismos permanentes para el fomento de la producción sostenible*. Informe Final. San José: (MAG)- GFA. 417p.
- Murillo, J. y González, R. (1982). *Manual de producción para arroz de secano en Costa Rica*. (2ª ed.). San José. Compañía Costarricense del Café. S.A. San José: CAFESA.
- 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. y Solano, J. (2000). *Relación entre las inundaciones en la cuenca del Tempisque al fenómeno de la Niña y los rendimientos de arroz de secano en Guanacaste*. San José: Instituto Meteorológico Nacional. Gestión de Desarrollo.
- Rojas, A. (1997). La evolución de la agricultura costarricense en sus distintas épocas. *Revista Agroindustria*. 25(176), 31-38.

- Villagrán, J. (2006). *Vulnerability. A conceptual and methodological review*. United Nations University. Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS). SOURCE. Studies of the University: Research, Counsel, Education. (Publication Series of UNU-EHS).
- 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-CEPRENAC-IMN-SEPSA-ICE. San José, Costa Rica.

Estudio de la evaporación para el cálculo del inicio y conclusión de la época seca y lluviosa en Costa Rica

KARINA HERNANDEZ ESPINOZA¹
WALTER FERNÁNDEZ ROJAS²

Resumen

La idea de mejorar la aproximación regional del inicio y conclusión de la época seca y lluviosa, así como el veranillo o canícula utilizando valores umbrales pentadales de la evaporación específicos para cada Región Climática del país, se desarrolla utilizando el método FAO-56 para el cálculo de la evapotranspiración de referencia e identificando los puntos de inflexión en donde la pentada de evaporación y precipitación coinciden. Con lo cual se obtienen las siguientes fechas para el inicio y la conclusión de la época seca y lluviosa en Costa Rica, así como para la ocurrencia del Veranillo. La zona Caribe presenta un periodo lluvioso con un valor umbral de 25 mm, en el período comprendido entre el 12-16/04 y el 17-21/03, mientras que un pequeño periodo seco con el mismo umbral se aprecia del 22-26/03 hasta 2-6/5, en esta región no se observa un Veranillo pero si se da una disminución de la evaporación el 1-5/07. En la Zona Norte la época seca inicia del 26-30/01 al 2-6/05, con un umbral de 28-34 mm, su época lluviosa va del 7-11/05 hasta 21-25/01, sin ocurrencia del Veranillo. El Pacífico Norte tiene dos épocas secas una que va del 28/10-1/11 al 12-16/05, la otra época seca concuerda con el Veranillo y va del 26-30/06 al 15-19/08, con umbrales de 31-42 mm y 33-35 mm respectivamente; además tiene dos épocas lluviosas, una se extiende del 17-21/05 hasta 20-25/06, la segunda época lluviosa va del 20-24/08 al 24-28/11. El Pacífico Central muestra época seca del 1-5/01 al 12-16/04, con valores umbrales de 20-24 mm, su época lluviosa se extiende del 17-21/04 hasta 27-31/12, sin presencia de Veranillo. El Pacífico Sur tiene una época seca del 2-6/12 al 17-21/04, con umbrales de 37-43 mm, la época lluviosa se extiende del 22-26/04 hasta 27/11-1/12, sin evidencia de Veranillo. La Región Central tiene dos épocas secas, una del 13-17/11 al 12-16/05 y otra que coincide con el Veranillo del 11-15/07 al 30/7-3/08, con umbrales de 33-38 mm y 34-35 mm respectivamente, mientras que las épocas lluviosas van del 4-8/08 hasta 8-12/11 y del 17-21/05 hasta 6-10/07.

PALABRAS CLAVE: EVAPORACIÓN, PRECIPITACIÓN, ÉPOCA SECA, ÉPOCA LLUVIOSA.

Abstract

A specific evaporation pentad threshold for each Climate Region of Costa Rica was used to generate a regional approximation for the start and end of the dry and rainy seasons as well as for the Veranillo or Canicula period. FAO-56 method gives us the reference evaporation and the date was identified by the inflection point between the evaporation and precipitation pentad curve to obtain the next beginning and conclusion of dry and rainy season and Veranillo period dates. Caribbean Region shows a rainy season with a threshold 25 mm since 12-16/04 to 17-21/03, a dry season with the same threshold from 22-26/03 to 2-6/5, without a Veranillo but an evaporation decreasing period in 1-5/07. North Zone dry season beginning in 26-30/01 to 2-6/05 with a 28-34 mm threshold, rainy season start at 7-11/05 to 21-25/01, without a Veranillo. North Pacific has two dry seasons one since 28/10-1/11 to 12-16/05, the second dry season coincide with Veranillo period and start 26-30/06 to 15-19/08 with 31-42 mm and 33-35 mm threshold respectively; has two rainy season since 17-21/05 to 20-25/06, second rainy season start 20-24/08 to 24-28/11. Central Pacific shows a dry season since 1-5/01 to 12-16/04 with 20-24 mm threshold, its rainy season start 17-21/04 to 27-31/12, without Veranillo. South Pacific dry season beginning in 2-6/12 to 17-21/04 with 37-43 mm threshold, rainy season start 22-26/04 to 27/11-1/12, without Veranillo. Central Region has two dry seasons since 13-17/11 to 12-16/05, second dry

1 Lcda. en Meteorología. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica. Email: khernandez@imn.ac.cr

2 Dr. en Meteorología. Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Email: walter2109@gmail.com

season coincide with Veranillo from 11-15/07 to 30/7-3/08 with 33-38 mm and 34-35 mm threshold respectively; first rainy season start 4-8/08 to 8-12/11, second rainy season beginning 17-21/05 to 6-10/07.

KEYWORDS: EVAPORATION, PRECIPITATION, DRY SEASON, RAINY SEASON.

1. Introducción

A nivel nacional es comúnmente aplicada la metodología descrita por Gramzow y Henry (1972), la cual fue utilizada por Amador (1984) y modificada por Alfaro, Cid y Enfield (1998), en donde se analiza la precipitación para identificar el inicio y conclusión de la época seca y lluviosa. Mediante el cálculo de pentadas diarias de precipitación y definiendo un umbral para todo el país, algunos autores han establecido criterios de identificación de dichas épocas. La idea de utilizar pentadas tiene la finalidad de depurar los datos, ya que de esta manera se eliminan las frecuencias pequeñas que solo agregan ruido a la serie de datos.

Alfaro et al. (1998) aplicaron el siguiente criterio para el inicio de la estación lluviosa. Si al ordenar las pentadas en orden creciente una de ellas presenta un valor de precipitación ≥ 25 mm, donde al menos una de las dos siguientes pentadas es ≥ 25 mm y que las pentadas anteriores y posteriores tengan al menos valores de precipitación $\geq 0,5$ mm. Se obtiene la finalización de la estación lluviosa con el mismo análisis, pero esta vez ordenando las pentadas de forma decreciente. El umbral de 25 mm surge debido a la estimación de Gray (1993), respecto a la evaporación diaria para Centroamérica que fluctúa entre 5-8 mm/día, donde al multiplicar el valor mínimo por cinco (cantidad de días que conforman una pentada) se obtiene el valor umbral pentadal de 25 mm de precipitación. Mientras que el umbral de 0,5 mm se debe a que el valor mínimo registrado por el instrumental es de 0,1 mm, de la misma forma, al multiplicar este valor por cinco se obtiene el valor pentadal.

En la presente investigación, se relacionaron los registros de precipitación y evapotranspiración diaria, obteniendo la razón entre ambos parámetros para definir un umbral del inicio y conclusión de la época seca y lluviosa para cada región climática. En la estimación de dichos umbrales se utilizó el método FAO-56 para el cálculo de evapotranspiración, con el fin de aplicar la metodología descrita por Allen, Pereira, Raes y Smith (1998), que fue desarrollado para ser aplicado en cualquier país.

2. Metodología

2.1. Datos meteorológicos

Se utilizó la base de datos calculada y rellenada, así como la metodología desarrollada por Hernández (2013), la cual contiene datos a nivel diario de una estación meteorológica de tipo mecánico para cada una de las siguientes seis regiones climáticas, donde la cantidad de años utilizada varía según se indica en el [cuadro 1](#).

Cuadro 1. Lista de años utilizados para cada Región Climática

Región climática	Años
Zona Norte	1987 a 1994, 1998 a 2000, 2006, 2007, 2009, 2010.
Caribe	2001, 2003, 2004, 2005, 2007, 2009, 2010.
Pacífico Norte	1976, 1978, 1981 a 1983, 1986, 1987, 1989.
Región Central	1974, 1975, 1977, 1978, 1980, 1982 a 1984, 1986 a 2000.
Pacífico Central	2001, 2005 a 2007, 2009, 2010.
Pacífico Sur	1986 a 1991, 1998, 2001, 2003, 2004.

Cuadro 2. Porcentajes faltantes de precipitación

Parámetro / Región	Zona Norte	Región Caribe	Pacífico Norte	Región Central	Pacífico Central	Pacífico Sur
Precipitación	1	1	0	0	1	20

La precipitación es registrada de forma mecánica por un pluviómetro convencional y el porcentaje de datos faltantes se muestra en el cuadro 2. Los porcentajes de datos faltantes de las variables utilizadas en la estimación de la evaporación mediante el método FAO-56, tienen los siguientes porcentajes extremos: temperatura máxima 1% a 13%, temperatura mínima 2% a 22%, radiación 0% a 9%, velocidad del viento 7% a 48%, humedad relativa máxima 0% a 13%, humedad relativa mínima 2% a 18% e insolación 2% a 13%. Las especificaciones, consideraciones, método de relleno y el porcentaje específico de datos faltantes para cada estación se ubican en el cuadro 2 de Hernández (2013).

2.2. Modelo utilizado

Para la estimación de la evapotranspiración de referencia, se desarrolla el método FAO Penman - Monteith denominado en adelante como FAO-56, utilizando las recomendaciones dadas por Allen et al. (1998) cuya aplicación en Costa Rica se detalla en Hernández (2013). Esta metodología fue desarrollada por Food Agriculture Organization (FAO), International Commission for Irrigation and Drainage (ICID) y World Meteorological Organization (WMO). Dicho cálculo se basa en un cultivo hipotético de referencia, con una altura asumida de 0,12 m, una resistencia superficial de 70 s m^{-1} y un albedo de 0,23.

La ecuación 1 muestra el cálculo de la evapotranspiración de referencia ET_0 mediante el método FAO-56, en unidades de mm dia^{-1} . Utilizando los parámetros: radiación neta en la superficie del cultivo (R_n) en unidades de $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, flujo del calor del suelo (G) en unidades de $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, temperatura media del aire a dos metros de altura (T_{media}) en unidades de $^{\circ}\text{C}$, velocidad del viento a dos metros de altura (u_2) en unidades de m s^{-1} , presión de vapor de saturación (e_s) en unidades de kPa, presión real de vapor (e_a) en unidades de kPa, pendiente de la curva de presión de vapor (Δ)

en unidades de $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$, constante psicométrica (γ) en unidades de $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{media} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

Posteriormente se utiliza la ecuación de regresión 2 para obtener el coeficiente del tanque evaporímetro tipo A (K_p), para las seis regiones climáticas del país.

$$K_p = 0.108 - 0.086 u_2 + 0.0422 \ln(BORDE) + 0.1434 \ln(HR_{media}) - 0.000631 [\ln(BORDE)]^2 \ln(HR_{media}) \quad (2)$$

Donde se usan las siguientes variables: velocidad del viento (u_2) $1 \text{ m s}^{-1} \leq u_2 \leq 8 \text{ m s}^{-1}$, porcentaje de humedad relativa media diaria (HR_{media}) $30\% \leq HR_{media} \leq 84\%$, distancia del tanque al cultivo ($BORDE$) $1 \text{ m} \leq BORDE \leq 1000 \text{ m}$.

Luego de calcular ET_0 y K_p se utiliza la ecuación 3 para obtener el valor de la evaporación de referencia diaria, en cada región analizada.

$$ET_0 = E_{pan} * K_p \quad (3)$$

Por último se generan las curvas de precipitación y evaporación, para obtener las fechas de inicio y conclusión de la época lluviosa, que se identifican en los puntos de intersección donde ambas variables se cruzan. Definiendo el inicio y conclusión de la época lluviosa cuando la evaporación presenta valores inferiores a los de la precipitación y viceversa.

3. Resultados

Las figuras 1, 2 y 3 muestran los gráficos pentadales de evaporación estimada según el modelo FAO-56 y la precipitación observada. Mediante estas se define el inicio y la conclusión de la época seca y lluviosa, para cada una de las seis regiones climáticas.

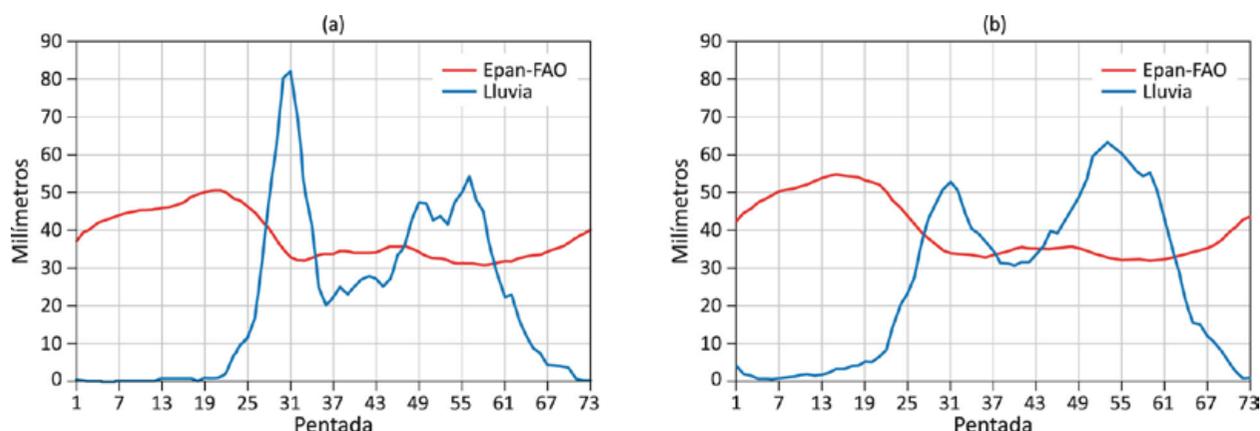


Figura 1. Pentadas promedio de evaporación (FAO-56) y precipitación diaria (*mm*) para la Región (a) Pacífico Norte y (b) Región Central.

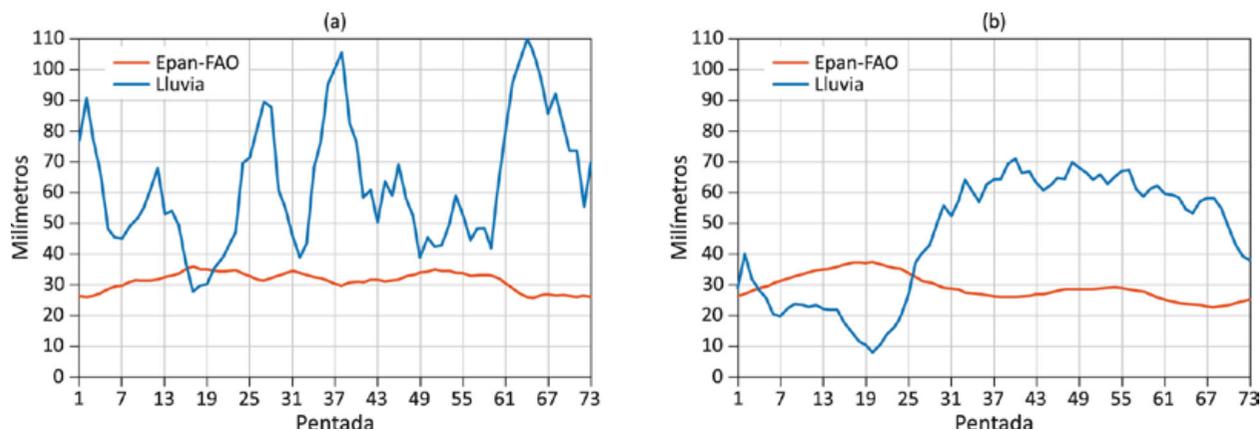


Figura 2. Pentadas promedio de evaporación (FAO-56) y precipitación diaria (*mm*) para la Región (a) Caribe y (b) Zona Norte.

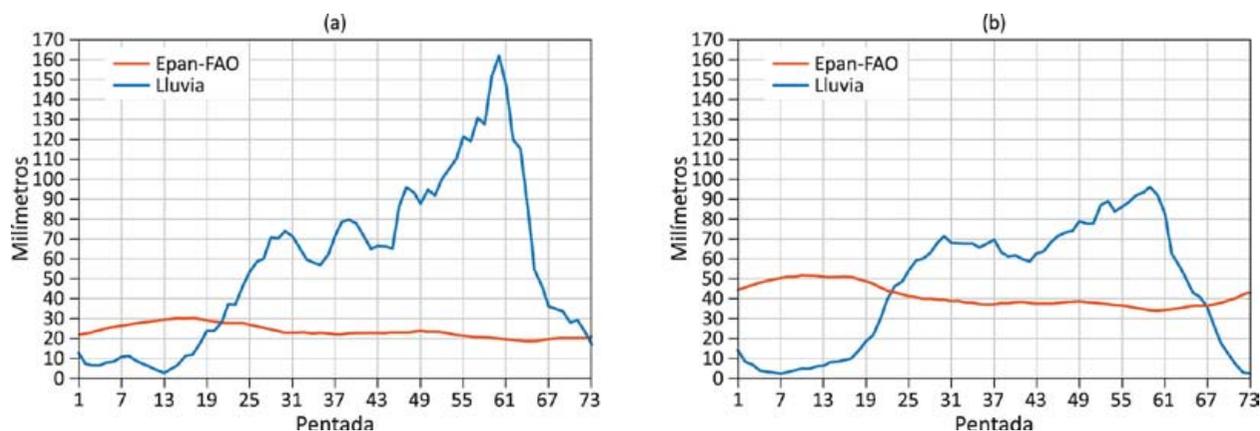


Figura 3. Pentadas promedio de evaporación (FAO-56) y precipitación diaria (*mm*) para la Región (a) Pacífico Central y (b) Pacífico Sur.

De las figuras se obtienen los umbrales de inicio y conclusión de la época seca y lluviosa, tomando como época seca aquel rango consecutivo de

datos en los cuales el valor de la evaporación se encuentra por encima del valor de la precipitación y como época lluviosa el grupo de datos

consecutivo, que presente un valor de evaporación inferior al de la precipitación para cada región.

Con el fin de comparar los resultados obtenidos con las investigaciones previas a este estudio, se elaboraron los cuadros 3, 4 y 5 que contienen los rangos de fechas para las épocas seca y lluviosa aquí definidas, junto con las establecidas por los autores Alfaro (2002) e Instituto Meteorológico Nacional (2008), para lo cual dichos autores utilizaron el análisis de pentadas de precipitación con el umbral fijo de 25 mm, contrario a la metodología aquí descrita. Donde 'NO' indica que no está definido por el autor y 'NA' significa que no se dispone de información.

Como se muestra en los cuadros 3, 4 y 5, las fechas definidas por parte del IMN (2008) no presentan la misma resolución del estudio actual, ya que se mencionan meses y no días exactos para el inicio y conclusión de las épocas seca y lluviosa. Alfaro (2002) en cambio, presenta fechas y sus respectivas pentadas para ambas épocas de las regiones climáticas del país, de acuerdo con dicho autor la Zona Norte no presenta estas fechas debido a que esta región no es representada por ninguno de los dos patrones dominantes anuales

de precipitación, obtenidos con la metodología utilizada por el autor.

Comparando los resultados obtenidos en el cuadro 3 respecto al inicio y finalización de la época seca, vemos que en la Zona Norte el inicio tanto para el IMN (2008) como el obtenido en esta investigación es el mismo. Con respecto al final del período, este finaliza seis días después con respecto al IMN. En la Región Central y el Pacífico Norte la metodología presenta dos intervalos secos, donde el primero calza con lo descrito por Alfaro (2002) y el segundo concuerda con el veranillo. Para Pacífico Central la investigación muestra una época seca que concuerda con lo descrito por IMN (2008). En el Pacífico Sur las fechas propuestas difieren en un mes, tanto en su inicio como en su conclusión con respecto a Alfaro (2002).

Comparando el cuadro 4 con los periodos de inicio y conclusión de la época lluviosa, se encuentran desplazamientos en las fechas definidas mediante el uso de evaporación, desarrollada en esta investigación y las establecidas con los análisis de precipitación definidos por Alfaro (2002) e IMN (2008).

Cuadro 3. Comparación de inicio y conclusión la época seca

Región / Época Seca	Evaporación-Precipitación	Alfaro (2002)	IMN (2008)
ZONA NORTE	26-30/1 o pentada 6 hasta 2-6/5 o pentada 25.	NA	Enero a abril
CARIBE	22-26/3 o pentada 17 hasta 6-10/4 o pentada 20.	NO	NO
REGIÓN CENTRAL	13-17/11 o pentada 64 hasta 12-16/5 o pentada 27.	13-17/11 o pentada 64 hasta 2-6/05 o pentada 25.	Diciembre a abril.
	11-15/7 o pentada 39 hasta 30/7-3/8 o pentada 43.		
PACIFICO NORTE	28/10-1/11 o pentada 61 hasta 12-16/5 o pentada 27.	13-17/11 o pentada 64 hasta 7-11/05 o pentada 26.	Diciembre a marzo
	26-30/6 o pentada 36 hasta 15-19/8 o pentada 46.		
PACIFICO CENTRAL	1-5/1 o pentada 1 hasta 12-16/4 o pentada 21.	18-22/11 o pentada 65 y/o 23-27/12 o pentada 72 hasta 2-6/05 o pentada 25.	Enero a marzo
PACIFICO SUR	2-6/12 o pentada 68 hasta 17-21/4 o pentada 22.	18-22/11 o pentada 65 y/o 23-27/12 o pentada 72 hasta 2-6/05 o pentada 25.	Enero a marzo

Cuadro 4. Comparación de inicio y conclusión la época lluviosa

Región / Época Lluviosa	Evaporación-Precipitación	Alfaro (2002)	IMN (2008)
ZONA NORTE	7-11/5 o pentada 26 hasta 21-25/1 o pentada 5.	NA	Mayo a diciembre o enero.
CARIBE	12-16/4 o pentada 21 hasta 17-21/3 o pentada 16.	2-6/01 o pentada 2 hasta 4-8/10 o pentada 56.	Abril a agosto o septiembre y de noviembre a febrero.
REGIÓN CENTRAL	17-21/5 o pentada 28 hasta 6-10/7 o pentada 38.	7-11/05 o pentada 26 hasta 8-12/11 o pentada 63.	Marzo a agosto y de septiembre a noviembre.
	4-8/8 o pentada 44 hasta 8-12/11 o pentada 63.		
PACÍFICO NORTE	17-21/5 o pentada 28 hasta 20-25/6 o pentada 35.	11-15/05 o pentada 27 y/o 22-26/05 o pentada 29 hasta 8-12/11 o pentada 63.	Mayo a agosto y de septiembre a noviembre.
	20-24/8 o pentada 47 hasta 24-28/11 o pentada 60.		
PACÍFICO CENTRAL	17-21/4 o pentada 22 hasta 27-31/12 o pentada 73.	7-11/05 o pentada 26 hasta 13-17/11 o pentada 64 y/o 18-22/12 o pentada 71.	Mayo a agosto y de septiembre a noviembre.
PACÍFICO SUR	22-26/4 o pentada 23 hasta 27/11-1/12 o pentada 67.	7-11/05 o pentada 26 hasta 13-17/11 o pentada 64 y/o 18-22/12 o pentada 71.	Mayo a agosto y de septiembre a noviembre.

Cuadro 5. Comparación de inicio y conclusión del veranillo

Región / Veranillo	Evaporación-Precipitación	Alfaro (2002)	IMN (2008)
ZONA NORTE	NA	NA	NA
CARIBE	NA	NA	NA
REGIÓN CENTRAL	11-15/7 o pentada 39 hasta 30/7-3/8 o pentada 43.	21-25/07 o pentada 41.	Oriental: junio a julio. Occidental: junio a agosto
PACÍFICO NORTE	26-30/6 o pentada 36 hasta 15-19/8 o pentada 46.	NA	Julio a agosto.
PACÍFICO CENTRAL	NA	20-24/08 o pentada 47.	NA
PACÍFICO SUR	NA	21-25/07 o pentada 41.	Julio a agosto.

El cuadro 5 muestra la comparación entre las fechas definidas para el inicio y conclusión del veranillo, obtenidas en la investigación y la información contenida en Alfaro (2002) e IMN (2008).

La época lluviosa en la Zona Norte concuerda perfectamente con la definida por el IMN, el cual define dos períodos lluviosos para la Región Caribe mientras que esta investigación registra una época lluviosa que abarca prácticamente todo el año, a excepción de un mes. Tanto la Región Central como el Pacífico Norte tienen

definidos según el IMN dos períodos lluviosos que concuerdan con este estudio, a excepción de un desfase de un mes en la transición. Por su parte Alfaro (2002) concuerda con los resultados de esta metodología para el Pacífico Central, en las fechas de finalización de la época lluviosa y se desfasa un mes en el inicio. En el Pacífico Sur se adelanta el inicio un mes respecto a ambos autores citados, en tanto que las fechas de conclusión de la época lluviosa concuerdan en los tres métodos.

Debe recordarse que las fechas aquí definidas para el caso 1, específicamente de la Región

Caribe, son producto del régimen de precipitación anual obtenido por Alfaro (2002) quien explica únicamente el 8% de la varianza.

Para el caso de la ocurrencia del veranillo a nivel nacional, se comparan una vez más las fechas definidas por IMN (2008) con las obtenidas en la aplicación del modelo FAO-56. El IMN indica la no ocurrencia del veranillo en las regiones Zona Norte, Caribe y Pacífico Central, lo cual coincide con lo encontrado en este estudio. El método muestra una canícula entre junio y agosto para el Pacífico Norte, que se encuentra desfasada unos días en su inicio pero concluye en las mismas fechas encontradas por el IMN (2008).

La investigación arroja para la Región Central un veranillo que en su inicio coincide con lo descrito por Alfaro (2002), mientras que su conclusión coincide con lo mencionado en IMN (2008), donde su umbral inicial es de 34 mm y el final de 35 mm.

El Pacífico Norte muestra un inicio y final prematuro en comparación con IMN (2008) que abarca meses completos. Donde su umbral inicial es de 33 mm y el final de 35 mm.

En el Pacífico Central y Sur este estudio no visualizo el veranillo, en cambio Alfaro (2002) si ubica un veranillo en ambas regiones, mientras que IMN (2008) solo encuentra veranillo para la Región Pacífico Sur. Para el Caribe y Zona Norte no se registra veranillo en ninguna de las tres investigaciones.

El cuadro 6 muestra los incrementos de la evaporación observados en la figura 1, 2 y 3, cuyo punto de acenso varía entre 22 y 33 mm según sea la estación. Este cuadro nos muestra el comportamiento que tiene la evaporación, durante los meses definidos oficialmente para la ocurrencia del veranillo.

Mientras todas las demás regiones muestran un aumento de la evaporación durante los meses

típicos del veranillo, la Región Caribe presenta una disminución durante el 1-5/07 o pentada 37. Este comportamiento opuesto fue evidenciado por Alfaro (2002) al analizar pentadas de precipitación, quien considera que esto podría deberse a los siguientes factores: la influencia del jet de bajo nivel y la interacción del viento con la topografía de bajo nivel. El autor explica que la combinación de estos dos factores, provoca que el Caribe presente un contenido de humedad superior al que presenta el Pacífico, en estos meses del año.

En el cuadro 6 se puede observar un aumento de la evaporación durante los meses en que comúnmente ocurre el veranillo, excepto en el Caribe y dicho incremento se encuentra acompañado de una disminución de las precipitaciones en todas las estaciones, a excepción de la Zona Norte.

Cuadro 6. Período de incremento de la evaporación durante la época lluviosa

Región	Fechas
ZONA NORTE	16-20/07 o pentada 40 hasta 24-28/11 o pentada 60.
CARIBE	NA
REGIÓN CENTRAL	26-30/06 o pentada 36 hasta 16-20/09 o pentada 52.
PACÍFICO NORTE	11-15/06 o pentada 33 hasta 16-20/09 o pentada 52.
PACÍFICO CENTRAL	6-11/07 o pentada 38 hasta 19-23/09 o pentada 53.
PACÍFICO SUR	26-30/06 o pentada 36 hasta 24-28/09 o pentada 54.

4. Conclusiones

En el presente estudio se analizan las fluctuaciones de la evaporación y precipitación pentadal, en las diversas regiones climáticas de Costa Rica, utilizando el método FAO-56 para el cálculo de las series de evaporación. Al analizar las gráficas pentadales que contienen las series de evaporación

y precipitación se obtienen los umbrales para las épocas seca y lluviosa de cada región climática, además del veranillo, variando según la ubicación geográfica.

En dos de las seis estaciones estudiadas se observa un periodo canicular durante los meses de junio a agosto, que implica un periodo seco acompañado de un aumento de la evaporación durante el periodo definido como época lluviosa. El Pacífico Norte y el Región Central muestran claramente el clásico veranillo, asociado a un leve aumento de la evaporación y una disminución de la precipitación durante la época definida en la literatura como lluviosa, caracterizado por la aceleración de la velocidad del viento Alisio. La Zona Norte y Caribe muestran una disminución de los valores pentadales de la evaporación, que se relaciona con el aumento de la nubosidad generada por los vientos alisios. Para estas dos últimas regiones se aprecia una segunda disminución de dicho parámetro para los últimos y primeros meses del año, que se asocia al aumento del viento Alisio y a la disminución de la humedad relativa propia de la época.

Comparando los periodos seco, lluvioso y veranillo definidos por el IMN (2008), Alfaro (2002) y esta investigación, se evidencia que estos no coinciden perfectamente, pero si mantienen un comportamiento similar variando las fechas de inicio y finalización de cada periodo en algunos casos. A pesar de esto, estudios de este tipo ayudan a caracterizar el comportamiento anual y regional de la evaporación en nuestro país, lo que mejora el conocimiento sobre la dinámica atmosférica que gobierna la troposfera nacional.

Las diferencias observadas entre el modelo desarrollado, lo definido por el IMN (2008) y los resultados de Alfaro (2002), se deben a dos factores: en esta investigación se utilizan umbrales específicos para cada región climática del país, mientras que el IMN y Alfaro utilizaron la metodología descrita en Alfaro et al. (1998),

donde se emplea un único umbral de 25 mm para todo el país. Otro factor a considerar en dicha variación de fechas, es que el presente estudio analiza la razón entre las pentadas de evaporación y precipitación, en tanto que los investigadores citados definen las fechas de inicio y conclusión de la época seca y lluviosa basados únicamente en series de precipitación.

Un veranillo estrictamente definido como época seca, con ayuda del método propuesto, se encontró únicamente en el Región Central y Pacífico Norte, sin embargo, se aprecia un aumento de la evaporación durante los meses en que comúnmente ocurre el veranillo, excepto en el Caribe, donde dicho incremento se encuentra acompañado de una disminución de las precipitaciones en todas las estaciones a excepción de la Zona Norte.

Nuestro país como productor agrícola, tiene la necesidad de conocer de una forma certera las fechas del inicio y conclusión de las épocas seca y lluviosa, para cada subregión de la nación, así como las fechas y lugares afectados por el veranillo, además de los valores climatológicos de la evaporación a lo largo del año. Esto con el fin de evitar las pérdidas millonarias y el desempleo que generan los daños en las siembras, lo cual es producto de la alteración en las necesidades hídricas de los diversos cultivos que se producen.

El análisis de estas variables es indispensable en diversos sectores, tales como gestión de recurso hídrico, planificación, producción vegetal y estudios ambientales y ecológicos, entre otros. Las estadísticas de evaporación y evapotranspiración también son necesarias para la planificación y operación de empresas, canales de riego, irrigación y sistemas de drenaje.

5. Agradecimientos

Los autores están profundamente agradecidos con el Dr. Eric Alfaro, el Dr. Hugo Hidalgo y el

Lcdo. Luis Fernando Alvarado por sus valiosas sugerencias y comentarios. También expresan su agradecimiento al Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, por haber proporcionado los datos utilizados en esta investigación.

