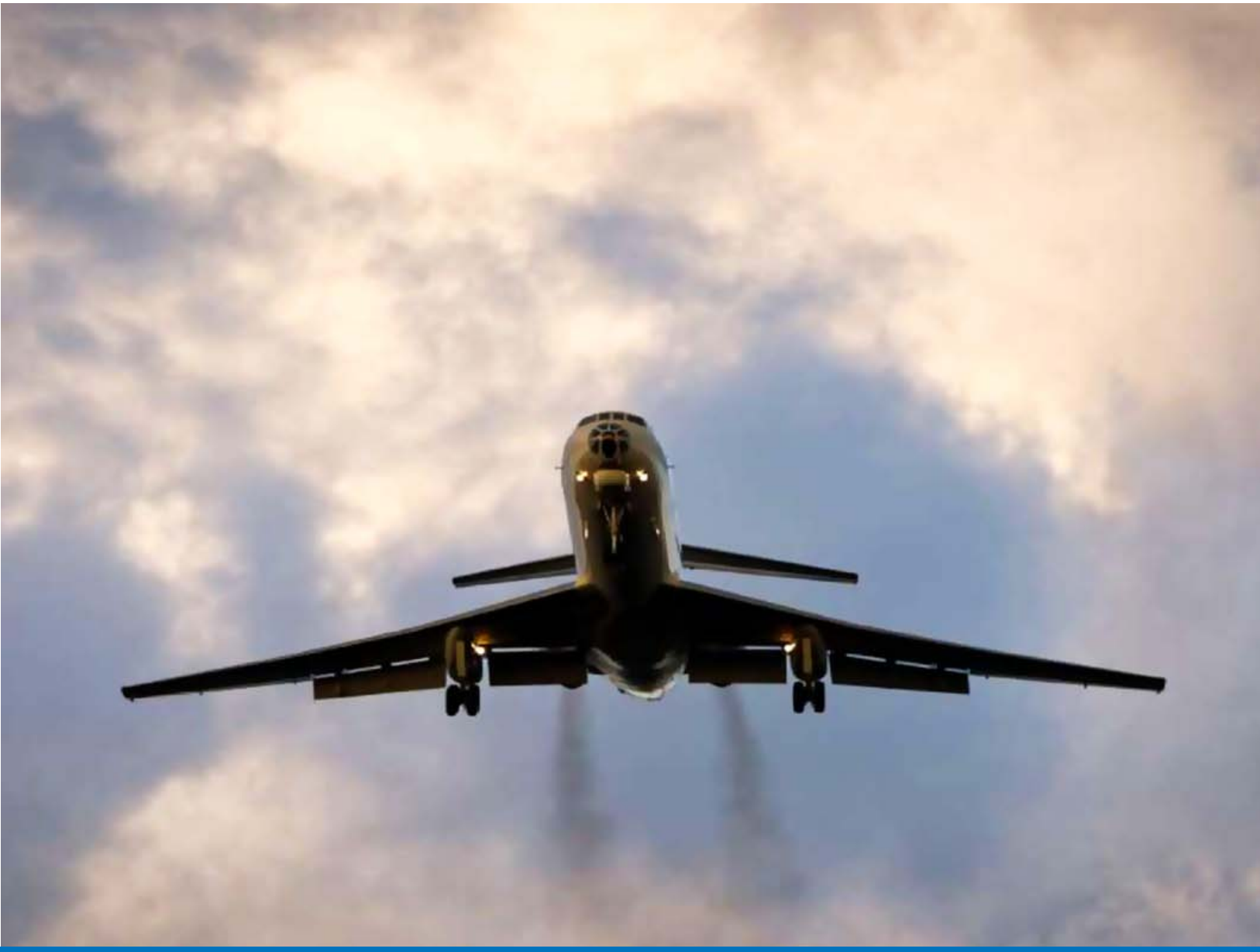
Ministerio de Ambiente y Energía
Instituto Meteorológico Nacional

Número 2

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

Instituto Meteorológico Nacional
Fundado en 1888

ISSN 1409 - 2034 Volumen 14 Diciembre 2015



San José, Costa Rica

Ministerio de Ambiente y Energía
Instituto Meteorológico Nacional

Número 2

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

ISSN 1409 - 2034 Volumen 14 Diciembre 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.

* Los artículos publicados en Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos expresan la opinión del autor y no necesariamente la del Instituto Meteorológico Nacional

CONTENIDO

Pág. Artículo

5 Evaluación de las emisiones de dióxido de carbono del proceso de producción de cal hidratada en la planta de Industrias de Calcio S.A.

KENDAL BLANCO SALAS

12 El impacto social de algunos ciclones tropicales en América Central durante el siglo XX a través del análisis de fuentes hemerográficas

RONALD E. DÍAZ BOLAÑOS, ERIC J. ALFARO MARTÍNEZ

29 Curvas Intensidad Duración Frecuencia (curvas IDF) mediante análisis de frecuencia y parámetros de ajuste en Costa Rica, a partir de estaciones meteorológicas de tipo mecánico

NAZARETH ROJAS MORALES

41 Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y precursores provenientes de la aviación internacional en Costa Rica

KENDAL BLANCO SALAS

50 Variaciones en la precipitación y su posible impacto en la producción agrícola de Liberia, Costa Rica

MARVIN QUESADA QUESADA Y PETER R. WAYLEN

60 La influencia de los pasos montañosos en la sensación térmica del Valle Central Occidental

KARINA HERNANDEZ ESPINOZA

Evaluación de las emisiones de dióxido de carbono del proceso de producción de cal hidratada en la planta de Industrias de Calcio S.A.

KENDAL BLANCO SALAS[1]

Resumen

La producción de cal viva y cal apagada en Costa Rica se da únicamente mediante métodos artesanales. Sus principales usos son en la agricultura y en el proceso de producción de azúcar. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), incluye en sus directrices las emisiones de CO_2 provenientes del proceso de producción de cal. Este trabajo tiene como objetivo evaluar las emisiones debidas al proceso de producción en una planta de cal apagada, aplicando la metodología de Nivel 2 con una combinación de factores de planta y por defecto. El trabajo se desarrolló en la planta de Industrias de Calcio S.A., la más grande del país. Se determinó que la cal producida tiene un contenido de óxido de calcio de 69%, generando para el 2012, 3,26 Gg de dióxido de carbono.

PALABRAS CLAVE: CAL, CAL APAGADA, CAL VIVA, EMISIONES, GASES DE EFECTO INVERNADERO.

Abstract

The production of lime in Costa Rica is carried out only by traditional methods. The main uses are in agriculture and the sugar production process. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), includes in its guidelines the process emissions from lime production. This work is to evaluate emissions due to the production process of hydrated lime applying the Level 2 methodology with a combination of plant factors and default factors. The work was developed in Industrias de Calcio S.A., the largest in the country. The lime produced has a content of calcium oxide of 69%, generating on 2012 3,26 Gg of carbon dioxide.

KEY WORDS: LIME, QUICKLIME, HYDRATED LIME, EMISSIONS, GREENHOUSE GASES.

1. Introducción

Existen varios tipos de cal, la clasificación general las define como: cal dolomítica, la cual es una mezcla de óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO); cal magnesiana cuyo principal compuesto es el óxido de magnesio y la cal calcítica, que contiene principalmente óxido de calcio y es la única que se produce en el país.

La cal u óxido de calcio y su materia prima el carbonato de calcio ($CaCO_3$), son dos de los productos más antiguos conocidos por la humanidad, se tiene evidencia que ambos eran utilizados principalmente en la agricultura y en la construcción, además de que fueron utilizados en el año 7.000 antes de Cristo (Coloma, 2008).

El proceso de fabricación de cal viva consiste en una reacción química, en donde la piedra caliza es sometida a altas temperaturas transformándose en óxido de calcio y a su vez dándose la liberación de gran cantidad de dióxido de carbono (CO_2), en el proceso conocido como descarbonatación.

$$CaCO_3 + Calor \rightarrow CaO + CO_2 \uparrow \quad (1)$$

1 Ing. Químico. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional. Email: kblanco@imn.ac.cr

En el caso del hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) o cal apagada, la misma se produce mediante un proceso de hidratación de la cal viva en donde se da alta liberación de energía (Sharpe, 1993).

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \quad (2)$$

Entre las principales aplicaciones, tanto a nivel general como nacional de la cal viva y cal apagada, se encuentra el uso con fines agrícolas, especialmente en la aplicación a suelos ácidos. Otros usos son en el abono, la fabricación de pigmentos y blanqueadores, y en el revestimiento, ladrillos y morteros (Coloma, 2008).

En Costa Rica, según expertos de Industrias de Calcio S.A., la cal es utilizada principalmente por ingenios azucareros, tanto para el mejoramiento de suelos como para el proceso productivo de caña de azúcar como neutralizador de los jugos.

El proceso de producción de cal en el país, se da de manera artesanal en hornos de cemento recubiertos en su interior con materiales refractarios para resistir las altas temperaturas, se pueden definir estos hornos como sistemas "batch" o discontinuos, es decir, todo el material ingresa para el proceso de reacción y no hay movimiento hasta que se complete la cocción. En la figura 1 se muestra una representación de estos hornos presentada por Coloma (2008), que es similar a los usados en el país. Existen también sistemas continuos tipo horno rotatorio, que aunque han operado en el país, su alto costo de mantenimiento los ha sacado de producción, esto a pesar de que son altamente eficientes en lo que a producción se refiere, además de que ocupan menor espacio.

El proceso de cocción es vigilado manualmente hasta que se considere que la piedra está totalmente cocinada, este proceso tarda aproximadamente cuatro días.

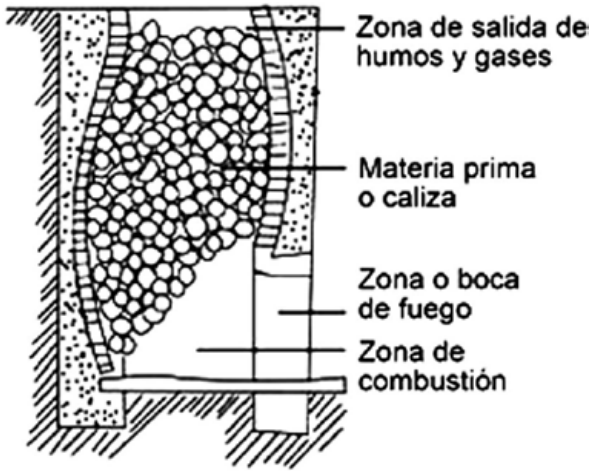


Figura 1. Horno discontinuo para fabricación de cal. Fuente: Coloma, 2008.

Posteriormente, el material se extrae del horno y se pasa a cámaras de hidratación, para que seguidamente sea molido al tamaño de partícula deseado.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, establece en sus directrices del 2006 la cuantificación de las emisiones debidas al proceso de producción de cal, esto dentro de la categoría de procesos industriales, específicamente en las emisiones de la industria de los minerales.

Existen tres niveles para estimación de las emisiones, el Nivel 1 se basa en la aplicación de un factor de emisión de CO_2 con los datos nacionales de producción de cal. El Nivel 2 toma en cuenta el tipo de cal y se puede agregar información de la planta. Para el Nivel 3 se deben incluir datos precisos de materia prima por planta y conocer los factores de emisión específicos para la plantas (IPCC, 2006).