6. Referencias

- Alfaro, E. (2002). Some Characteristics of the Annual Precipitation Cycle in Central America and their Relationships with its Surrounding Tropical Oceans. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 9(2), 88-103.
- Alfaro, E., Cid, L. y Enfield, D. (1998). Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Investigaciones Marinas*. 26, 59-69.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56.
- Amador, J. (1984). *Algunos aspectos de la climatología de la cuenca del Río Parrita*. Informe Técnico N° 1, Proyecto de manejo-CORENA, Santiago de Puriscal, Costa Rica.
- Gamow, R. & Henry, W. (1972). The Rainy pentads of Central America. *Journal of Applied Meteorology*. 11, 637-642.
- Gray, C. (1993). *Regional meteorology and Hurricanes*. In: Maul, G. (Ed.) Climate Change in the Intra Americans Sea. Eduard Arnold, pp.87-99.
- Hernández, K. (2013). *Estudio de la evaporación en Costa Rica y su aplicación para determinar el inicio y conclusión de la época seca y lluviosa*. Tesis de grado para la Licenciatura en Meteorología. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Hidalgo, H., Cayan, D. & Dettinger, M. (2005). Sources of Variability of Evapotranspiration in California. *Journal of Hydrometeorology*, 6.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2008). *Segunda Comunicación Nacional de Costa Rica*. Estudio sobre Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica. San José, Costa Rica.

Uso de un criterio de validación cruzada para la evaluación de un método multivariado de relleno de datos

JOSÉ LUIS ARAYA LÓPEZ¹

Resumen

En este estudio se analiza la aplicación de una herramienta alternativa de relleno de datos mediante reducción de la dimensionalidad. Se ejemplifica la utilidad de esta herramienta con dos series temporales obtenidas de estaciones meteorológicas localizadas en la región central de Costa Rica. Con el fin de probar la eficacia del método, se usa el método de validación cruzada excluyendo un dato en cada realización, esto con el fin de determinar las diversas métricas del error. Se presenta una caracterización detallada de los errores asociados al proceso de relleno.

PALABRAS CLAVE: RELLENO, DATOS FALTANTES, COMPONENTES PRINCIPALES, METEOROLOGÍA, CLIMATOLOGÍA.

Abstract

This study discusses an alternative dimensionality reduction tool for imputing monthly surface temperature data. The features of this methodology are showcased using data generated by two automatic weather stations located on the central region of Costa Rica. In order to determine the efficiency of the method, a “leave-one-out” cross-validation procedure is applied. Model assessment was performed by calculating three different error metrics. A detailed characterization of these errors is presented.

KEY WORDS: IMPUTATION, MISSING DATA, PRINCIPAL COMPONENTS, METEOROLOGY, CLIMATOLOGY.

1. Introducción

Es un hecho conocido por los profesionales que lidian con datos en servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales (SMHN) que los sistemas de medición en ocasiones presentan problemas técnicos que pueden comprometer la integridad de los datos generados. Los valores faltantes pueden presentar inconvenientes debido a que la mayoría de los diversos métodos estadísticos no pueden ser aplicados de forma directa a datos incompletos (Josse y Husson, 2012). En muchos casos, el mantenimiento adecuado y un protocolo detallado para el aseguramiento de calidad pueden reducir al mínimo este tipo de problemas. Sin embargo, estas condiciones no siempre se cumplen. En tales circunstancias, puede que sea necesario tomar decisiones con respecto a los

métodos que han de aplicarse para la estimación de los datos faltantes.

Diversos métodos han sido probados con anterioridad para resolver el problema de información faltante en datos meteorológicos. Alfaro y Pacheco (2000) presentaron un estudio en el que describen y prueban un compendio de métodos de relleno de datos generados por la red de estaciones del Instituto Meteorológico Nacional (IMN). En dicho estudio los autores aplican métodos tales como el de regresión, de la razón, de la razón ajustada y de la razón-normal, a datos anuales de precipitación (provenientes de estaciones meteorológicas convencionales). Posteriormente, Alfaro y Soley (2009) proponen, implementan y validan la metodología relleno por componentes principales sobre un amplio conjunto de datos.

¹ Meteorólogo. Departamento de Información y Comercialización. Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: jaraya@imn.ac.cr

La técnica de componentes principales es ampliamente aplicada en climatología, ya que es un método no paramétrico que ofrece amplias posibilidades en la interpretación de datos multivariados. En el contexto de una red de estaciones establecida como la del Instituto Meteorológico Nacional, esta metodología resulta atractiva por el hecho de que se pueden generar datos estimados sobre un conjunto de series de datos en una sola corrida del método, de modo que si se cuenta con un conjunto de estaciones meteorológicas climáticamente similares es posible generar estimados de forma conjunta, sobre los datos de las estaciones meteorológicas analizadas. Una de sus ventajas es que la información multidimensional puede explicarse por un número reducido de variables (Wilks, 1995). El objetivo de este artículo es presentar un ejemplo del uso de una herramienta de relleno alternativa, desarrollada por Josse y Husson (2012), para datos meteorológicos (en particular para promedios mensuales de temperatura superficial del aire), además, interesa discutir sobre los errores que se obtienen al estimar información ausente con series datos generados por la red del Instituto Meteorológico Nacional.

Este trabajo se dividió de la siguiente manera: primeramente se incluyó un control preliminar con procedimientos de control de calidad, de modo que los valores sospechosos pudieran ser detectados, analizados y validados, además se procedió a efectuar pruebas sobre el caso trivial de dos series temporales mensuales, localizadas en el Valle Central de Costa Rica. Esto se hace a través de la generación métricas del error. Finalmente, se establecen las conclusiones y recomendaciones.

2. Datos y métodos

Los datos utilizados se obtuvieron de estaciones meteorológicas automáticas (EMA) ubicadas en la región central de Costa Rica. El [cuadro 1](#) muestra las coordenadas geográficas y la altitud de las EMA seleccionadas en este análisis.

Para efectos de este trabajo, se usarán acrónimos para referirse a los datos de la estación localizada en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría (AJSM) y los de la estación experimental Fabio Baudrit (Fabio). Los datos utilizados corresponden a registros horarios, almacenados en la base de datos oficial del Instituto Meteorológico Nacional. Para ello se extrajo toda la información de temperatura superficial del aire, entre los periodos de agosto de 1997 hasta el noviembre del 2014. El tratamiento efectuado a los datos fue el siguiente:

- 1) Extracción de la información de la base de datos.
- 2) Control de calidad exploratorio de los datos.
- 3) Generación de reportes de datos mensuales. Para la generación del promedio se utilizaron meses en los cuales se cuenta con al menos el 70% de los datos.

Se tomaron en cuenta una serie de criterios que se consideran fundamentales para que exista cierta correspondencia climática entre los datos de las diversas series:

- 1) El conjunto de estaciones meteorológicas deben encontrarse en la misma región climática y/o tener cierta cercanía geográfica entre ellas.
- 2) Las estaciones deben tener una elevación similar.
- 3) Altas correlaciones entre las series.

Cuadro 1: Conjunto de estaciones meteorológicas utilizadas

Número	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
84169	Aeropuerto Internacional Juan Santamaría	9,98	-84,17	913
84187	Estación experimental Fabio Baudrit	10,00	-84,25	840

La figura 1 muestra que al comparar ambas series, existe una proporción de datos faltantes cuando se comparan en el periodo de análisis previamente señalado. Puede notarse que existe un porcentaje de datos faltantes en los datos de AJSM. Debido a que las series temporales ejemplificadas aquí muestran datos faltantes al inicio de los periodos de registro, se ha procedido a tomar un subconjunto de los datos para poder hacer las pruebas de validación cruzada. Con el fin de poder excluir y estimar un dato por cada realización, se consideró necesario contar con un registro común completo para ambas series. En este trabajo se emplea el método de “validación cruzada excluyendo un dato” (LOOCV: *Leave-one-out cross-validation*, en inglés). LOOCV requiere que se separe el conjunto de datos en dos partes, una única observación (x_1, y_1) y el resto de los datos $\{(x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$, el cual es el conjunto de datos de entrenamiento (*training set*) (James, *et al.*, 2013). En el caso que se muestra en este estudio, el período de análisis va de noviembre de 1998 hasta noviembre del 2014, para un total de 16 años exactos, con un total de 193 filas con dos columnas. Finalmente, se estimaron 386 modelos para la estimación de cada uno de los datos usando un conjunto de datos de prueba distinto en cada uno de los ensayos.

La métrica del error utilizado en este trabajo es el Error Medio Absoluto (MA: *Mean Absolute Error*, siglas en inglés), el cual es muy utilizado para poder cuantificar cuan buenas son las predicciones de los modelos. El error medio absoluto esta definido por la relación (Willmott y Matsuura, 2005):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n} \quad (1)$$

Si no se toma en cuenta el valor absoluto en (1), el error medio absoluto llega a ser lo que se conoce como el Error de Sesgo Promedio (MBE para *Mean bias error*, siglas en inglés)

$$MBE = n^{-1} \sum_{i=1}^n e_i = \bar{p} - \bar{o} \quad (2)$$

donde \bar{p} y \bar{o} son los promedios de los valores predichos y observados respectivamente. Luego

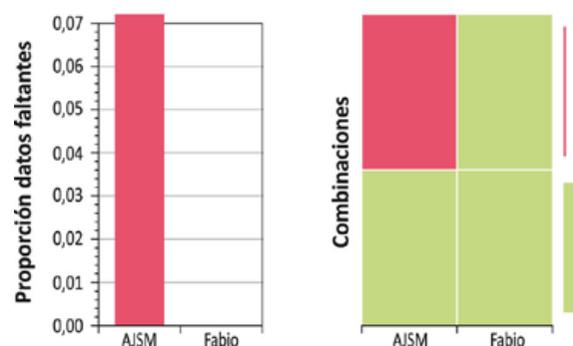


Figura 1. Proporción de datos faltantes en las series de datos analizadas

se generaron algunas estadísticas antes y después del proceso de relleno de datos.

La otra métrica importante utilizada comúnmente es el Error Medio Cuadrático (RMSE: *Root Mean Square Error* del inglés) la cual se expresa de la siguiente forma:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} \quad (3)$$

3. Discusión y resultados

Previo al análisis, se efectuó una desestacionalización de las series mensuales usando el método de las anomalías, esto con el objetivo de disminuir el efecto de correlación serial típico en estas series temporales, metodología sugerida por Soley (2005). La figura 2 muestra las series resultantes de la desestacionalización. Lo que se hizo fue extraer los promedios mensuales históricos de las series y generar series de estos promedios. Dichos promedios fueron restados de las series originales para generar anomalías mensuales. También se inspeccionó la condición de normalidad de las series de anomalías, encontrándose que los datos en su mayoría son apropiadamente descritos por una distribución gaussiana. Seguidamente, se procedió a efectuar un test de independencia entre las anomalías, para lo cual se utilizó una prueba de asociación entre muestras pareadas usando las pruebas de Spearman y Pearson (Wilks, 1995), a un nivel de confianza del 95%. Se encontró que existe

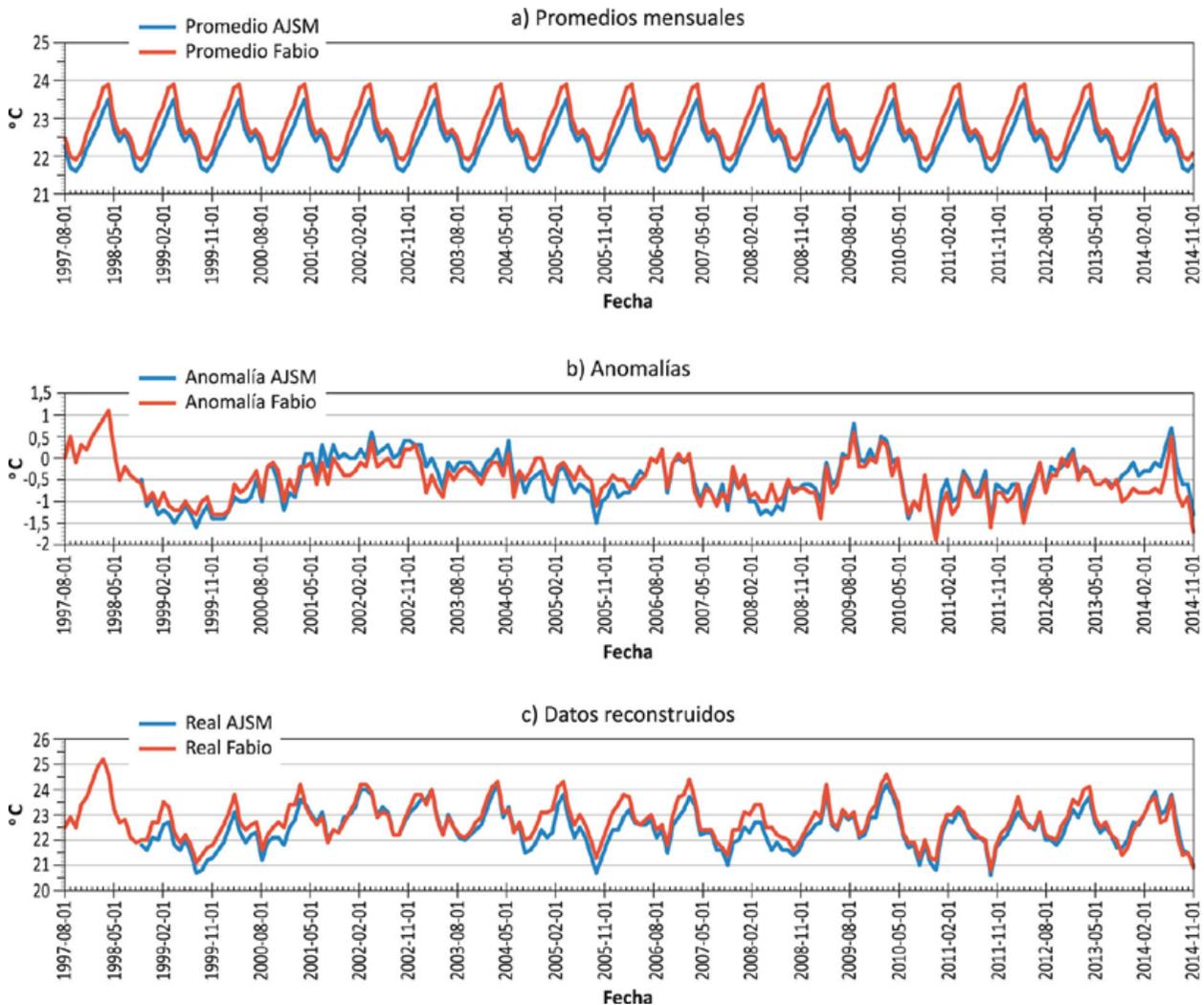


Figura 2. Conjunto de anomalías mensuales de las series analizadas.

evidencia para aceptar la hipótesis alternativa de que existe una correlación significativa entre ambas series. La figura 3 muestra la matriz de correlación cruzada para el conjunto de datos. El coeficiente de correlación obtenido entre ambas series fue de 0,87. El grado de correlación entre las dos variables también puede apreciarse en el círculo de correlaciones de la figura 3. Nótese que el ángulo entre los vectores es pequeño y ambos

tienden a alinearse en la dirección de la primera componente principal.

El cuadro 2 muestra los valores propios calculados para la matriz de datos mensuales, el porcentaje de varianza por autovalor que explica cada una de estas componentes principales y el porcentaje de varianza acumulada. Apoyando lo evidenciado en el círculo de correlaciones de la figura 3, se puede

Cuadro 2: Componentes principales y varianza explicada

Componente principal	Valor propio	Porcentaje de varianza	Porcentaje de varianza acumulada
1	1,9	94,9	94,9
2	0,1	5,1	100

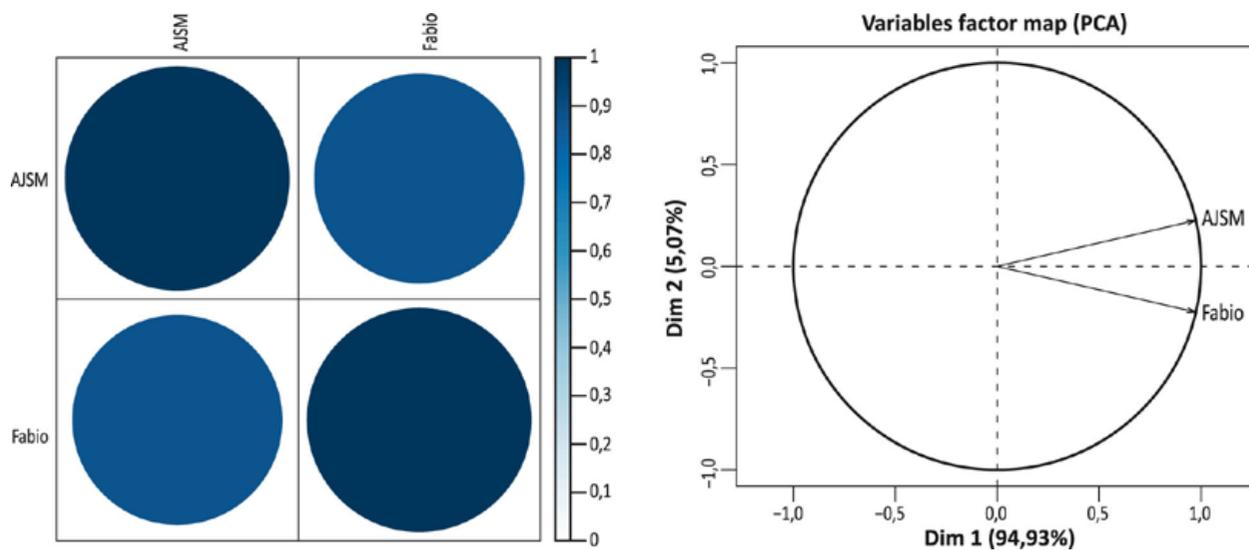


Figura 3. Visualización de matriz de correlación cruzada y círculo de correlaciones de la nube de datos proyectada sobre las dos componentes principales.

observar que ya con la primera componente se explica el 94,9% de la varianza. La aproximación de cuantas componentes principales retener fue efectuada aplicando una rutina de cálculo del número óptimo de componentes principales usando validación cruzada (Josse y Husson, 2012). Para todas las realizaciones efectuadas en el método de validación cruzada LOOCV descrito, se retiene la primera componente principal.

La figura 4 muestra el cálculo de las componentes principales para ambas series. Dado que es una nube de puntos en un espacio bidimensional, en la figura 4 se aprecia la nube completa. Del mapa de factores es claro que la mayor variabilidad de los datos se da a lo largo de la primera componente principal. Esto es consistente con lo mostrado en el círculo de correlaciones y muestra que para efectos de los datos representados será suficiente con preservar la primera componente principal.

Las figuras 5 y 6 muestran los errores de sesgo, absolutos y cuadráticos, para cada una de las realizaciones efectuadas usando LOOCV, junto con los histogramas de frecuencias de los errores asociados. Nótese cómo en el caso de los errores de sesgo, la mayor cantidad de valores se distribuyen

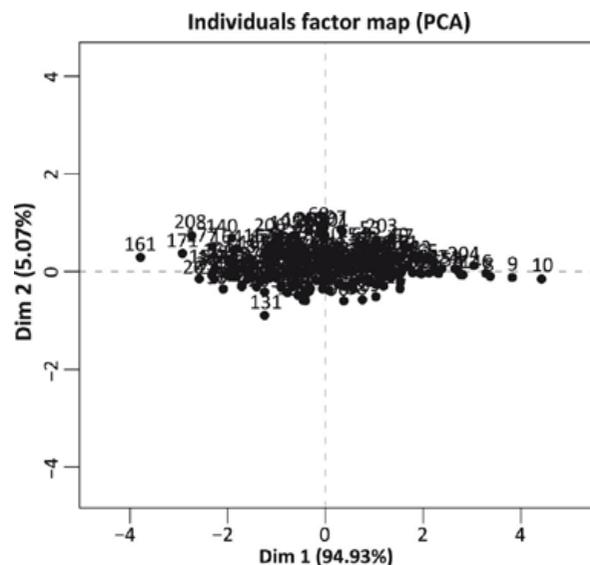


Figura 4. Mapa de factores de las dos primeras componentes principales.

en torno a cero, siguiendo aproximadamente una distribución simétrica. Se puede observar que los errores absolutos se distribuyen en forma de una distribución sesgada a la izquierda, lo cual tiene sentido debido a que esta distribución es generada a partir de los valores absolutos de los errores de sesgo. Finalmente, se muestrea en las figuras 5 y 6 los errores cuadráticos. A partir de todo el conjunto de estas métricas se calcula

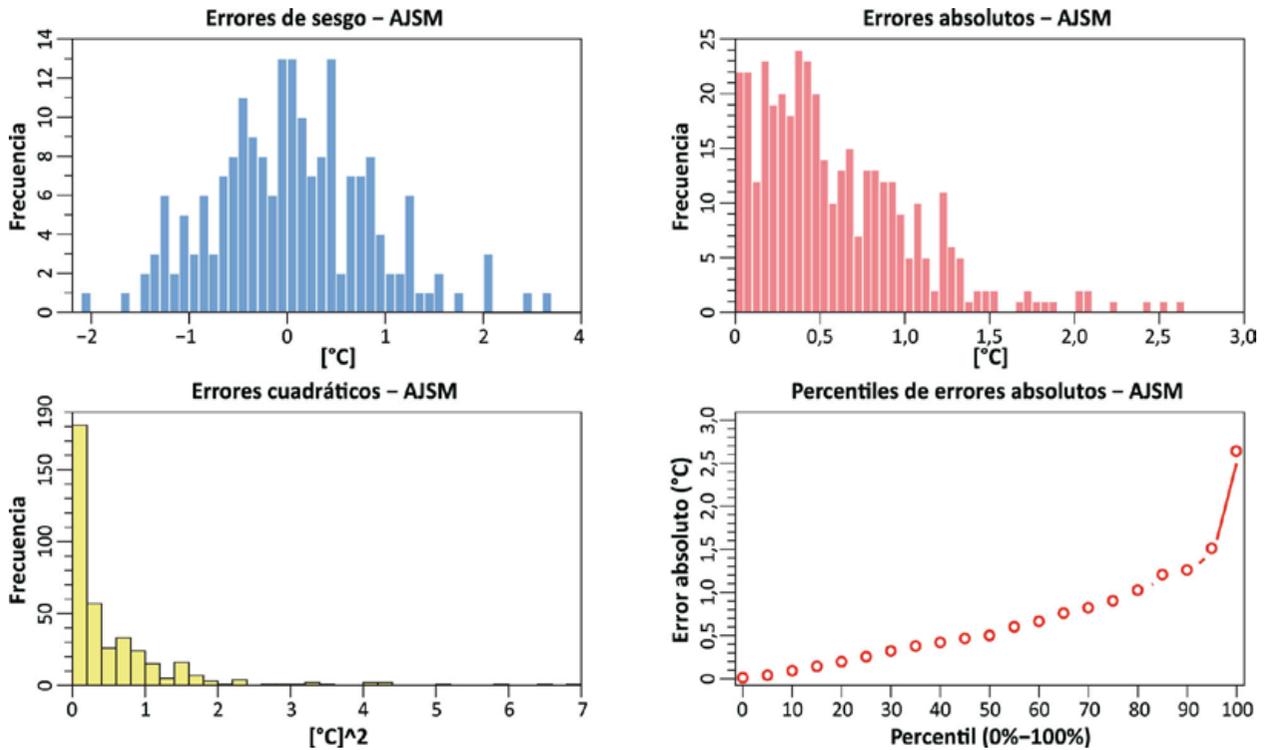


Figura 5. Cálculo y visualización de errores varios para la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

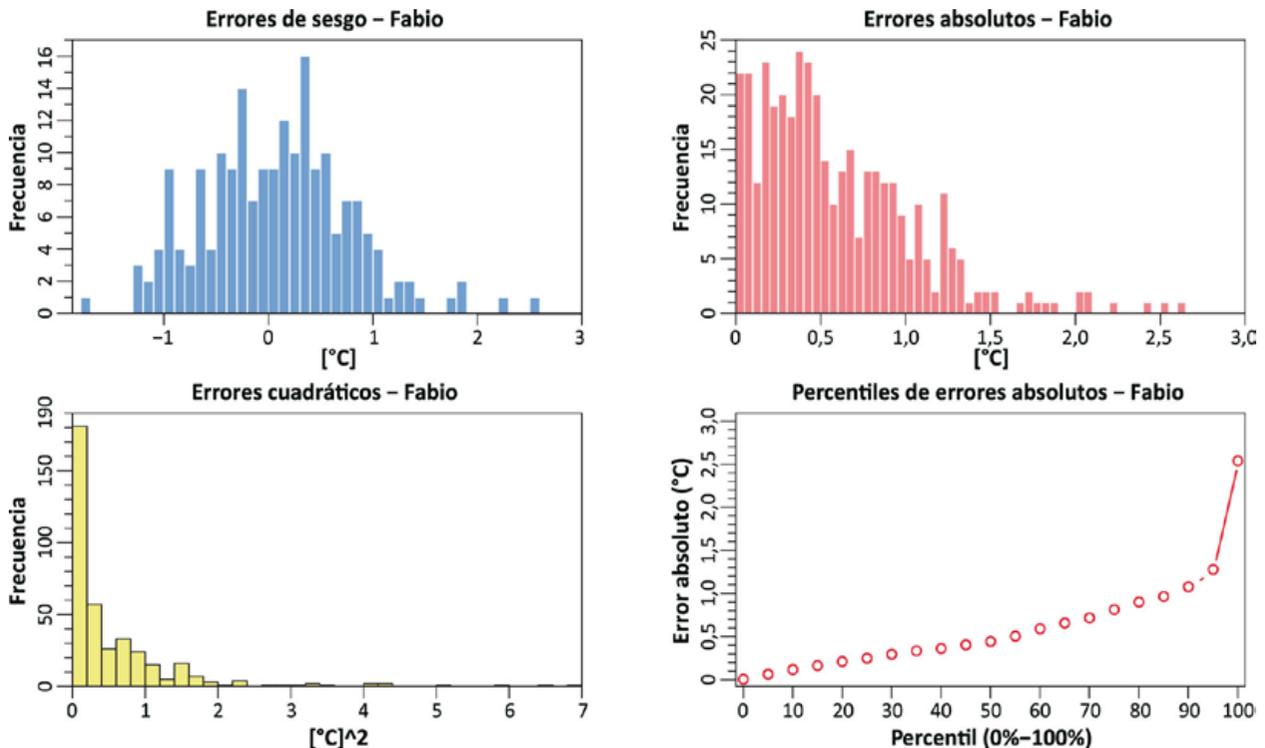


Figura 6. Cálculo y visualización de errores varios para la estación meteorológica de Fabio Baudrit.

MBE, MAE y RMSE. Nótese que en estas figuras los errores absolutos se agrupan en función de sus percentiles.

Adicionalmente, las figuras 7 y 8 muestran la reconstrucción de las anomalías estimadas en comparación con las anomalías reales. Para

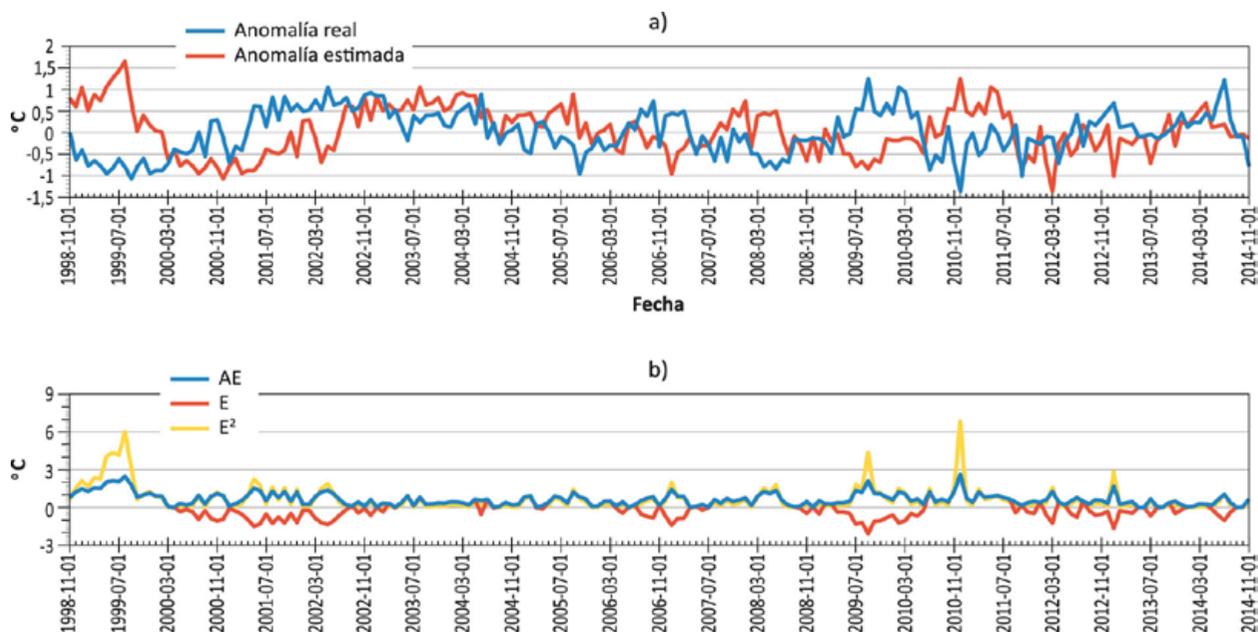


Figura 7. Errores para datos del aeropuerto Internacional Juan Santamaría: a) Anomalías reales y estimadas usando el criterio de validación excluyendo un dato (LOOCV). b) Errores medios absolutos (MAE), Errores (E) y error cuadrático (E^2) de las estimaciones.

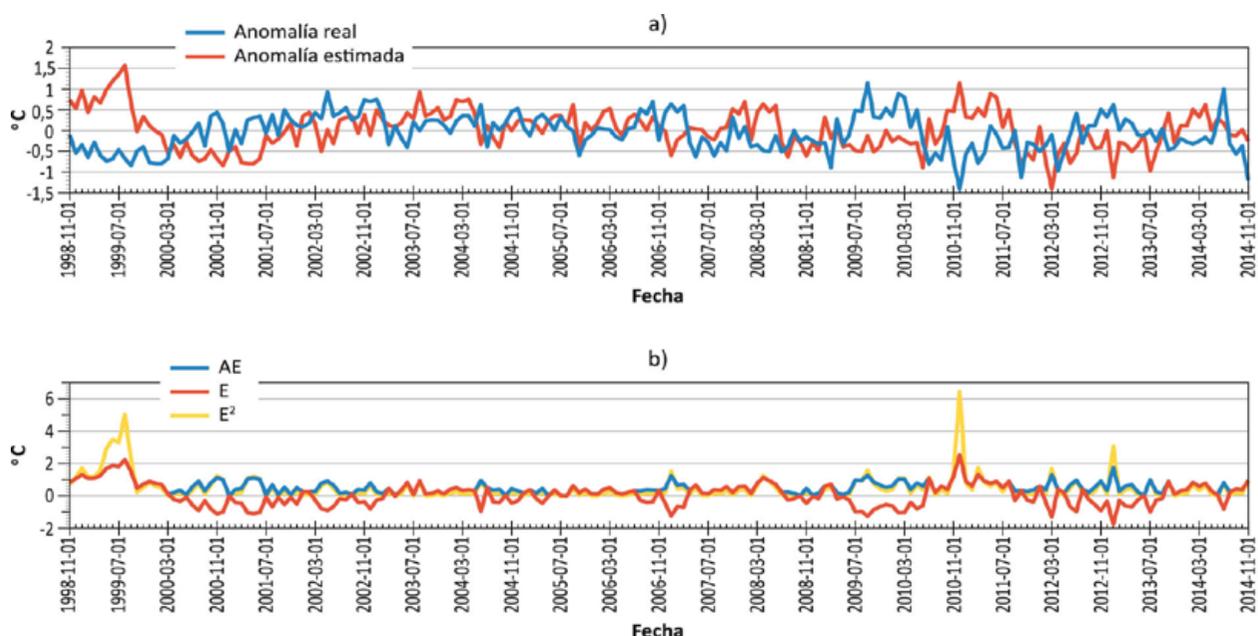


Figura 8. Errores para datos del estación experimental Fabio Baudrit: a) Anomalías reales y estimadas usando el criterio de validación excluyendo un dato (LOOCV). b) Errores medios absolutos (MAE), Errores (E) y error cuadrático (E^2) de las estimaciones.

ambas EMAs existen periodos en los cuales la diferencias entre los valores reales y estimados tienden a discrepar en mayor medida y que destacan como picos en los errores cuadráticos medios representados.

De las diversas ejecuciones efectuadas con el método LOOCV se obtuvo el conjunto de errores usando la fórmula del error MAE, cuyos percentiles de 0 a 100% se muestran en las figuras 5 y 6 para los datos de los errores MAE generados. Se puede notar, que el percentil 25 de estos errores es 0,25°C, el percentil 75 corresponde a aproximadamente 0,86°C. Además la razón de cambio de los errores MAE con los percentiles,

se comporta de forma aproximadamente regular hasta cierto valor límite, por encima del cual se presenta un incremento abrupto de la pendiente y con ello los errores MAE de mayor magnitud.

La figura 9 muestra los gráficos de cajas y bigotes para los datos reales (datos eliminados en el proceso de validación cruzada), el dato estimado, el error absoluto y el error en las diversas ejecuciones.

El cuadro 3 muestra los errores generados por estación, tanto individualmente como en conjunto, donde los datos de la estación AJSM son los que presentan mayores errores MBE, MAE y RMSE.

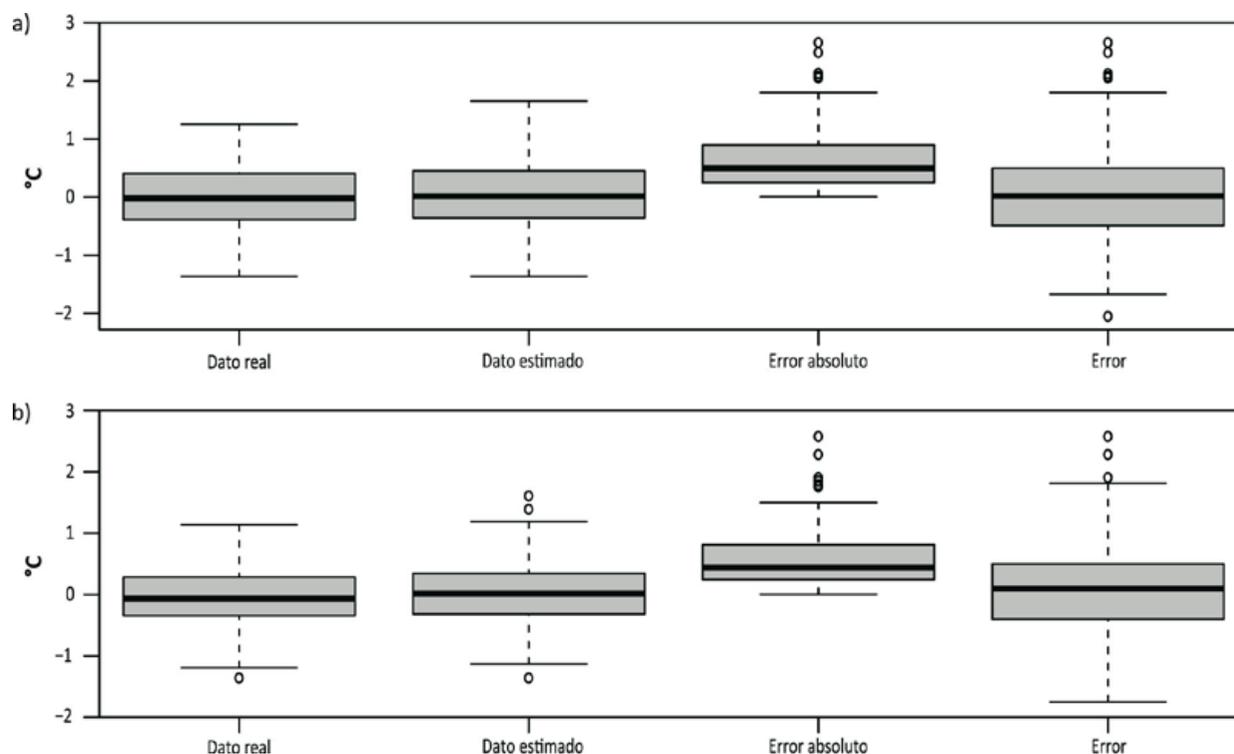


Figura 9. Gráfico de cajas y bigotes para los errores: a) Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. b) Estación Experimental Fabio Baudrit.

Cuadro 3: Errores por estación

Estación	MBE	MAE	RMSE
Aeropuerto Internacional Juan Santamaría	0,04	0,63	0,81
Estación experimental Fabio Baudrit	0,07	0,56	0,70

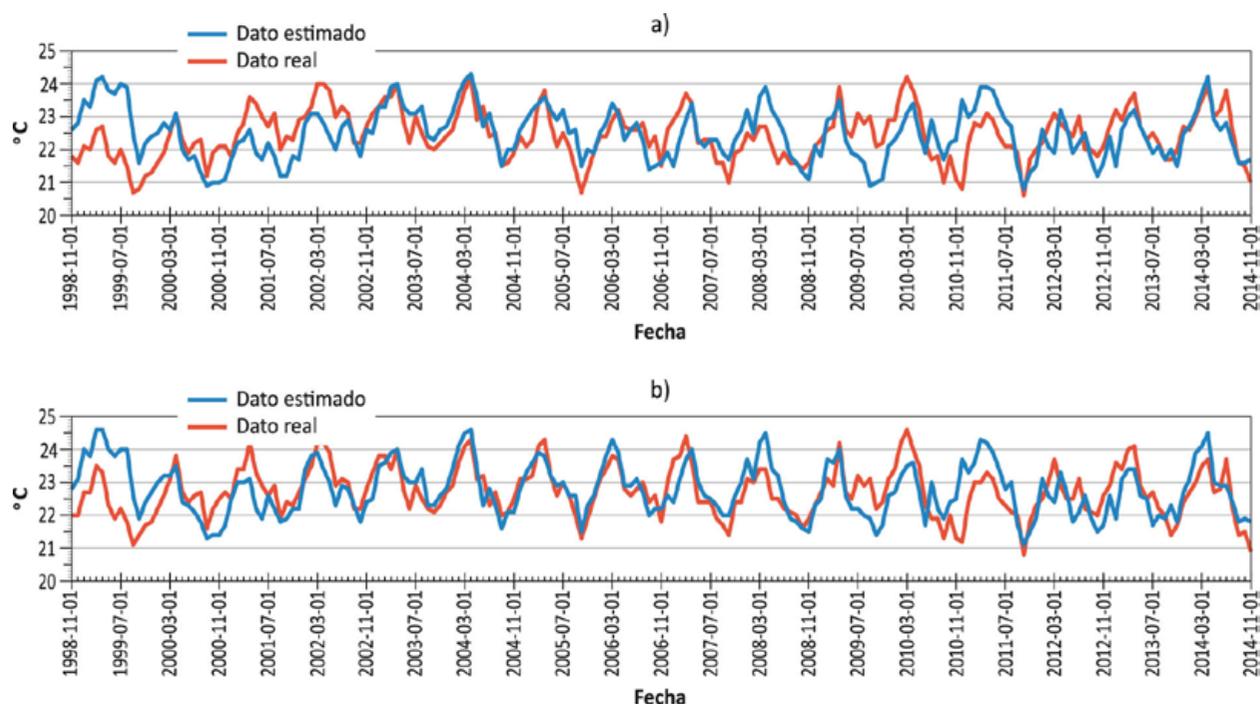


Figura 10. Datos mensuales reconstruidos a partir de los valores rellenados y su relación con el dato real: a) Datos Aeropuerto Internacional Juan Santamaría b) Datos de la estación experimental Fabio Baudrit.

Finalmente, la figura 10 muestra la reconstrucción de los datos reales en el tiempo mediante la suma a las estimaciones de los valores promedio que fueron extraídos y que se muestran en la figura 2. Nótese que los gráficos mostrados en la figura 10 corresponden a una reconstrucción de la serie, donde cada uno de los datos fue reconstruido partiendo de las ejecuciones del proceso de validación cruzada (LOOCV), por lo que estos gráficos muestran la variación del valor real con respecto al dato estimado, en cada uno de los meses.

4. Conclusiones

En caso de que se considere el uso de datos rellenados para alguna aplicación, la caracterización de los errores cometidos en el proceso de relleno resulta una herramienta útil para poder informar al usuario el error y el porcentaje de datos que pueden estar dentro de sus márgenes, así como para determinar la calidad de la metodología de

relleno utilizada. Esto permite determinar si los resultados obtenidos se alinean a las expectativas del analista. Para los datos analizados se observó que en el 85% se puede esperar diferencias menores a $1,1^{\circ}\text{C}$. Los valores superiores a ese valor son un porcentaje pequeño (15%), sin embargo, pueden llegar a ser de hasta de $2,6^{\circ}\text{C}$ en algunos casos. También se pueden esperar errores medios absolutos cercanos a $0,6^{\circ}\text{C}$ en promedio, además, las diferencias entre valores estimados y valores reales son en un porcentaje considerable de los casos (60%) inferiores a ese valor.

Este tipo de validación ha permitido entender con mayor detalle, la magnitud de los errores que se pueden esperar a la hora de estimar datos faltantes usando el algoritmo de relleno de datos de Josse y Husson (2012), para el caso particular de datos mensuales de temperatura superficial del aire, de dos series de tiempo meteorológicas. La decisión de si la magnitud de los errores obtenidos en este ejemplo es aceptable o no, depende del objetivo para el cual se requieran

las series completas y de los objetivos del estudio. Queda a decisión del usuario decidir si las estimaciones de esta metodología pueden contribuir de alguna manera al mejoramiento de su análisis.

Estas validaciones pueden ser útiles para otro conjunto de estaciones, de forma que se pueda ir caracterizando mejor la magnitud de este error en las diversas regiones climáticas del país, esto conforme se vayan agregando nuevas estaciones a la red actual y se generen series meteorológicas más robustas estadísticamente considerando la disponibilidad de estaciones idóneas para el relleno, ubicación geográfica, altitud, parámetros meteorológicos y resolución tanto espacial como temporal.

Una desventaja de este método de validación cruzada, es que es útil para efectos de estimación de errores, por lo que se debe considerar que la distribución de valores faltantes en las series reales no siguen un patrón tan regular como el sugerido en estos métodos, de allí que puede ser útil caracterizar con más detalle la distribución temporal de los espacios de datos faltantes y la distribución actual de la red puede comprometer la estimación de métodos de relleno como el presentado en este análisis.

5. Bibliografía

- Alfaro, R., Pacheco, R. (2000). Aplicación de algunos métodos de relleno a series anuales de lluvia de diferentes regiones de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 7(1):1-20,2000.
- Alfaro, E.J., Soley, F.J. (2009). Descripción de dos Métodos de Rellenado de Datos Ausentes en series de Tiempo Meteorológicas. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*. 16(1): 60-75.
- James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. (2013). *An introduction to Statistical Learning. Springer Texts in Statistics*. 426 pp.
- Josse, J., Husson, F. (2012). Handling missing values in exploratory multivariate data analysis methods. *Journal de la Société Française de Statistique*. 153(2),79-99.
- Soley, J. (2005). *Desestacionalización de secuencias cronológicas*. Universidad de Costa Rica. 28pp.
- Wilks, D.S., 1995: *Statistical Methods in Atmospheric Sciences*. Academic Press, Inc., 466pp.
- Willmott, C.J., Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*. 30: 79-82.

Comparación de la emisión de óxido nitroso en el sector cafetalero de Costa Rica para el 2013, utilizando los niveles 1 y 2 de IPCC

JOHNNY MONTENEGRO BALLESTERO¹

Resumen

El óxido nitroso (N_2O), es un potente gas con efecto invernadero que se deriva entre otras fuentes de la aplicación de nitrógeno al suelo en las actividades agropecuarias. La actividad cafetalera, al igual que otros sectores agrícolas donde se aplica fertilizante nitrogenado, contribuye con la emisión de este gas existiendo un interés creciente en la cuantificación del mismo. Con el desarrollo e implementación de un NAMA cafetalero en Costa Rica es de mucha importancia disponer de datos que muestren la realidad de la emisión de este gas. Por esta razón se utilizaron diferentes metodologías para comparar la emisión de óxido nitroso derivada de la aplicación de fertilizante nitrogenado a las plantaciones de café en Costa Rica, durante el 2013.

Esta investigación hace uso de una consulta que se realizó durante marzo del 2015 a funcionarios del ICAFE que se ubican en las distintas regiones productoras de café del país, la cual se enfocó en aspectos relacionados con la aplicación de fertilizantes en las plantaciones. Solo se consideró la emisión directa por esta variable. Las estimaciones se basaron en dos métodos: nivel 1 de IPCC con dos diferentes niveles de información y, nivel 2 de IPCC con estimaciones realizadas con factores nacionales, en conjunto con criterio de experto.

Los resultados muestran que la cantidad de fertilizante nitrogenado aplicada a las plantaciones de café varía según la región productora, existiendo cierto paralelismo con la productividad obtenida. También se detectaron diferencias en la cantidad de óxido nitroso emitido entre las diferentes regiones productoras.

La magnitud de la emisión del N_2O por la aplicación de fertilizante nitrogenado fue similar cuando se utiliza el nivel 1 del IPCC y diferente nivel de información, siendo mayor la emisión cuando se utiliza el nivel 2 de IPCC.

PALABRAS CLAVE: CAFÉ, ÓXIDO NITROSO, EMISIÓN, GASES CON EFECTO INVERNADERO

Abstract

Nitrous oxide (N_2O) is a powerful greenhouse gas that is emitted among other sources, by the application of nitrogen to the soil in agricultural activities. Coffee plantations like other agricultural sectors where nitrogen fertilizer is applied, contributes to the emission of this gas. Because of the development and implementation of a coffee NAMA in Costa Rica there is a growing interest in the quantification of this gas. For this reason, different methodologies were used to compare the emission of N_2O derived from the application of nitrogen fertilizers to coffee plantations in Costa Rica during 2013. This research was based on a consultation held during March of 2015, to Icafe officials that are located throughout the country, which focused on aspects related to the application of nitrogen fertilizers. Only the direct emission for this variable was considered.

The emission estimates were based on two methods: IPCC with two different levels of information, and estimates made with national emission factors in conjunction with expert criteria.

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

The results showed that the amount of nitrogen fertilizer applied to coffee plantations varies depending on the growing region, and that there are some parallels with the obtained productivity according to region. Differences in the amount of N₂O emitted between different regions were also detected.

The magnitude of the emission of N₂O by the application of nitrogen fertilizer was similar when using the Tier I methodology proposed by the IPCC and different levels of information, however, it was greater when using the emission factors applied in the National Inventory of Greenhouse Gases.

KEY WORDS: COFFEE PLANTATION, NITROUS OXIDE, GREENHOUSE GASES EMISSION

1. Introducción

Los sistemas de producción agrícola se encuentran dentro de las actividades humanas que emiten gases con efecto invernadero a la atmósfera. Si bien esos gases se generan como consecuencia de diferentes procesos naturales que ocurren por la acción de los microorganismos del suelo, algunos de ellos son estimulados por diferentes prácticas agrícolas que se realizan durante el proceso productivo tal como la fertilización nitrogenada.

En este sentido, el sector cafetalero al igual que otras actividades agropecuarias donde se aplica este tipo de fertilizante, contribuye con la emisión de óxido nitroso (N₂O), un poderoso gas con efecto invernadero debido a su gran potencial de calentamiento.

Es por ello que surgen cuestionamientos tales como: ¿cuál es la magnitud de la emisión de N₂O por la actividad cafetalera costarricense? ¿Existen diferencias en la cantidad emitida de este gas entre las distintas regiones productoras de café?, las cuales requieren respuesta para tener un panorama claro de la relación de esta actividad con el cambio climático.

Por esta razón, existe un interés creciente en la cuantificación de la emisión de este gas y en el caso de Costa Rica donde se está iniciando el desarrollo e implementación de un NAMA cafetalero, es de vital importancia disponer de este tipo de información. Actualmente existen datos provenientes del Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero del 2010 (Chacón,

Jiménez, Montenegro, Sasa y Blanco, 2014), sin embargo, es necesario tener mayor disponibilidad de datos que puedan ser utilizados como comparadores en el tiempo y de paso conocer, tan precisa como sea posible, la emisión producida como consecuencia de esta actividad económica agrícola, de gran importancia para el país. Existen reportes (Centro Mario Molina, 2007; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013) donde se pueden observar los resultados de años base, sin embargo, no fue posible ubicar un año o línea base para la actividad cafetalera.

De acuerdo con lo anterior, la presente investigación se realizó con los objetivos de:

- 1) Comparar la estimación de la emisión de óxido nitroso derivada de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, en las plantaciones de café en Costa Rica, utilizando dos diferentes metodologías.
- 2) Desarrollar valores promedio y rangos de emisión para cada región productora de café.
- 3) Contribuir con información que pueda ser de utilidad, para reducir la incertidumbre asociada al reporte de este tipo de gas con efecto invernadero proveniente de este sector agrícola.

2. Materiales y métodos

Esta investigación se inició a partir de una consulta que se realizó durante marzo del 2015 a funcionarios del ICAFE, que se ubican en las distintas regiones productoras de café del país,

la cual se enfocó en aspectos relacionados con la aplicación de fertilizantes en las plantaciones.

La información recolectada permitió determinar las formulaciones de fertilizantes utilizadas, así como las más comúnmente empleadas en cada una de las regiones productoras definidas por el ICAFE. Asimismo, se compiló la información de la cantidad de fertilizante promedio aplicada y también el mínimo y el máximo. Además, se obtuvo información relacionada con la proporción de fincas que realizan una, dos, o tres fertilizaciones en el año agrícola en cada región y el área afectada por cada una de ellas.

En este sentido y como referencia, la primera fertilización normalmente se realiza a finales de mayo o principios de junio, cuando las lluvias ya se han establecido, la segunda fertilización se efectúa en julio-agosto y finalmente la tercera, conocida como extra nitrogenada, se aplica a finales de octubre o principios de noviembre. Usualmente y con pequeñas variaciones, todas las regiones fertilizan en épocas similares.

De igual forma como parte de la información solicitada a los técnicos del ICAFE, se les consultó específicamente para obtener un aproximado lo más preciso posible de las áreas del cultivo de café que son plantadas bajo sombra y sin la utilización de ésta.

Adicionalmente, se accedió información del área sembrada en cada una de las regiones productoras y los rendimientos productivos obtenidos, la cual fue proporcionada directamente por el ICAFE. Con respecto a la producción, está expresada en fanegas lo cual es equivalente a dos doble hectolitros (Dhl).

Para realizar este análisis, la cantidad de fertilizante se expresó como nitrógeno elemental aplicado a la plantación en cada uno de los eventos de fertilización anotados anteriormente y solo se consideró la emisión directa por esta

variable. Se utilizaron dos diferentes métodos para estimar la emisión de N_2O proveniente de la fertilización nitrogenada aplicada. Una de las metodologías empleadas es el Nivel 1 sugerido por el IPCC (2006), la cual se utilizó con dos rangos de información (AI y AII), el año de referencia fue el 2013.

Los métodos utilizados para realizar la estimación de la emisión del óxido nitroso fueron:

- A.I.** IPCC Nivel I. Para cada región productora se estimó la emisión de N_2O de acuerdo con la cantidad promedio de N aplicado, así como el máximo y el mínimo.
- A.II.** Igual que la anterior (IPCC Nivel I), pero en este caso la emisión se calculó con base en el área estimada que es afectada por cada evento de fertilización, en cada región productora.
- B.** Se estimó la emisión del N_2O utilizando los factores de emisión nacionales empleados en el Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero (INGEI), los cuales se aplicaron al área estimada manejada con y sin sombra en cada una de las regiones productoras.

3. Resultados

3.1. Información del manejo de la fertilización

En general, las fórmulas de fertilizante utilizadas en las plantaciones cafetaleras son muy similares, siendo la 18-5-15-6-0,2 la de mayor aplicación; con respecto a la extra de nitrógeno (N), el nitrato de amonio es el fertilizante más empleado (cuadro 1).

El área de café cultivado bajo la influencia de la sombra, representa entre el 70% y el 95% del total del área sembrada dependiendo de la región productora y no se determinó diferenciación alguna en la cantidad de fertilizante aplicado

Cuadro 1. Área total (ha), con y sin sombra (%), fórmulas empleadas y cantidad de nitrógeno aplicado por unidad de área según región productora. Costa Rica, 2015

Región/ Fertilización	Área, ha	Área, % con sombra	Área, % sin sombra	Fórmulas empleadas	Fórmula más común	Rango* kg N ha ⁻¹	Prom. aplicado kg N ha ⁻¹	Total anual, kg N ha ⁻¹
Valle Occidental	23.616	80	20					157
Primera				18-5-15-6-0,2 18-2-14-8-0,2	18-5-15-6-0,2	33 - 57	45	
Segunda				18-5-15-6-0,2 18-2-14-8-0,2	18-5-15-6-0,2	33 - 57	45	
Extra				Magnesamón Nitrato de amonio	50% 50%	49 - 69 50 - 90	59 75	
Pérez Zeledón	13.821	95	5					155
Primera				18-5-15-6-0,2 18-3-20 15-3-32	18-5-15-6-0,2	32 - 49	40	
Segunda				18-5-15-6-0,2 18-3-20 15-3-32	18-5-15-6-0,2	32 - 49	40	
Extra				Nitrato de amonio Magnesamón	Nitrato de amonio	60 - 90	75	
Coto Brus	8.947	95	5					164
Primera				18-5-15-6-0,2 18-3-20 19-4-19	18-5-15-6-0,2	32 - 81	57	
Segunda				18-5-15-6-0,2 18-3-20 19-4-19	18-5-15-6-0,2	32 - 81	57	
Extra				Nitrato de amonio Magnesamón	Magnesamón	40 - 59	50	
Los Santos	23.353	95	5					205
Primera				18-5-15-6-0,2 17-3-12-6 19-4-19-2 17-6-18-5	18-5-15-6-0,2	48 - 81	65	
Segunda				18-5-15-6-0,2 17-3-12-6 19-4-19-2 17-6-18-5	18-5-15-6-0,2	48 - 81	65	
Extra				Magnesamón Nitrato de amonio	Nitrato de amonio	60 - 75	75	
Valle Central	14.892	70	30					217
Primera				18-5-15-6-0,2 18-2-14-8-0,2 15-3-22-6-0,2	18-5-15-6-0,2	27 - 49	65	
Segunda				18-5-15-6-0,2 18-2-14-8-0,2 15-3-22-6-0,2	18-5-15-6-0,2			
Extra				Nitrato de amonio Magnesamón	Nitrato de amonio Magnesamón	90 - 120 69 - 99	105 84	
Turrialba	6.850	70	30					189
Primera				18-5-15-6-0,2 15-3-22-6-0,2	18-5-15-6-0,2	49 - 65	57	
Segunda				18-5-15-6-0,2 15-3-22-6-0,2	18-5-15-6-0,2	49 - 65	57	
Extra				Nitrato de amonio Magnesamón	Nitrato de amonio	60 - 90	75	

Cuadro 1. Continuación

Región/ Fertilización	Área, ha	Área, % con sombra	Área, % sin sombra	Fórmulas empleadas	Fórmula más común	Rango* kg N ha ⁻¹	Prom. aplicado kg N ha ⁻¹	Total anual, kg N ha ⁻¹
Zona Norte	2.292	95	5					190
Primera				18-5-15-6-0,2 18-3-20-6-0,2	18-5-15-6-0,2		48	
Segunda				18-5-15-6-0,2 18-3-20-6-0,2	18-5-15-6-0,2		48	
Extra				Nitrato de amonio Urea	Nitrato de amonio		94	
Área total, ha	93.774	80.106	13.668					

* Cantidad mínima y máxima aplicada

por la utilización o no de sombra, por lo que no se realizó división con esta variable por uso de fertilizante.

Con respecto al total de N aplicado (kg ha⁻¹), las regiones productoras se pueden clasificar en tres grupos: el primero constituido por el Valle Occidental, Pérez Zeledón y Coto Brus, donde se utiliza la menor cantidad de este nutrimento; el segundo grupo lo conformaron Los Santos y el Valle Central, con los mayores niveles de fertilización y finalmente el tercer grupo fue integrado por Turrialba y Zona Norte con niveles intermedios (cuadro 1).

3.2. Productividad y uso de fertilizante nitrogenado

Con respecto a la producción de café observada en la cosecha 2012-2013 y la cantidad de N aplicado, se pudo determinar que con excepción del Valle Occidental y particularmente en la Zona Norte, se evidencia cierto paralelismo que muestra que la productividad está asociada a la cantidad de nitrógeno aplicado (figura 1), aunque la respuesta productiva también está influenciada por el manejo, clima y suelo, entre otros factores.

El rango observado en la línea del nitrógeno (figura 1) representa la cantidad mínima y máxima aplicada (cuadro 1).

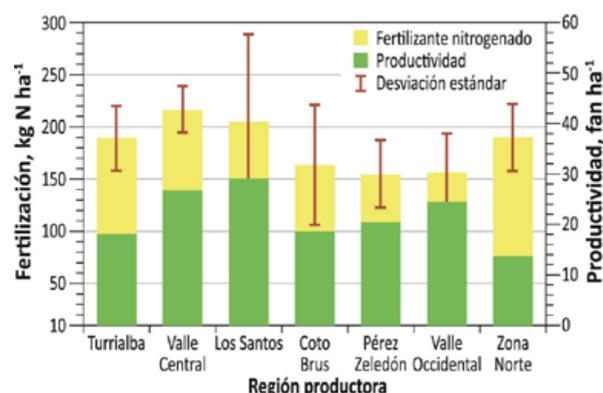


Figura 1. Cantidad de nitrógeno aplicado (kg ha⁻¹) y productividad (fan ha⁻¹) según región productora de café. Costa Rica, 2015.

3.3. Estimación de la emisión de óxido nitroso para el 2013

3.3.1 IPCC Nivel I (AI)

La emisión total de N₂O estimada con la metodología AI fue diferente entre regiones productoras. Mayor emisión fue estimada en Los Santos, seguido del Valle Occidental y la menor en la Zona Norte, valores intermedios fueron estimados en las restantes regiones (figura 2).

Los rangos que se observan en la emisión de N₂O en cada una de las regiones productoras (figura 2), representan la cantidad de gas que se emitiría si se fertilizara con la mínima o la máxima cantidad

de N (cuadro 1). De acuerdo con esto, Los Santos es una región donde se utiliza en promedio la mayor cantidad de este elemento (cuadro 1) y estaría presentando una gran emisión (figura 2). Sin embargo, el Valle Occidental forma parte de las regiones donde se aplica el menor nivel de fertilización por unidad de área (cuadro 1), pero también presenta gran emisión de N_2O (figura 2).

El análisis de regresión mostró, que la emisión total por región productora parece ser el resultado de la combinación del área total sembrada y la cantidad de N aplicado por unidad de área. En consecuencia, las emisiones son mayores donde existe más área sembrada (figura 3). La tendencia determinada es lineal positiva ($Y=2,8701x - 0,1993$, $r^2=0,92$) y muestra claramente como a mayor área, mayor emisión.

Con la anterior información (emisión de N_2O), se estimó la eficiencia de emisión (cantidad de gas emitido por fanega producida) para cada una de las regiones productoras y se detectaron tres grupos. El primero lo conformó la Zona Norte, que presentó la menor eficiencia (mayor cantidad de N_2O emitido por fanega cosechada, $0,22 \text{ kg de } N_2O \text{ fan}^{-1}$), el segundo grupo lo constituyó el Valle Occidental, Pérez Zeledón y Los Santos con las mejores eficiencias (en el rango de $0,10$ a $0,12 \text{ kg de } N_2O \text{ fan}^{-1}$, los valores más bajos de emisión por fanega producida) (figura 4). Las restantes regiones formaron el tercer grupo, donde se estimaron eficiencias intermedias entre los anteriores grupos (entre $0,13$ y $0,17 \text{ kg de } N_2O \text{ fan}^{-1}$).

Lo anterior refleja que las regiones donde se estimaron las mayores emisiones, no necesariamente son las que presentan las eficiencias más bajas (más emisión por unidad producida), y en el caso específico de Los Santos con la mayor emisión total, la eficiencia que presentó fue intermedia, mientras que el Valle Occidental con gran emisión total mostró la mejor eficiencia (figura 4).

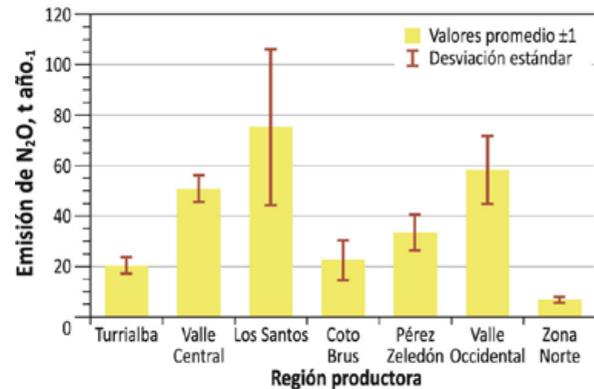


Figura 2. Emisión de óxido nítrico estimada según región productora de café. Costa Rica, 2015.

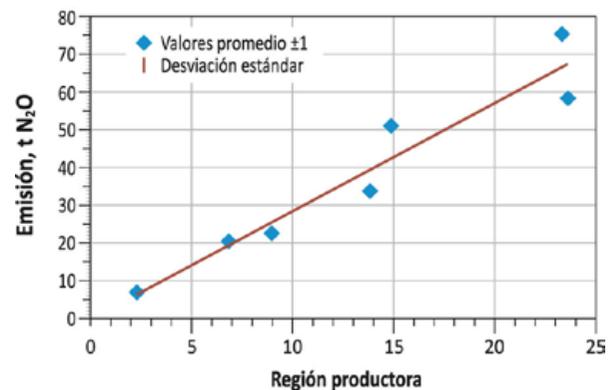


Figura 3. Relación entre emisión de óxido nítrico y área sembrada de café. Costa Rica, 2015.

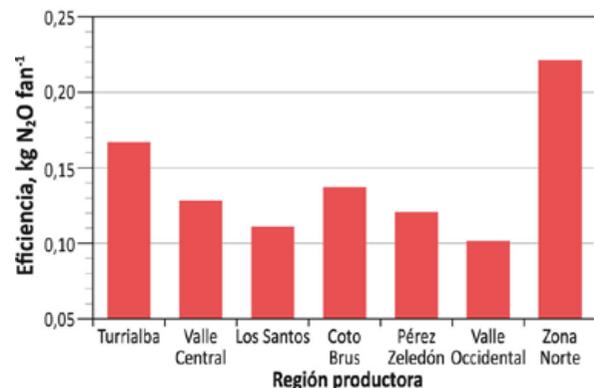


Figura 4. Eficiencia de emisión ($\text{kg de } N_2O \text{ fanega}^{-1}$) según región productora de café. Costa Rica, 2015.

3.3.2 IPCC Nivel I (All)

La emisión total por región productora estimada con esta metodología presentó tendencia similar a la calculada con la AI (figura 2), aunque la magnitud

de la misma es inferior (figura 5). En términos generales la emisión fue aproximadamente un 18% más baja cuando la estimación se realizó con la AII, comparado con la obtenida al utilizar AI. Ello se explica por la diferencia en la información utilizada en ambos cálculos.

Con respecto a la eficiencia de emisión, ésta con algunas variaciones sigue el patrón estimado para la metodología AI (figura 4), aunque difiere en magnitud (figura 6). En este caso la eficiencia en la Zona Norte sigue siendo la más alta (0,16 kg de N_2O fan⁻¹), estando las mejores localizadas en Valle Occidental, Pérez Zeledón, Coto Brus y Los Santos (entre 0,08 y 0,10 kg de N_2O fan⁻¹). Valores intermedios se estimaron para las restantes regiones (0,12 kg de N_2O fan⁻¹).

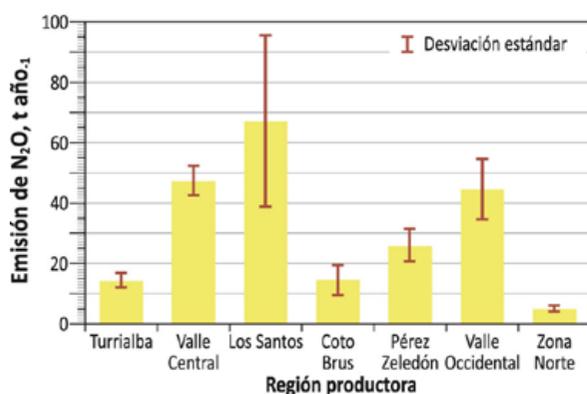


Figura 5. Emisión de N_2O estimada con la metodología AII según región productora de café. Costa Rica, 2015.

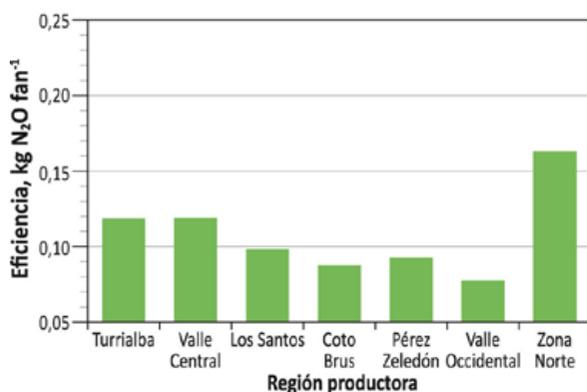


Figura 6. Eficiencia de emisión (kg de N_2O fan⁻¹) según región productora de café. Costa Rica, 2015.