Con el presente estudio se pretende poner en perspectiva las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2) del proceso de fabricación de cal, en la planta de Industrias de Calcio S.A.

2. Metodología

El objetivo de esta investigación fue evaluar las emisiones de dióxido de carbono producidas en el proceso de descarbonatación, en una industria productora de cal. Es importante aclarar que la cal producida en esta planta es de tipo calcita.

Se definieron como años a estudiar el 2010, 2011 y 2012, ya que además de ser la información más accesible, cubre los dos últimos inventarios nacionales de gases de efecto invernadero en donde se presentaron los resultados finales de este trabajo.

2.1. Ubicación espacial de la investigación

Se definió como planta a analizar, la de Industrias de Calcio S. A (ICSA), ubicada sobre la Carretera Interamericana Norte, en las cercanías de Cañas, provincia de Guanacaste. Esta planta es la que presenta mayor volumen de producción a nivel nacional, ya que suple de cal a los ingenios azucareros más grandes del país, así como a otras áreas del sector agrícola de la zona y del país. Esta planta también es productora de carbonato de calcio, mediante métodos únicamente físicos.

La planta consta de dos hornos en donde se da el proceso de cocción del carbonato de calcio, este tratamiento es artesanal, y cuenta además con los molinos y el tanque de hidratación.

2.2. Metodología utilizada

2.2.1 Recolección de las muestras e información de producción

Se programó una visita a la planta, donde se prepararon diferentes muestras de distintas fechas entre el 2014 y el 2015, las cuales fueron recolectadas y almacenadas por el personal de la planta para control de calidad. Las muestras recolectadas fueron de aproximadamente 100 gramos cada una.

Además, se obtuvo información sobre la producción anual total de hidróxido de calcio, en el período analizado.

2.2.2 Determinación de la cantidad de hidróxido de calcio en las muestras

Se empleó el método rápido de azúcar, para determinar la pureza del hidróxido de calcio de las tres muestras. Para esto se utilizó cristalería común de laboratorio y se requirió únicamente una balanza analítica. Este método se encuentra en la norma ASTM C25-11[E1]. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica.

2.2.3 Cálculo del factor de emisión y estimación de emisiones.

Para el cálculo del factor de emisión se utilizó la estequiometria de la reacción (ecuación 1), para determinar el dióxido de carbono liberado durante la descarbonatación de la piedra caliza.

Las emisiones se calcularon siguiendo el Nivel 2 establecido en las Directrices del 2006 para los inventarios de gases de efecto invernadero, utilizando un factor corrector para cal hidratada calculado de manera específica para la planta analizada. La ecuación 3 es la utilizada para estimar la emisiones en el Nivel 2.

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i (EF_{cal,i} \times M_{l,i} \times CF_{lkd,i} \times C_{h,i}) \quad (3)$$

Donde:

$EF_{cal,i}$ = factor de emisión para la cal tipo i, toneladas CO_2/toneladas de cal.

$M_{l,i}$ = producción de cal de tipo i, toneladas.

$CF_{lkd,i}$ = factor corrector para el lkd para cal tipo i, adimensional.

$C_{h,i}$ = factor corrector por cal hidratada para cal tipo i.

3. Resultados

La prueba rápida de azúcar para la muestra seleccionada, se realizó por triplicado para reducir el error de experimentación propio en valoraciones de este tipo.

Además de las tres alícuotas, se efectuó antes una prueba para determinar el volumen aproximado a verter durante la titulación. En el cuadro 1 se encuentran los resultados de pureza para el hidróxido de calcio, el promedio obtenido para las tres muestras fue de 91,38 %, por lo que el restante 8,62% corresponde a humedad y otros minerales presentes en la materia prima.

Al tratarse de un método de análisis experimental, se tienen asociados posibles errores como el error de experimentación y los errores aleatorios que son imposibles de controlar. Uno de ellos en esta práctica es el punto de viraje, ya que dependerá totalmente del experimentador detenerse en el momento requerido y que el punto sea similar para todas las muestras analizadas.

Para un 95% de confianza se puede afirmar entonces, que la cantidad de hidróxido de sodio presente en la muestra analizada es de 91,38% ± 1,16%.

Cuadro 1. Porcentaje de hidróxido de calcio obtenido

Alícuota	% de $Ca(OH)_2$
Prueba	90,87
1	91,50
2	90,95
3	91,69
Promedio	**91,38**

El método sugiere que el viraje de la muestra con fenolftaleína sea de rosado a incoloro, lo cual no es recomendable debido a que es difícil determinarlo.

Seguidamente utilizando la estequiometria de la reacción de hidratación del óxido de calcio, se calculó el contenido de éste en la muestra analizada. En el cuadro 2 se muestran los valores obtenidos para las muestras, el promedio fue de 69,16%. Un aspecto importante es que los valores obtenidos ya se encuentran corregidos para cal hidratada, debido al procesamiento experimental empleado, por lo que el valor del factor de corrección indicado en la ecuación 3 se tomó como 1.

Cuadro 2. Porcentaje de óxido de calcio obtenido

Alícuota	% de CaO
Prueba	68,78
1	69,25
2	68,84
3	69,39
Promedio	**69,16**

El IPCC establece por estequiometría el factor de emisión en un valor 0,785 toneladas de CO_2, por tonelada de cal producida, esto sin tomar en cuenta el contenido de CaO en el producto calculado anteriormente.

La producción de cal para el período 2010-2012 en Industrias de Calcio, fue mayor a 5.000 toneladas anuales, el 2010 y el 2012 tuvieron cantidades de producto terminado similares, mientras que en el 2011 fue aproximadamente un 17% menor que en los otros años analizados. La producción de esta planta representó más del 65% de la producción nacional, en los tres años estudiados.

Para determinar las emisiones de CO_2 debidas al proceso productivo, se aplicó la ecuación 3. Las emisiones para el año 2010 y el año 2012 fueron similares, mientras que al reportarse una disminución en la producción en el 2011 también decrecieron las emisiones, este comportamiento se observa en la figura 2. Las emisiones en el año

2010 fueron más altas al compararlas con los dos años posteriores, alcanzando 3,27 Gg de CO_2, mientras que para el 2012 fueron de 3,26 Gg.

En las figuras 3, 4 y 5 se muestran las emisiones mensuales para los años 2010, 2011 y 2012 respectivamente. En los años 2010 y 2011 se observa cómo hay un mes en donde las emisiones son notablemente menores al resto del año, este comportamiento está asociado a toda planta de este tipo en donde al llegar a la época de menor producción se detiene la planta por unos días, para realizar el mantenimiento preventivo y reparaciones necesarias. El período de mayor cantidad de emisiones ocurrió para los tres años entre octubre y marzo, este comportamiento coincide con la época de procesamiento de caña de azúcar conocida como zafra, lo cual es un comportamiento normal debido a que el proceso de producción de azúcar es el mayor consumidor de hidróxido de calcio en el país.

Las emisiones nacionales totales de la producción de cal y la fracción correspondiente a la planta analizada se presentan en la figura 6; para el año 2010 las emisiones de ICSA representaron un 69% del total nacional del sector, en el 2011 un 68% y en el 2012 contribuyeron con un 71%.

Es importante indicar, que las emisiones de cal se reportan en el inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono, dentro de la categoría Procesos Industriales y Uso de Productos, en donde no representa ni el 1% del total del sector.

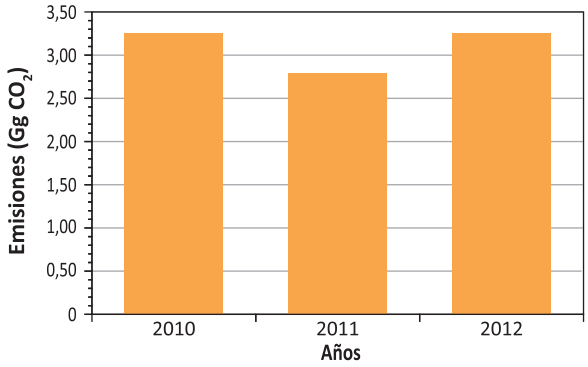


Figura 2. Emisiones de CO_2 de Industrias de Calcio S.A.

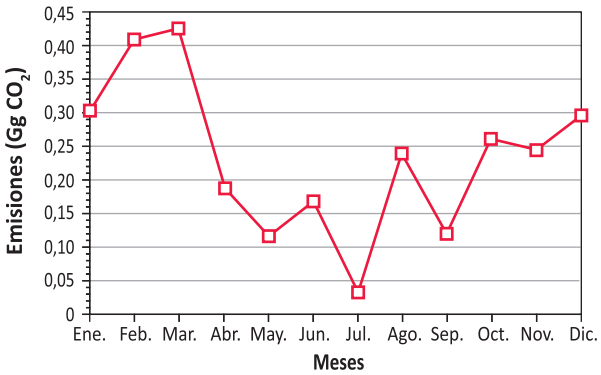


Figura 4. Emisiones mensuales de CO_2 de Industrias de Calcio S.A. en el año 2011.

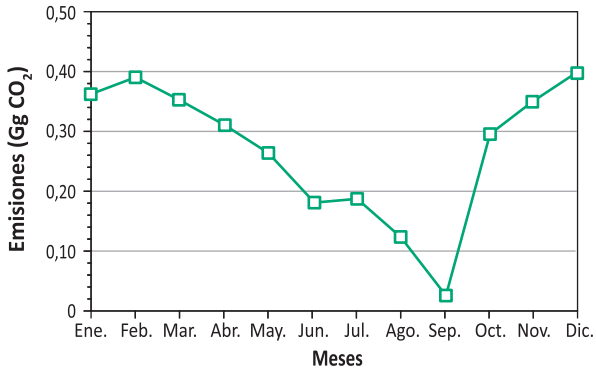


Figura 3. Emisiones mensuales de CO_2 de Industrias de Calcio S.A. en el año 2010.

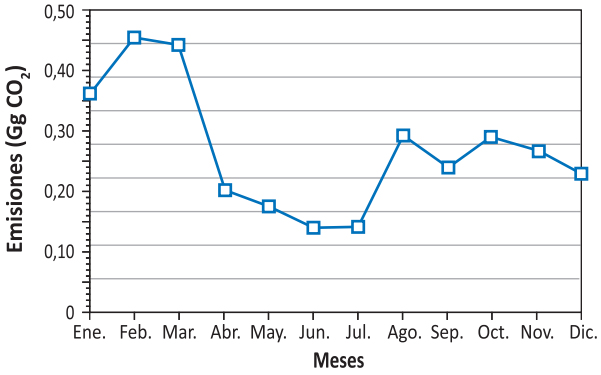


Figura 5. Emisiones mensuales de CO_2 de Industrias de Calcio S.A. en el año 2012.

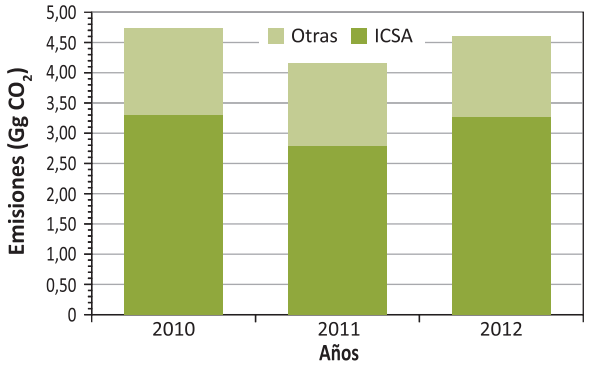


Figura 6. Emisiones nacionales de CO_2 para el sector de producción de cal.