3.3.3 Emisión estimada con factores de emisión nacionales utilizados en el INGEI (Metodología B)

La emisión de N_2O calculada con los factores empleados en el Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero (INGEI) (figura 7) y donde solo se considera información relacionada con el área plantada de café con y sin sombra, pero de forma disgregada por región productora, mostró tendencia similar a la observada con la metodología AI (figura 2) y AII (figura 5). Sin embargo la magnitud fue diferente, principalmente porque el factor de emisión para plantaciones con sombra es mayor que el utilizado para plantaciones a plena exposición solar, además de que el área bajo sombra es significativamente superior al plantado sin ésta (cuadro 1).

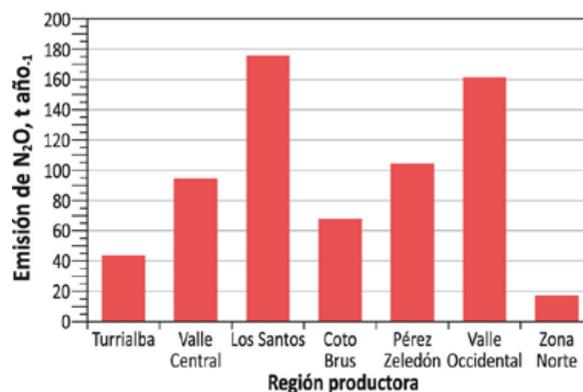


Figura 7. Emisión de N_2O estimada con la metodología B según región productora de café. Costa Rica, 2015.

3.3.4 Eficiencia de emisión

La eficiencia de emisión estimada con la metodología B es de mayor magnitud que la estimada con la anterior metodología, independientemente del nivel de información utilizado. Con este método de cálculo, la Zona Norte presenta la menor eficiencia (0,56 kg de N_2O fan⁻¹); niveles intermedios (entre 0,35 y 0,41 kg de N_2O fan⁻¹) en Turrialba, Pérez Zeledón y Coto Brus, mientras que los menores valores en

la eficiencia (entre 0,24 y 0,28 kg de N₂O fan⁻¹) fueron estimados para el Valle Central, Los Santos y el Valle Occidental (figura 8).

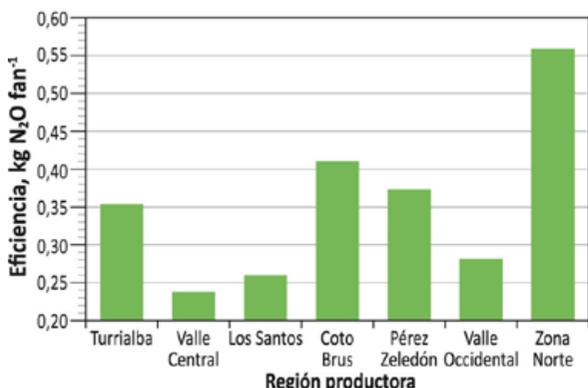


Figura 8. Eficiencia de emisión (kg de N₂O fan⁻¹) según región productora de café. Costa Rica, 2015.

3.4. Factores de emisión estimados

Los factores de emisión estimados mostraron un rango entre 1,6 y 7,5 kg de N₂O ha⁻¹ dependiendo de la región productora, metodología y nivel de información disponible (cuadro 2). En términos generales la metodología AII fue la que mostró factores de emisión más bajos, ya que es la que utilizó información más detallada según la estimación realizada por los técnicos del ICAFE.

Los valores de los factores de emisión generados para cada una de las regiones productoras con la metodología B fueron los mayores, como

Cuadro 2. Factor de emisión (kg de N₂O ha⁻¹ año⁻¹) según metodología y región productora de café. Costa Rica, 2015

Región	IPCC AI	IPCC AII	IPCC 2
Turrialba	3,0	2,1	6,3
Valle Central	3,4	3,2	6,3
Los Santos	3,2	2,9	7,5
Coto Brus	2,5	1,6	7,5
Pérez Zeledón	2,4	1,9	7,5
Valle Occidental	2,5	1,9	6,8
Zona Norte	3,0	2,2	7,5
Promedio*	2,9±0,4	2,3±0,6	7,1±0,6

* Promedio ±1 desviación estándar

resultado de la influencia directa del área cultivada bajo sombra (cuadro 1), en combinación con el valor del factor utilizado para este sistema de producción (cuadro 2) el cual es mayor que el determinado para el sistema sin sombra, algo que también ha sido reseñado por Hergoualc'h, Skiba, Harmand, Hénault (2008).

3.5. Emisión total nacional para la actividad

En términos generales y de acuerdo con la información analizada, no existe diferencia entre la magnitud de la emisión que se podría reportar como resultado de la aplicación de la metodología A, con cualquiera de los dos niveles de información utilizados en esta investigación (cuadro 3), aunque parece existir una tendencia a disminuir la magnitud si se utiliza información más detallada (AII).

La emisión total de óxido nitroso calculada con la metodología B, que usó factores que provienen de medición directa en el campo los cuales son utilizados para calcular la emisión en el Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero, fue la mayor (cuadro 3) como se mencionó anteriormente, por la combinación de área sembrada y el valor del factor de emisión.

Es importante mencionar, que no necesariamente un factor de emisión que provenga de mediciones directas en el campo debe ser inferior o similar al valor propuesto por el IPCC, ya que existen diferentes investigaciones donde se ha reportado valores de emisión superiores al valor sugerido por el IPCC (Moura, 2013). Es por esta razón, que

Cuadro 3. Emisión total de N₂O (t) en el cultivo de café según metodología utilizada. Costa Rica, 2015

Metodología	Emisión, t N ₂ O
IPCC Nivel 1 (AI)	267,8±69,0
IPCC Nivel 1 (AII)	218,9±57,0
IPCC Nivel 2	663,1±1,8

se requiere generar más información tendiente a fortalecer los actuales factores de emisión que se utilizan para estimar las emisiones provenientes del sector cafetalero costarricense, o bien para realizar las modificaciones del caso y con ello reportar con bajo nivel de incertidumbre la emisión real de óxido nítrico que proviene de la actividad cafetalera del país.

Debido a la gran variedad de microclimas existentes, así como a los diferentes suelos y altitudes en los cuales se ubican las plantaciones de café en nuestro país, además de las diferencias en el manejo de este cultivo, es importante implementar experimentos que proporcionen información de acuerdo con las condiciones típicas donde se produce este grano.

4. Conclusiones

De acuerdo con las condiciones e información disponible analizada, se puede concluir:

- La emisión total de óxido nítrico por la aplicación de fertilizante nitrogenado en la actividad cafetalera para el 2013, fue similar utilizando el Nivel I del IPCC en los dos niveles de información evaluadas. La aplicación de los factores de emisión nacionales resultan en mayor magnitud de emisión.
- Independientemente de la metodología de cálculo utilizada, los resultados muestran una misma tendencia con diferencias en la magnitud de la emisión total del óxido nítrico por región productora. La misma tendencia se observó con la eficiencia de emisión.
- Existe una relación entre la emisión total de óxido nítrico y el área cultivada.
- Una reducida o baja emisión total de óxido nítrico en una región, no necesariamente implica buena eficiencia de emisión.

4.1. Recomendaciones

- Efectuar una fase de campo de recolección de información directamente con los productores, para verificar o modificar las estimaciones realizadas en la presente investigación relacionadas con los niveles de fertilizante utilizados en las plantaciones.
- Continuar las investigaciones de campo con determinaciones directas de la emisión de óxido nítrico, para generar más información relacionada con la generación de este gas por la aplicación de nitrógeno a las plantaciones de café de nuestro país.

5. Literatura citada

- Centro Mario Molina. (2007). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero del estado de Baja California*. 5p. Recuperado de: http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/6.-InventarioEmisionesGElBajaCalifornia_fin1.pdf
- Chacón, A.; Jiménez, G.; Montenegro, J.; Sasa, J.; Blanco K. 2014. *Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero y absorción de carbono en Costa Rica 2010*. Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, GEF, PNUD. 64 p.
- Hergoualc'h, K.; Skiba, U.; Harmand, J.M. & Hénault, C. (2008). Fluxes of greenhouse gases from Andosols under coffee in monoculture or shaded by *Inga densiflora* in Costa Rica. *Biogeochemistry* 89: 329–345.
- IPCC. (2006). *Guías metodológicas para la preparación de Inventarios Nacionales de gases con efecto invernadero*. 265 p.
- Moura, M. (2013). *Greenhouse gas emissions from beef cattle grazing systems in Florida*. Thesis Mag. Sc. University of Florida. 121 p.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2013). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. Años 1990- 2011*. Comunicación a la Comisión. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural.

Análisis del impacto de los ciclones tropicales en la Cuenca del Caribe según fuentes hemerográficas (1870-2007)

FLORA SOLANO CHAVES(+)¹
ERIC ALFARO MARTÍNEZ²
RONALD DÍAZ BOLAÑOS³

Resumen

Este trabajo forma parte de una serie de investigaciones en perspectiva histórica-científica, del impacto de los ciclones tropicales que han afectado a América Central, el Golfo de México y las Islas del Caribe. El interés de incursionar en el desarrollo de su actividad, de su contexto global y su repercusión para el período 1870-2007, obedece a que la documentación y análisis respectivo no es de fácil acceso o en su defecto escaso e incluso, inexistente. En este trabajo de investigación se analizan estudios de casos de varios huracanes correspondientes a diversas temporadas entre 1870 y 2007, que tuvieron la capacidad potencial de producir impactos sobre la sociedad.

PALABRAS CLAVE: HURACÁN, CICLÓN TROPICAL, DESASTRE NATURAL, HISTORIA, SOCIEDAD, AMÉRICA CENTRAL, MÉXICO, CARIBE.

Abstract

This work belongs to a research series on historic-scientific perspective about the Tropical Cyclone impacts on Central America, Gulf of Mexico and the Caribbean Islands. The main goal is to study their development, global context and effects during the period 1870-2007, because usually the documentation and its analysis have associated a scare and difficult access, sometimes even null. This research studies several Tropical Cyclone study cases from 1870 to 2007, based on their potential capacity to produce impacts in society.

KEYWORDS: HURRICANE, TROPICAL CYCLONE, NATURAL DISASTERS, HISTORY, SOCIETY, CENTRAL AMERICA, MEXICO, CARIBBEAN.

1. Introducción

En la actualidad, proyectos de las ciencias computacionales han permitido la revisión y rescate de información meteorológica histórica que permanecía archivada sin análisis. Uno de estos proyectos es el denominado HURDAT (<http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/>), asociado con

la revisión de las trayectorias históricas de ciclones tropicales producidos en las cuencas oceánicas del Atlántico-Mar Caribe-Golfo de México y del Pacífico Tropical del Este (Lansea & Franklin, 2012, 2013). Este tipo de análisis ha propuesto cambios importantes relacionados con el tiempo de permanencia y velocidad de un ciclón tropical, en una cuenca oceánica como el Mar Caribe,

- 1 Licda. en Historia. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- 2 Dr. en Oceanografía. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Escuela de Física y Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Correo electrónico: erick.alfaro@ucr.ac.cr. Tel. 2511-5096.
- 3 M.Sc. en Historia. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y Escuela de Estudios Generales, Universidad de Costa Rica y Escuela de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. Correo electrónico: ronald.diaz@ucr.ac.cr. Tel. 2511-5096.

su trayectoria respecto a diferentes localidades de interés como el istmo centroamericano y la intensidad alcanzada por el sistema. Los aspectos anteriores son muy importantes, cuando se analizan los posibles impactos del fenómeno natural sobre localidades afectadas (Alvarado y Alfaro, 2003).

Estudios previos, como los realizados por Alfaro (2007), Alfaro, Quesada & Solano (2010) y Alfaro y Quesada (2010), han permitido identificar años en los cuales la ocurrencia de ciclones tropicales ha sido baja o alta en la cuenca del Mar Caribe o cerca de las costas de América Central. Sin embargo, al analizar distintas bases de datos asociadas con desastres y emergencias como EMDAT (<http://www.emdat.be/>), estos estudios demuestran que el posible impacto social de estos sistemas está ligado principalmente a factores como la exposición y la vulnerabilidad de las comunidades y, como se mencionó anteriormente, al tiempo de residencia y posición del ciclón tropical con respecto al istmo. Es de resaltar que la importancia asociada a la intensidad del sistema, es en muy pocas ocasiones, un factor relevante en ese tipo de estudios en relación con la trayectoria del ciclón (Alfaro y Quesada, 2010).

Por otro lado y como se expresa en Solano, Alfaro y Quesada (2011), la diferencia de criterios históricos sobre el origen, frecuencia, intensidad y trayectoria característica de los ciclones tropicales en el Atlántico, su efecto sobre diferentes comunidades como lluvias intensas, inundaciones y deslizamientos, su impacto socioeconómico y el acervo documental obtenido de fuentes histórico-científicas, periodísticas no interpretadas aún y la emergente necesidad de su estudio interdisciplinario en perspectiva histórica integral, hace necesario el análisis de diferentes casos asociados con posibles impactos sociales históricos de distintas temporadas ciclónicas en el Atlántico Tropical Norte, lo cual es el objetivo primario del trabajo aquí presentado. Un ejemplo de la necesidad de contrastar diferentes fuentes históricas lo encontramos en Díaz (2004-2005),

quien analizó el paso de la única tormenta tropical sobre el territorio costarricense de la cual se tiene registro en la base de datos HURDAT, en diciembre de 1887. En dicho estudio se encontró que las limitaciones presentadas por las fuentes costarricenses de la época que no se refieren a ella en forma directa, hacen presumir que el impacto fue leve. El autor menciona que los daños, aunque leves no fueron cuantificados y las pérdidas de vidas fueron nulas, ya que nunca se halló un reporte sobre víctimas mortales en la comarca de Limón, ni en otros puntos del país en la época del ingreso de la tormenta. No obstante, es necesario investigar otras fuentes relacionadas con posibles efectos en las comunidades de la costa del Pacífico, que pudieran evidenciar impactos colaterales o indirectos del sistema.

2. Metodología

El tratamiento de la información asociada a los ciclones tropicales es similar al explicado en Alfaro, Quesada y Solano (2010), así como en Alfaro y Quesada (2010). El periodo de tiempo contemplado en este estudio fue de 1870 al 2007 y la base de datos con información sobre los huracanes utilizada corresponde a la del proyecto HURDAT (1851-2013). Esta base de datos es pública, se accede en la dirección <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/>. Contiene datos relacionados con el ciclón tropical cada seis horas.

Como primer paso, se extrajo de la base la información correspondiente a aquellos ciclones tropicales que cruzaron cerca de América Central, las Islas del Mar Caribe y el Golfo de México. Es decir, para estudiar la ocurrencia de estos fenómenos, se formaron tres series de tiempo siguiendo la propuesta de Landsea & Franklin (2013). Impactos regionales posteriores al año 2007 para América Central, han sido reportados por el Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), en el número anual llamado Estado del Clima, del Boletín de la Asociación Americana de

Meteorología o BAMS, por sus siglas en inglés (Amador, 2011).

Para estudiar la ocurrencia de estos ciclones tropicales cerca de la costa, se creó un índice para cada ciclón tropical que consiste en la suma de las posiciones encontradas dentro de un círculo de radio de 3° o 7°, con respecto a algún punto de la costa y se cuantificaron los casos que presentaron una mayor presencia del ciclón tropical con respecto a la costa de alguna de las regiones mencionadas en el párrafo anterior.

El paso anterior permitió identificar casos que estuvieron cerca de la costa, lo que no quiere decir necesariamente que el sistema estuvo asociado con impactos registrados sobre las comunidades o los ecosistemas cercanos, o por el contrario, que hayan casos que sí ocasionaron desastres importantes y extensos, pero que no fueron considerados por el criterio de la cercanía a la costa (ver Alvarado y Alfaro 2003), entre los que se destacan los huracanes #5 (1906), Hazel (1954), Camille (1969), Irene (1971), Fifi (1974), Gilbert (1988), Joan (1988) y Cesar (1996), cuyos impacto en los países centroamericanos serán analizados en una publicación posterior.

Se investigó en distintas fuentes históricas, si el paso de los ciclones tropicales estudiados se podía asociar con impactos reportados provenientes de diferentes fuentes históricas principalmente hemerográficas.

Para el análisis del impacto de los ciclones tropicales se revisaron las versiones impresas de periódicos costarricenses y mexicanos, así como textos digitalizados de diarios estadounidenses que se publicaron en las mismas fechas en los que transcurrieron los eventos, de los que se extrajeron datos referentes a las pérdidas económicas ocasionadas, los daños en bienes inmuebles, los sitios afectados y la muerte de seres humanos, con el fin de describir los efectos sociales que experimentaron las zonas afectadas

directa o indirectamente por el paso de los ciclones. Para representar la trayectoria de los ciclones tropicales, se recurrió a las bases de datos UNISYS (<http://weather.unisys.com/>) y HURDAT.

Los datos analizados se clasifican en cuatro períodos: 1870-1940, 1941-1979, 1980-2000 y 2001-2007, en los que se estudió de seis a siete ciclones por período.

3. Resultados y discusión

3.1. Período 1870-1940

En este período se analizaron siete ciclones, cuya trayectoria se representa en la figura 1.

La línea negra representa la trayectoria del Huracán No. 6, de las 0 hrs del 5/10/1870 a las 18 hrs del 14/10/1870; la azul la del Huracán No. 5, de las 0 hrs del 26/9/1873 a las 6 hrs del 10/10/1873; la roja la del Huracán No. 5, de las 0 hrs del 1/9/1878 a las 18 hrs del 13/9/1878; la verde la del Huracán No. 1, de las 0 hrs del 27/8/1900 a las 18 hrs del 15/9/1900; la celeste la del Huracán No. 4, de las 6 hrs del 12/10/1904 a las 18 hrs del 21/10/1904; la violeta la del Huracán No. 18, de las 6 hrs del 25/10/1933 a las 18 hrs del 7/11/1933 y la amarilla la del Huracán No. 2, de las 12 hrs del 3/8/1940 a las 18 hrs del 10/8/1940.

3.1.1 Huracán No. 6 (1870)

Las noticias internacionales informaron que el huracán No. 6 de octubre del año 1870 había impactado significativamente a Cuba, además de causar daños menos cuantiosos en Jamaica y la Florida, no existe evidencia del impacto que tuvo para Costa Rica. En Cuba, la devastadora combinación de agua y vientos violentos causaron cientos de muertes y pérdidas cuantiosas en propiedades e intereses comerciales. El viento arrastró embarcaciones hacia el puerto de La Habana y los peores efectos ocurrieron en

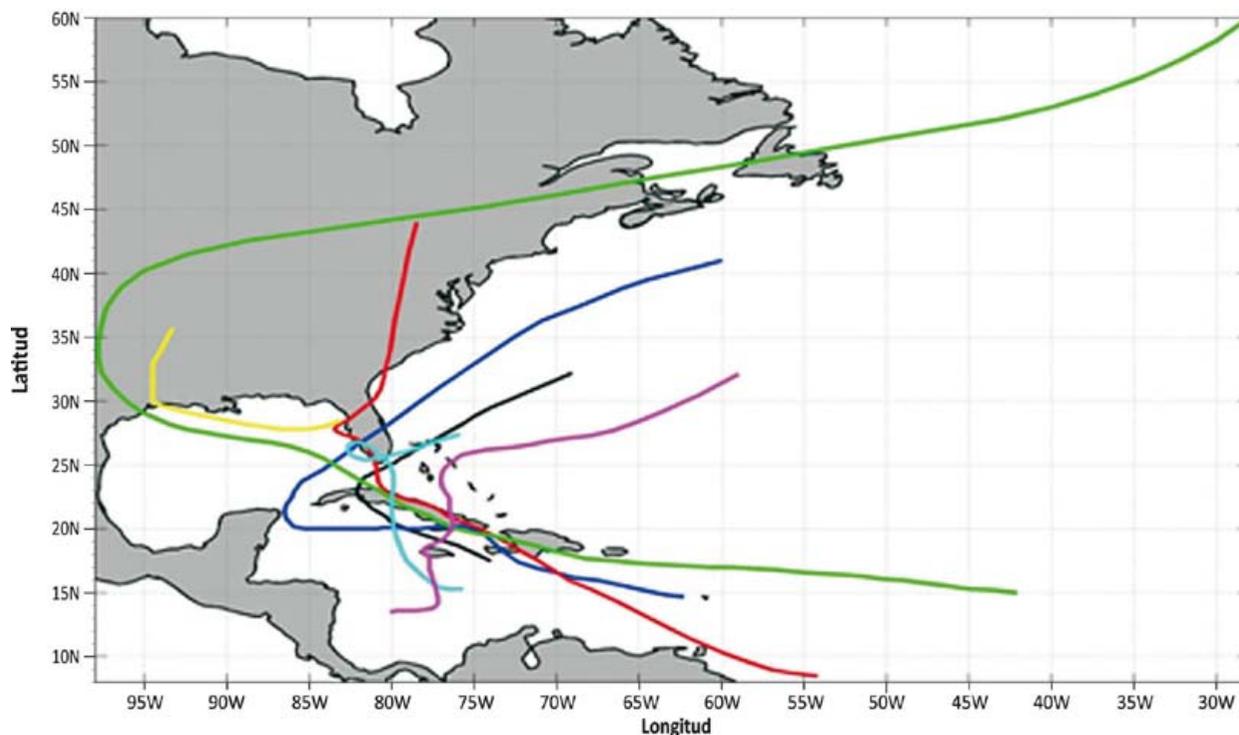


Figura 1. Ciclones del período 1870-1940. Fuente: Basada en los datos de HURDAT y UNISYS.

Matanzas, donde los ríos Yumuri y San Juan se desbordaron ocasionando inundaciones en la ciudad (*The New York Herald*: 24 de octubre de 1870, p.2).

El daño a la propiedad se estimó en cinco millones de dólares, las principales pérdidas fueron en viviendas, almacenes, embarcaciones, puentes e iluminación. Además, se reportaron muertes por cólera (*The New York Herald*: 24 de octubre de 1870, p.2). Cerca de 400 casas fueron destruidas en Matanzas y se contabilizaron 482 muertos, se reportaron muchos desaparecidos y se estimó que alrededor de 2000 personas fueron barridas hacia el mar. Las pérdidas en ganado y animales fueron cuantiosas y el Capitán General Antonio Caballero y Fernández de Rodas (1816-1876) destinó \$400 000 para auxiliar a los damnificados (*The New York Herald*: 24 de octubre de 1870, p.2; *The Greenville Argus*: 2 de noviembre de 1870, p.2).

En Cárdenas los fuertes vientos provocaron destrucción tanto en tierra firme como en el puerto

y los trenes y el telégrafo fueron suspendidos. En los distritos de Rosario, Bejucal, Nueva Paz, San Nicolás, Colón, Jaruco y Santa Clara, numerosas familias quedaron sin hogar, hubo daños en las cosechas, se incrementó la pobreza y se estimó que las pérdidas en Cárdenas, rondaron los \$100.000. Cuba presentó grandes daños en las plantaciones de caña de azúcar, la producción calculada para los cuatro distritos devastados fue de 400.000 toneladas y se pensó que la producción completa se vería afectada y que esto repercutiría en los precios y reservas principalmente de España (*The New York Herald*: 24 de octubre de 1870 p.2; *The Greenville Argus*: 2 de noviembre de 1870, p. 2; *Gazette and Bulletin*: 25 de noviembre de 1870, p.2).

En la Florida, se reportaron grandes pérdidas a la propiedad, entre ellas la destrucción de almacenes y la mayoría de las embarcaciones en los puertos fueron dañadas. En Kingston, la capital de Jamaica, durante un vendaval dos embarcaciones fueron desmanteladas (*The Janesville Gazette*: 31 de octubre de 1870, p.1).

3.1.2 Huracán No. 5 (1873)

Las noticias indicaron sobre la presencia de ciclones al suroeste de Cuba y que posteriormente azotarían Florida, Texas y Luisiana, en particular del huracán No. 5 de esa temporada. No existen indicios en periódicos nacionales sobre su impacto en Costa Rica (*Monthly Weather Review*: 10 de octubre de 1873, p.3). El 1 de octubre en Bahía Morant, Jamaica, hubo evidencia de fuertes lluvias a lo largo de dos semanas, que ocasionaron el desbordamiento de ríos e inundaciones. Las viviendas, puentes y embarcaciones quedaron destruidas; muchas personas tuvieron que refugiarse en árboles en espera de asistencia, las comunicaciones fueron interrumpidas y se cerraron los negocios (*The Gleaner*; 6 de octubre de 1873, p.2).

3.1.3 Huracán No. 5 (1878)

En el año 1878 se notifica el paso de un ciclón tropical por Trinidad, Haití, Cuba y Florida, el No. 5 de ese año. En el caso de la isla de Trinidad, fue una de las más severas experiencias en 40 años, la tormenta comenzó a las 7 p.m. del 1 de setiembre y continuó hasta las 4 p.m. del día siguiente, con fuertes vientos. Hubo daños significativos en embarcaciones, viviendas, almacenes, puentes y plantaciones (especialmente en el cultivo de cacao) y se reportaron temblores de tierra durante el paso del huracán. El barco Big Thypon que navegaba desde Puerto España hasta Boston, fue desmantelado por el huracán y la tripulación fue rescatada (*Monthly Weather Review*: setiembre de 1878, p.3).

Para el 4 de setiembre de 1878, el paso del huracán prosiguió violento y destructivo sobre Haití y Santo Domingo. La costa meridional fue severamente dañada, en Puerto Príncipe las mareas altas golpearon los barcos, hubo edificios destruidos, al igual que las plantaciones de café y cacao. En Aux Cayes se reportaron 434 casas destruidas debido a la violencia del viento, hubo muertos, heridos y desaparecidos, mientras que en localidades como

Aquin, Cavaillon, San Luis, La Grand Anse, Jeremie y Cavail se reportaron heridos y desaparecidos, así como embarcaciones arrasadas (*Monthly Weather Review*: setiembre de 1878, p.3).

En Cuba el 4 y 5 de setiembre, la trayectoria del huracán fue trazada por el padre Benito Viñes (1837-1893), sacerdote jesuita y Director del Observatorio del Real Colegio de Belén, en La Habana, quien más adelante publicó la obra *Investigaciones relativas a la circulación y traslación ciclónica en los huracanes de las Antillas* (1893), texto que tuvo gran influencia en los estudios meteorológicos sobre huracanes durante la primera mitad del siglo XX. El huracán entró a Cuba en forma vertiginosa, la ciudad de Guantánamo en la provincia de Oriente fue afectada y se temían daños severos en esa misma provincia y en el centro del país, especialmente en Colón y en Cárdenas, mientras que en La Habana el tiempo era borrascoso y se alertaba a los puertos del Atlántico. Para el 7 de setiembre el centro de la tormenta estaba situado en Florida, Estados Unidos (*Monthly Weather Review*: setiembre de 1878, p.3; *Chester Daily New*; 7 de setiembre de 1873, p.1).

3.1.4 Huracán No. 1 (1900)

Las fuentes señalan que hubo daños cuantiosos provocados por los efectos climatológicos del primer huracán de la temporada de 1900, en los Estados Unidos y el Golfo de México (*Monthly Weather Review*: octubre de 1900, pp.398-399). Las noticias abordaron ampliamente la catástrofe ocurrida en las ciudades de Gálveston y Houston (Texas, Estados Unidos) ocasionado por una fuerte tempestad. La ciudad de Gálveston fue destruida el 8 de setiembre de 1900 por este huracán que a su paso por dicha localidad provocó la muerte de más de 8.000 habitantes, además otros miles perecieron en las zonas aledañas, derribó más de 2.600 casas, dañó miles de viviendas y las pérdidas fueron estimadas entre 28 y 30 millones de dólares. Por esta razón, ha sido considerado el peor desastre natural de la historia de los Estados Unidos (Galveston and Texas, History Center, s.f).

Costa Rica también se vio afectada, el viernes 31 de agosto de 1900 se anunció que después de un veranillo prolongado de cuarenta días se iniciaba nuevamente la estación lluviosa, con lluvias torrenciales en Filadelfia (Guanacaste).

En Montes de Oro, localidad de Puntarenas, las fuertes lluvias deterioraron el estado de los caminos (barrizales y huecos profundos) y se reportaron numerosos casos de enfermedades. En Turrialba se dio una epidemia de paludismo, que causó miseria y muerte, se consideró este cantón como uno de los lugares más insalubres del país; mientras que en Santa Cruz hubo una epidemia de catarros (*La Prensa Libre*: 31 de agosto de 1900, pp. 3-4; 6 de setiembre de 1900, p.2; 13 de setiembre de 1900, p.3; 23 de setiembre de 1900, p.2; 26 de setiembre de 1900, p.4; *El Pacífico*: 26 de octubre de 1900, p.3).

3.1.5 Huracán No. 4 (1900)

El 10 de octubre de 1904 se registró un disturbio leve en el Mar Caribe, se movilizó al noroeste durante el 11 y el 12 y para el día 13 provocó lluvias en el sur de la costa de Florida, la intensidad de los vientos se incrementó hasta alcanzar fuerza de huracán el 16 de octubre. El centro de la tormenta se mantuvo estacionario sobre el sur de Florida, desde el 17 hasta la mañana del 19. Para el 20 un nuevo centro surgió a una corta distancia de la costa de Carolina del Sur, el cual se movió rápidamente al noreste y desapareció por las provincias marítimas de Canadá, en la tarde del 21. A su paso causó fuertes lluvias en las Carolinas, Virginia, Maryland y Nueva York (*Monthly Weather Review*: 9 de octubre de 1904, pp.415, 425).

El 17 de octubre el Observatorio Meteorológico Central de Cuba dio un aviso a los puertos sobre un ciclón al sur de La Habana y recomendó a las embarcaciones tomar precaución. El 20 de octubre se reportó que el paso del huracán por Florida había sido uno de los más violentos de los últimos años, dejando daños considerables y siete

muertos. Las líneas del telégrafo fueron destruidas y las vías férreas obstruidas (*El Imparcial*: 17 de octubre de 1904, p.2; 21 de octubre de 1904, p.2).

3.1.6 Huracán No. 18 (1933)

En el año 1933 se reportaron 21 disturbios tropicales en el Mar Caribe, el Golfo de México y la porción norte del Atlántico, constituyendo el mayor número observado desde 1887, se reportaron 18 ciclones tropicales y uno extratropical. La costa mexicana fue la más afectada, con cuantiosos daños en Tampico y en la Península de Yucatán. Específicamente para el período de estudio, se tienen reportes de una tormenta tropical al noreste de Bahamas (23-30 de octubre), al oeste de Jamaica y al este de Cuba (28 octubre -7 noviembre) (*Monthly Weather Review*: diciembre de 1933, p.363). Las noticias internacionales comunicaron acerca de lluvias intensas e inundaciones en México y Honduras; y también del paso de un ciclón tropical por Jamaica y Cuba, el número 18 de la temporada de ese año.

En Costa Rica, durante todo el mes de octubre y mediados de noviembre, los periódicos describen temporales que causaron daños considerables a lo largo del territorio nacional. Además, para los primeros días de octubre se reportó al oeste de Cuba una tormenta tropical (*Monthly Weather Review*: diciembre de 1933, p.363).

El 28 de octubre la Oficina Meteorológica de Washington D.C. expidió un comunicado sobre una perturbación tropical al sur de Jamaica, recomendando cautela a los barcos que navegan cerca de Jamaica, Cuba y Haití (*El Excelsior*: 29 de octubre de 1933, p.1; 30 octubre de 1933, p. 1; *La Tribuna*: 29 de octubre de 1933, p. 2). La Oficina de Predicciones Meteorológicas de Cuba anunció que un disturbio tropical amenazaba a Cuba, incrementando su intensidad conforme se acercaba a la isla. Para el 30 de octubre la tormenta tropical, que se convertiría en la No. 18 de la temporada, se abatía sobre el occidente de

Jamaica ocasionando la muerte de tres personas y daños materiales calculados en tres millones de dólares, por el deterioro de caminos y casas (*La Prensa Libre*: 1 noviembre de 1933 p. 1; *El Excelsior*: 31 de octubre de 1933, p.1).