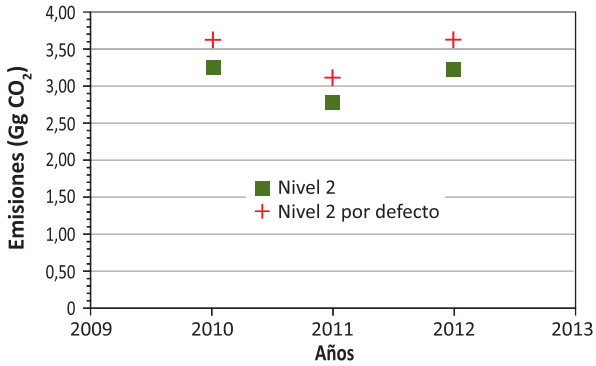


Figura 7. Comparación de métodos de cálculo utilizados.

Para realizar una comparación, se estimaron las emisiones de la planta utilizando el Nivel 2 establecido por el IPCC, empleando los factores recomendados por defecto. En la figura 7 se muestra como al utilizar estos factores se sobreestiman las emisiones, que en este caso son mayores en 11,6%.

Las emisiones son mayores, debido a que el valor por defecto para contenido de óxido de calcio es más alto al determinado experimentalmente, siendo este de 78% para cal viva, al corregirlo por cal hidratada con el valor por defecto se reduce hasta 75,66%, mientras que el valor experimental fue de 69,2%.

Tal como establece la metodología de Nivel 2, se recomienda corregir por polvo de horno que no se devuelve al sistema, el valor por defecto que se utilizó para la comparación es de 1,02, mientras que el real es 1, debido a que por el sistema de cocción utilizado todo el carbonato de calcio pasa a ser óxido de calcio para su posterior hidratación.

En cuanto al análisis de incertidumbre, los parámetros que se muestran en el cuadro 3 se definieron de acuerdo al criterio establecido en las directrices del IPCC. Se estimó la incertidumbre del factor de emisión en 2,37% y la asociada a los datos de actividad en 1,7%. La incertidumbre total para las emisiones es de 2,93%, normalmente se

Cuadro 3. Determinación de la incertidumbre de la producción de cal en Industrias de Calcio, S.A.

Factor de emisión

Parámetros asociado al FE	Incertidumbre (%)	Justificación incertidumbre
Incertidumbre del contenido promedio de CaO en la cal	1,27%	Determinada experimentalmente
Factor de emisión de la cal con fuerte proporción de calcio	2,00%	Valor por defecto
Incertidumbre Factor de Emisión	2,37%	

Actividad

Parámetros asociado al FE	Incertidumbre (%)	Justificación incertidumbre
Incertidumbre de los datos de producción de cal a nivel de planta	1%	Se tiene alto control de la producción
Hipótesis de que los componentes originales del LKD son los de la mezcla cruda	1%	Valor por defecto
Hipótesis de que los todos los carbonatos en el LKD son $CaCO_3$	1%	Valor por defecto
Incertidumbre Actividad	1,7%	
Incertidumbre combinada	**2,9%**	

esperarían valores más altos de alrededor de 8%, pero ésta va muy ligada a la incertidumbre del contenido promedio de CaO, la cual fue calculada experimentalmente, siendo su incertidumbre menor (valores por defecto entre 4% y 8%), causando una disminución sustancial en la incertidumbre del factor de emisión y por tanto, en la incertidumbre combinada.

Este es el primer estudio de emisiones en el proceso que se realiza en este tipo de plantas, por lo que no hay antecedentes para realizar una serie temporal consistente, únicamente se incluyó el análisis de los años en donde se tenía a disposición información suficiente para el adecuado análisis.

4. Conclusiones y recomendaciones

Para el año 2012 se emitieron 3,26 Gg de dióxido de carbono, debido al proceso de producción de cal en la planta Industrias de Calcio.

La mayor parte de las emisiones se dieron en el período comprendido entre octubre y marzo, lo cual se mantiene para los tres años analizados.

Aunque ICSA no alcanza el 1% de las emisiones de procesos industriales en el país, es el mayor emisor del sector de producción de cal con un 70% aproximadamente.

La incertidumbre del factor de emisión es de 2,37% y la asociada a los datos de actividad 1,7%, mientras que para el total de las emisiones la incertidumbre es de apenas 2,93%.

Se recomienda realizar el análisis de contenido de óxido de calcio a una mayor cantidad de muestras.

Además, sería importante antes de realizar un estudio de Nivel 3, implementar un sistema de pesado de materia prima.

5. Referencias

Agencia Europea del Medio Ambiente. (2013). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013: Technical guidance to prepare national emission inventories*. Ciudad de Luxemburgo, Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Recuperado de http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013.

ASTM (2014). ASTM International. *Standard Test Methods for Chemical Analysis of Limestone Quicklimeand Hydrated Lime*. Designation: C25-11^{E1}.

Chacón, AR., Jiménez, G., Montenegro, J., Sasa, J., Blanco, K. (2014). *Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de Carbono 2010*. MINAE-IMN. San José, Costa Rica.

Coloma, G. (2008). *La cal: ¡Es un Reactivo Químico*! Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. 1ª edición.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2006). *Directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. IGES, Japón.

Sharpe, AG. (1993). *Química Inorgánica*. Editorial Reverté. Barcelona, España.

Skoog, D., West, D., Holler, J., Crouch, S. (2005). *Fundamentos de Química Analítica. Thomson Editores, 8ª edición.*

El impacto social de algunos ciclones tropicales en América Central durante el siglo XX a través del análisis de fuentes hemerográficas

RONALD E. DÍAZ BOLAÑOS [1]
ERIC J. ALFARO MARTÍNEZ [2]

Resumen

Las fuentes históricas hemerográficas son importantes para complementar las bases de datos regionales y disminuir la subestimación de los impactos asociados a los eventos climáticos pasados. Esto es importante no sólo para el entendimiento y reducción de la vulnerabilidad y/o exposición actual, sino también futura ante este tipo de amenazas. Este trabajo constituye un estudio del impacto social causado por los efectos directos e indirectos de ocho huracanes en América Central, durante el siglo XX, realizado mediante el análisis de fuentes hemerográficas costarricenses. Los datos recabados evidencian las pérdidas ocasionadas por los ciclones en la Cuenca del Caribe, en los países centroamericanos, que incluyen daños a la infraestructura y las actividades económicas del sector primario, además de la pérdida de vidas humanas.

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

Abstract

Historical hemerographic sources are important to complete regional data bases and to aliviate the underestimation related to past climate events impacts. This is important for the knowledge and reduction of actual and future vulnerability or/and exposition to these hazards. This work is a study of the social impact caused by the direct and indirect effects of eight hurricanes in Central America, during the twentieth century, through the analysis of Costa Rican newspaper sources. The data collected evidence losses caused by cyclones in the Caribbean Basin, in Central America, that include damage to infrastructure and economic activities in the primary sector, besides the loss of human lives.

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

1. Introducción

En los últimos años, proyectos de las ciencias computacionales han permitido la revisión y rescate de información meteorológica histórica que permanecía archivada sin ser analizada. Uno de estos proyectos es el denominado HURDAT (http://www.aoml.noaa.gov/hd/hurdat/), especializado en el registro 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 et al., 2012; 2014). Este tipo

1 MSc. 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.

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.

de “reanálisis” investigó la información histórica asociada con los ciclones tropicales, generando cambios importantes relacionados con el tiempo de permanencia y velocidad de un ciclón tropical, en una cuenca oceánica como el Mar Caribe, su trayectoria con 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 las localidades afectadas (Alvarado y Alfaro, 2003).

Estudios previos, como los realizados por Alfaro (2007), Alfaro, Quesada y Solano (2010), Alfaro y Quesada (2010) y Solano, Alfaro y Díaz (2015), 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 vinculado principalmente a factores como la exposición y la vulnerabilidad de las comunidades, y como se indicó anteriormente, al tiempo de permanencia y posición del ciclón tropical con respecto al istmo centroamericano, esto debido a la circulación que puede inducir el ciclón sobre el istmo provocando temporales (Alfaro y Pérez-Briceño, 2014). La intensidad del ciclón no es tan relevante como los factores anteriores a la hora de analizar los impactos de estos fenómenos en América Central, ya que la mayoría de impactos ocasionados por estos fenómenos son provocados por ciclones de baja intensidad.

Por otro lado y al igual que expresan 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, especialmente hemerográficas (periódicos) que no han sido todavía interpretadas 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 ciclones de distintas temporadas en el Océano Atlántico Tropical Norte.

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto social de algunos huracanes que afectaron directa o indirectamente a los países centroamericanos, en el siglo XX. Se enfatizan los daños causados a la infraestructura, a la producción agropecuaria y a las poblaciones humanas de los sitios afectados, a partir de los datos extraídos de las fuentes hemerográficas.

2. Metodología

El tratamiento de la información asociada a los ciclones tropicales es idéntico al explicado en Alfaro, Quesada y Solano (2010), Alfaro y Quesada (2010) y Solano, Alfaro y Díaz (2015).

El período de tiempo utilizado en este trabajo fue de 1906 al 1996, en tanto que la base de datos con información sobre los huracanes corresponde al proyecto HURDAT (1851-2013). Esta base de datos es pública y accesible por medio de la dirección http://www.aoml.noaa.gov/hd/hurdat/. La misma contiene datos del ciclón tropical cada seis horas.

Se seleccionó la información correspondiente a los huracanes No. 8 (1906), Hazel (1954), Camille (1969), Irene (1971), Fifí (1974), Gilbert (1988), Joan (1988) y César (1996), debido a su impacto en los países centroamericanos. No se ajustaron a los criterios propuestos por Alvarado y Alfaro (2003), que fueron seguidos por Solano, Alfaro y Díaz (2015) para el análisis del impacto social de los ciclones en la Cuenca del Caribe a través de fuentes hemerográficas, cuando se tomó en cuenta toda la costa caribeña de América

Central. No obstante, esos huracanes sí fueron identificados en los criterios de selección de la metodología de Alvarado y Alfaro (2003), cuando se tomó como referencia un único punto en Puerto Limón (Costa Rica), incluso se brindaron por parte de los autores algunos datos de impactos muy superficiales provenientes de fuentes oficiales.

El criterio de selección usado por Alvarado y Alfaro (2003) para estudiar la ocurrencia de estos ciclones tropicales cerca de la costa del Caribe costarricense, consistió en crear un índice para cada ciclón tropical que suma las posiciones encontradas dentro de un círculo de radio de 3º ó 7º con respecto a Puerto Limón y se cuantificaron los casos que presentaron una mayor presencia del ciclón tropical con respecto a dicho puerto.

Para el análisis del impacto de los ciclones tropicales, se revisaron las versiones impresas y digitales de periódicos costarricenses que se publicaron en las mismas fechas en los que transcurrieron los eventos, de los cuales

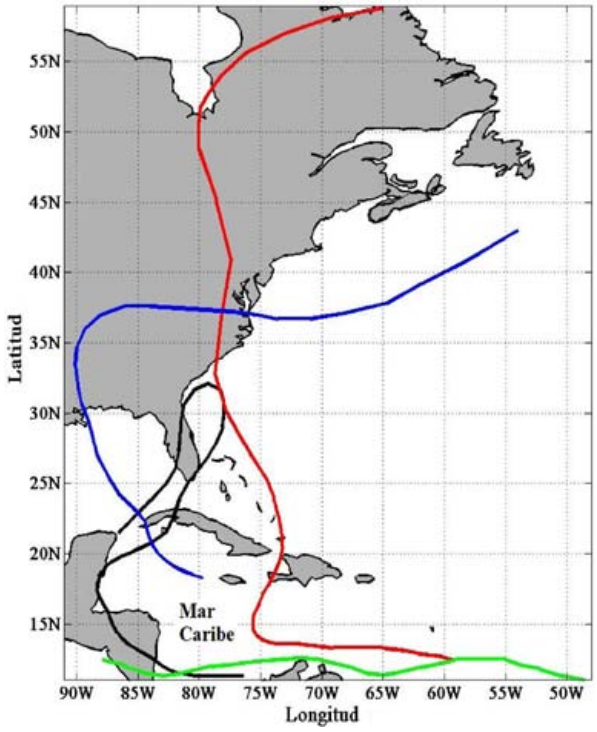


Figura 1. Ciclones del período 1906-1971. Fuente: Basada en los datos de HURDAT y UNISYS.

se extrajeron datos referentes a las pérdidas económicas ocasionadas por los mismos, 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 en los países centroamericanos. Se recurrió a las bases de datos UNISYS y HURDAT para representar la trayectoria de los ciclones tropicales.

Los datos analizados se clasificaron en dos períodos: de 1906 a1971 y de 1972 a 1996, cada uno comprende cuatro huracanes.

3. Resultados y discusión

3.1. Período 1906-1971

En este período se analizan cuatro huracanes cuya trayectoria se muestra en la figura 1. La línea negra representa la trayectoria del Huracán No. 8, de las 6 hs del 8/10/1906 a las 18 hs del 23/10/1906; la roja la del Huracán Hazel, de las 6 hs del 5/10/1954 a las 12 hs del 18/10/1954; la azul la del Huracán Camile, de las 0 hs del 14/8/1969 a las 12 hs del 22/8/1969 y la verde la del Huracán Irene, de las 18 hs del 11/9/1971 a las 18 hs del 20/9/1971. Las trayectorias corresponden a todos los estadios ciclogenéticos listados en las bases de datos.

3.1.1 Huracán No. 8 (1906)

El huracán No. 8 correspondiente al año 1906 se formó el 8 de octubre frente a las costas de Colombia y tuvo sus principales efectos en Nicaragua, Cuba y Florida (Garriott, 1906, pp. 478-480). Este ciclón se caracterizó porque sus principales efectos en Costa Rica se reportaron principalmente en la Vertiente Pacífica (Díaz y Solano, 2014, pp. 347-355). Su intensidad máxima fue de huracán categoría 3, desde las 12 horas del día 17 hasta las 12 horas del 18, registrándose en

el radio de vientos máximos una velocidad de 195 km/h y una presión en el ojo de 953 hPa.

La ciudad de Puntarenas quedó aislada del resto del continente debido a la acción conjunta del oleaje y las fuertes lluvias: "Se dice que el empuje de las olas fue tal, que las aguas barrieron la lengua de tierra en todo su ancho, pues llegaron a unirse con las del estero, causando daños de consideración. Ha habido interrupciones con la línea telegráfica… hay inquietud con respecto a una embarcación que había salido anoche, con varios viajeros, y que ha podido ser sorprendida por el ciclón" (*La Prensa Libre*: 10 de octubre de 1906, p. 3). El gobierno del presidente Cleto González Víquez (1858-1937), destinó 500 colones para cada uno de los damnificados por la inundación de esta ciudad portuaria (*La Prensa Libre*: 17 de octubre de 1906, p. 3).

En la noche del día 10 de octubre, el puente ferroviario del río Barranca sucumbió por el desbordamiento del cauce de este río (*El Noticiero*: 19 de octubre de 1906, p. 1). Este hecho fue descrito por el Ing. Luis Matamoros (1859-1934), Jefe de la Sección de Obras Públicas, de la siguiente manera: "Desde el 8 del corriente principió una lluvia fuerte sin cesar desde ese momento, y que continuó durante los días 9 y 10, acompañada de huracán. El día 10 en la tarde, la creciente del río apareció tan grande, que dio lugar a que el Agente Superior de la Sección de Ferrocarril entre Esparta y Puntarenas ordenase pasar un tren al lado de Puntarenas porque se temía ya que el río falsease el puente. El último tren pasó como a las 11 de la noche y el puente se desplomó y cayó como a las 11:30 de la misma noche del 10" (La Gaceta: 20 de octubre de 1906, p. 2).

El río Aranjuez "rompió por un lado inundando la parte baja, a cuyos vecinos hubo que prestar auxilio, pues estaban con el agua a la cintura" (*El Pacífico*: 13 de octubre de 1906, p. 2). El río Guatuso, tributario del Barranca, experimentó una creciente que destruyó la Mina Corinto, llevándose consigo el campamento, las viviendas de los operarios, los tanques y varios enseres con que contaban dichos trabajadores (*La Prensa Libre*: 17 de octubre de 1906, p. 3).

En San Mateo y Puriscal, las sementeras fueron gravemente dañadas por las intensas lluvias que afectaron también las líneas telegráficas en Esparza e interrumpieron las comunicaciones con la provincia de Guanacaste. El río Parrita se desbordó a su paso por Santa María de Dota, destruyendo varios puentes y produciendo el aislamiento de esa zona con respecto al resto del país (*El Noticiero*: 11 de octubre de 1906, p. 3 y 12 de octubre de 1906, p. 2).

En la costa caribeña, las comunicaciones telegráficas y ferroviarias también fueron interrumpidas por los fuertes temporales (*Diario Republicano*: 12 de octubre de 1906, p. 3 y *La Prensa Libre*: 16 de octubre de 1906, p. 3). Estos efectos indirectos de ciclones del Caribe en la provincia de Limón reportados por la prensa, podrían deberse a la posición relativa del ciclón tropical con respecto al istmo, entre el 11 y el 12 de octubre, o debido a otro tipo de fenómeno que no se pudo determinar con la información consultada.

Los reportes procedentes de El Salvador revelaron la presencia de fuertes aguaceros, que interrumpieron las comunicaciones entre el oriente y el occidente del país (*El Noticiero*: 18 de octubre de 1906, p. 3): "Por espacio de 10 días ha llovido sin cesar en esta República, anegando los ríos, valles, principalmente el de Majada. Pérdidas y daños enormes…la topografía de los varios departamentos completamente cambiada…los ferrocarriles, telégrafos y comercio paralizados. Los ríos arrastran cadáveres de personas ahogadas" (*El Noticiero*: 23 de octubre de 1906, p. 2). En Bluefields, en la costa caribeña de Nicaragua, hubo daños en las plantaciones bananeras calculados en 500.000 pesos oro (*La Prensa Libre*: 16 de octubre de 1906, p. 3).

3.1.2 Huracán Hazel (1954)

El huracán Hazel se desplazó desde las inmediaciones de la isla de Granada hasta Haití, a partir del 5 de octubre, donde provocó hasta un millar de muertos, para luego continuar hacia las Bahamas, las costas de las Carolinas y adentrarse en territorio norteamericano (Davis, 1954, pp. 372-373). Su intensidad máxima fue de huracán categoría 4, a las 6 horas del día 15, registrándose en el radio de vientos máximos una velocidad de 220 km/h y una presión en el ojo menor a 937 hPa.

En Costa Rica los efectos de Hazel se hicieron sentir con más fuerza en el Valle Central, el Pacífico Norte y el Pacífico Sur, a partir del 9 de octubre. En una entrevista realizada por un reportero de *La República* a Elliot Coen (1921-1997), Jefe del Servicio Meteorológico del Ministerio de Agricultura e Industrias, explicó que la fuerza del huracán se concentraba en el mar y llevaba un rumbo definido, aunque era latente el riesgo que una "cola" golpeara al puerto caribeño, por lo que recomendaba a los pescadores, propietarios de embarcaciones y otras personas que pescaban en aguas del Caribe, mantenerse en alerta y evitar consecuencias trágicas (*La República*: 10 de octubre de 1954, p. 8).

En la provincia de Guanacaste, la creciente del río Tempisque inundó la ciudad de Filadelfia y otras poblaciones, además de afectar las tierras agrícolas situadas en sus riberas (*Diario de Costa Rica*: 15 de octubre de 1954, p. 1). Se reportaron dos desaparecidos en Bolsón y en el río Nandayure, la destrucción del muelle del puerto fluvial de Ballena y la caída del puente colgante en Bajo Tempisque (*Diario de Costa Rica*: 16 de octubre de 1954, p.1).

En la Zona Sur tras cuatro días de temporal, el río Grande de Térraba y sus tributarios comenzaron a desbordarse e inundaron las localidades de Ciudad Cortés y Palmar Sur (*Diario de Costa Rica*: 14 de octubre de 1954, p. 1). Además, las inundaciones afectaron varias fincas bananeras en la zona de Golfito y el río Parrita se desbordó amenazando a la población homónima (*La Prensa Libre*: 15 de octubre de 1954, p. 1 y *La República*: 11 de octubre de 1954, p. 11). Las fuertes lluvias ocasionaron la interrupción de las comunicaciones aéreas en esa región del país (*La Nación*: 12 de octubre de 1954, p. 16).

A nivel centroamericano, el huracán Hazel provocó daños en Honduras, donde la costa norte sufrió fuertes inundaciones provocadas por el desbordamiento de los ríos Comayagua, Chamelecón y Ulúa, que anegaron las plantaciones de la United Fruit Company (UFCO) y varias poblaciones (*Diario de Costa Rica*: 5 de octubre de 1954, p. 1 y *La Nación*: 5 de octubre de 1954, p. 1). Las pérdidas en las plantaciones bananeras se calcularon en 40 millones de dólares, sin contar los daños provocados a los diques, líneas férreas, viviendas, ganado y madera (*Diario de Costa Rica*: 12 de octubre de 1954, p. 11).

Mientras tanto, en Guatemala, Puerto San José quedó aislado y las aguas que inundaron la carretera que comunica dicha localidad con la capital del país alcanzaron los 5 pies (*El Diario de Costa Rica*: 6 de octubre de 1954, p. 4). En Panamá, los efectos de Hazel provocaron aguaceros de hasta 96 horas y la inundación de la Carretera Interamericana (*Diario de Costa Rica*: 15 de octubre de 1954, p. 1). Hubo algunas víctimas mortales en Chiriquí y Veraguas (*La Nación*: 15 de octubre de 1954, p. 13).