La tormenta azotó Cuba con fuertes vientos y aguaceros, en La Habana se produjeron fuertes derrumbes a causa de la tempestad, se tuvieron noticias de que ocho miembros de una familia perecieron al derrumbarse una casa. En Jamaica, los cultivos de banano y caña sufrieron severos daños por las lluvias y los fuertes vientos, y se pronosticaba que los efectos de los fenómenos climáticos se sentirían un año más, debido a que las condiciones meteorológicas de 1933 fueron consideradas extraordinarias. Sin embargo, tres se desarrollaron a corta distancia de la isla desde el inicio del mes y el azote del huracán dejó cuatro millones de dólares en daños y la muerte de seis personas (*El Excelsior*: 31 de octubre de 1933, p.1; *El Nacional*: 4 de noviembre de 1933, p.7; *La Tribuna*: 1 de noviembre de 1933 p. 3; 4 de noviembre de 1933, p.3; *The Gleaner*: 30 de noviembre de 1933, p.13).

En Honduras (Cortés, Copán y Santa Bárbara), las lluvias intensas durante cuatro días a finales de octubre ocasionaron inundaciones y desbordes de ríos, que arrasaron con las comunicaciones, los puentes y caminos. Los campos de tabaco y maíz se dañaron y se informó que en La Lima, los trabajadores de la Cuyamel Fruit Company tuvieron problemas en las plantaciones, por lo que se retiraron de la zona de peligro. Además, se perdieron muchas cabezas de ganado y se temían derrumbes e incluso para el 31 de octubre, cuando el huracán se situaba cerca de Jamaica, las lluvias torrenciales continuaron en el territorio hondureño, se desbordaron los ríos de la comarca y perjudicaron los campos, la siembra y las obras públicas. En Cortés, las plantaciones fueron anegadas y en Copán los campos cultivados de tabaco estaban inundadas y la población aislada (*El Excelsior*: 27 de octubre de 1933, p. 3; 28 de

octubre de 1933, p.1; *El Universal*: 1 de noviembre 1933, p.2).

En Costa Rica para el 21 de octubre, se reportó un fuerte temporal que azotó Guanacaste, destruyendo casas y obligando a los vecinos a trasladarse a otros lugares, lo que contribuyó a agravar las condiciones de pobreza de la zona. Las lluvias incesantes afectaron no sólo Guanacaste, sino también la región del Pacífico Central y la Meseta Central. La Oficina Telegráfica de Cañas informó que el temporal se reanudó con fuerza y que el río Cañas se volvió a crecer, impidiendo cruzarlo y poniendo en peligro a los trabajadores del telégrafo que reparaban las líneas (*La Prensa Libre*: 21 de octubre de 1933, p.2. *La Tribuna*: 24 de octubre de 1933, pp.1, 5). Según la base de datos Unisys, para esa fecha no estaba activo ningún ciclón, el más próximo fue una depresión formada el 25 de octubre al este de Nicaragua (No.18-1933), por lo que probablemente ese temporal se debió a la baja presión que precedió a la formación del ciclón, lo que resalta la importancia de consultar las fuentes históricas.

El 23 de octubre se reportó un nuevo azote por temporal en el Pacífico, 15 días antes las fuertes lluvias y las crecientes de los ríos Barranca y Esparta ocasionaron serios daños en las vías del ferrocarril, los cuales requirieron de una ampliación en el presupuesto vigente de doscientos mil colones. Según los reportes, la lluvia torrencial que amenazaba la región no generó nuevos daños en la vía férrea y el servicio de trenes se mantuvo en funcionamiento, no obstante las cuadrillas del ferrocarril se prepararon en caso de emergencia. El tráfico circuló ininterrumpido y el único peligro era que creciera el río Barranca, inundando la vía en la sección donde se construyó el desvío para establecer el tráfico. En cuanto al ferrocarril al Atlántico, se informó que el temporal llegó hasta la ciudad de Paraíso, mientras que desde esta localidad y hasta Limón hubo buen tiempo, a excepción de un ligero aguacero en Estrada, por lo que estas descripciones evidencian los efectos

clásicos de los ciclones del Caribe a su paso por las cercanías de Costa Rica (*La Prensa Libre*: 23 de octubre de 1933, p.1; *La Tribuna*: 24 de octubre de 1933, p.1; 26 de octubre de 1933, p.1).

En San Carlos las continuas lluvias perjudicaron los cultivos, manteniendo en alerta a los agricultores y a pesar de las fuertes lluvias el telégrafo y el correo siguieron prestando servicios. En cuanto a los demás cantones de Alajuela, las lluvias fueron continuas, pero no de forma alarmante, mientras que en Heredia también llovió (*La Prensa Libre*: 23 de noviembre de 1933, p.1; *La Tribuna*: 24 de octubre de 1933, p.5; 26 de octubre de 1933, pp.1, 5).

Se estimó que en la Meseta Central las pérdidas de las cosechas del café a causa de los temporales ascendieron al 30%, ya que llovió más de un mes y durante este tiempo se habían sucedido tres temporales con muy pocos días de verano. Lo grave no era sólo la pérdida para la cosecha presente, sino para la próxima, puesto que además del grano se afectaron las hojas para las cosechas futuras y los informes en las provincias de San José, Heredia, y Cartago eran idénticos. Por otro lado, en el Atlántico en regiones como Turrialba se temía por las cosechas, debido a la sequía porque no llovía desde hacía mucho y por lo que había faltante de agua (*La Tribuna*: 24 de octubre de 1933, p.1). Es muy probable que de esos tres temporales, dos estuvieran asociados con ciclones en el mar Caribe, ya que en octubre se habían formado dos en el Caribe.

3.1.7 Huracán No. 2 (1940)

Para el año 1940, hubo informes del 4 de agosto indicando que las autoridades del Golfo de México debían tomar medidas preventivas contra el segundo huracán de la temporada, que estaba provocando altas mareas. La perturbación ciclónica entraba en Florida y se dirigía hacia Texas, por lo que produjo días nublados y lluviosos en la región norte del Golfo, mientras que en

Sabinas (sur de Texas), centenares de personas abandonaron sus hogares y se refugiaron en edificios públicos. En el Golfo de México el huracán causó estragos en refinerías petroleras y las comunicaciones quedaron interrumpidas, mientras que en Luisiana azotó la costa y avanzó hacia los centros industriales y las fábricas dieron la alarma para que los habitantes de zonas bajas buscaran refugio (*El Nacional*: 7 de agosto de 1940, p. 2; 8 de agosto de 1940, p. 2).

La ciudad de Charleston en Carolina del Sur quedó aislada por las inundaciones, olas de gran altura barrían la costa y casi todos los postes fueron derribados. Se informó de un muerto, además de dos personas electrocutadas al caer un alambre conducto de alta tensión y fuertes inundaciones. En Brunswick se hundieron pequeños buques y en la isla Santa Elena, en el condado de Beaufort, se reportaron 25 muertos por el huracán, barcos hundidos y los daños se calcularon en varios cientos de miles de dólares. Para el 16 de agosto se informó que había al menos 25 muertos, por los fuertes torrentes en Estados Unidos y se calcularon en millones de dólares las pérdidas, tanto de bienes particulares como en cultivos y daños en carreteras (*El Nacional*: 12 agosto de 1940, p.2. *El Excelsior*: 13 de agosto de 1940, pp. 1, 3, 5; 16 de agosto de 1940, p.2).

3.2. Período 1941-1979

Para este período se analizó el impacto social de seis ciclones que se representan en la figura 2.

La línea negra representa la trayectoria del Huracán *Flora*, de las 12 hrs del 26/9/1963 a las 12 hrs del 13/10/1963; la azul la del Huracán *Inés*, 12 hrs del 21/9/1966 a las 12 hrs del 11/10/1966, la roja la del Huracán *Fern*, de las 12 hrs del 3/9/1971 a las 0 hrs del 13/9/1971, la verde la de la Tormenta Tropical *Laura*, de las 12 hrs del 12/11/1971 a las 0 hrs del 22/11/1971, la celeste la del Huracán *Greta*, de las 18 hrs del 13/9/1978 a las 0 hrs del

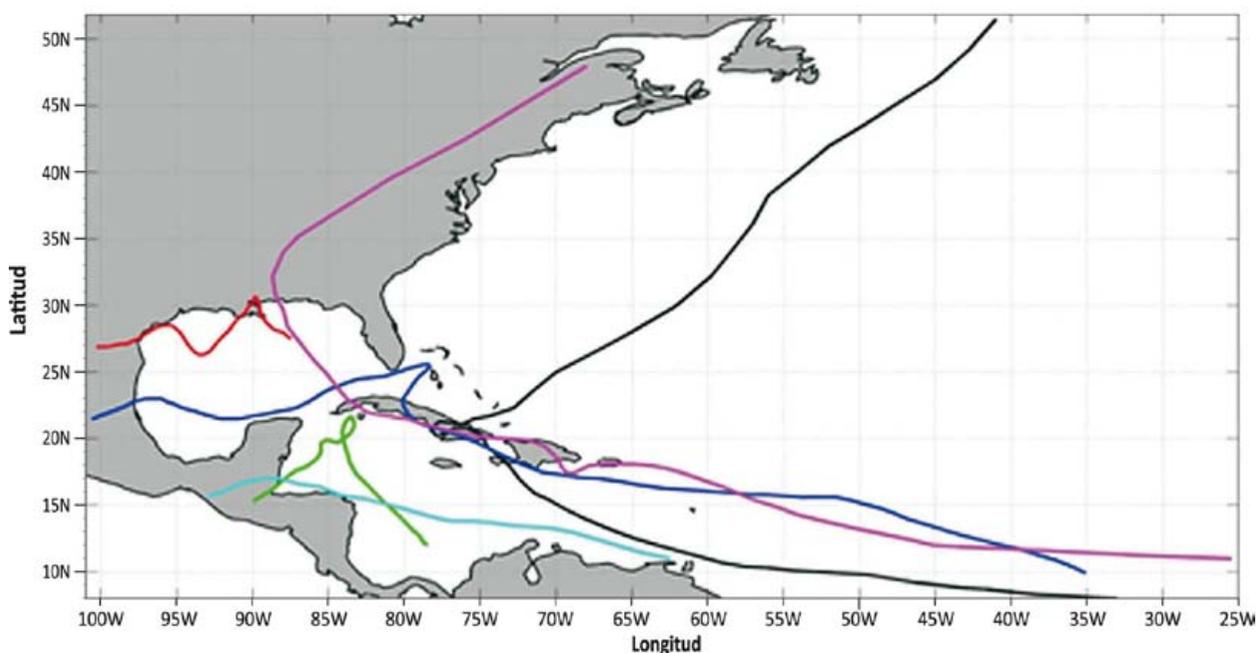


Figura 2. Ciclones del período 1941-1979. Fuente: Basada en los datos de HURDAT y UNISYS.

20/9/1978 y la violeta la del Huracán *Frederic*, de las 6 hrs del 29/8/1979 a las 0 hrs del 15/9/1979.

3.2.1 Huracán Flora (1963)

Nueve ciclones tropicales se observaron en el Atlántico durante 1963, setiembre y octubre fueron meses de huracanes muy activos en los trópicos y los sub-trópicos. Específicamente, el huracán Flora causó efectos devastadores en Trinidad y Tobago, Granada, Haití, República Dominicana, Cuba, Jamaica y Bahamas. Flora es un huracán histórico, con un aproximado de 7186 muertes y \$ 528 550 000 en pérdidas económicas (*Monthly Weather Review*: abril de 1964, pp.128, 133-136).

Los periódicos tanto internacionales como nacionales, dieron una amplia cobertura de lo acontecido en los países afectados: Desde el 30 de setiembre se emitieron alertas de fuertes vientos, aguaceros torrenciales y mareas altas por la presencia de Flora en Curazao, Trinidad y Tobago, Granada, Puerto Rico, Antillas Menores, Haití, Jamaica y Guantánamo (Cuba) (*La República*:

1 de octubre de 1963, p.12; 2 de octubre de 1963, p.11; 3 de octubre de 1963, pp.10-11; 4 de octubre de 1963, p.9). En Trinidad y Tobago las comunicaciones fueron interrumpidas por las inundaciones y derrumbes, también se cancelaron vuelos, murieron 17 personas y muchos heridos fueron internados en los hospitales. La isla de Tobago se mantuvo aislada, con varios distritos arrasados, cortes de energía eléctrica, interrupción del transporte público en la capital y escasez de combustible y comida; por lo que se envió auxilio para atender a los afectados. Los daños en la región se calcularon en unos 25 millones de dólares, la población se refugió en albergues, se reportaron varias personas desaparecidas y se efectuaron campañas de inoculación contra el tifus (*La República*: 1 de octubre de 1963, p.12; 2 de octubre de 1963, p.11; 4 de octubre de 1963, p.8; *La Prensa Libre*: 4 de octubre de 1963, pp.1, 3).

En Haití se informó que para el 4 de octubre, Flora era la tormenta más peligrosa en el Caribe de los últimos dos años. El Servicio Meteorológico de Haití predijo muchas pérdidas de vidas y grandes daños

en la propiedad, porque la mayoría de la población vivía en chozas precarias, sin protección alguna y se advirtió que las zonas costeras meridionales debían ser evacuadas (*La República*: 4 de octubre de 1963, p.9; *La Nación*: 4 de octubre de 1963, p.14; *La Prensa Libre*: 4 de octubre de 1963, pp.1, 3). Para el 5 de octubre se informaba de 26 personas muertas y de comunidades evacuadas, el 85% de los inmuebles resultaron dañados y hubo miles de damnificados, las plantaciones fueron afectadas por las inundaciones y no se había restablecido la comunicación (*La Nación*: 6 de octubre de 1963, p.45; *La República*: 6 de octubre de 1963, p.35). El 7 de octubre el ministro de Salud Pública haitiano Gérard Philippeaux informó que cerca de las 2/5 partes de Haití fueron devastadas, 4.000 muertos y entre 50.000 y 100.000 personas sin hogar (*La Prensa Libre*: 5 de octubre de 1963, p.1; 8 de octubre de 1963, p.1B; *La República*: 8 de octubre de 1963, pp. 1,9-10).

En Cuba, Flora dejó una estela de devastación: cadáveres flotan por las calles, la base naval estadounidense de Guantánamo quedó afectada, embarcaciones dañadas en la marina de Manzanillo, se perdió el barco La Caridad y encalló el 30 de noviembre; el desastre también tuvo sus repercusiones para el bloque comunista, puesto que la mitad de las cosechas fueron arrasadas, incluida la caña de azúcar destinada para el comercio con la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) (*La Prensa Libre*: 4 de octubre de 1963, pp.1,3; 6 de octubre de 1963, p.1; *La República*: 6 de octubre de 1963, p.35).

Además de los árboles derribados, cultivos dañados, deslizamientos y ríos crecidos debido a las lluvias torrenciales, los datos proporcionados por el gobierno cubano indicaron 71 muertos, 50.000 evacuados, 11.100 refugiados en Santiago de Cuba y 60.000 en Camagüey, Oriente, Holguín, Sancti Spiritus, Palma Soriano, Ciego de Ávila y Manzanillo, por lo que el 7 de octubre, Fidel Castro declaró la mitad oriental de Cuba en estado de emergencia. Por último, mensajes de radio del

9 de octubre indicaron que Flora ocasionó por lo menos 200 muertos y se temía por la vida de 4.000 recolectores de café en la Sierra Cristal (*La Nación*: 6 de octubre de 1963, p.46; 7 de octubre de 1963, p.44; 8 de octubre de 1963, pp.9-10; 9 de octubre de 1963, p.10, 14; *La República*: 10 de octubre de 1963, p.12).

El ex-delegado de Cuba ante el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas declaró que “la economía cubana ya se encontraba en situación desesperada. Ahora la situación pudiera ser insostenible” (*La República*: 8 de octubre de 1963, p.10). El Dr. Rogelio Alfonso Báez, exilado del régimen de Castro, dijo que “antes de que el Huracán Flora azotara Cuba la situación sanitaria era desastrosa y ahora debe ser horrible” y expresó el temor de que si se enviaba ayuda a los damnificados, sería usada por la milicia y los rusos de modo que no llegaría a los más necesitados, lo que evidenciaba la influencia de estos fenómenos en las pugnas políticas que dividían a la nación cubana (*La República*: 11 de octubre de 1963, p.11).

La antigua provincia de Oriente estaba necesitada de vacunas para combatir un posible estallido de tifus. Las informaciones de la radio describían un cuadro de caos y destrucción donde se temía por las miles de personas aisladas por el agua, ya que no se podía llegar a ellas por la destrucción de puentes y carreteras; no había electricidad y los acueductos y alcantarillados habían quedado destruidos. Las personas buscaron refugio en terrenos altos y se creía que en Oriente y Camagüey la destrucción de las cosechas había sido casi completa; hubo fuertes pérdidas en arroz, maíz, frijoles, maní, patatas, café, algodón y en la caña de azúcar (se calculaban pérdidas de 45 millones de kilos), además de pérdidas graves en la producción de leche y carne. La Unión Soviética acordó suministrar cinco mil toneladas de café brasileño para distribuirlos en la isla y el precio de la carne en La Habana se rebajó en un 50% (*La República*: 8 de octubre de 1963, p.10; 9 de octubre de 1963, p. 10; 10 octubre de 1963 p.12).

Los destrozos ocasionados en la base naval de los Estados Unidos en Guantánamo, fueron al parecer de escasa importancia debido a que el personal fue advertido con anticipación. Los tres millones y medio de habitantes de Haití también recibieron numerosos avisos, pero la mayoría vivía en chozas precarias sin protección alguna contra huracanes (*La Prensa Libre*: 4 de octubre de 1963, pp.1, 3).

Flora elevó el precio del azúcar hasta 80 libras por tonelada en Londres. Los expertos dijeron que el precio continuaría ascendiendo, ya que el año siguiente habría una gran escasez en el mercado al verse afectada la producción del azúcar cubano (*La Prensa Libre*: 9 de octubre de 1963, p.1; *La República*: 10 de octubre de 1963, p.10). Un funcionario del Instituto Nacional de la Reforma Agraria de Cuba, informó de la destrucción de una cosecha entera de banano y daños en las cosechas de azúcar. Además se informó de más de 1.126 muertos y 150.000 evacuados y se decretaron tres días de duelo nacional por las víctimas (*La Prensa Libre*: 14 de octubre de 1963, p.9; 22 de octubre de 1963, p.1B).

Fidel Castro afirmó que se elevarían los precios de varios artículos de consumo, para contribuir a financiar un programa de control de inundaciones y acusó a Estados Unidos de negar informaciones meteorológicas a los técnicos cubanos por razones políticas. El 95% de las líneas férreas en las vecindades de Oriente y Camagüey fueron destruidas y se reportaron cinco puentes derrumbados (*La Prensa Libre*: 14 de octubre de 1963, p.9; 22 de octubre de 1963, p.1B).

El 8 de octubre Flora azotó unas islas poco pobladas de las Bahamas meridionales. El vórtice del huracán salió de Cuba y entró en el Atlántico, donde se creía que iba a recuperar toda su fuerza (*La Nación*: 5 de octubre de 1963, p.11; *La Prensa Libre*: 4 de octubre de 1963, pp.1-3; 5 de octubre de 1963, p.1; *La República*: 9 de octubre de 1963, p.10). Chile propuso que las Naciones Unidas aprobaran un llamado de ayuda a las víctimas en Cuba, Haití

y Trinidad y Tobago. Sin embargo, Fidel Castro rechazó el ofrecimiento de ayuda hecho por la Cruz Roja de los Estados Unidos, mientras Jamaica manifestó su deseo de ayudar económicamente a Cuba, a pesar de las dificultades que Flora había causado en el país (*La República*: 15 de octubre de 1963, p.11; 17 de octubre de 1963, p.11; 19 de octubre de 1963, p.11).

En Costa Rica, el temporal causó daños en carreteras de San Isidro de El General. La localidad quedó incomunicada con la frontera sur, las correntadas del Río Claro arrastraron el puente entre Peñas Blancas y Villa Neily, por lo que existía grave peligro de traspaso entre los pasajeros. Otro informe señalaba, que en Cartago el río Taras se llevó el puente que comunicaba El Guarco y Guadalupe (*La Nación*: 5 de octubre de 1963, p.10).

El río Reventado se convirtió en una seria amenaza para los pobladores de Cartago, debido a su constante crecimiento. El día 10 un informe de la Dirección General de la Guardia Civil reportó una cabeza de agua que bajó por el río, no hubo desgracias personales, ni daños materiales. Hubo un derrumbe en Tierra Blanca, en las faldas del Volcán Irazú. El 13 de octubre se generó un derrumbe en la Angostura de San Ramón sobre la Carretera Interamericana, sin que se causaran daños personales y las continuas lluvias ocasionaron el ablandamiento del terreno (*La Prensa Libre*: 14 de octubre de 1963, p.4; 15 de octubre de 1963, p.4).

3.2.2 Huracán Inés (1966)

El huracán Inés se caracterizó por ser uno de los huracanes con mayores alertas emitidas hasta ese momento, 65 avisos y 51 boletines. Fue el primer huracán que debido a su inusual trayectoria afectó las Antillas Menores, Bahamas, Florida y México. Además se registró como el primer huracán al final de la temporada, en cruzar la totalidad del golfo de México sin que recurvara (*Monthly Weather Review*: abril de 1967, pp.138-140).

Se reportaron daños a causa de Inés en Cuba, Haití, República Dominicana, el Golfo de México y la isla de Guadalupe, mientras que la prensa nacional informó de actividad lluviosa en Cartago y Guanacaste. El 26 de setiembre la tormenta tropical Inés se transformó en huracán, lo que puso en alerta a las islas del sudeste del Caribe, un día después Inés azotó la isla de Guadalupe, haciendo que los residentes buscaran refugio en zonas elevadas dejando a su paso 23 muertes, 110 heridos y 10.000 habitantes sin techo. Además, numerosas viviendas destruidas, edificios públicos presentan desperfectos y los servicios quirúrgicos fueron inutilizados. El 85% de las plantaciones de plátano y el 90% de las de caña de azúcar fueron destruidos, los víveres escasearon y las autoridades estimaron que los daños ascendían a varios millones de dólares (*La Nación*: 27 de setiembre de 1966, p.17; 28 de setiembre de 1966, p.26; 30 de setiembre de 1966, p.20).

Inés devastó con marea alta, fuertes lluvias y vientos la costa sudoriental de México, principalmente la península de Yucatán. Para el día 6 de octubre, se recomendó a las embarcaciones pesqueras que buscaran refugio en el puerto de Campeche. Las autoridades redoblaron esfuerzos para la evacuación, por los que unos 10.000 habitantes huyeron a Mérida y el fuerte oleaje ocasionó grandes daños sin tenerse noticias de víctimas (*La Nación*: 28 de setiembre 1966, p.26; 7 de setiembre de 1966, pp.8-9; *La República* 8 octubre de 1966, p.8).

En República Dominicana se reportaron nueve muertos, 15 heridos y 200 casas inundadas. Las fuerzas armadas movilizaron 5.000 hombres para atender a los damnificados, aunque los mayores daños provocados por la tormenta se registraron en las siembras de cacao y cafetales, esto constituyó un golpe fuerte a la economía dominicana, ya que estas actividades eran de gran importancia y se esperaba con su cosecha solventar la bancarrota y la deuda externa que

sobrepasaba los 500 millones de dólares (*La Nación*: 30 de setiembre de 1966 p.20).

El 1 de octubre Inés se estacionó sobre regiones montañosas de Cuba, donde barrió las cosechas de algodón, cafetales, bananales, cañaverales y campos de hortalizas, dirigiéndose a la Florida, donde el 4 de octubre los fuertes vientos derribaron árboles y cables del tendido eléctricos, además de mareas altas; no obstante, provocó relativamente pocas lluvias pero hubo muchas personas heridas por fragmentos de vidrios voladores. En Miami los aguacates y limas volaron por los aires, ocasionando pérdidas en cosechas, estimadas en 10 millones de dólares (*La República*: 2 octubre de 1966, pp.1, 12; 5 de octubre de 1966, p.8).

El 6 de octubre Inés volvió a Cuba, donde afectó las cosechas de tabaco. Las precauciones tomadas por el gobierno de Castro evitaron que las pérdidas de vida fueran mayores, la experiencia con el huracán Flora, sirvió para preservar la vida de niños y jóvenes recogedores de café voluntarios, que en 1963 fueron el mayor número de víctimas. No obstante, Inés afectó la principal región cafetalera cubana en la antigua provincia de Oriente, donde se producía el 92% del café de la isla, cuya recolección tenía lugar entre los meses de agosto y febrero, además de los daños ocasionados a las plantaciones de banano y caña de azúcar, en dicha región (*La República*: 7 de octubre de 1966, pp.8-9; 8 de octubre de 1966, p.6).

En Jacmel, Haití el huracán causó el desbordamiento de los ríos, dañó el 80% de los edificios, se encontraron 23 cadáveres aunque se desconocía el número exacto de muertes y no se contaba con medicinas, suministros y había poco personal de ayuda para atender a los damnificados (*La República*: 2 de octubre de 1966, pp.1, 12).

Un balance del destructor huracán Inés se sintetiza de la siguiente forma: a) Guadalupe: 26 muertos, centenares de heridos, 30.000 personas sin hogar. Daños por cuatro millones de dólares

por pérdida de cafetos, bananeras y plantaciones de azúcar. b) República Dominicana: 67 muertos, 25 desaparecidos, pérdidas en plantaciones por un millón de dólares. c) Haití: entre 500 y 1.000 muertos. Las averiguaciones fueron lentas debido a las deficientes comunicaciones. d) Cuba: un muerto, 300 heridos, 500 casas destruidas, grandes daños en la agricultura. e) Florida: un hombre murió de un ataque al corazón (*La República*: 4 de octubre de 1966, p.8).

En Costa Rica, se reportó la presencia de un temporal. En Cartago, sobre el cauce del Reventado se produjo una avalancha por la actividad lluviosa, un puente falseado y los tanques de captación de cañería fueron destruidos. El río Purires se desbordó ocasionando casas inundadas, se informó sobre evacuación de familias y destrucción de los cultivos de café. En Curridabat, las fuertes lluvias inundaron una casa y cinco personas fueron evacuadas en el sector de Tirrasas (*La República*: 1 octubre de 1966, pp.1,4; 6 de octubre de 1966, p.10).

En Guanacaste hubo inundaciones por desbordamientos en Filadelfia, Cañas, Santa Cruz y Liberia. Esto originó cuantiosas pérdidas en la agricultura (plantaciones de algodón, arrozales, frijoles, plátanos, frutales y otros cultivos), ganadería, viviendas (60-70 casas inundadas y 350 personas afectadas) y vías de comunicación (puentes destruidos). Las pérdidas se estimaron en dos millones de colones. Las comunidades de Bolsón y Ortega quedaron separadas por grandes extensiones de agua, se informó sobre destrucción de puentes, caminos y embarcaciones. Los habitantes de la zona fueron evacuados con eficiencia por Defensa Civil, sin embargo, la situación evidenciaba una alarmante ola de desocupación ya que las empresas y actividades agrícolas estaban paralizadas. Para el 12 de octubre, el tiempo mejoró (*La República*: 8 de octubre de 1966, p.5; 9 de octubre de 1966, p.34; 11 octubre de 1966, p.6; 12 octubre de 1966, pp.6-7).

3.2.3 Huracán Fern (1971)

El huracán Fern se originó a partir de una onda tropical desde el Mar Caribe, el 1 de setiembre. El 4 de setiembre de 1971 se movió hasta Luisiana llevando consigo lluvias al área de Nueva Orleans, alcanzando la intensidad de tormenta tropical el 7 de setiembre y al día siguiente se convirtió en huracán. El daño en Texas se debió a las inundaciones ocasionadas por las fuertes lluvias que devastaron numerosos pueblos, además de dos ahogados y cinco tornados asociados al ciclón. Los daños se estimaron en \$ 30,23 millones (*Monthly Weather Review*: noviembre de 1972, p.264).

3.2.4 Tormenta tropical Laura (1971)

Según datos internacionales y el Centro Nacional de Huracanes, la tormenta tropical Laura se formó en el Caribe, los pronosticadores indicaron que era probable que se convirtiera en huracán. Se esperaba que las fuertes lluvias en Gran Caimán se acabaran pronto y los pobladores de la península del noreste de Yucatán y del sur de la Florida fueron advertidos para que no se aventuraran muy lejos de los puertos (*The News Tribune*: 15 de noviembre de 1971, p.8).

Para el 15 de noviembre se anunció que Laura amenazaba las plantaciones de tabaco del oeste de Cuba y se alertaba a los pobladores de la zona. En Florida continuaban las fuertes lluvias y vientos de tormenta (*The Greeley Daily Tribune*, 15 de noviembre de 1971, p.6). El Servicio Meteorológico de Costa Rica informaba a la población que se preveían días nublados, con algunas lluvias sobre el territorio nacional (*La Nación*: 15 de noviembre de 1971, p.16).

El 16 de noviembre las tropas cubanas evacuaron a 10.500 personas debido a la tormenta tropical. El Centro Nacional de Huracanes previó que el ojo de la tormenta pasaría cerca de La Habana, se colocaron banderas de advertencia de tormenta en la parte inferior de los Cayos de Florida. Las

condiciones climáticas no favorecían al Caribe y la tormenta tropical Laura amenazaba los cultivos de tabaco recién plantados de Cuba, se previó que pasaría a categoría de huracán durante ese día, sin embargo, no alcanzó dicho nivel (*Billings Gazette*: 16 de noviembre de 1971, p.3; *Galveston Daily News*: 16 de noviembre de 1971, p.6).

Se permitió el regreso a 23.000 cubanos evacuados de Pinar del Río a sus hogares (un dato de *La Nación* informó que eran 3.000). A pesar de que no había coherencia en la cantidad de evacuados, se sabía por las fuentes que el número fue alto. Se informó a pobladores de la zona del sur de Florida y el sur de Cuba, que se quedaran en los puertos a menos que Laura cambiara de dirección. El Centro Nacional de Huracanes informó que más de 6 pulgadas (152,4 milímetros) de lluvia cayeron en algunas partes del Pinar del Río y en la Isla de Pinos (hoy día Isla de la Juventud). Radio Cubana informó daños en los cultivos de cítricos (*Kingsport Times*: 17 de noviembre de 1971, p.2; *La Nación*: 17 de noviembre de 1971, p.26; *Simpson's Leader-Times*: 17 de noviembre de 1971, p.2).

Laura se alejó de Cuba y siguió su rumbo hacia el norte. Por medio de un reconocimiento aéreo se mostró que las fuerzas de los vientos se encontraban por debajo de las de un huracán y que no se esperaba su fortalecimiento, sin embargo, la tormenta amenazó la isla de Cozumel (México) y se advirtió a las embarcaciones pequeñas que no se aventuraran al mar abierto (*Kingsport Times*: 17 de noviembre de 1971, p.2; *Panama City News-Herald*: 18 de noviembre de 1971, p.1).

Radio Habana reportó un hombre muerto al caer en un río crecido. La tormenta tropical llegó el sábado 20 de noviembre a Honduras Británica (hoy día Belice), luego de una semana a la deriva en el Caribe. Según el Centro Nacional de Huracanes se esperaba que su capital, la ciudad de Belice, recibiera el impacto en horas de la tarde de ese mismo día y se reportaron fuertes lluvias y vientos, se lanzó una advertencia a todas las embarcaciones pequeñas

para que llegaran a puerto seguro (*Avalanche-Journal*: 18 de noviembre de 1971, p.67-244; *The Bee*: 20 de noviembre de 1971, p.1; *The Dominion-News*: 20 de noviembre de 1971, p.20; *The Post-Register*: 19 de noviembre de 1971, p.3). Mientras tanto, cientos de residentes de las costas buscaron refugio en zonas más altas, al menos una casa colapsó por los fuertes vientos, en la catedral operó uno de los tres hospitales de Belice y los fuertes vientos se reportaron en la Honduras Británica, el norte de Guatemala, noroeste de Honduras y el sur de la Península de Yucatán (*Ogden Standard-Examiner*: 21 de noviembre de 1971, p.217; *The Press-Courier*: 21 de noviembre de 1971, p.1).

Además del daño ocasionado por la tormenta tropical Laura en algunos edificios de la ciudad de Belice, un grupo de 20 investigadores del Instituto Smithsonian de Washington debieron ser rescatados en el Glover's Reef, debido a los fuertes vientos. El Centro Nacional de Huracanes anunció el pronóstico de inundaciones en las montañas de Honduras Británica y Guatemala debido a las fuertes lluvias (*Record-Eagle*: 22 de noviembre de 1971, p.23; *Billings Gazette*: 22 de noviembre de 1971, p.56).