3.1.3 Huracán Camille (1969)

El huracán Camille se formó cerca de la isla de Gran Caimán, el 14 de agosto atravesó Cuba y se desplazó por el Golfo de México hasta tocar tierra en la costa estadounidense de Misisipí, donde causó importantes daños (Simpson, Sugg & Staff, 1969, pp. 297-301). Este ciclón provocó fuertes lluvias en el Valle Central de Costa Rica, por

ejemplo en la ciudad de Heredia, donde las calles experimentaron inundaciones (*La República*: 16 de agosto de 1969, p. 10). Mientras tanto en la ciudad de San José, las fuertes lluvias generaron problemas en el alcantarillado sin que se produjera una emergencia (Solano, Alfaro y Quesada, 2011, pp. 88-89). Su intensidad máxima fue de huracán categoría 5, desde las 18 horas del día 17 hasta las 0 horas del día 18, registrándose en el radio de vientos máximos una velocidad de 305 km/h y una presión en el ojo de 909 hPa.

3.1.4 Huracán Irene (1971)

El huracán Irene comenzó a formarse en la costa occidental africana el 11 de setiembre, a partir de un disturbio tropical que se desplazó hacia el oeste, con dirección a las Antillas, movilizándose por Curazao con dirección hacia San Andrés, para luego ingresar al territorio nicaragüense al sur de Bluefields y dirigirse hacia el Océano Pacífico como la tormenta tropical Olivia (Simpson & Hope, 1971, p. 266). Su intensidad máxima fue de Huracán categoría 1, a las 18 horas del día 9, registrándose en el radio de vientos máximos una velocidad de 130 km/h y una presión en el ojo de 989 hPa.

De acuerdo con un informe del Centro Nacional de Huracanes de Miami, emitido a través del Servicio Meteorológico de Costa Rica, se pronosticaron marejadas hasta de seis pies sobre lo normal y se recomendó a los habitantes de la zona costera del Caribe, principalmente en Barra del Colorado y Tortuguero, así como de las partes bajas cercanas a ríos, que desalojaran sus hogares ante el riesgo de inundaciones y se refugiaran en zonas altas (*La Prensa Libre*: 18 de setiembre de 1971, p. 10).

Debido a la cercanía del fenómeno con respecto al territorio costarricense, las fuertes lluvias provocaron evacuaciones en varios puntos del país, hubo importantes crecidas en los ríos de Guanacaste, Pacífico Central (Quepos y Parrita) y Pacífico Sur (Palmar, Golfito y Villa Neily) (*La Nación*: 20 de setiembre de 1971, p. 2).

Los efectos de Irene se hicieron sentir con fuerza en Nicaragua, el huracán tocó tierra en San Juan del Norte, localidad próxima a la desembocadura del Río San Juan, donde fueron destruidas unas 12 viviendas (*La Nación*: 20 de setiembre de 1971, p. 4). El vicepresidente Francisco Urcuyo (1915-2001) informó el hallazgo de 29 cadáveres y de entre 150 y 200 personas desaparecidas en el Cabo Gracias a Dios, territorio habitado principalmente por indígenas misquitos (*La República*: 14 de setiembre de 1971, p. 19). También hubo reportes de casas dañadas en Punta Gorda y varios damnificados en la Laguna de Perlas (*La Nación*: 20 de setiembre de 1971, p. 4).

3.2. Período 1972-1996

En este período se analizan cuatro huracanes, cuyas trayectorias se representa en la figura 2. La línea negra representa la trayectoria del Huracán Fifí, de las 12 hs del 14/9/1974 a las 12 hs del 22/9/1974; la roja la del Huracán Gilbert, de las 18 hs del 8/9/1988 a las 0 hs del 20/9/1988; la azul la del Huracán Joan, de las 18 hs del 10/10/1988 a las 6 hs del 23/10/1988; la verde la del Huracán César, de las 18 hs del 24/7/1996 a las 18 hs del 28/7/1996. Las trayectorias corresponden a todos los estadios ciclogenéticos listados en las bases de datos.

3.2.1 Huracán Fifí (1974)

El huracán Fifí surgió a partir de un disturbio tropical frente a la costa de África occidental el 14 de setiembre y se desplazó por el Atlántico hasta penetrar en el Caribe, donde se convirtió en tormenta tropical al sur de Jamaica, para luego dirigirse hacia la costa norte hondureña, se introdujo en territorio beliceño y tras atravesar México, pasó al Pacífico Oriental bajo el nombre

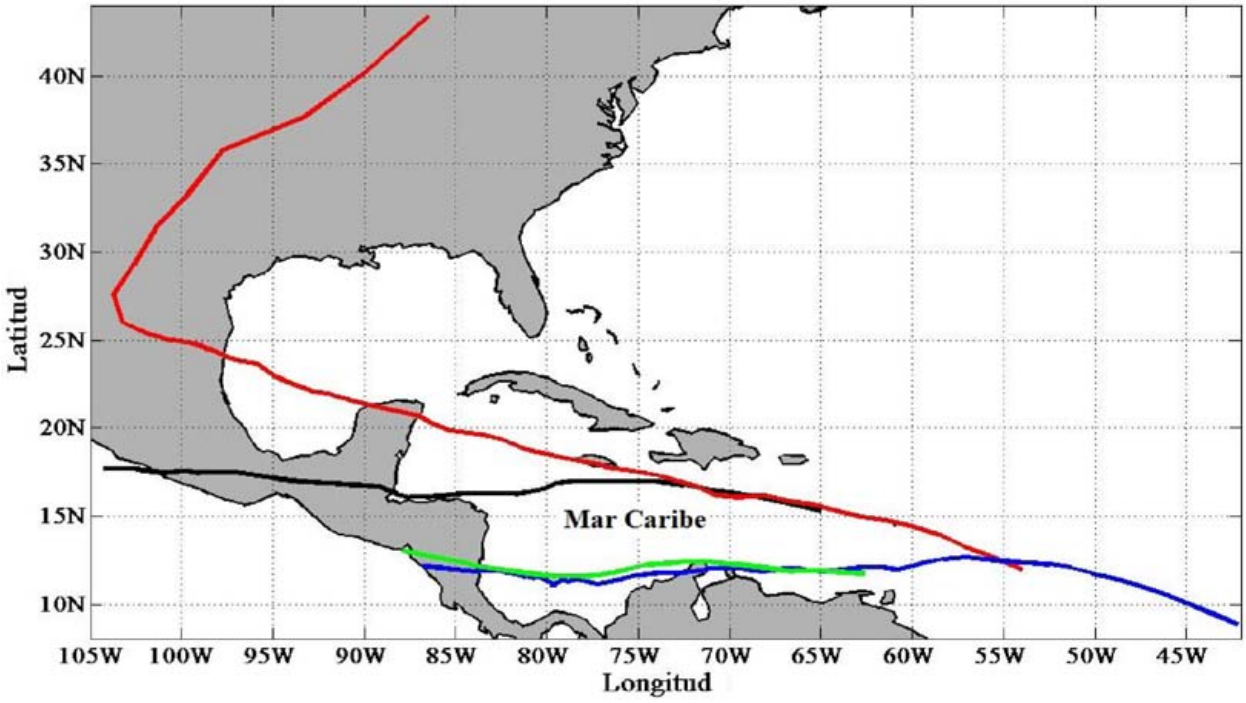


Figura 2. Ciclones del período 1972-1996. Fuente: Basada en los datos de HURDAT y UNISYS.

de huracán Orlene (Hope, 1974, pp. 291-292). Su intensidad máxima fue de huracán categoría 2, desde las 6 horas del día 18 hasta las 18 horas del 19, registrándose en el radio de vientos máximos una velocidad de 175 km/h y una presión en el ojo de 971 hPa.

El Servicio Meteorológico de Costa Rica advirtió que el temporal iniciado el día 18 de setiembre era producto de la "cola" del huracán Fifí, el cual se prolongó por varias horas ocasionando derrumbes en la Carretera Interamericana entre Esparta [sic] y San Ramón, además de provocar el desbordamiento del río Tempisque que afectó las poblaciones de Bolsón y Carrillo (*La República*: 19 de setiembre de 1974, p. 1).

En Liberia el río afectó a las casas ubicadas en sus riberas y se interrumpió la vía del ferrocarril eléctrico al Pacífico, a la altura de Mata de Limón (*La Nación*: 19 de setiembre de 1974, p. 10A). En San Ramón, fueron evacuadas setenta familias a raíz de las inundaciones que afectaron dicho centro urbano y provocaron daños en varios comercios (*La Nación*: 20 de setiembre de 1974, p. 8A).

Los efectos indirectos del huracán se hicieron sentir con fuerza en todo el país, especialmente en la Vertiente del Pacífico y de acuerdo con un informe de prensa provocó "un muerto, varias docenas de casas derribadas, pérdida de millones en la agricultura de subsistencia y puentes y carreteras destruidas, representando otra enorme pérdida la secuela del huracán Fifí en Costa Rica" (*La República*: 20 de setiembre de 1974, p.1). La cantidad de daños se estimaron en más de diez millones de colones (*La Prensa Libre*: 21 de setiembre de 1974, p. 4).

Sin embargo, el país centroamericano que más sufrió sus embates fue Honduras, donde según lo informado "los poblados de la zona nororiental conocida como la Mosquitia, ha sido la más castigada. Numerosas chozas construidas de palma han sido arrancadas de su base, grandes árboles fueron derribados y los pobladores perdieron

cosechas de granos básicos, banano y algunas hortalizas…la precipitación pluvial ha aumentado y poblaciones de las playas y cercanas a los ríos están siendo evacuadas hacia lugares mayormente protegidos" (*La Nación*: 19 de setiembre de 1974, p. 25A). Se llegaron a contabilizar en esa zona más de 1.300 muertes, centenares de desaparecidos, miles de damnificados y cuantiosos daños en los cultivos como consecuencia del embate del huracán (*La Nación*: 20 de setiembre de 1974, p. 20A).

A raíz de la emergencia, el gobierno de Costa Rica envió ayuda a Honduras, alimentos, medicinas y ropa, que fue despachada en un avión perteneciente a la compañía Servicios Aéreos de Honduras S.A. (SAHSA). La ayuda fue coordinada por instituciones estatales como el Ministerio de Salud y el Consejo Nacional de Producción (CNP), además se integró un cuerpo de médicos, enfermeras e ingenieros, encabezado por Herman Weinstock (Ministro de Salud), quien fue destinado a colaborar con las labores de rescate (*La República*: 22 de setiembre de 1974, p. 3 y *La Nación*: 22 de setiembre de 1974, p. 10A).

En Nicaragua se reportaron inundaciones en el puerto de Corinto, donde unas 50 familias debieron de abandonar sus hogares como consecuencia de las fuertes lluvias experimentadas en la costa pacífica (*La Nación*: 19 de setiembre de 1974, p. 25A).

3.2.2 Huracán Gilbert (1988)

El huracán Gilbert al igual que otros ciclones, se formó cerca de la costa africana el día 8 de setiembre y se desplazó por el Océano Atlántico. Una vez en el Caribe, alcanzó el grado de huracán al sur de Puerto Rico, atravesó Jamaica donde provocó cuantiosas pérdidas, continuó hacia la Península de Yucatán, el Golfo de México y finalmente en territorio mexicano al sur de la frontera con los Estados Unidos, dejando tras de sí más de 300 muertes y una suma que superaba los dos mil millones de dólares en pérdidas (Lawrence & Gross, 1989, pp. 2252-2257). Su intensidad máxima fue de huracán categoría 5, desde las 18 horas del día 13 hasta las 12 horas del día 14, registrándose en el radio de vientos máximos una velocidad de 295 km/h y una presión en el ojo de 888 hPa.

A medida que el ciclón se aproximaba al territorio costarricense, se hicieron sentir sus efectos indirectos, en particular el aumento de las precipitaciones que "causaron estragos por el desbordamiento de 21 ríos, daños en viviendas, evacuación de más de 500 personas, fuertes oleajes, deslizamientos que mantienen a unas 700 personas incomunicadas en la carretera Interamericana Sur" (*La República*: 14 de setiembre de 1988, p. 10).

Las inundaciones afectaron poblaciones como Filadelfia, Bagaces, Cañas, Parrita, San Pablo de León Cortés, Santa María de Dota y San Isidro de El General (*La Nación*: 14 de setiembre de 1988, p. 10A). En el cuadro 1 se presenta un recuento de los principales efectos del huracán Gilbert en algunas localidades del país.

Gilbert provocó daños estimados en unos cien millones de colones, solamente en los cantones de Parrita y Quepos. (*La Prensa Libre*: 17 de setiembre de 1988, p. 9). Alrededor de unos 2.000 desplazados debieron trasladarse a albergues y zonas de refugio, de acuerdo con los reportes de la Cruz Roja (*La República*: 15 de setiembre de 1988, p. 12).

En Centroamérica, los efectos de Gilbert se hicieron sentir de la siguiente manera: 12 muertes provocadas por las torrenciales lluvias y derrumbes en Guatemala; dos personas ahogadas, daños en varias viviendas y el 20% de las cosechas de frijol afectadas en Nicaragua; pérdidas en los cultivos de banano, granos básicos, piña, melón, caña de azúcar y cítricos en Honduras, país en que fueron rescatadas decenas de familias que habían sido aisladas por las inundaciones (*La Nación*: 14 de setiembre de 1988, p. 11A).

Cuadro 1. Efectos del huracán Gilbert en algunas localidades de Costa Rica

Localidad	Efecto
Bebedero de Cañas	75 personas fueron rescatadas.
Carretera Interamericana Sur	Seis derrumbes entre los kilómetros 101 y 103, el más grande se ubicó en La Georgina.
Filadelfia	Traslado de 16 familias por la creciente del Tempisque.
León Cortés	El desborde de una acequia inundó la escuela, el colegio y el parque de San Pablo, por lo que las lecciones fueron suspendidas.
Miramar	Planes de evacuación de más de un centenar de personas debido a deslizamientos e inundaciones.
Palmar Norte	Rescate de dos familias por el aumento del caudal del río Grande de Térraba.
Parrita	Inundaciones en la cabecera del cantón, 200 viviendas afectadas, traslado de 409 personas a un lugar seguro y derrumbes impedían el paso a Quepos.
Pérez Zeledón	200 personas auxiliadas en los pueblos de Buena Vista y Rivas.
Puntarenas	Personal del Ministerio de Salud y de la Base Naval del Ministerio de Seguridad Pública logró rescatar a varias familias incomunicadas en la comunidad de Las Parcelas, labor que fue dificultada por las continuas cabezas de agua que bajaban por los ríos de la zona.
Quepos	La creciente del río Savegre destruyó un dique y se inundaron decenas de hectáreas dedicadas a la producción de cacao, arroz, maíz y palma africana.
Talamanca	Traslado de seis familias a un lugar más seguro.
Tarrazú	Daños en un restaurante en el distrito de Guadalupe y rescate de una familia en San Marcos por el riesgo de un deslizamiento.

Fuente: *La Nación*: 14 de setiembre de 1988, p. 10A y 15 de setiembre de 1988, p. 10A; *La República*: 16 de setiembre de 1988, p. 10 y 19 de setiembre de 1988, p. 35.

En Honduras, la ciudad de Tegucigalpa se vio afectada por fuertes inundaciones al desbordarse los ríos que la atraviesan, llegando a alcanzar los tres metros, lo que motivó el traslado de unos 700 residentes de barrios marginales a zonas más seguras (*La Nación*: 16 de setiembre de 1988, p. 20A). El río Coco en Nicaragua también se desbordó y provocó la muerte de un número indeterminado de personas, destruyó cultivos y arrasó viviendas precarias (*La República*: 18 de setiembre de 1988, p. 33).

3.2.3 Huracán Joan (1988)

El huracán Joan –llamado también Juana por algunas fuentes- inició su formación como disturbio frente a la costa africana el día 10 de octubre, se dirigió hacia el Caribe y se desplazó por la costa de Venezuela, las Antillas Holandesas, el extremo norte de Colombia y al convertirse en huracán frente a la costa colombiana, se dirigió hacia Nicaragua donde entró a tierra y se desplazó hasta la costa Pacífica y luego al océano del mismo nombre, donde comenzó a denominarse tormenta tropical Miriam (Lawrence & Gross, 1989, pp. 2257-2258). Su intensidad máxima fue de Huracán categoría 4, entre las 0 y 12 horas del día 22, registrándose en el radio de vientos máximos una velocidad de 230 km/h y una presión en el ojo de 932 hPa.

El 17 de octubre, Eladio Zárate director del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), en una conferencia de prensa manifestó que “si el fenómeno se intensifica y pasa al grado de huracán (vientos de 120 kilómetros por hora), nuestra vertiente Atlántica puede verse afectada con altos oleajes a consecuencia de los fuertes vientos”. Así mismo, adelantó “se prevé el desbordamiento de

ríos, tanto en el Atlántico como en el Pacífico" (*La República*: 18 de octubre de 1988, p. 6).

Debido a la trayectoria mostrada por la tormenta tropical Joan, se esperaban efectos más directos en la costa caribeña: "vientos con altas velocidades, de hasta 80 kilómetros por hora, levantamientos de olas y fuertes precipitaciones de lluvia, mientras que en el litoral Pacífico, los problemas estarían convertidos en inundaciones de gran magnitud" (*La Prensa Libre*: 18 de octubre de 1988, p. 2).

El 19 de octubre el huracán se encontraba a 480 kilómetros de Limón, por lo que se emprendió una evacuación masiva de la ciudad, la cual se dificultó por la falta de transporte ya que muchos limonenses optaron por trasladarse a San José (*La Prensa Libre*: 20 de octubre de 1988, p. 4 y *La República*: 20 de octubre de 1988, p. 10). Como medida de prevención fueron desalojados el Hospital Tony Facio, los albergues infantiles, los asilos de ancianos, la cárcel y los centros de refugiados, además del traslado de otros residentes del puerto a ciudades como Siquirres, Guápiles y Turrialba (*La Nación*: 19 de octubre de 1988, p. 4A). También fueron trasladadas unas 3.000 personas procedentes de Barra del Colorado, Tortuguero, Parismina, Hamburgo y Freeman hacia Guápiles y Siquirres ante el eventual impacto de Joan (*La República*: 20 de octubre de 1988, p. 10).

Los intensos aguaceros que se desarrollaron en la provincia de Limón, provocaron el aumento del cauce de los ríos de la zona: Toro Amarillo, Sucio, Pococí, Guácimo, Danta, Río Banca [sic], Costa Rica, Corinto, Sixaola, Reventazón, Matina, Parismina, mostraron un aumento considerable en sus aguas (*La República*: 20 de octubre de 1988, p. 14). Estos efectos indirectos de ciclones del Caribe en la provincia de Limón reportados por la prensa, podrían deberse a la posición relativa del ciclón tropical con respecto al istmo, entre el 19 y el 20 de octubre.

El gobierno de Óscar Arias decretó el estado de emergencia nacional para todo el país, lo que facultó a la Comisión Nacional de Emergencias a actuar de acuerdo con las atribuciones conferidas por la Ley de Emergencias de 1969 (*La República*: 21 de octubre de 1988, p. 8). De esta forma, las compañías navieras que operaban en Limón cesaron temporalmente sus actividades, lo mismo que algunas de las compañías aéreas que hacían servicios al país (*La Prensa Libre*: 21 de octubre de 1988, p. 10). El Ministerio de Educación ordenó la suspensión de las clases en todo el territorio nacional (*La Nación*: 21 de octubre de 1988, p. 6A).

A pesar del éxodo generado por Joan en la provincia de Limón, los mayores impactos se registraron en la costa del Pacífico debido a los efectos indirectos del sistema. El cuadro 2 hace un recuento del impacto de dicho huracán, tanto en la vertiente pacífica como en la Zona Norte del país.

Al final fueron movilizadas más de 43.000 personas en todo el territorio costarricense y se contabilizaron unos 70.000 damnificados (*La República*: 23 de octubre de 1988, p. 10). Debido al impacto del huracán Joan en el país, hubo llamados de parte de las autoridades de la Iglesia Católica, de las cámaras empresariales y del cuerpo municipal del país, para atender la situación de los damnificados (*La República*: 21 de octubre de 1988, pp. 10 y 13).

En la madrugada del 22 de octubre, el huracán Joan ingresa al territorio nicaragüense causando destrucción en Bluefields, de donde fueron evacuadas un millar de personas (*La Prensa Libre*: 22 de octubre de 1988, p. 16). El huracán Joan impactó la ciudad con vientos de 217 km/h causando la destrucción de edificios, viviendas y árboles, dejándola incomunicada y a miles de personas sin hogar, mientras que en la vecina Isla del Maíz se reportaron tres muertos (*La Nación*: 22 de octubre de 1988, p. 10A y *La República*: 23 de octubre de 1988, p. 12).

Cuadro 2. Efectos del huracán Joan en algunas localidades de Costa Rica

Localidad	Efecto
Corredores	Se registraron varias muertes en Ciudad Neily, La Palma, La Unión y Barrio La Fuente (destrucción de 20 casas por parte de una cabeza de agua) y el aislamiento de las comunidades de Cangrejo Verde, Gorrión y La Chanchera.
Guatuso	Traslado de los habitantes de San Rafael de Guatuso a Cabanga, como medida preventiva.
Los Chiles	Evacuación de las poblaciones de Banderas, Medio Queso, Playoletas y Caño Negro por el aumento del caudal del río Frío. Fuertes vientos destecharon parcialmente algunas viviendas y derribaron árboles en este cantón alajuelense.
Pacífico Central (excepto Parrita)	Desbordamientos de los ríos Grande de Tárcoles, Turrubares, Barú, Naranjo y Savegre.
Parrita	El río Parrita se desbordó e inundó la cabecera de este cantón puntarenense. Las localidades de La Julieta, Las Lomas y Pueblo Nuevo fueron inundadas y el nivel de las aguas alcanzó los dos metros sobre el nivel del suelo, mientras que en la carretera a Quepos rebasaba el metro y medio por lo que se interrumpió la comunicación con el vecino cantón de Aguirre. Un millar de personas fueron trasladadas a tres albergues ubicados en el Club Los Ángeles, la arrocera Los Sauces y en La Palma.
Upala	Inundaciones en la cabecera del cantón por el desbordamiento del río Zapote que llevó a la reubicación de 4.000 residentes que fueron trasladadas a Bijagua, Canalete, Río Naranjo y sitios elevados.
Zona Sur (excepto Corredores)	Daños en caminos, puentes y cafetales de Pérez Zeledón. Inundaciones en Palmar Sur y Paso Canoas, evacuación de familias en Osa y en Coto, aislamiento del cantón de Coto Brus.