La tormenta tropical comenzó a debilitarse al pasar sobre Centroamérica, el 21 de noviembre según un reporte meteorológico (*La Nación*: 22 de noviembre de 1971, p.26). Además provocó lluvias aisladas en Guatemala mientras se disipaba, así como 25 pulgadas (635 milímetros) de lluvia en algunas partes de Cuba, además de golpear la Isla de Pinos con vientos de hasta 70 millas por hora (aproximadamente 113 kilómetros por hora) (*Big Spring Daily Herald*: 22 de noviembre de 1971, p.7).

El 6 de setiembre de 1978 se produjeron fuertes aguaceros que causaron inundaciones en barrios populares de San José, entre ellos Barrio Cuba, Sagrada Familia, San Martín y la ciudadela de Hatillo Dos. Se reportaron cinco familias afectadas al inundarse sus casas y los fuertes aguaceros causaron deslizamientos de tierra, que

ocasionaron la suspensión del tráfico de vehículos en la carretera nueva a Escazú (*La República*: 6 de setiembre de 1978, p.10).

3.2.5 Huracán Greta (1978)

Para el sábado 16 de setiembre de 1978, los pronosticadores esperaban que la tormenta tropical Greta alcanzara la categoría de huracán al llegar al Caribe. Se encontraba a 275 millas (unos 443 kilómetros) al sur de Kingston, Jamaica (*Newport Daily News*: 16 de noviembre de 1978, p.13). Para el domingo 17 se pronosticaba el cruce del huracán Greta por la costa noreste de Nicaragua, por lo que el Centro Nacional de Huracanes emitió advertencias al noreste de Nicaragua y al este de Honduras, para que la gente tomara medidas de precaución. Joe Pellisier del Centro Nacional de Huracanes manifestó que el huracán no estaba bien organizado, pero que en las próximas 24 horas tomaría fuerza (*Logansport Pharos-Tribune*: 17 de setiembre de 1978, p.12; *Galveston Daily News*: 17 de setiembre de 1978, p.2).

Para el lunes 18 de setiembre, seguían las alertas por altas mareas de hasta tres metros de altura en zonas costeras. Muchos sectores estaban aislados por lo que no llegaban los llamados de emergencia. La Cruz Roja evacuó a los habitantes de las tierras bajas de las cuatro Islas de la Bahía, además se acopiaron alimentos de reserva (*La Prensa Libre*: 18 de setiembre de 1978, p.28).

El 19 de setiembre había noticias de que el huracán Greta empezaba a disiparse en las montañas y se degradaba a tormenta tropical, no se reportaron pérdidas de vidas si bien se advirtió del peligro por las torrenciales lluvias y deslizamientos en las montañas. Hubo reportes de daños en plantaciones de banano y coco, que eran las mayores fuentes de ingresos de Honduras y gran parte de Belice, se reportó que Stann Creek, un pueblo bananero de la costa de Belice compuesto por alrededor de 7.000 residentes, se encontraba bajo 10 pies (3 metros)

de agua, mientras que porciones de la ciudad de Belice estaban bajo 8 pies (2,4 metros) de agua; un pequeño tornado arrasó con al menos cuatro casas y volcó un camión. Miles de habitantes de ambos países se desplazaron hacia tierras más altas o hacia refugios, mientras que los daños en los pueblos costeros de Honduras comprendían edificios, botes y facilidades públicas (*Logansport Pharos-Tribune*: 19 de setiembre de 1978, p.451-601; *Newport Daily News*: 19 de setiembre de 1978, p.3). El saldo fue de cientos de personas sin casa, principalmente de pequeños pueblos de pescadores que no aparecían en la mayoría de los mapas y los daños más importantes fueron en Potuca, donde 275 hogares resultaron destruidos (*La República*: 19 de setiembre de 1978, p.4; *La Prensa Libre* 19 de setiembre de 1978, p.15).

El 20 de setiembre las autoridades hondureñas reportaron que no hubo pérdida de vidas, debido a que los residentes recordaron la lección aprendida hacía cuatro años (1974), en que el huracán Fifi mató aproximadamente 10 mil personas en su paso por Honduras (*Logansport Pharos-Tribune*: 19 de setiembre de 1978, p.451-601). El gobierno hondureño indicó que más de 1.000 casas de las islas y de la costa fueron destruidas por la tormenta, y la Cruz Roja reportó la muerte de un niño ahogado en La Ceiba (*New Mexican*: 20 de setiembre de 1978, p.15; *The Capital*: 20 de setiembre de 1978, p.12).

El Comité Permanente de Emergencia Nacional (COPEN) informó, que a su paso por Honduras el huracán Greta dejó como saldo un muerto, 7.800 damnificados y más de 2.000 viviendas destruidas. Los departamentos más afectados fueron Gracias a Dios, Colón e Islas de la Bahía (*La República*: 21 de setiembre de 1978, p.6).

3.2.6 Huracán Frederic (1979)

La temporada de huracanes de 1979 se caracterizó por diversas tormentas tropicales y por los huracanes David (catalogado como uno de los más trágicos en la República Dominicana) y

Frederic que afectó las Islas Vírgenes, Puerto Rico, República Dominicana, Haití, Cuba y los Estados Unidos (*Monthly Weather Review*: julio de 1980, p.985). En Costa Rica durante ese año, se dieron fuertes lluvias que causaron severas inundaciones en el litoral Pacífico, Guanacaste y el Valle Central.

En República Dominicana se contabilizaron más de 800 muertos y 6.000 personas sin hogar. Las fuertes lluvias ocasionaron pérdidas en la agricultura del 90%. En Florida hubo interrupciones en el suministro de energía eléctrica, casas y árboles derrumbados por los fuertes vientos, los tornados destruyeron nueve casas y los daños llegaron a 600 millones de dólares (*La República*: 4 de setiembre de 1979, p.8; *La Prensa Libre*: 3 de setiembre de 1979, p.17).

El huracán Frederic produjo alerta en Cuba, más de 34.000 personas evacuadas en La Habana y otras 2.000 en Pinar del Río y no había suministro de energía eléctrica, agua potable, gas natural, ni servicios telefónicos (*La Nación*: 12 de setiembre de 1979, p.17; *La Prensa Libre*: 12 de setiembre de 1979, p.17). En Puerto Rico la presencia de Frederic agravó los daños sufridos previamente por el anterior huracán David, destruyendo varios puentes, provocando inundaciones y causando la muerte a 34 personas (*La Prensa Libre*: 8 de setiembre de 1979, p.17).

En el territorio costarricense desde el 1 de setiembre se reportaron aguaceros, debido a los efectos indirectos del paso del huracán David. Al día siguiente se registraron estragos en el litoral Pacífico atribuidos a “la cola del huracán David”, es decir, a sus efectos indirectos. Los torrenciales aguaceros acompañados de fuertes vientos causaron inundaciones y derrumbes en las poblaciones costeras de Caldera y Parrita, en esta última localidad, las aguas alcanzaron entre 2-3 metros de altura, mientras en Caldera la situación era crítica porque se produjeron derrumbes, caída de instalaciones eléctricas, troncos y rocas, y el falseamiento de los tanques de las empresas

RECOPE y TROPIGAS. El escape de gas puso en peligro a los habitantes de la comunidad y se preparó su evacuación, además se registraron pérdidas millonarias, carros ferroviarios volcados, buses y vehículos particulares atrapados, casas arrasadas y puentes destruidos. La Defensa Civil y la Cruz Roja indicaron que unos 350 derrumbes ocurrieron en el litoral pacífico, mientras que las pérdidas en esa zona se estimaron en 10 millones de colones y para el 3 de setiembre, la influencia indirecta del huracán Frederic empezaba a ocasionar fuertes lluvias e incremento del viento en territorio costarricense (*La Prensa Libre*: 1 de setiembre de 1979, p.17; 2 de setiembre de 1979, pp.1, 3, 10, 14; *La República*: 2 de setiembre de 1979, p.3.).

El 6 de setiembre, el subdirector del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Eladio Zárate, afirmó que Frederic al convertirse en huracán podría afectar indirectamente a Costa Rica, al intensificar las lluvias en el litoral del Pacífico durante ese mes (*La República*: 6 de setiembre de 1979, p.3.). En esa zona se estimaron las pérdidas en 10 millones de colones, a causa de inundaciones y derrumbes, mientras que el servicio de trenes a Puntarenas fue restablecido después de estar interrumpido (*La Prensa Libre*: 3 de setiembre de 1979, pp.1, 10, 12, 17; 10 de setiembre de 1979, p.12; *La República*: 4 de setiembre de 1979, p.8).

En el Valle Central se dieron derrumbes y hundimientos, los torrenciales aguaceros originaron inundaciones, ríos y acequias se desbordaron, la carretera a Río Azul sufrió daños por deslizamientos, por lo que las cuadrillas del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) intervinieron para la reparación de la carretera. Para el 5 de setiembre las lluvias intensas ocasionaron inundaciones en la ciudad de San José, especialmente en Los Anonos, Barrio Corazón de Jesús (La Uruca) y la colonia 15 de Setiembre (Hatillo), donde varias familias fueron trasladadas ya que el nivel del agua era considerablemente alto (*La Prensa Libre*: 5 de setiembre de 1979, pp.

1,12; *La República*: 5 de setiembre de 1979, p.8). Los fuertes aguaceros motivaron la evacuación de ocho familias en Cristo Rey e inundaciones en Calle Fallas de Desamparados, lo que provocó el traslado de varias personas (*La Nación*: 15 de setiembre de 1979, p.12; *La Prensa Libre*: 11 de setiembre de 1979, p.1).

Fuera del Valle Central, en el cantón de Pérez Zeledón se desbordó el río San Isidro y la comunidad de La Palma quedó aislada durante varias horas. En Santa Cruz, las fuertes lluvias provocaron inundaciones, ríos desbordados y la evacuación de familias, miles de hectáreas anegadas por las aguas del Tempisque y se dieron pérdidas cuantiosas en granos (entre 3.000 y 4.000 hectáreas cultivadas de arroz, algodón y caña). La pérdida en caña se estimó en 15 millones de colones y se calculó que en la producción algodонера se dañaron alrededor de 1.000 hectáreas, que representaron una pérdida de 1.5 millones de colones. Hubo centenares de damnificados y comunidades incomunicadas, 150 refugiados en la escuela de Santa Cruz y 70 alojados en un galerón en Bagaces (*La Nación*: 12 de setiembre de 1979, p.17; 13 de setiembre de 1979, p.1; *La Prensa Libre*: 11 de setiembre de 1979, pp.1, 10; *La República*: 12 de setiembre de 1979, pp.8-9).

En Filadelfia, tres cuartas partes del campo de aterrizaje se inundaron, 300 personas refugiadas en la escuela Central y 60 familias más fueron evacuadas, a pesar de que las aguas comenzaron a volver a su cauce y la intensidad de las lluvias disminuyó en horas de la tarde. Las brigadas de socorro calcularon que unas 450 viviendas fueron inundadas con el desbordamiento de los ríos, los animales domésticos perecieron a causa de las inundaciones; en Corralillo hubieron 75 familias incomunicadas, mientras que en Playas del Coco se informó que las fuertes marejadas y vientos huracanados lanzaron a tierra firme botes y lanchas pesqueras (*La Nación*: 12 de setiembre 1979, p.12; 13 de setiembre de 1979, pp.1,10; *La Prensa Libre*: 11 de setiembre de 1979, p.1; 13 de setiembre de

1979, p.10; *La República*, 12 de setiembre de 1979, pp.8-9; 13 de setiembre de 1979, p.8).

Las inundaciones en Guanacaste dejaron un saldo de 520 personas trasladadas y muchas familias aisladas, ya que el acceso por tierra era dificultoso, había falta de medicinas y equipo para brindar atención médica. La Guardia Rural y los cruzrojistas trabajaron intensamente en auxiliar a muchos de los menores damnificados, quienes presentaban enfermedades estomacales y en la mayoría de los casos padecían desnutrición. Las labores de socorro fueron intensas y las pérdidas en la agricultura cuantiosas (cultivos de arroz, sorgo y algodón inundados) (*La Nación*: 14 de setiembre de 1979, p.12; *La Prensa Libre*: 13 de setiembre de 1979, p.10).

En la Florida (Estados Unidos), se reportó un muerto y un desaparecido, además de unos 2.500 trabajadores petroleros que abandonaron plataformas marinas (*La Nación*: 12 de setiembre de 1979, p.17). En el sur de los Estados Unidos se observaron olas de hasta cinco metros, lluvias torrenciales y vientos de 200 km/h. Cuatrocientas mil personas huyeron de sus hogares, las escuelas y comercios de Florida, Alabama, Misisipí y Luisiana permanecieron cerrados, se estimó que las pérdidas ocasionadas por el ciclón superaron los 95 millones de dólares (*La Nación*: 13 de setiembre de 1979, pp.1,10,19; 15 de setiembre de 1979, p.18; *La Prensa Libre*: 13 setiembre de 1979, p.16; 14 de setiembre de 1979, p.19).

El conteo de fallecidos fue alrededor de 11, hubo miles de viviendas destruidas y 30 distritos fueron declarados como zona de desastre por el presidente estadounidense Jimmy Carter. Las lluvias torrenciales ocasionaron el derribo de postes de alumbrado público, bloqueo de carreteras por árboles y restos de mampostería (*La Nación*: 14 de setiembre de 1979, p.19; 16 de setiembre de 1979, p.18; *La Prensa Libre*: 14 de setiembre 1979, p.19).

3.3. Período 1980-2000

Este período de dos décadas comprende seis ciclones, cuya trayectoria se describe en la figura 3.

La línea negra representa la trayectoria de la Tormenta Tropical No. 3, de las 12 hrs del 9/8/1987 a las 12 hrs del 17/8/1987; la azul la de la Tormenta Tropical Allison, 18 hrs del 24/6/1989 a las 12 hrs del 1/7/1989; la roja la del Huracán Roxanne, de las 18 hrs del 7/10/1995 a las 0 hrs del 21/10/1995; la verde la del Huracán Marco, de las 12 hrs del 13/11/1996 a las 18 hrs del 26/11/1996; la celeste la del Huracán Danny, de las 12 hrs del 16/7/1997 a las 12 hrs del 27/7/1997 y la violeta la del Huracán Mitch, de las 0 hrs del 22/10/1998 a las 18 hrs del 9/11/1998.

3.3.1 Tormenta tropical No. 3 (1987)

La tormenta tropical No. 3 de la temporada de 1987 ocasionó fuertes inundaciones en la zona del Golfo de México y los daños ascendieron a \$7,5 millones, especialmente en Misisipí. No se le

atribuyeron muertes (*Monthly Weather Review*: abril de 1989, p.939).

3.3.2 Tormenta tropical Allison (1989)

La tormenta tropical Allison se formó por la combinación de tres diferentes fenómenos meteorológicos: los remanentes del huracán Cosme, una porción de una onda tropical que se dirigía hacia el oeste y un fuerte anticiclón. Se mantuvo en la costa de Texas y las fuertes lluvias provocaron inundaciones que dejaron daños por casi quinientos millones de dólares de dólares y 11 ahogados (*Monthly Weather Review*: mayo de 1990, p.1167).

3.3.3 Huracán Roxanne (1995)

La tormenta tropical Roxanne la número 17 de la temporada de 1995, se formó el lunes 9 de octubre al sur de las Islas Caimán, próxima al área de formación del huracán Opal. Esta es la primera tormenta con nombre que inicia en R, desde que el Centro Nacional de Huracanes empezó a

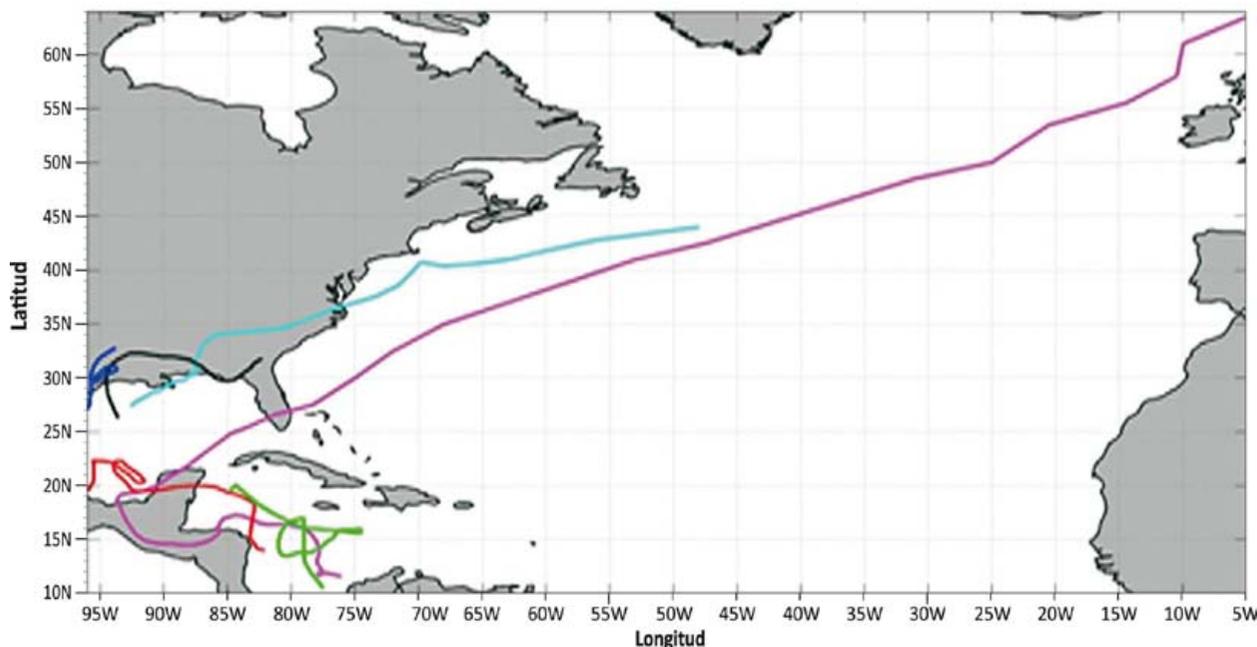


Figura 3. Ciclones del período 1980-2000. Fuente: Basada en los datos de HURDAT y UNISYS.

nombrarlos en 1950. Se emitió una advertencia de huracán a la costa este de la Península de Yucatán y las autoridades mexicanas declararon alerta de emergencia al menos a 200 botes pesqueros para que regresaran a puerto (*Logansport Pharos-Tribune*: 10 de octubre de 1995, p.A5; *The Facts*: 11 de octubre de 1995, p.6).

El martes 10 de octubre se reportó que el huracán Roxanne se dirigía hacia la península de Yucatán, amenazando a México con un tercer desastre natural. El lunes 9 de octubre un terremoto seguido de un tsunami provocó la muerte de 58 personas en la costa pacífica, afectando los estados de Colima y Jalisco (Juárez et al., s.f.). Roxanne amenazaba el mismo lugar que fue afectado por el huracán Opal, que mató al menos a 10 personas hacía tan solo una semana (*Logansport Pharos-Tribune*: 10 de octubre de 1995 p.A5).

Los meteorólogos del sur de Texas estaban pendientes de la trayectoria del huracán Roxanne, en caso de convertirse en una amenaza se activarían los planes de emergencia. El martes 10 de octubre el Centro Nacional de Huracanes informó que Roxanne había pasado de ser categoría 2 “moderado” a categoría 3 “peligroso”, esto lo convirtió en el quinto huracán más importante de la temporada (*The Facts*: 11 de octubre de 1995, p.6; *New Mexican*: 11 de octubre de 1995, p.5). Para el jueves 12 se informaba de la presencia de fuertes lluvias en la Península de Yucatán, este de México y América Central, y se esperaban unas 10 pulgadas (254 milímetros) de lluvia más ese día. No se reportaron muertos ni heridos, pero sí caminos inundados y cortes esporádicos de electricidad, y se declaró estado de emergencia en el Golfo de México (*The Paris News*: 12 de octubre de 1995, p.1; *The Hays Daily News*: 12 de octubre de 1995, p.2).

Las lluvias torrenciales que azotaron la costa del Golfo de México inundaron pequeños pueblos y destruyeron cosechas enteras. Un pronosticador señaló que Roxanne continuaba siendo peligroso, aunque no era una amenaza para las costas

de Texas. Mientras se fortalecía Roxanne derrumbaba palmeras, destrozaba ventanas de los hoteles en Cancún y dejaba la isla de Cozumel incomunicada; continuaban las noticias de residentes que luchaban para recuperarse de Opal y ahora enfrentaban la amenaza de un nuevo huracán. Miles de mexicanos huyeron de las lluvias torrenciales y fuertes vientos que dejaba a su paso el huracán Roxanne, que tomaba fuerza a medida que se dirigía hacia Veracruz al norte y la primera muerte causada por Roxanne fue de un obrero, que murió ahogado al medir la cantidad de lluvia caída. En Campeche hubo más de 20.000 personas en refugios y las autoridades evacuaron a más de 4.000 residentes de Veracruz (*Indiana Gazette*: 13 de octubre de 1995, p.4; *The Facts*: 13 de octubre de 1995, p.4).

El periódico *New Mexican* de Santa Fe (Nuevo México, Estados Unidos), anunciaba el sábado 14 de octubre que los habitantes mexicanos habían tenido que hacer frente a tres grandes temblores y tres huracanes, y la Cruz Roja enviaba comida a las víctimas de los huracanes en la Península de Yucatán (*New Mexican*: 14 de octubre de 1995, p.7). El día 15 de octubre se informó que el huracán *Roxanne* había matado al menos a 6 personas y alejado de sus hogares a cientos de personas, desde que golpeó la isla de Cozumel. Las autoridades en salud intentaban que no llegara un brote de cólera a las partes inundadas del sur del Golfo y de Tabasco (*Indiana Gazette*: 15 de octubre de 1995, p.7; *The Facts*: 15 de octubre de 1995, p.7).

Para el 16 de octubre Roxanne se degradaba a tormenta tropical, a pesar de eso había peligro de inundación en Tabasco y Campeche porque las represas estaban en su máxima capacidad y los terrenos estaban saturados. Los reportes mencionaban tres muertos, 219 rescatados y 22 desaparecidos por el paso del huracán (*Galveston Daily News*: 16 de octubre de 1995, p.4; *Indiana Gazette*: 17 de octubre de 1995, p.7).

3.3.4 Huracán Marco (1996)

Para el día 20 de noviembre de 1996 el huracán Marco amenazaba las costas de Jamaica. El gobierno de ese país lanzó una advertencia y urgió a los pescadores a regresar a la costa, se reportaron lluvias torrenciales de entre 10 a 15 pulgadas (254-381 milímetros). Las tormentas recientes en Jamaica dejaron daños por 2.9 millones de dólares y forzaron la evacuación de 19 familias. Además hubo inundaciones en las que murieron siete personas en Honduras y Nicaragua (*Daily Sitka Sentinel*: 20 de noviembre de 1996, p.154; *Marysville Journal Tribune*: 20 de noviembre de 1996, p.6; *Texas City Sun*: 21 de noviembre de 1996, p.12).

Marco se degradó a una tormenta tropical, mientras las lluvias causaron las peores inundaciones en Honduras en décadas al matar al menos nueve personas, además dejaron sus marcas en la geografía del país; 60.000 personas fueron evacuadas de sus hogares, 4.000 casas y 40 puentes destruidos, lo cual dificultaba llegar a las áreas rurales. En República Dominicana se informó de un ahogado y 200 familias evacuadas entre el martes 19 y el miércoles 20 de noviembre (*Chronicle Telegram*: 21 de noviembre de 1996, p.3; *Syracuse Herald Journal*: 21 de noviembre de 1996, p.18).

3.3.5 Huracán Danny (1997)

En la temporada correspondiente al año 1997 Danny fue un huracán muy pequeño, sin embargo fue responsable de cinco muertes de forma directa y cinco de forma indirecta. El Centro Nacional de Huracanes estimó los daños en 100 millones de dólares (*Monthly Weather Review*: julio de 1998, p.2021).

El huracán Danny perdió fuerza y se convirtió en una tormenta tropical que descargó agua que superó el nivel de un metro en la costa del estado de Alabama, bloqueando carreteras. Aunque

disminuyó su fuerza causó fuertes inundaciones por las intensas lluvias y se estimó que alrededor de 100 botes fueron dañados por este ciclón (*La Nación*: 21 de julio de 1997, p.28A; *La República*: 20 de julio de 1997, p.1).

3.3.6 Huracán Mitch (1998)

La temporada de 1998 fue marcada por el huracán Mitch, considerado uno de los ciclones más devastadores a lo largo de la historia. Fue el responsable de más de nueve mil muertes, principalmente por las inundaciones causadas en Honduras y Nicaragua (*Monthly Weather Review*: diciembre de 2001, p.3112).

En Costa Rica, el periódico La Nación, informó que la tormenta tropical Mitch originó fuertes lluvias en Ciudad Cortés, donde 300 casas y locales comerciales se inundaron debido al desbordamiento del río Balsar, afluente del Grande de Térraba, por lo que 6.000 personas se vieron obligadas a dejar sus casas y las fuertes lluvias provocaron derrumbes en la Carretera Interamericana. La Comisión Nacional de Emergencias declaró alerta roja en el sur del país y amarilla en la zona de Guanacaste, Pacífico Central y Valle Central, mientras que el Instituto Meteorológico Nacional ordenó a la población a mantenerse alerta durante los próximos días (*La Nación*: 23 de octubre de 1998, p.8A).

La tormenta tropical Mitch afectó el Pacífico Sur, el Pacífico Central y Guanacaste, por el exceso de lluvias que provocaron inundaciones, crecidas de ríos y deslizamientos. En Coronado de Osa se contaron dos muertos, tres desaparecidos, 176 casas dañadas y 840 personas evacuadas. Además se registraron otros daños como puentes falseados, falta de agua potable y pueblos incomunicados próximos a Ciudad Cortés, en Nicoya se evacuaron a 100 personas por el desbordamiento del río Seco. La Comisión Nacional de Emergencias anunció que para el día 24 de octubre se encontraban 1.906 personas

alojadas en albergues, 12 puentes, 6 acueductos y 71 viviendas afectadas por deslizamientos o inundaciones (*La Nación*: 24 de octubre de 1998, pp.4-6A; 25 de octubre de 1998, p.20A).

Datos oficiales refieren que para el caso de Costa Rica, el huracán Mitch provocó daños en 40 de los 81 cantones del país, entre los cuales se destacan 74 rutas nacionales o tramos de caminos terrestres afectados, 36 puentes y 12 acueductos rurales, 39 centros educativos y 740 viviendas de interés social. Los 99 refugios temporales que se abrieron llegaron a albergar hasta 5.500 personas durante la emergencia y 1.720 familias fueron reubicadas por vivir en zonas de riesgo. Los efectos del huracán se hicieron sentir principalmente en la vertiente pacífica, en zonas que recién se estaban recuperando de los efectos causados por el paso del huracán César (1996) (Sistema de Naciones Unidas en Costa Rica, s.f).

El huracán provocó la muerte de cuatro personas y un número similar de desaparecidos en Costa Rica, mientras que en el resto de Centroamérica los datos oficiales registraron cifras mayores de víctimas: 5.657 (Honduras), 3.045 (Nicaragua), 268 (Guatemala) y 240 (El Salvador) y los albergues en el resto de la región atendieron a 460.860 personas (Banco Interamericano de Desarrollo, 1999; Instituto Meteorológico Nacional, s.f).

En Honduras el país más afectado por este huracán, se registraron también 8.058 desaparecidos, 12.272 heridos, 285.000 refugiados distribuidos en 1.375 albergues temporales y casi 1.500.000 damnificados en todo el país. En cuanto a la infraestructura vial 107 carreteras y 424 caminos fueron severamente dañados, 189 puentes destruidos y el 70% de los terrenos cultivados fueron arrasados o fuertemente afectados (principalmente plantaciones de café, banano y piña). Se reportaron averías en 1.743 acueductos, mientras que el sistema de alcantarillado de Tegucigalpa fue afectado a tal extremo que provocó un aumento en la contaminación del río

Choluteca. Además se reportaron daños en 23 hospitales y en 123 centros de salud, mientras que el 25% del total de todas las escuelas del país resultaron con averías, por lo que más de 100.000 escolares no pudieron continuar sus estudios tras el paso del huracán por territorio hondureño (Secretaría de Salud de Honduras y Organización Panamericana de la Salud, s.f).

3.4. Período 2001-2007

Para este período se analizó el impacto social provocado por seis ciclones representados en la figura 4.

La línea negra representa la trayectoria de la Tormenta Tropical Allison, de las 12 hrs del 5/6/2001 a las 0 hrs del 19/6/2001; la azul la del Huracán Michelle, 18 hrs del 29/10/2001 a las 18 hrs del 6/11/2001; la roja la de la Tormenta Tropical Bertha, de las 18 hrs del 4/8/2002 a las 12 hrs del 9/8/2002; la verde la de la Tormenta Tropical Larry, de las 18 hrs del 27/9/2003 a las 18 hrs del 7/10/2003; la celeste la del Huracán Felix, de las 12 hrs del 31/8/2007 a las 18 hrs del 6/9/2007 y la violeta la del Huracán Noel, de las 0 hrs del 24/10/2007 a las 0 hrs del 6/11/2007.

El Monthly Weather Review informó que la tormenta tropical Allison se formó cerca de la costa norte de Texas, produciendo lluvias torrenciales e inundaciones catastróficas en el área de Houston (*Monthly Weather Review*: noviembre de 2003, p.1456). Luego adquirió características de ciclón subtropical y produjo fuertes lluvias e inundaciones cerca de Luisiana y el este de Carolina del Norte. Además, ocasionó 41 muertes en territorio estadounidense por las inundaciones y nueve muertes indirectas en Carolina del Norte, debido a accidentes de tráfico por carreteras mojadas. Las fuertes inundaciones dejaron daños estimados en casi 5 mil millones de dólares, de los cuales 4.9 mil millones de dólares fueron en el área metropolitana de Houston. Más

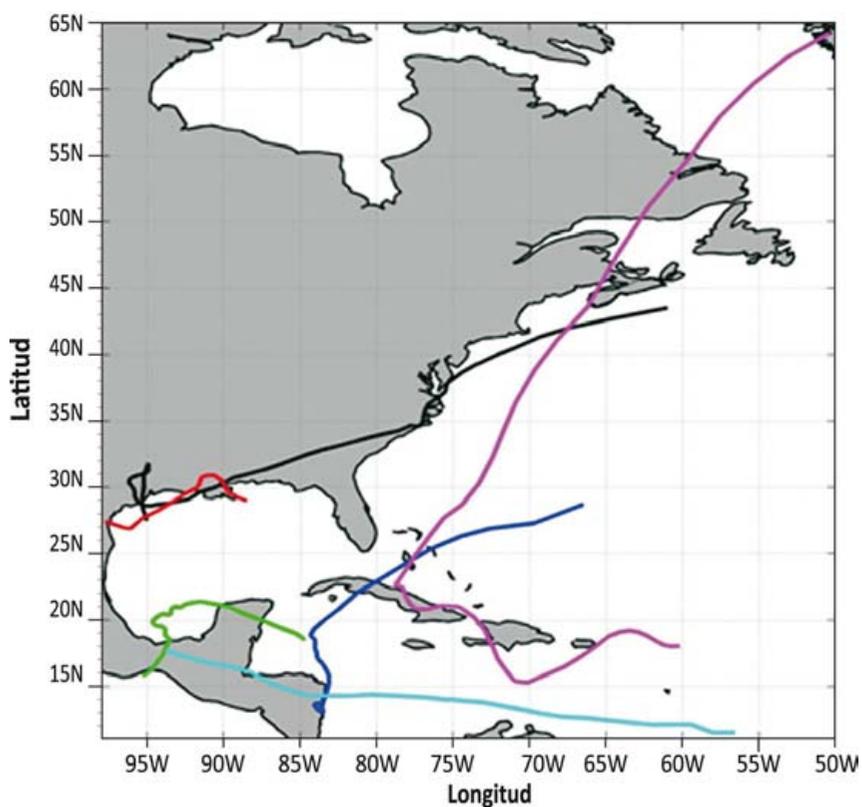


Figura 4. Ciclones del período 2001-2007. Fuente: Basada en los datos de HURDAT y UNISYS.

de 14.000 casas fueron totalmente destruidas y otras 34.000 viviendas sufrieron daños menores. Allison se clasificó como la tormenta tropical más devastadora en la historia de los Estados Unidos, debido al daño ocasionado y a las muertes directas (*Monthly Weather Review*: julio de 2003, p.1461; *La Nación*: 13 de junio de 2001, pp.4A-5A).

3.4.1 Huracán Michelle (2001)

El huracán Michelle fue el más fuerte que azotó a Cuba desde 1952, dejando un camino de muerte y destrucción desde Centroamérica hasta las Bahamas (*Monthly Weather Review*, julio de 2003, p.1474). En Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) pronosticó que la lluvia continuaría por varios días, debido a que el país estaba siendo afectado por un sistema de baja presión. Este fenómeno fue producto de la tormenta tropical que se localizaba sobre el Caribe nicaragüense cercano a Honduras.