Fuentes: *La Nación*: 22 de octubre de 1988, p. 6A y 23 de octubre de 1988, pp. 5A-6A y 8A; *La República*: 22 de octubre de 1988, p. 6 y 23 de octubre de 1988, pp. 7-10.

No obstante, el gobierno de Nicaragua inició un plan de evacuación para Bluefields, habitada principalmente por población de origen afroantillano, misquito, sumo y zambo, tres días antes del arribo del huracán, (*La República*: 20 de octubre de 1988, p. 13). De esta forma, aproximadamente unas 80.000 personas fueron movilizadas ante la llegada de Joan a Nicaragua (*La República*: 22 de octubre de 1988, p. 12). Algunas de éstas viajaron en botes y barcazas rudimentarias, a través del río Rama hasta llegar al puerto homónimo tras seis horas de navegar río arriba (*La Nación*: 22 de octubre de 1988, p. 10A).

Debido al estado del conflicto armado que se vivía en ese país centroamericano, las autoridades sandinistas limitaron la difusión de información meteorológica relacionada con el impacto del huracán Joan en su territorio, como parte del decreto de emergencia nacional, ya que podría ser empleada por las fuerzas insurgentes de la Contra que se encontraban acantonadas en las zonas que fueron impactadas por el embate del ciclón, de ahí que toda la información respecto a este asunto fue emitida por fuentes autorizadas como la Dirección de Información y Prensa de la Presidencia de la Republica (*La República*: 21 de octubre de 1988, p. 12).

En Panamá, los efectos indirectos de Joan provocaron lluvias torrenciales que dejaron tres muertes en el centro del país y en Tolé, provincia de Chiriquí, se produjo un enorme hundimiento de 50 metros en la Carretera Interamericana, a unos 150 kilómetros al este de la frontera con Costa Rica (*La República*: 23 de octubre de 1988, p.13).

3.2.4 Huracán César (1996)

El huracán César fue el resultado de la evolución de una onda tropical que pasó por Dakar (Senegal) y se adentró en el Océano Atlántico, luego del día 24 de julio, atravesó Trinidad y Tobago y se desplazó cerca de la Isla de Margarita (Venezuela) y Curazao, para alcanzar el grado de huracán sobre las aguas del Caribe suroccidental antes de entrar a tierra en Nicaragua al norte de Bluefields y continuó su avance hacia el Pacífico, donde se le llamó huracán Douglas (Pasch y Ávila, 1997, p. 587 y 590). Paralelamente, el Instituto Meteorológico Nacional fue emitiendo boletines en los que monitoreaba el avance del ciclón, en los que se incluían pronósticos y advertencias para todo el país (IMN, 1996). Su intensidad máxima fue de Huracán categoría 1, desde las 12 horas del día 27 hasta las 6 horas del día 28, registrándose en el radio de vientos máximos una velocidad de 130 km/h y una presión en el ojo de 990 hPa.

Debido a la proximidad del huracán con el territorio costarricense, la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) emitió una alerta amarilla y advirtió del posible efecto que tendría sobre el Pacífico Sur y su eventual desplazamiento hacia el Pacífico Norte, en especial aquellas zonas potencialmente vulnerables a las crecidas e inundaciones o a frecuentes deslizamientos (*La República*: 27 de julio de 1996, p. 6A y *La Nación*: 27 de julio de 1996, p. 6A).

El domingo 28 de julio la Zona Norte se encontraba bajo alerta roja, debido al impacto del huracán César en el sur de Nicaragua por lo que fueron desalojadas cientos de personas residentes en Barra del Colorado, Tortuguero, Barra del Parismina y Matina, que estaban a merced de los fuertes vientos y las marejadas (*La República*: 28 de julio de 1996, p. 10A).

Pronto se hicieron sentir los efectos en la parte sur del país, con el desbordamiento del Río Claro y la caída de un terraplén en el kilómetro 13 de la carretera que comunica a Golfito con Río Claro, dejó aislados a miles de compradores que visitaban el Depósito Libre Comercial de Golfito y el desarrollo de aguaceros en casi todo el territorio costarricense (*La Nación*: 28 de julio de 1996, p. 4A-5A).

Los efectos indirectos del huracán César provocaron deslizamientos e inundaciones en Costa Rica ocasionando la muerte de 26 personas (Pasch & Ávila, 1999, 590). Los daños producidos por este ciclón fueron de US$ 152 millones y la reconstrucción fue financiada con fondos procedentes del Tercer Programa de Ajuste Estructural (PAE III) (Barahona, 2006, p. 112). De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 1996, p. v): “en Costa Rica resultó afectada una población cercana al medio millón de personas; varios miles perdieron sus viviendas y pertenencias, se sufrieron graves daños en la infraestructura económica y social, y se perdieron cultivos de consumo básico y algunas cosechas para la exportación. Las crecidas, inundaciones y deslizamientos generados por el huracán César en Costa Rica cubrieron una superficie equivalente al 20% del territorio nacional, localizada principalmente en la vertiente del Pacífico”.

4. Conclusiones

América Central es una región que se encuentra en medio de dos cuencas de ciclones tropicales, siendo la del Caribe una de las más activas en cuanto a la presencia de huracanes se refiere y que afectan directa o indirectamente a los países de la región. Se pudo comprobar que los impactos asociados con los ciclones tropicales estuvieron localizados principalmente sobre la vertiente Pacífica de Centroamérica. En ocasiones, estos fenómenos cruzan el istmo y continúan su actividad ciclónica en el Pacífico Oriental, dejando tras de sí cuantiosos daños en la infraestructura, las actividades económicas y la pérdida de vidas humanas. Banichevich y Lizano (1998) analizaron esta interconexión oceánica y encontraron que la mayoría de los ciclones atraviesan América Central

desde el Caribe hacia el Pacífico, a través de las depresiones en la cordillera centroamericana, especialmente en la zona donde se ubica el Lago de Nicaragua.

La prensa escrita constituye una fuente de información que evidencia el impacto social de estos fenómenos, la cual debe confrontarse con otras fuentes, como los reportes oficiales y los estudios meteorológicos, con el fin de tener una noción más objetiva, completa, integral y transdisciplinaria, de las consecuencias que estos fenómenos traen para los países centroamericanos, con el propósito de orientar labores preventivas especialmente en las zonas que sufren con mayor frecuencia los efectos directos e indirectos de los huracanes.

Díaz y Solano (2014) y Alfaro y Pérez-Briceño (2014) demostraron que las fuentes históricas hemerográficas son importantes para complementar las bases de datos regionales y disminuir la subestimación de los impactos asociados a los eventos climáticos pasados. Esto es importante no sólo para la prevención y la reducción de la vulnerabilidad y/o exposición actual, sino también futura ante este tipo de amenazas. Se observó que los daños causados a la infraestructura, a la producción agropecuaria y a las poblaciones humanas de los sitios afectados, se relacionaron principalmente con los datos referentes a las pérdidas económicas ocasionadas por los mismos, los daños en bienes inmuebles y la muerte de seres humanos, esto al describir los efectos sociales que experimentaron las zonas afectadas directa o indirectamente en los países centroamericanos.

Según Adamson (2012), citado por Alfaro y Pérez Briceño (2014), a la alta incidencia de desastres de tipo hidrometeorológico debe agregarse que los estratos más pobres en Costa Rica (que podría extenderse a América Central) tienden a localizar sus viviendas en los terrenos relativamente más baratos y expuestos a amenazas. Esto indudablemente genera una asociación entre exposición-pobreza-desastre, la cual tiende a consolidarse en el tanto los patrones de uso de la tierra que han potenciado las fragilidades y sobreexplotación de las cuencas no tiendan a revertirse.

Por otro lado, se observó que los efectos indirectos que producen los huracanes, pueden ser tantos como los producidos por los efectos directos, siendo la costa del Pacífico la que suele ser más afectada, debido a esos impactos indirectos.

5. Referencias

Adamson, M. (2012). *Desastres y desarrollo en Costa Rica.* En Adamson, M y Castillo, F. (eds.). Costa Rica en el tercer milenio: desafíos y propuestas para la reducción de la vulnerabilidad ante desastres. San José, Contrastes Vivos de Costa Rica, pp. 25-52.

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.

Alfaro, E. y Pérez-Briceño, P. M. (2014). Análisis del impacto de fenómenos meteorológicos en Costa Rica, América Central, originados en los mares circundantes. *Revista de Climatología*. 14, 1-11.

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.

Banichevich, A. y Lizano, O.G. (1998). Interconexiones a nivel ciclónico-atmosférico entre las vertientes del Caribe y el Pacífico Centroamericano. *Revista de Biología Tropical*. 46 (Supl. 5), 8-21.

Barahona, M. A. (2006). El desarrollo económico. En Quesada, J. R. et al. *Costa Rica contemporánea: raíces del Estado de la Nación*. San José. EUCR, pp. 95-149.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (1996). *Efectos de los daños ocasionados por el Huracán César sobre el desarrollo de Costa Rica en 1996*. Recuperado de: http://www.cepal.org/publicaciones/xml/1/40891/Huracn_Cesar_Costa_Rica_1996.pdf.

Davis, W. R. (1954). Hurricanes of 1954. *Monthly Weather Review*. 82 (12). pp. 370-373.

Díaz, R. E. y Solano, F. J. (2014). Los eventos meteorológicos extremos y su impacto en la infraestructura y la población costarricense (1800-1906). En Lértora, C. (coord.). *Geonaturalia. Territorio, Recursos Naturales y Ambiente: hacia una historia comparada. Estudio a través de Argentina, México, Costa Rica, Haití, Paraguay, Uruguay y Venezuela*. 2013. Buenos Aires, FEPAI, pp. 319-358.

Garriott, E.B. (1906). Forecasts and Warnings. *Monthly Weather Review*. 34 (10), pp. 478-482.

Hope, J. R. (1975). Atlantic Hurricane Season of 1974. *Monthly Weather Review*. 103 (4), pp. 285-300.

Instituto Meteorológico Nacional (1996). *Informes. Anexos Huracán César, julio 1996.* Recuperado de: http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc208/doc208-b.pdf.

Landsea, C.W.; Feuer, S.; Hagen, A.; Glen, D.A.; Sims, J; Pérez, R. Chenoweth, M.; & Anderson, N. (2012). A reanalysis of the 1921-1930 Atlantic hurricane database. *Journal of Climate*, 25, pp.865-885.

Landsea, C.W.; Hagen, A.; Bredemeyer, W.; Carrasco, C.; Glenn, D.A.; Santiago, A.; Strahan-Sakoskie, D. & Dickinson, M. (2014). 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

Lawrence, M.B. & Gross, J. (1989). Annual Summaries. Atlantic Hurricane Season of 1988. *Monthly Weather Review*. 117 (10), pp. 2248-2259.

Pasch, R. J. & Ávila, L. A. (1999). Atlantic Hurricane Season of 1996. *Monthly Weather Review*. 127 (5), pp. 581-610.

Simpson, R. H., Sugg, A. L. & Staff (1969). The Atlantic Hurricane Season of 1969. *Monthly Weather Review*. 98 (4), pp. 293-306.

Simpson, R. H. & Hope, J. R. (1972). Atlantic Hurricane Season of 1971. *Monthly Weather Review*. 100 (4), pp. 256-275.