Para el 29 de octubre de 2001, el gobierno de Honduras declaró estado de emergencia en el norte, noroeste y la zona del Caribe, debido a las fuertes lluvias que causaron al menos tres muertos, siete desaparecidos y 4.365 damnificados. Cientos de personas fueron evacuadas ante el desbordamiento de los ríos (*La Nación*: 30 de octubre del 2001, p.4A).

El 31 de octubre la tormenta tropical Michelle dejó ríos desbordados en Guanacaste y Puntarenas, además de inundaciones en los cantones de Santa Cruz, Carrillo y Nicoya en Guanacaste, así como en Corredores, Osa y Golfito en Puntarenas. En cuatro días llovió el 70% de lo que normalmente se da en todo el mes de octubre y se emitió una alerta amarilla en todo el Pacífico costarricense. Los problemas en el suministro de agua potable, cierres parciales y totales en vías como la Interamericana Sur, derrumbes, comunidades aisladas, escuelas convertidas en albergues

temporales y el posible surgimiento de problemas sanitarios (*La Nación*: 1 de noviembre de 2001, p.8A; 2 de noviembre de 2001, pp.4A-5A).

El 3 de noviembre se informaba que Cuba se preparaba ante la amenaza del huracán Michelle, que a este día era de categoría 3, se esperaba que alcanzara la categoría 4 y se desplazara hacia el noroeste. El Centro Nacional de Huracanes previó que si se mantenía el curso, Michelle podría golpear la parte oeste de Cuba el sábado 3 o el domingo 4 de noviembre, y se podría aproximar a Florida para el lunes 5, por lo que en los Cayos de Florida se había ordenado la evacuación de todos los visitantes. Las autoridades de Cuba habían evacuado a 35.000 estudiantes de campamentos educativos, además de 500 turistas de playas y resorts de Cayo Coco y Varadero. Jamaica emitió una advertencia de inundación en la mitad del país y en Nicaragua se contaban hasta el momento cuatro muertos, 12 desaparecidos y 15.000 personas que dejaban sus hogares, además las inundaciones dañaron un amplio sector de tierra cultivable y miles de metros de madera preciosa cortada fue arrasada por las corrientes. En Honduras las inundaciones dejaron un saldo de seis muertos, 14 desaparecidos y más de 100.000 personas forzadas a dejar sus hogares, la situación en este país era muy grave ya que en cinco días había llovido lo que llueve en todo un año y las pérdidas en cultivos no habían sido cuantificadas (*Aiken Standard*: 3 de noviembre de 2001, p.16; *Casa Grande Dispatch*: 3 de noviembre de 2001, p.13; *La Nación*: 3 de noviembre de 2001, p. 20A; *News*: 3 de noviembre de 2001, p.2; *The Post Standard*: 4 de noviembre de 2001, p.6).

En Costa Rica se declaró alerta roja en todo el litoral Pacífico y verde para el Valle Central. El Ministerio de Obras Públicas y Transportes reportó 3.500 millones de colones en pérdidas por daños a vías, mientras que 1.500 hectáreas de arroz estaban amenazadas porque el terreno estaba totalmente anegado. Para el 5 de noviembre el huracán Michelle alcanzó la categoría 5 en la escala Saffir- Simpson y se encontraba en territorio

cubano, 466.000 personas habían sido evacuadas y ocho provincias de las regiones occidentales y central fueron declaradas en estado de “alarma ciclónica”, por ser las más amenazadas por el huracán. Además, se reportaron fuertes vientos y lluvias en La Habana (*La Nación*: 5 de noviembre de 2001, p.28A).

El huracán Michelle dejó un saldo de 12 muertos y cientos de personas forzadas a dejar sus viviendas en su paso por Honduras, Costa Rica, Nicaragua, Jamaica y Cuba. Las inundaciones dejaron un total de 26 desaparecidos y 115.000 forzados a dejar sus hogares luego de cinco días de fuertes lluvias en América Central.

3.4.2 Tormenta tropical Bertha (2002)

La tormenta tropical Bertha se formó repentinamente el domingo 4 de agosto de 2002, se reportó que este fenómeno ocasionó una muerte, aunque el daño asociado a su paso por la costa del Golfo de México fue bajo, las lluvias provocaron inundaciones y afectaron algunas estructuras (*Monthly Weather Review*: julio de 2004, p.1834).

3.4.3 Tormenta tropical Larry (2003)

La tormenta tropical Larry se formó frente a la península de Yucatán, al sur del Golfo de México. El Servicio Meteorológico de México reportó fuertes lluvias en los estados de Veracruz y Tabasco, causando inundaciones y aludes de barro. Se reportaron cinco muertes ocasionadas por las inundaciones (*Monthly Weather Review*: junio de 2005, p.1769). Se emitió una alerta máxima a los estados de la costa del Golfo: Veracruz, Tamaulipas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Puebla, así como alerta por desbordamientos, deslaves, fuertes oleajes y navegación restringida. El 8 de octubre de 2003 se informó de lluvias torrenciales, inundaciones de hasta dos metros de altura, 100 personas rescatadas en helicóptero y lanchas, casas y comercios arrastrados por los

ríos (*La Nación*: 3 de noviembre de 2003, pp.14A, 22A; 8 de octubre de 2003, p.15A).

3.4.4 Huracán Felix (2007)

La tormenta tropical Felix se formó el 31 de agosto de 2007 cerca de Barbados, aumentó su intensidad hasta que el 2 de setiembre alcanzó la categoría 5 en la escala Saffir-Simpson; para el día 5 de setiembre Felix se debilitaba en el norte de Nicaragua y se convirtió en tormenta tropical. Según las estadísticas, Felix causó 130 muertes y 70 desaparecidos en Nicaragua y Honduras, en Nicaragua hubo severos daños a infraestructuras debido a los fuertes vientos y a las tormentas en la costa de Puerto Cabezas y se reportaron miles de casas y otras estructuras destruidas, además de fuertes inundaciones. Se registraron daños en Aruba, Bonaire y Curazao por los fuertes vientos y en San Vicente y las Granadinas se reportan daños menores debido a los rayos (*Monthly Weather Review*: diciembre de 2009, pp.4072-4074).

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se realizó una evaluación aérea y otra terrestre del área afectada en Nicaragua por la trayectoria del huracán Felix. Se estimaron las pérdidas agrícolas en aproximadamente 44 millones de dólares, siendo los cultivos más afectados el arroz, la yuca, el quequisque, la malanga, los bananales y los platanales, además de zonas totalmente devastadas, destrucción del hábitat de animales y ríos contaminados. Las pérdidas pecuarias ascendieron a 2.8 millones de dólares, comunidades pesqueras fueron totalmente destruidas, además de la pérdida de vidas humanas también hubo devastación en infraestructura habitacional y de medios de pesca; costas y entradas de manglar quedaron completamente destruidas, lo cual implicó una pérdida en la biodiversidad de especies de peces y crustáceos. Se calculó un total de 46.7 millones de dólares en pérdidas (FAO, 2007).

En Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional anunció fuertes lluvias para casi todo el territorio nacional, los intensos aguaceros provocaron inundaciones en San José, donde 75 personas fueron forzadas a salir de sus casas y en la Zona Sur, en Golfito y Corredores se reportaron varios ríos desbordados, 30 familias tuvieron que ser evacuadas y cinco viviendas fueron arrasadas por la corriente, se reportaron daños en tres puentes que comunicaban Ciudad Neily con San Vito de Coto Brus. En la ciudad de Guatemala los fuertes aguaceros dejaron un muerto y dos heridos al provocar un derrumbe (*La Nación*: 28 de agosto del 2007 p.8A).

El abastecimiento de verduras y hortalizas fue amenazado por los fuertes aguaceros, los cultivos que se vieron afectados por el impacto de las corrientes de agua en Cartago fueron: papa, lechuga, zanahoria, cebolla, repollo y otros. Se informó que al menos 40 hectáreas de arroz y 50 hectáreas de palma aceitera se inundaron a causa del desbordamiento de los ríos Corredores y Colorado, en la Zona Sur (*La Nación*: 29 de agosto de 2007, pp.4A-5A).

Para el día 31 de agosto se reportan cuantiosos daños por las fuertes lluvias. En Ciudad Quesada, hubo casas destruidas y puentes falseados debido a las inundaciones, en Guanacaste y Puntarenas se registraron vías bloqueadas por derrumbes, mientras que en Barranca 200 personas fueron movilizadas hacia sectores más altos. En Jacó hubo caída de árboles sobre el tendido eléctrico, en Golfito una cabeza de agua derrumbó cuatro casas y produjo una inundación en el hospital, mientras que en Paquera 30 casas fueron anegadas y ocho familias fueron evacuadas (*La Nación*: 31 de agosto de 2007, p.14A).

En Heredia se reportaron 15 familias evacuadas después de que ocho viviendas quedaron totalmente anegadas y 14 más sufrieron daños por las fuertes lluvias. Además en Guanacaste los derrumbes bloquearon las vías de acceso a

Nuevo Arenal y en Golfito fue necesario evacuar a 13 familias de los sectores aledaños al hospital. El Instituto Meteorológico Nacional siguió pronosticando fuertes aguaceros debido a la influencia indirecta del huracán Felix. Las lluvias iniciaron en el Pacífico Sur y se extendieron hasta el Pacífico Central y el Valle Central (*La Nación*: 2 de setiembre de 2007 p.10A; 3 de setiembre de 2007, p.12A).

Para el día 4 de setiembre se reportaron los efectos del huracán Felix en Centroamérica, lluvias torrenciales en todo el istmo y evacuación de miles de personas en Nicaragua, Honduras y Belice. En Costa Rica se decretó alerta amarilla en todo el territorio y se habilitaron 200 albergues a lo largo del litoral pacífico, mientras que en Honduras se evacuaron entre 30.000 y 40.000 personas. En México, miembros de la organización Niños y Crías, ayudaron a rescatar flamencos para llevarlos a albergues ante la llegada de Felix. Los turistas alistaban documentos para salir del aeropuerto de Belice, donde la población almacenó agua y comida, además de cubrir ventanas para proteger sus hogares del huracán, mientras las autoridades evacuaron a pobladores de los Cayos y las zonas costeras de la mitad del sur del país (*La Nación*: 4 de noviembre de 2007, pp.4A-5A).

El huracán Felix arrasó la costa caribeña norte de Nicaragua, viviendas, iglesias, árboles y postes de energía eléctrica caídos, no había servicio de alumbrado ni agua, se dio a conocer un saldo provisional de cuatro muertos y miles de damnificados. El gobierno decretó “estado de desastre” en la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) y se estimó que el 90% de la infraestructura de Puerto Cabezas quedó destruida. En Honduras, media docena de departamentos estaban en alerta roja por los torrenciales aguaceros (*La Nación*: 5 de setiembre de 2007, p.29A).

Para el día 5 de setiembre, una tormenta con torrenciales aguaceros, rayos, granizos y

fuertes vientos azotó gran parte de San José y causó diversos daños en Tibás, Montes de Oca, Goicoechea y Desamparados; el servicio eléctrico fue suspendido, árboles caídos, una casa destechada y rebalses en el sistema de alcantarillado. Honduras permanecía en alerta por los fuertes aguaceros, mientras que en Nicaragua el huracán Felix dejó más de 100 muertos y 200 desaparecidos, se calcularon 50.000 damnificados y la infraestructura destruida dificultaba las labores de ayuda y rescate a los damnificados. El Gobierno de Estados Unidos envió \$175.000 dólares a este país, para atender labores de socorro y reparaciones en la zona devastada y el gobierno nicaragüense temió de brotes epidémicos (*La Nación*: 6 de setiembre de 2007, p.25A; 7 de setiembre de 2007, p.31A).

3.4.5 Huracán Noel (2007)

La temporada del 2007 estuvo conformada por 15 tormentas (14 tropicales y 1 subtropical). De éstas, seis se convirtieron en huracanes. Noel y Olga causaron inundaciones, deslizamientos y muertes en el Caribe. El primero inicia su trayectoria cerca de las Islas Vírgenes, para luego acercarse a la costa sur de Puerto Rico, posteriormente pasa por Haití, Cuba, el Golfo de México y las Bahamas (*Monthly Weather Review*: diciembre de 2009, p.4062). En Costa Rica, las noticias nacionales notificaron acerca de inundaciones y evacuaciones a causa de las fuertes lluvias, así como en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Belice, asociadas al paso del huracán Noel por el Mar Caribe.

El 30 de octubre se informó que al menos 21 personas habían muerto y 33 se encontraban desaparecidas en República Dominicana. Además, unas 3.295 personas fueron evacuadas debido a las lluvias y 659 viviendas afectadas. Las dos autopistas principales que conectan la capital con el norte y con el sur eran intransitables por escombros o desbordamientos. Numerosas poblaciones incomunicadas, escuelas, comercios y otros establecimientos permanecían cerrados,

todos los vuelos de los principales aeropuertos fueron suspendidos durante la mañana. Se informó que la tormenta tropical Noel no constituía una amenaza para las bases petroleras en el Golfo de México, mientras que en Cuba al menos 2.000 personas fueron evacuadas debido a las lluvias continuas e intensas que afectaban las seis provincias del este cubano (*La Nación*: 30 de octubre de 2007, p.31A; 31 de octubre de 2007, p.31A).

El boletín de la Comisión Nacional de Emergencias dado a conocer el día 31 de octubre, informó que hasta el momento había 11.756 personas evacuadas y 2.939 viviendas destruidas por la tormenta tropical. El rescate de damnificados se hizo difícil porque no había dejado de llover, el 35% del territorio de la República Dominicana permanecía sin energía eléctrica. Se pronosticaron aguaceros y se mantenía la alerta roja para 28 de las 32 provincias. En Cuba, los reportes de radioemisoras indicaron que numerosas hectáreas de cultivos permanecían bajo el agua y los daños fundamentales estaban en la cosecha del café. Una represa se vio desbordada, causando inundaciones e interrumpiendo los servicios de electricidad y teléfonos en el país, además varias comunidades quedaron aisladas. Soldados cubanos evacuaron en zonas bajas de la isla a 24.000 personas, al menos 2.000 viviendas fueron dañadas, pero no se reportaron muertos ni daños graves (*La Nación*: 1 de noviembre de 2007, p.33A; 2 de noviembre de 2007, p.29A).

La Comisión Nacional de Emergencia (CNE) de Costa Rica, declaró alerta amarilla en las regiones costeras debido a la influencia de la tormenta tropical Noel, que produjo condiciones nubladas y mucha humedad en varios cantones del Pacífico. Las fuertes lluvias causaron inundaciones en los cantones de Golfito, Corredores y Osa, se evacuaron 30 personas debido a que sus casas se anegaron. La tormenta Noel se dirigió lentamente hacia Haití y se esperaba que luego

se dirigiera a Cuba (*La Nación*: 29 octubre de 2007, pp.12A, 43A).

Se declaró alerta en todos los cantones costeros de la provincia de Guanacaste y del Pacífico Sur, debido a las lluvias que provocó la influencia indirecta de la tormenta tropical Noel. Las inundaciones dejaron un saldo de 26 viviendas afectadas, especialmente en los cantones de Corredores, Osa, Buenos Aires, Coto Brus y Golfito, además de inundaciones en la comunidad de Venado en el cantón de Santa Cruz, Guanacaste (*La Nación*: 1 de noviembre de 2007, p.14A; 2 de noviembre de 2007, p.29A).

Para el 2 de noviembre el Instituto Meteorológico Nacional declaró que Noel no causaría mayores problemas al país, ya que el sistema se disipaba disminuyendo su influencia indirecta sobre el territorio nacional. En el Pacífico Sur donde se registraron torrenciales aguaceros, el tiempo presentó condiciones más secas y estables, mientras que en el resto del país se presentaron bancos de niebla y se pronosticó la presencia de condiciones típicas de la estación lluviosa para el Pacífico, Valle Central y sectores montañosos de la Zona Norte y Vertiente del Caribe (*La Nación*: 2 de noviembre de 2007, p.29A).

Para el jueves 1 de noviembre se informó que Noel llegó a las Bahamas, tras dejar 107 muertes en su camino. Unas 400 personas fueron evacuadas a medida que el temporal avanzaba hacia la capital Nassau, cuyo aeropuerto internacional dejó de funcionar pero se esperaba que reanudara labores al día siguiente, mientras decenas de comunidades permanecían aisladas. La tormenta arrojó un record de 38 cm de lluvia (*La Nación*: 2 de noviembre de 2007, p.29A).

Las pérdidas en agricultura (arroz, plátano y cacao) de República Dominicana, se calcularon en 30 millones de dólares. El presidente Leonel Fernández declaró emergencia en el país durante un mes y solicitó ayuda internacional, también

se dispuso el desalojo total de 36 comunidades que se encontraban en peligro de inundaciones por el posible rebosamiento de las presas. Las autoridades intentaron llegar a las zonas aisladas, cientos de voluntarios se sumaron a las labores de rescate, ya que al menos 27 personas seguían desaparecidas y más de 62.000 desplazadas (*La Nación*: 2 de noviembre de 2007, p.29A).

Las lluvias causadas por Noel, produjeron inundaciones y deslizamientos con un saldo de más de 200 muertos en el Caribe (*La Nación*: 2 de noviembre de 2007, p.29A; 3 de noviembre de 2007, p.24A; 4 de noviembre de 2007, p.24A). Las copiosas lluvias provocaron 118 muertes, tras pasar por las Bahamas y Cuba. En Haití la tormenta cobró la vida de 56 personas y dejó desamparadas a miles que dependían casi exclusivamente de la ayuda internacional. La República Dominicana confirmó 84 muertos y 48 desaparecidos. Se reportó un fallecido en Jamaica.

En México se contaron más de un millón de afectados por las inundaciones al sur del país, el estado de Tabasco tenía un 80% de su territorio anegado y algunos de los accesos por tierra estaban cerrados. El agua potable escaseaba y las autoridades advertían sobre posibles brotes de enfermedades; militares y policías habían intentado detener el flujo de agua con sacos de arena colocados como barreras pero se desbordaron. La ruptura de un dique en Villahermosa inundó las principales avenidas y la mayoría de las calles de la ciudad (*La Nación*: 2 de noviembre de 2007, p. 29A).

El entonces presidente de México Felipe Calderón, afirmó que el país se enfrentaba a uno de los peores desastres naturales de su historia. El gobierno solo reportó la muerte de una persona y otras 32.000 fueron alojadas en 284 albergues habilitados. Varios estados, empresas y bancos prestaron ayuda financiera a los afectados (*La Nación*: 3 de noviembre de 2007, p.24A).

4. Conclusiones

La metodología empleada permitió la selección (de la base de datos HURDAT) de ciclones tropicales que tuvieron potencial de generar impactos en tres regiones de la cuenca del Océano Atlántico, a saber, el istmo centroamericano, las islas del Caribe y el Golfo de México, para el periodo 1870-2007.

El análisis de diferentes fuentes históricas asociadas con los estudios de caso mencionados en el párrafo anterior, permitió recolectar información acerca de sus efectos sobre diferentes comunidades como lluvias intensas, inundaciones, deslizamientos, e impactos socio-económicos.

Sin embargo, algunos de los casos estudiados arrojaron muy poca información sobre los impactos de la amenaza natural, a pesar de que inicialmente fue seleccionado como estudio de caso. Lo anterior podría deberse a que el tiempo de residencia y la posición del Ciclón Tropical con respecto a las comunidades de interés, no fue suficientemente importante para generar efectos cuantiosos, o bien, que en épocas pasadas no existían núcleos y/o infraestructura importante sobre la cual se produjeran impactos, además de la capacidad administrativa y tecnológica de diferentes países para recopilar, analizar y sistematizar la información de los diferentes impactos, es decir, la información podría existir, pero no en un formato accesible al usuario o simplemente no se preservó en el tiempo. Algunas veces la información recopilada principalmente de fuentes periodísticas, está sesgada por el momento político, lo que podría influir por ejemplo sobre la declaratoria o no de una situación de emergencia.

La metodología permitió identificar casos que estuvieron cerca de la costa, pero esto no quiere decir necesariamente que el sistema estuvo asociado con impactos registrados sobre las comunidades o los ecosistemas cercanos, o por el contrario, que haya casos que sí ocasionaron desastres

importantes y extensos, pero que no fueron considerados por el criterio de la cercanía a la costa.

También se observó, que ciclones tropicales con trayectorias similares pueden tener impactos disímiles cuando los mismos son comparados. Lo anterior puede estar explicado por variables físicas, como una mayor o menor humedad disponible en la atmósfera asociada con los sistemas precipitantes o sociales, y/o una mejor o peor preparación de los sistemas de atención de emergencias en los países. Asimismo se encontró que en algunos casos los impactos están asociados con eventos anteriores, o a un impacto acumulado asociado a varios eventos, como el del huracán David que precedió al huracán Frederic a su paso por el Caribe en 1979 y el del sismo, el tsunami y el huracán Opal, que precedieron al huracán Roxanne a su paso por México en 1995. Lo anterior se relaciona con una mayor vulnerabilidad y una menor resiliencia de las poblaciones afectadas ante este tipo de desastres.

La comparación de la información no fue posible para todos los casos reseñados, debido a la dificultad de acceso a las fuentes periodísticas, por lo que muchas veces se tuvo acceso a periódicos digitalizados cuyas originales no se publicaron en el país o región afectados, por lo que sería conveniente confrontar los datos con más fuentes hemerográficas que se hayan producido en México, el resto de Centroamérica y las islas del Caribe.

La información suministrada por las fuentes hemerográficas evidenció, además del impacto social y económico, las medidas tomadas por los gobiernos de los territorios afectados por los ciclones tropicales, muchas de las cuales fueron organizadas debido al impacto de experiencias previas, como en el caso cubano donde los continuos impactos de estos fenómenos ha permitido establecer una serie de medidas coordinadas, para disminuir el número de víctimas y mitigar los daños ocasionados en la infraestructura disponible.

5. Referencias

- Alfaro, E. (2007). Escenarios climáticos para temporadas con alto y bajo número de huracanes en el Atlántico. *Revista de Climatología*. 7, pp.1-13.
- Alfaro, E. y Quesada, A. (2010). Ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica. *Revista Intersedes*. 11 (22), pp.136-153.
- Alfaro, E.; Quesada, A. y Solano, F. (2010). Análisis del Impacto en Costa Rica de los Ciclones Tropicales ocurridos en el Mar Caribe desde 1968 al 2007. *Diálogos Revista Electrónica de Historia*. 11 (1), febrero- setiembre, pp.22-38. Recuperado de: <http://www.latindex.ucr.ac.cr/dia007-02.php>.
- Alvarado, L. y Alfaro, E. (2003). Frecuencia de los ciclones tropicales que afectaron a Costa Rica durante el siglo XX. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 10 (1), pp.1-11.
- Amador, J. A. (2011). Socio-economic impacts associated with meteorological systems and tropical cyclones in Central América in 2010. State of the Climate in 2010. Special Supplement to the *Bulletin of the American Meteorological Society*. 92 (6), S184.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Unidad del Programa de la Mujer en el Desarrollo (1999). *Huracán Mitch: Necesidades y contribuciones de las mujeres*. Washington. D.C., EUA. Recuperado de: <http://desastres.unanleon.edu.ni/pdf/2002/octubre/pdf/spa/doc12957/doc12957-a.pdf>.
- Díaz, R. (2004-2005). La tormenta tropical de 1887 y su paso por las fuentes históricas costarricenses. *Revista Estudios*. 18-19, pp.39-56.
- En Caribe (2010, 15 de junio). Benito Viñes. *Enciclopedia de historia y cultura del Caribe*. Recuperado de: http://www.encaribe.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1461:benito-vines&catid=95:creencias-religiosas&Itemid=110.

- Galveston and Texas History Center. Rosenberg Library (2003). *1900 Storm*. Recuperado de: <http://www.gthcenter.org/exhibits/storms/1900/index.html>.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (s.f). *Huracanes. Los huracanes y sus efectos en Costa Rica*. Recuperado de: <http://www.imn.ac.cr/educacion/huracanes/huracan06.html>.
- Juárez, H. et al. (s.f). *El sismo del 9 de octubre de 1995 en Manzanillo, Colima*. Recuperado de: http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_09/te_01/ar_29.pdf.
- Landsea, C.W. & Franklin, J.L. (2013). Atlantic Hurricane Database Uncertainty and Presentation of a New Database Format. *Monthly Weather Review*. 141 (10), pp.3576-3592.
- Landsea, C.W. & Franklin, J.L. (2012). A reanalysis of the 1921-1930 Atlantic hurricane database. *Journal of Climate*. 25, pp.865-885.
- Landsea, C.W. & Franklin, J.L. (2013). A reanalysis of the 1931 to 1943 Atlantic hurricane database. *Journal of Climate*. 27, 6093–6118. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00503.1>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2007). *Evaluación de Daños Causados por el Huracán Félix en el Caribe de Nicaragua. Nicaragua*. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/templates/tc/tce/pdf/Nicaragua_FAO_Evaluacion_2007.pdf.
- Secretaría de Salud de Honduras y Organización Panamericana de la Salud (OPS) (s.f). *El huracán Mitch en Honduras*. Recuperado de: <http://www.paho.org/spanish/ped/gm-honduras.pdf>.
- Sistema de Naciones Unidas en Costa Rica (s.f). *Daños e impactos del huracán Mitch: Acciones en favor del desarrollo humano sostenible en Costa Rica y en la región centroamericana*. Washington. Grupo Consultivo de Emergencia del BID, 10-11 de diciembre de 1998, pp. 2-3. Recuperado de: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc10798/doc10798-contenido.pdf>.
- Solano, F.J., Alfaro, E. y Quesada, A. (2011). Impacto de los Ciclones Tropicales del Atlántico en América Central, temporada de 1968 y 1969. *Diálogos Revista Electrónica de Historia*. 12 (1), pp.78-100. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43918787004>.

5.1. Referencias hemerográficas

- Aiken Standard*: 3/06/2001.
- Avalanche-Journal*: 18/06/1971.
- Big Spring Daily Herald*: 22/06/1971.
- Billings Gazette*: 16/11/1971; 22/11/1971.
- Casa Grande Dispatch*: 3/11/2001.
- Chester Daily News*: 7/9/1873.
- Chronicle Telegram*: 21/11/1996.
- Daily Sitka Sentinel*: 20/11/1996.
- El Imparcial*: 17/10/1904; 21/10/1904.
- El Excelsior*: 27/10/1933; 28/10/1933; 29/10/1933; 30/10/1933; 31/10/1933; 13/7/1940; 16/7/1940.
- El Nacional*: 4/11/1933; 7/8/1940; 8/8/1940; 12/8/1940.
- El Pacífico*: 26/07/1900.
- El Universal*: 4/06/1933; 1/11/1933.
- Galveston Daily News*: 16/11/1971; 17/9/1978; 16/10/1995.
- Gazette and Bulletin* (Williamsport, Pensilvania): 25/10/1870.
- Indiana Gazette*: 13/10/1995; 15/10/1995; 17/10/1995.
- Kingsport Times*: 17/11/1971.
- La Nación*: 4/10/1963; 5/10/1963; 6/10/1963; 7/10/1963; 8/10/1963; 9/10/1963; 27/9/1966; 28/9/1966; 30/9/1966; 7/10/1966; 15/11/1971; 17/11/1971;

22/11/1971; 12/9/1979; 13/9/1979;
14/9/1979; 15/9/1979; 16/9/1979; 21/7/1997;
23/10/1998; 24/10/1998; 25/10/1998;
30/10/2001; 13/6/2001; 1/11/2001;
2/11/2001; 3/11/2001; 5/11/2001;
3/10/2003; 8/10/2003; 28/8/2007;
29/8/2007; 31/8/2007; 2/9/2007; 3/9/2007;
4/9/2007; 5/9/2007; 6/9/2007; 7/9/2007;
30/10/2007; 31/10/2007; 1/11/2007;
2/11/2007; 3/11/2007; 4/11/2007.

La Prensa Libre: 31/8/1900; 6/9/1900;
13/9/1900; 23/9/1900; 26/9/1900;
21/10/1933; 23/10/1933; 1/11/1933;
4/10/1963; 5/10/1963; 6/10/1963;
8/10/1963; 9/10/1963; 14/10/1963;
15/10/1963; 22/10/1963; 18/9/1978;
19/9/1978; 1/9/1979; 2/9/1979; 3/9/1979;
5/9/1979; 8/9/1979; 10/9/1979; 11/9/1979;
12/9/1979; 13/9/1979; 14/9/1979.

La República: 1/10/1963; 2/10/1963; 3/10/1963;
4/10/1963; 6/10/1963; 8/10/1963;
9/10/1963; 10/10/1963; 11/10/1963;
15/10/1963; 17/10/1963; 19/10/1963;
1/10/1966; 2/10/1966; 4/10/1966;
5/10/1966; 6/10/1966; 7/10/1966;
8/10/1966; 9/10/1966; 11/10/1966;
12/10/1966; 6/9/1978; 19/9/1978;
21/9/1978; 2/9/1979; 4/9/1979; 5/9/1979;
6/9/1979; 12/9/1979; 13/9/1979; 20/7/1997.

La Tribuna: 24/10/1933; 26/10/1933;
29/10/1933; 1/11/1933; 4/11/1933.

Logansport Pharos-Tribune: 17/09/1978;
19/09/1978; 10/10/1995.

Marysville Journal Tribune: 20/11/1996.

Monthly Weather Review: 9/1878; 10/1873;
9/1900; 9-10/1904; 12/1933; 3/1964; 3/1967;
4/1972; 7/1980; 4/1989; 5/1990; 7/1998;
12/2001; 7/2003; 7/2004; 6/2005; 12/2009.

New Mexican: 20/9/1978; 11/10/1995;
14/10/1995.

Newport Daily News: 16/9/1978; 19/9/1978.

News: 3/11/2001.

Ogden Standard-Examiner: 21/11/1971.

Panama City News-Herald: 8/11/1971.

Record-Eagle: 22/11/1971.

Simpson's Leader-Times: 17/11/1971.

Syracuse Herald Journal: 21/11/1996.

Texas City Sun: 21/11/1996.

The Bee: 20/11/1971.

The Capital: 20/09/1978.

The Dominion-News: 20/11/1971.

The Facts: 11/10/1995; 13/10/1995; 15/10/1995.

The Gleaner: 6/10/1873; 30/10/1933.

The Greeley Daily Tribune: 15/11/1971.

The Greenville Argus: 2/11/1870.

The Hays Daily News: 12/10/1995.

The Janesville Gazette: 31/10/1870.

The New York Herald: 24/10/1870.

The News Tribune: 15/11/1971.

The Paris News: 12/11/1995.

The Post-Register: 19/11/1971.

The Post Standard: 4/11/2001.

The Press-Courier: 21/11/1971.

6. Agradecimiento

Se agradece a los proyectos CRN2050 – IAI y VI-805-A7-002 de la Universidad de Costa Rica (UCR), así como al Programa de Estudios Sociales de la Ciencia, la Técnica y el Medio Ambiente (PESCTMA, VI-805-A4-906) adscrito al CIGEFI. Los autores agradecen también a Osvaldo Fernández, Edgardo Gallo, Camilo Guerrero, Katherine Hernández, Andrés Moreno, Adolfo Quesada, Luis Romero, Alicia Umaña y Aarón Vega por la ayuda brindada en la localización y recopilación de fuentes y procesamiento de datos para el presente artículo, así como al personal de la Biblioteca Nacional Miguel Obregón Lizano de Costa Rica y la Hemeroteca Nacional de México por facilitar el acceso a las fuentes consultadas.

Influencia de factores climáticos en la producción de frijol en Costa Rica. Estudio regional: UPALA

JOHNNY MONTENEGRO BALLESTERO¹

Resumen

La producción agrícola está usualmente sujeta a las variaciones de las distintas variables climáticas, pero depende particularmente de la lluvia para satisfacer las necesidades hídricas. Sin embargo, el comportamiento del clima ha variado por la acumulación de gases en la atmósfera que promueven el aumento de la temperatura, lo cual incide en el patrón de distribución de las lluvias. El cultivo del frijol, un grano alimenticio producido mayoritariamente por pequeños productores, también está sujeto a dicha variabilidad por lo que se hace necesario determinar la vulnerabilidad de este cultivo al clima. Por ello, los objetivos del presente trabajo fueron determinar el efecto de la precipitación pluvial durante el ciclo vegetativo del frijol, en el rendimiento de este cultivo en Upala, así como la relación entre la producción de frijol y el fenómeno ENOS.

Este estudio se realizó para el cantón de Upala, debido a que esta región costarricense produce la mayor proporción de este grano. Para esto se analizó información de producción anual y área sembrada desde 1980 y hasta el 2013; la información climática disponible se limitó a la lluvia.

Se analizó la producción por década (de 1980 a 1989 (80), de 1990 a 1999 (90), del 2000 al 2009 (00), y del 2010 al 2013, (10), y se definió la condición climática en función de la cantidad de lluvia que se presentó durante el ciclo de cultivo, desde la siembra hasta la cosecha. De esta forma se establecieron tres condiciones climáticas: seca, lluviosa y normal. Las dos primeras corresponden al percentil 20, superior e inferior de los datos ordenados y representan las condiciones extremas observadas en el período evaluado. Para la condición normal se asumió que la precipitación pluvial está comprendida en el percentil 60, intermedio entre las condiciones antes descritas. La información pluvial también se clasificó según evento ENOS.

El rendimiento (promedio \pm 1 error estándar) de la década del 80 ($0,68 \pm 0,05$ t ha⁻¹) y 90 ($0,60 \pm 0,08$ t ha⁻¹) fueron similares, pero inferiores ($P < 0,0404$) a la del 00 ($0,80 \pm 0,02$ t ha⁻¹) y del 10 ($0,81 \pm 0,02$ t ha⁻¹), las cuales no difirieron entre sí. No se determinaron diferencias importantes ($P > 0,2793$) en los rendimientos por unidad de área, para cada fase del fenómeno del ENOS, entre décadas y dentro de estas. Sin embargo, si se determinaron diferencias ($P < 0,0176$) en los rendimientos del frijol con las distintas condiciones climáticas. La productividad durante la condición climática normal ($0,77 \pm 0,02$ t ha⁻¹) fue mayor ($P < 0,0084$) que la observada en la condición seca ($0,54 \pm 0,12$ t ha⁻¹) y mayor ($P < 0,0471$) que durante la estación lluviosa ($0,67 \pm 0,05$ t ha⁻¹).

Con respecto a la cantidad de lluvia durante el ciclo productivo del frijol, se determinó que esta tiene gran importancia en el rendimiento, ya que éstos son superiores estadísticamente cuando el acumulado de lluvia se encuentra entre 270 y 490 mm, comparado con cantidades inferiores o superiores al anterior rango. Ante esta situación, es necesario realizar la planificación de la siembra del frijol de acuerdo con los pronósticos climáticos de corto y mediano plazo (dos o tres meses), para reducir la vulnerabilidad de este cultivo a las condiciones climáticas.

PALABRAS CLAVE: VULNERABILIDAD CLIMÁTICA, FRIJOL, PRODUCTIVIDAD, UPALA, ENOS, ADAPTACIÓN.

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

Summary

Agriculture is closely tied to the variations of different climate variables, but particularly depends on rain to satisfy their water needs. However, the behavior of the climate has begun to vary by the accumulation of gases in the atmosphere that promote the increase of the temperature, which has an impact on the distribution pattern of rain. The cultivation of beans, a food grain produced mainly by small producers, is also subject to this variability by which it is necessary to determine the vulnerability of this crop to the weather in order to contribute to the stability of peasant. Therefore, the objectives of this study were to determine the effect of the rainfall during the vegetative cycle of the beans on the productivity of this crop in Upala, as well as the relationship between the production of beans and the ENSO phenomenon.

This study was conducted for the canton of Upala, since it is the Costa Rican region where the highest proportion of this grain is produced. This research analyzed information of annual production and area planted since 1980 and until 2013; the available climate information was limited to the rainfall.

The production was analyzed by decade (from 1980 to 1989, from 1990 to 1999, from 2000 to 2009, and from 2010 to 2013), and there was defined climatic conditions according to the amount of rain which arose during the production cycle, from planting to harvest. Thus, were established three climatic conditions: dry, rainy and standard. The first two correspond to percentile 20, top and bottom of the sorted data, and represent the extreme conditions observed in the evaluated period. For standard condition, it was assumed that rainfall falls in the percentile 60 intermediate between the conditions described above. Rain information was classified according to ENSO event.

Yields (average \pm 1 standard error) from eighties ($0,68 \pm 0,05$ t ha⁻¹) and nineties ($0,60 \pm 0,08$ t ha⁻¹) were similar but smaller than ($P < 0,0404$) to that observed during the first ($0,80 \pm 0,02$ t ha⁻¹) and second decade of 2000 ($0,81 \pm 0,02$ t ha⁻¹), which did not differ between them. There were not detected any difference ($P > 0,2793$) in yields per unit of area for each ENSO phase, and between and within decades. However, there was determined differences ($P < 0,0176$) in beans yields among the different climatic conditions. The productivity during the standard climatic condition ($0,77 \pm 0,02$ t ha⁻¹) was greater ($P < 0,0047$) than the observed during the dry condition ($0,54 \pm 0,12$ t ha⁻¹) and during of the rainy season ($0,67 \pm 0,05$ t ha⁻¹).

The amount of rainfall during the production cycle of beans has great importance in its productivity, since it was superior from an statistically point of view when the accumulated rainfall is between 270 and 490 mm compared to amounts below or above this range. For this reason, it is necessary to plan the beans sow in accordance with weather forecasts to reduce bean vulnerability to climatic conditions.

KEY WORDS: CLIMATE VULNERABILITY, BEANS, PRODUCTIVITY, UPALA, ENOS, ADAPTATION.

1. Introducción

La producción agrícola está usualmente sujeta a las variaciones de las distintas variables climáticas, pero depende particularmente de la lluvia para disponer de la humedad en el suelo que le permita expresar su potencial genético en la producción. Es por ello que los productores tienen muy bien definidas las fechas en las cuales pueden realizar sus siembras, para asegurarse la humedad del suelo producto de las lluvias indispensable para satisfacer las necesidades de sus cultivos. Sin embargo, el comportamiento del clima ha variado por la acumulación de gases en la atmósfera que

promueven el aumento de la temperatura, lo cual incide en el patrón de distribución de las lluvias.

Por lo anterior, es frecuente escuchar que la falta o exceso de lluvias es consecuencia del cambio climático, variación que afecta directamente al sector productivo agrícola de manera significativa. Actualmente, son escasos los trabajos de investigación enfocados en el efecto de las variables climáticas en los rendimientos históricos de los cultivos, lo que ha limitado el conocimiento de su vulnerabilidad al clima y consecuentemente, disponer de una base técnica para desarrollar opciones de adaptación (Villalobos, 2001; MINAE, 2014).

Por ser el frijol un grano alimenticio producido mayoritariamente por pequeños productores, se hace necesario determinar la vulnerabilidad de este cultivo al clima, a fin de apoyar de manera directa a los productores con opciones de adaptación y de esta manera contribuir con la seguridad alimentaria de Costa Rica, ya que este es un grano consumido diariamente por los costarricenses.

Por las razones antes expuestas, los objetivos del presente trabajo fueron:

- a) Determinar el efecto de la precipitación pluvial durante el ciclo vegetativo del frijol, en su rendimiento en la zona de Upala.
- b) Determinar la relación entre la producción de frijol y el fenómeno ENOS.
- c) Estimar el comportamiento productivo que este cultivo podría tener, bajo las condiciones climáticas que potencialmente imperarán en la zona en mención, durante los próximos años bajo un escenario de cambio climático.

2. Materiales y métodos

Este estudio se realizó en el cantón de Upala, debido a que es la región donde se produce la mayor proporción de frijol, 22% de la producción nacional y 17% del área sembrada en los últimos 30 años. A partir del 2000, la importancia de esta región se incrementó y pasó a representar el 31% de la producción y el 24% del área de siembra a nivel nacional (CNP, 2014).

La presente investigación estuvo compuesta por dos fases. Durante la primera fase se procedió a recabar datos de la producción anual y el área sembrada (CNP, 2014), los cuales son indispensables para calcular el rendimiento del cultivo. La información accesada abarcó desde el año 1980 y hasta el 2013. Posteriormente, en la segunda etapa se procedió a ubicar las estaciones meteorológicas más cercanas al cantón (IMN,

2014), para obtener el registro de las variables climatológicas para el mismo periodo. La información climática analizada se limitó a la precipitación pluvial, debido a que fue la única variable registrada por la estación meteorológica ubicada en dicho cantón, para todo el período considerado de la producción de frijol.

Para los efectos de esta investigación se partió de la premisa de que en Upala únicamente se siembra frijol a mediados de noviembre. Además, se incluyeron los siguientes aspectos:

- a) Solo se consideró el efecto acumulado de la lluvia durante el ciclo de cultivo, no su distribución.
- b) No se incluyen otras variables climáticas diferentes de la precipitación.
- c) Se considera uniformidad en la distribución temporal de las condiciones de lluvia, en la zona analizada durante el período evaluado.
- d) Problemas fitopatológicos que pudieron afectar negativamente los rendimientos de frijol no son contemplados en este análisis, ya que no se dispone de esta información.
- e) No se consideraron cambios varietales ni de manejo de las plantaciones de frijol en esta región, debido a la falta de este tipo de información.

2.1. Análisis realizados

2.1.1 Rendimiento y lluvia según década

Este análisis se realizó basado en la comparación productiva obtenida en tres décadas completas (CNP, 2014) y la fracción correspondiente hasta el presente, conformándose cuatro grupos según se detalla a continuación:

- I) De 1980 a 1989 (80)
- II) De 1990 a 1999 (90)
- III) Del 2000 al 2009 (00)
- IV) Del 2010 al 2013, (10)

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza, para determinar diferencias estadísticas en los rendimientos a través del tiempo. Se utilizó Tukey al nivel de $P < 0,05$ para determinar la existencia de diferencias entre décadas.

2.1.2 Lluvia vs rendimiento

Para determinar el efecto de la lluvia en los rendimientos del frijol, se ordenaron ambas variables de forma descendente según la cantidad de lluvia ocurrida, lo cual facilitó caracterizar esta variable en diferentes categorías que se denominaron condición climática.

2.1.2.1 Condición climática

La condición climática se definió en función de la cantidad de lluvia que se presentó durante el ciclo de producción, desde la siembra hasta la cosecha, para un ciclo de cultivo de 80-90 días. De esta forma se establecieron tres condiciones climáticas: seca, lluviosa y normal. Las condiciones seca y lluviosa correspondieron al percentil 20 superior e inferior de los datos ordenados y representan las condiciones extremas observadas en el período evaluado. Para la condición normal se asumió que la precipitación pluvial está comprendida en el percentil 60, intermedio entre las condiciones antes descritas.

El análisis estadístico de los tres grupos obtenidos fue realizado mediante un ANDEVA y las medias comparadas con Tukey al nivel de $P < 0,05$.

2.1.3 Productividad y el fenómeno del ENOS

Para este análisis se agrupó la productividad del frijol según tres categorías: Niña, Niño y Neutro, se clasificaron los períodos de crecimiento por la influencia de esos eventos y se agruparon por década. Para realizar esta clasificación se utilizó la información generada por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), la cual muestra el historial de estos eventos en nuestro país.

La productividad observada en dichos eventos se analizó mediante un Andeva y se compararon los promedios con Tukey ($P < 0,05$), a fin de determinar las diferencias en productividad entre eventos ENOS.

2.1.4 Rendimiento y condiciones climáticas futuras

Para este análisis se utilizó la información generada por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2013), la cual detalla la proyección climática relacionada con la lluvia y la temperatura para Costa Rica, de acuerdo con el escenario CRES 2 (A2) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

En los mapas generados por el IMN se ubicó la región evaluada mediante la utilización de coordenadas, para conocer la tendencia climática que se estaría presentado en los próximos años. Con base en lo anterior y en los resultados de los análisis realizados, se estimó el posible efecto que el clima podría tener en el rendimiento de este cultivo en un horizonte de tiempo de 15 años.

3. Resultados

3.1. Rendimiento

La productividad de frijol en la región de Upala mostró fluctuaciones importantes durante el período analizado, en el que sobresale la reducción significativa que se presentó durante el ciclo de cultivo 1996/1997 (figura 1), la cual se explica por las condiciones climáticas que se presentaron, como consecuencia de un frente frío que provocó un 82% más de lluvia previo a la cosecha. Estos resultados demuestran la vulnerabilidad de este sistema de producción a las condiciones variables del clima.

Aunado a la condición particular antes mencionada, los datos demuestran que la

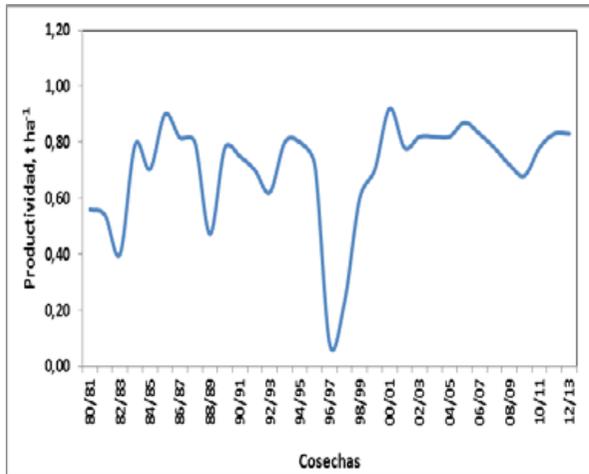


Figura 1. Rendimiento histórico de frijol, ton ha⁻¹, en el cantón de Upala, Costa Rica. 2014.

variación en los rendimientos no tiene un patrón definido, por el contrario, es errática. No obstante, durante los últimos años y especialmente a partir de la cosecha del ciclo 2000-2001 (con excepción de lo observada en el ciclo 2010/2011), los rendimientos promedio no solo muestran mayor estabilidad sino que esta es superior ($P < 0,0086$; $0,81 \pm 0,02$ t ha⁻¹) en relación con la obtenida durante los años previos al 2000 ($0,64 \pm 0,05$ t ha⁻¹) (figura 1).

3.2. Rendimiento y lluvia según década

No se determinaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en el promedio de lluvia acumulada durante el ciclo de cultivo del frijol en las diferentes décadas analizadas (figura 2), observándose como es de esperar una fuerte tendencia de reducción de la lluvia conforme avanza el período seco (figura 3).

Es importante observar, que la década de los 90 fue más lluviosa durante diciembre, pero mostró valores similares a las restantes décadas analizadas en los siguientes meses, con tendencia a presentar los menores valores de lluvia. A partir de enero, la lluvia a pesar de que fue similar desde

el punto estadístico entre las décadas, mostró los mayores valores en la década del 00 (figura 2).

Los rendimientos (promedio ± 1 error estándar) mostraron ser diferentes ($P < 0,0212$); la década del 80 ($0,68 \pm 0,05$ t ha⁻¹) y 90 ($0,60 \pm 0,08$ t ha⁻¹) fueron similares, pero inferiores ($P < 0,0404$) a la década del 00 ($0,80 \pm 0,02$ t ha⁻¹) y del 10 ($0,81 \pm 0,02$ t ha⁻¹), las cuales no difirieron entre sí (figura 3).

Estas diferencias en rendimiento parecen no tener un claro efecto de la lluvia, por cuanto la

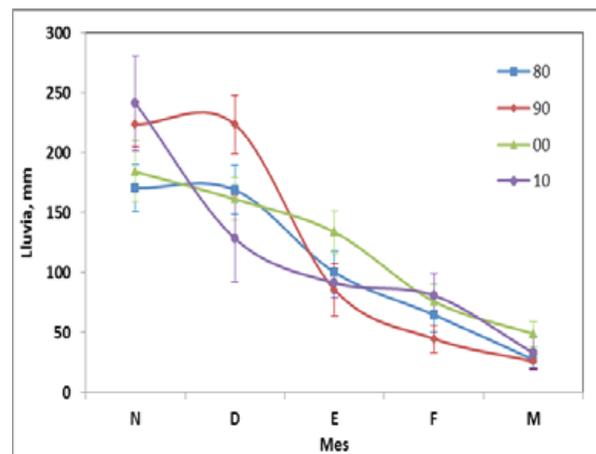


Figura 2. Comportamiento de la lluvia mensual (mm) según década durante el ciclo de producción de frijol en Upala, Costa Rica. 2014.

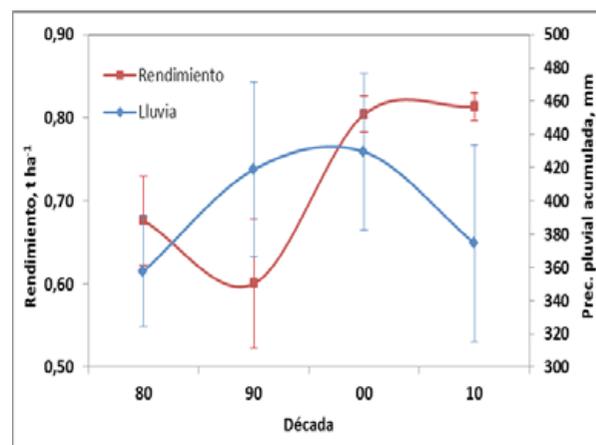


Figura 3. Relación entre la lluvia acumulada (mm) y los rendimientos del frijol en Upala, Costa Rica durante el ciclo productivo del 2014.

precipitación en la década de los 90 fue similar a la ocurrida en los 00, sin embargo, ello no se reflejó en el rendimiento logrado en los 90 (figura 3). Lo anterior, sugiere que existen otros factores adicionales a la cantidad de lluvia durante su ciclo vegetativo, que influyen directamente en los rendimientos de este cultivo. En este sentido, factores como la distribución de la lluvia y los problemas fitopatológicos, variedades y manejo, entre otros, requieren ser incluidos en la ecuación para determinar su influencia y con ello obtener una explicación más certera de las variaciones en el rendimiento del frijol a través del tiempo.

Ante este panorama emerge la interrogante de si estas tendencias productivas están de algún modo relacionadas con el fenómeno ENOS. En este sentido, la ocurrencia de los eventos el Niño/la Niña han variado, mostrando el Niño una tendencia a incrementarse en las últimas décadas (80–00) (figura 4). En la década actual los eventos presentados han sido de la Niña, sin embargo, es necesario esperar su finalización para conocer con certeza la frecuencia de ocurrencia de eventos ENOS y poder compararlo con las décadas previas.

Con respecto a la influencia que esos eventos pueden tener en los rendimientos, no se hallaron diferencias importantes ($P > 0,2793$) por unidad de área para cada fase del fenómeno del ENOS, tanto entre décadas como dentro de estas (figura 5).

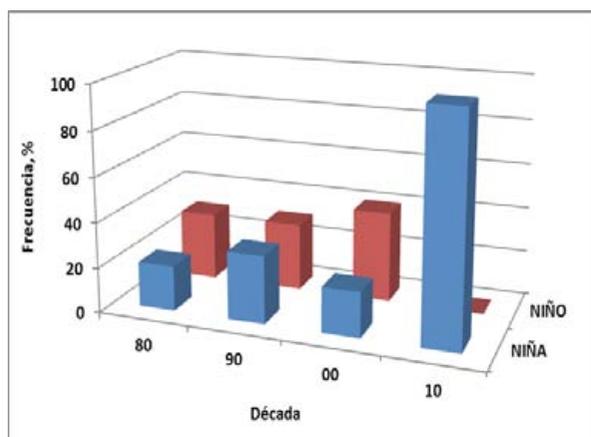


Figura 4. Frecuencia de ocurrencia de eventos del ENOS (en %), según década. 2014

Sin embargo, llama la atención la gran variabilidad que se observó en los rendimientos durante la fase el Niño y Neutro, particularmente en las décadas del 80 y 90 (figura 5), lo cual no se observó con la Niña. Esto es un indicador del riesgo asociado al proceso productivo durante estas fases del ENOS y que probablemente esté relacionado con la distribución de la lluvia durante el ciclo vegetativo de este cultivo. Esto puede estar relacionado con variaciones en la intensidad del evento, ya que esta influye en el régimen de lluvias, por lo cual es aconsejable conocer no solamente el evento que se aproxima, sino también su intensidad. Es decir, no es lo mismo para el cultivo crecer bajo la influencia de un Niño débil que bajo condiciones fuertes del mismo evento mencionado.

De manera más detallada, la figura 6 muestra el comportamiento del rendimiento y su relación con la cantidad de lluvia caída durante el ciclo vegetativo de este cultivo, para cada uno de los eventos del ENOS y décadas analizadas.

Con respecto al efecto de la lluvia en los rendimientos durante la fase de la Niña, parece no existir relación, ya que con cantidades similares de lluvia en las décadas del 80 y 00 se produjeron aunque sin significancia estadística ($P > 0,06188$), variaciones en los rendimientos (figura 6). La tendencia parece más clara en los eventos del Niño, donde se observó un decrecimiento en

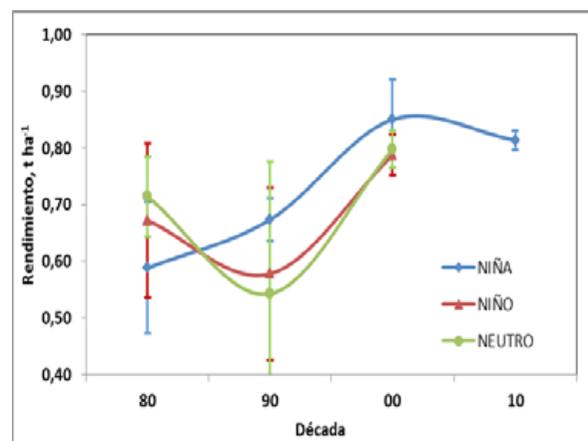


Figura 5. Rendimiento del frijol, t ha⁻¹, según evento del ENOS y década. Upala, 2014.

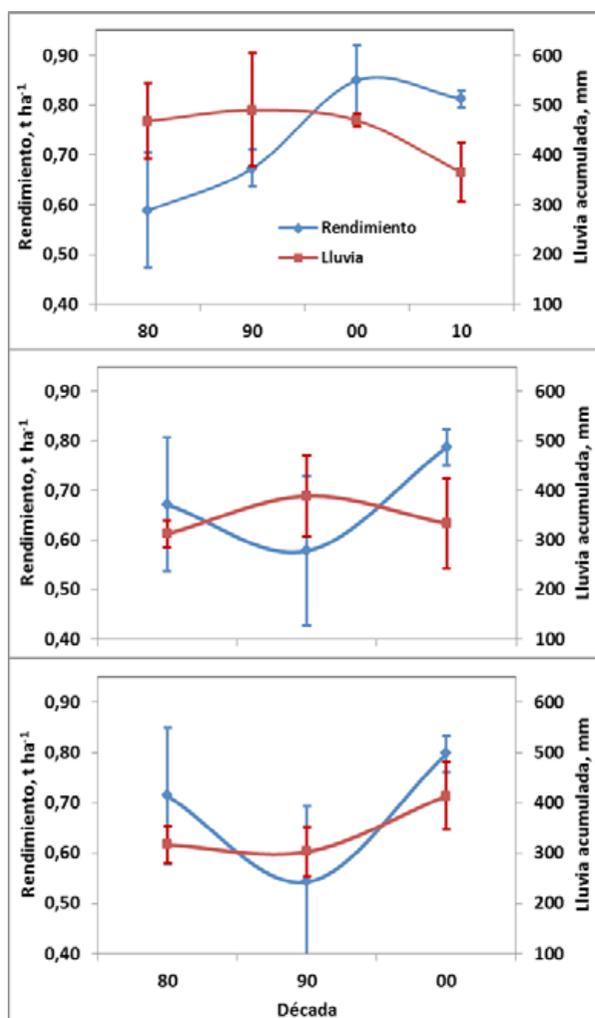


Figura 6. Relación entre lluvia acumulada (mm) y rendimiento (t ha⁻¹) del frijol en Upala, para cada fase del ENOS. Costa Rica, 2014.

el rendimiento cuando la lluvia fue cercana a los 400 mm, mientras que valores inferiores de lluvia resultaron en mayores rendimientos (figura 6). Sin embargo, no se detectaron diferencias en rendimiento ($P > 0,4602$) entre las diferentes décadas durante esta fase del ENOS. Esto podría ser resultado de que la intensidad de los eventos varía, es decir cada vez que se presenta un Niño no necesariamente es de igual magnitud del anterior, lo cual también aplica para los otros dos eventos restantes. En consecuencia, esto influye directamente en la cantidad de lluvia y en el comportamiento del rendimiento de este cultivo.

En los eventos Neutro, los rendimientos mostraron aparente influencia de la lluvia ya que se observó cierto grado de paralelismo entre ambas variables, sin embargo no se detectaron diferencias en el rendimiento ($P > 0,3158$) entre las décadas. En este sentido, el factor que más incidió para la no detección de diferencias en el rendimiento observado entre décadas y evento ENOS, fue la gran variabilidad de los rendimientos. Ello podría estar reflejando la intensidad de los eventos; en esta evaluación no se discriminó por la intensidad de ellos aún cuando se conoce que hay eventos débiles, mientras otros son fuertes y en consecuencia su influencia es muy marcada en las condiciones climáticas particularmente en la lluvia, la cual es de gran importancia para esta actividad agrícola.

3.3. Condición climática

Se determinaron diferencias en los rendimientos del frijol ($P < 0,0176$) entre las distintas condiciones climáticas. La productividad durante la condición climática normal ($0,77 \pm 0,02$ t ha⁻¹) fue mayor ($P < 0,0084$) que la observada en la condición seca ($0,54 \pm 0,12$ t ha⁻¹) y mayor ($P < 0,0471$) que aquella durante la estación lluviosa ($0,67 \pm 0,05$ t ha⁻¹) (figura 7).

Un aspecto que se debe resaltar, es que la variabilidad en los rendimientos se redujo de manera notoria al pasar de la condición seca a la normal y de la condición lluviosa a la normal (figura 7). Dicha condición se reflejó en los coeficientes de variación, los cuales fueron mayores en la condición seca y lluviosa comparada con la normal.

La cantidad de lluvia durante el ciclo productivo del frijol tiene gran importancia en el rendimiento, ya que este es estadísticamente superior cuando el acumulado de lluvia se encuentra entre 270 y 490 mm, comparado con cantidades inferiores o superiores a dicho rango (cuadro 1).

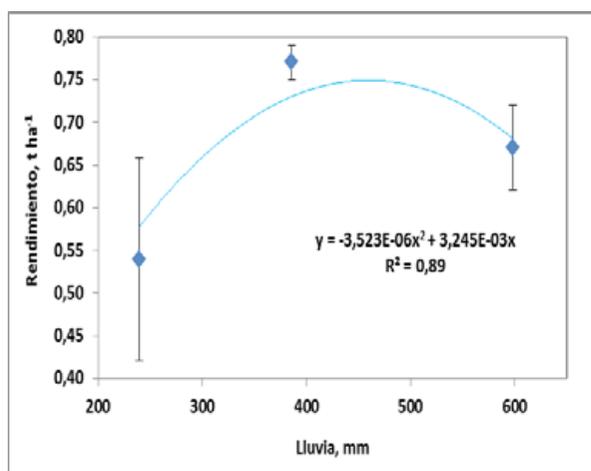


Figura 7. Rendimiento del frijol, t ha⁻¹, según condición climática. Upala, 2014.

De acuerdo con lo anterior, las condiciones climáticas se relacionan directamente con el grado de incertidumbre asociado al proceso productivo. Esto significa que cuando las condiciones climáticas son normales, el productor tiene mayor seguridad de alcanzar mejores rendimientos comparado con una condición climática seca. Muy probablemente esto se asocia con la distribución de la lluvia y en consecuencia, con la disponibilidad de humedad en el suelo para el cultivo, sin embargo, esta información no está disponible y en consecuencia no se pudo realizar el análisis respectivo. Resultados similares fueron previamente determinados por Villalobos (2001), analizando el efecto de “El Niño” en los rendimientos de frijol para la zona de Los Chiles. Además, los resultados de este estudio también están de acuerdo con lo reportado por el MINAE (2014), con respecto a la sensibilidad de este cultivo con respecto a cambios de condiciones climáticas.

Es importante mencionar, que ante esta situación es necesario realizar la planificación de la siembra del frijol de acuerdo con los pronósticos climáticos de corto (semanal) y mediano plazo (dos o tres meses), que se encuentran disponibles en la web del IMN, los cuales son elaborados y proporcionados por esa institución. Esta es una herramienta que los productores deberían utilizar, para tratar de disminuir los niveles de incertidumbre en los rendimientos de este cultivo.

3.4. Rendimiento y condiciones climáticas futuras

De acuerdo con el escenario de cambio climático simulado por el IMN para nuestro país, en el cantón de Upala la lluvia se estaría reduciendo entre el 5 y 10% en los próximos 25 años; de igual manera, la temperatura ambiente se incrementaría entre 0,5 y 1,0°C aproximadamente. La combinación de ambas condiciones reduciría la humedad ambiental y en consecuencia se estaría incrementando la evapotranspiración potencial de este sistema de producción, por lo cual la demanda de humedad será mayor para llenar los requerimientos hídricos del frijol.

Bajo este escenario simulado y conociendo que la incertidumbre productiva se incrementa con las condiciones secas y que existe una disminución significativa de la productividad de este cultivo bajo esas condiciones, el país tendría disminuciones importantes en los rendimientos de frijol en la región de Upala si no se dispone de la tecnología requerida para proporcionar al cultivo las condiciones de humedad necesarias, que permitan el logro de rendimientos promedio

Cuadro 1. Rendimiento del frijol, t ha⁻¹, y lluvia, rango y promedio en mm, según condición climática. Upala, 2014

Condición climática	Rendimiento, t ha ⁻¹	Lluvia, mm	Promedio lluvia, mm
Seca	0,54±0,12 ^{bc}	213 - 263	239±7
Normal	0,77±0,02 ^a	270 - 490	386±18
Lluviosa	0,67±0,05 ^b	522 - 754	598±36

Valores ± 1 EE

como el observado bajo la condición climática denominada como normal en esta investigación.

Ante este panorama es recomendable el desarrollo de investigaciones que permitan proporcionar al agricultor variedades adaptadas a estas nuevas condiciones climáticas, de manera que se pueda mantener en esta actividad y producir con rentabilidad este grano alimenticio, además de asegurar al menos parte de la seguridad alimentaria de nuestro país. La investigación que se desarrolle en este sentido es clave para mantener activo este importante sector productivo.

4. Conclusiones

De acuerdo con el análisis realizado a la información se puede concluir que:

- 1) El análisis de las décadas mostró que no existe un claro efecto de la lluvia en los rendimientos de frijol.
- 2) La clasificación de la lluvia en grupos denominados condiciones climáticas mostró efecto significativo de esta en la productividad, mejores rendimientos se logran con niveles de lluvia acumulada cercanos a los 400 mm, lo cual se presentó con la condición climática normal.
- 3) Adicionalmente a la productividad asociada a la lluvia, el nivel de incertidumbre en la producción se incrementa con condiciones de sequía, lo cual se relaciona directamente con el riesgo que toma el productor en esa condición climática.
- 4) Los eventos del Niño ocurridos desde 1980 no mostraron tener influencia diferencial en el nivel de rendimiento promedio del frijol logrado en Upala.

- 5) Otros factores adicionales a la lluvia obviamente influyen en la productividad de este cultivo y al no tener la información pormenorizada de ellos no se conoce el efecto que podrían estar causando en los rendimientos de este cultivo.

Por tanto, se recomienda:

- 1.- Realizar estudios históricos pormenorizados y específicos para fincas particulares, donde se pueda determinar el efecto de distintas variables, incluidas las climáticas y asociadas al ENOS en los rendimientos productivos del cultivo del frijol.
- 2.- Realizar los estudios mencionados en el acápite anterior en zonas climáticamente contrastantes, para determinar el efecto del clima en los rendimientos productivos del frijol y poder desarrollar las acciones necesarias para lograr la adaptación de este cultivo a las nuevas condiciones climáticas que imperarán, según el pronóstico realizado por el Instituto Meteorológico Nacional en el marco del cambio de clima y con ello contribuir con la seguridad alimentaria de nuestro país.

5. Literatura citada

- Alvarado, L.; Contreras, W.; Jiménez, S. (2011). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. Depto. de Climatología e Investigaciones Aplicadas. IMN-MINAE. San José, Costa Rica. 43 p.
- Consejo Nacional de Producción. (2014). *Producción frijol resumen 1970-1971 / 2013-2014*. Recuperado de: <http://www.simacr.go.cr/index.php/produccion-frijol-frijol>.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2014). *Tercera Comunicación Nacional. Seguridad alimentaria y el cambio climático en Costa Rica*. MINAE-IMN-GEF-PNUD. 96 p.

Retana, J.; Alvarado, L.; Pacheco, R. (2009). *Relación entre la variabilidad climática y el ciclo agrícola del frijol en la Región Huetar Norte de Costa Rica. Perspectivas del clima para el ciclo 2009-2010*. IMN. Nota Técnica 03. San José, Costa Rica. 9 p.

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.



Instituto Meteorológico Nacional

Sitios web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