Solano, F. J., Alfaro, E. y Díaz, R. E. (2015). Análisis del impacto de los ciclones tropicales en la Cuenca del Caribe según fuentes hemerográficas (1870-2007). *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 14 (1), pp. 46-75.

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.

Referencias hemerográficas

Diario de Costa Rica, (5 de octubre de 1954). Foto aérea de las inundaciones en Honduras p. 1.

Diario de Costa Rica, (6 de octubre de 1954). San José, puerto de Guatemala, aislado por las lluvias p. 4.

Diario de Costa Rica, (12 de octubre de 1954). Situación actual de la parte norte de Honduras inundada p. 11.

Diario de Costa Rica, (14 de octubre de 1954). 500 familias sin hogar, Puerto Cortes p. 1.

Diario de Costa Rica, (15 de octubre de 1954). 40 pies subieron las aguas del Tempisque p. 1.

Diario de Costa Rica, (15 de octubre de 1954). Vientos a una Velocidad de 210 kilómetros por hora p. 1.

Diario de Costa Rica, (16 de octubre de 1954). Dos víctimas causan las lluvias en Guanacaste p.1.

Diario Republicano, (12 de octubre de 1906). Interrupción p. 3.

El Noticiero, (11 de octubre de 1906). Espantosa Tempestad En Las Costas del Pacífico p. 3.

El Noticiero, (12 de octubre de 1906). Terrible Tempestad p. 2.

El Noticiero, (18 de octubre de 1906). Desastres en El Salvador p. 3.

El Noticiero, (19 de octubre de 1906). De Esparta. Caída del puente de la Barranca p. 1.

El Noticiero, (23 de octubre de 1906). El temporal en El Salvador p. 2.

El Pacífico, (13 de octubre de 1906). Otros detalles del huracán p. 2.

La Gaceta, (20 de octubre de 1906). Motivos de la caída y destrucción del puente p. 2.

La Nación, (5 de octubre de 1954). Las inundaciones en Honduras p. 1.

La Nación, (12 de octubre de 1954). Formidables crecientes del Río Grande de Térraba p. 16.

La Nación, (15 de octubre de 1954). Daños del temporal en Panamá p. 13.

La Nación, (20 de setiembre de 1971). Daños en Nicaragua p. 4.

La Nación, (20 de setiembre de 1971). Irene pierde fuerza pero aparece Ginger p.4.

La Nación, (20 de setiembre de 1971). Irene provocó lluvias, inundaciones y zozobra p. 2.

La Nación, (19 de setiembre de 1974). Fifi causa inundaciones y marejadas en Honduras p. 25A.

La Nación, (19 de setiembre de 1974). Istmo síntesis. Inundaciones en Corinto p. 25A.

La Nación, (19 de setiembre de 1974). Temporal interrumpe vías y causa inundaciones en Guanacaste p. 10A.

La Nación, (20 de setiembre de 1974). 1.336 muertos. Honduras en estado de desastre nacional p. 20A.

La Nación, (20 de setiembre de 1974). Temporal afectó gravemente a la ciudad de San Ramón p. 8A.

La Nación, (22 de setiembre de 1974). Aliviado problema nacional. Gobierno apoyará a Honduras p. 10A.

La Nación, (14 de setiembre de 1988). Daños en el istmo p. 11A.

La Nación, (14 de setiembre de 1988). Daños en el país p. 10A.

La Nación, (14 de setiembre de 1988). Inundaciones en Parrita, Dota, San Isidro, Filadelfia, Cañas y Bagaces. Cientos de damnificados en el litoral Pacífico p. 10A.

La Nación, (15 de setiembre de 1988). Ayudadas anoche varias familias de Puntarenas p. 10A.

La Nación, (16 de setiembre de 1988). Emergencia por desbordamientos. Lluvias aíslan Tegucigalpa p. 20A.

La Nación, (19 de octubre de 1988). Juana llega jueves. Emergencia por huracán p. 4A.

La Nación, (21 de octubre de 1988). Suspenden clases en todo el país p. 6A.

La Nación, (22 de octubre de 1988). Alerta total en Managua. Juana devastó Bluefields" p. 10A.

La Nación, (22 de octubre de 1988). Evacuación masiva en la zona norte p. 6A.

La Nación, (22 de octubre de 1988). Masivo éxodo de la costa atlántica nica p. 10A.

La Nación, (23 de octubre de 1988). Agua y lodo cubren calles de Parrita p. 6A.

La Nación, (23 de octubre de 1988). Tragedia en Ciudad Neily p. 5A.

La Nación, (23 de octubre de 1988). Upala inundado p. 8A.

La Nación, (27 de julio de 1996). Zona más afectada sería Pacifico Sur. Tormenta César golpearía al país hoy p. 6A.

La Nación, (28 de julio de 1996). Alerta máxima. César golpea con fuertes lluvias p. 4A.

La Nación, (28 de julio de 1996). Terraplén y crecida de río bloquean carretera. Cerrado el paso a Golfito p. 5A.

La Prensa Libre, (10 de octubre de 1906). Desastre en Puntarenas. Un ciclón barre el Puerto p. 3.

La Prensa Libre, (16 de octubre de 1906). Bluefields p. 3.

La Prensa Libre, (16 de octubre de 1906). Ya empiezan p. 3.

La Prensa Libre, (17 de octubre de 1906). Auxilio oportuno p. 3.

La Prensa Libre, (17 de octubre de 1906). Otro desastre p. 3.

La Prensa Libre, (15 de octubre de 1954). Infórmese haber amainado el mal tiempo en la zona bananera p. 1.

La Prensa Libre, (18 de setiembre de 1971). Irene puede causar inundaciones aquí p. 10.

La Prensa Libre, (21 de setiembre de 1974). ¢10 millones de pérdidas dejan inundaciones p. 4.

La Prensa Libre, (17 de setiembre de 1988). Damnificados regresan a sus hogares. Perdidas por ¢100 mills dejan inundaciones p. 9.

La Prensa Libre, (18 de octubre de 1988). Huracán Joan podría causar estragos en Costa Rica p. 2.

La Prensa Libre, (20 de octubre de 1988). En Puerto Limón. Tensa calma precede al huracán, p. 4.

La Prensa Libre, (21 de octubre de 1988). Seis vuelos cancelados y cinco embarques suspendidos. Joan contrajo millonaria deuda con Costa Rica p. 6.

La Prensa Libre, (22 de octubre de 1988). Esta madrugada llegó Juana a Nicaragua. Huracán dejó destrucción en Bluefields p. 16.

La República, (10 de octubre de 1954). Se espera que el huracán "Hazel" sea inofensivo al acercarse a Limón p. 8.

La República, (11 de octubre de 1954). ¡Tragedia! Inundaciones en la costa del Pacífico p. 11.

La República, (16 de agosto de 1969). Inundaciones en Heredia p. 10.

La República, (14 de setiembre de 1971). 29 muertos y 200 desaparecidos por huracán en Nicaragua p. 19.

La República, (19 de setiembre de 1974). Fifi afecta. Inundaciones causan daños p. 1.

La República, (20 de setiembre de 1974). En la Zona Norte. Tragedia dejó a su paso huracán p. 1.

La República, (22 de setiembre de 1974). Costa Rica inició ayuda a Honduras p. 3.

La República, (14 de setiembre de 1988). C.R. afectada por mal tiempo, inundaciones, deslizamientos, fuertes lluvias y grandes olas. Mal tiempo causa estragos p. 10.

La República, (15 de setiembre de 1988). Aunque el tiempo tiende a mejorarse se agravó ayer la situación derivada del huracán Gilbert. Evacuados 2.000 en inundaciones p. 12.

La República, (16 de setiembre de 1988). Río destrozó dique en Quepos p. 10.

La República, (18 de setiembre de 1988). Gilbert se desvanece y deja 20 muertos más p. 33.

La República, (19 de setiembre de 1988). Hoy evacuarían 110 personas. Problemas por mal tiempo en Miramar p. 35.

La República, (18 de octubre de 1988). Tormenta tropical Joan llegará hoy a Costa Rica p. 6.

La República, (20 de octubre de 1988). Huracán Joan sigue con furia hacia Limón. Crece peligro en el Atlántico p. 10.

La República, (20 de octubre de 1988). Los primeros reubicados por emergencia del Joan p. 10.

La República, (20 de octubre de 1988). Nicaragua. Comenzó evacuación masiva de Bluefields p. 13.

La República, (20 de octubre de 1988). Ríos amenazan con desbordar p. 14.

La República, (21 de octubre de 1988). Iglesia se comprometió con damnificados p. 10.

La República, (21 de octubre de 1988). Oscar Arias regresó. Decretada emergencia nacional p. 8.

La República, (21 de octubre de 1988). S.O.S a las municipalidades p. 13.

La República, (21 de octubre de 1988). Sandinistas prohíben la información sobre Joan p. 12.

La República, (21 de octubre de 1988). UCCAEP coordinará con el Gbno. Sector privado ofreció amplia ayuda a Gobierno p. 10.

La República, (22 de octubre de 1988). Efectos del huracán. Inundaciones en Zona Sur p. 6.

La República, (22 de octubre de 1988). Nicaragua espera una catástrofe p. 12.

La República, (23 de octubre de 1988). Bluefields e Isla del Maíz completamente arrasadas p. 12.

La República, (23 de octubre de 1988). Ciudad Neily, punto que más daños sufrió p. 10.

La República, (23 de octubre de 1988). En los últimos dos días. Evacuadas 43.772 personas p. 10.

La República, (23 de octubre de 1988). Muertos y deslizamientos. Bloqueada carretera Interamericana en Panamá p.13.

La República, (23 de octubre de 1988) Parrita. Trasladan 600 personas de barrios inundados p. 9.

La República, (23 de octubre de 1988). Pérez Zeledón con serios daños en puentes, caminos y cafetales p. 8.

La República, (23 de octubre de 1988). Saldo del huracán hasta hoy, 18 muertos p. 7.

La República, (23 de octubre de 1988). Upala afectado por las inundaciones p. 9.

La República, (27 de julio de 1996). Fuertes lluvias este fin de semana. “Cola” de César afectará al país p. 6A.

La República, (28 de julio de 1996). César se cierne sobre istmo p. 10A.

6. Agradecimiento

Se agradece a los proyectos CRN2050 – IAI y VI-805-A7-002, 805-B4-228, 805-B4-227, 805-B3-600 y 805-A9-532 del CIGEFI 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 Leninger Leitón, Aarón Vega y Maikol Villalobos, 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 por facilitar el acceso a las fuentes consultadas.

Curvas Intensidad Duración Frecuencia (curvas IDF) mediante análisis de frecuencia y parámetros de ajuste en Costa Rica, a partir de estaciones meteorológicas de tipo mecánico

NAZARETH ROJAS MORALES[1]

Resumen

Las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (curvas IDF), le permiten a los ingenieros y otro personal técnico contar con una herramienta práctica para determinar de una manera expedita el patrón de precipitación, en el diseño de los estudios hidrológicos requeridos para la construcción de obras hidráulicas, por consiguiente es importante conocer las metodologías para el desarrollo de las mismas.

Para el análisis realizado en el presente estudio, se realizaron evaluaciones de las metodologías utilizadas en la construcción de curvas IDF y se aplicaron distribuciones de probabilidad como los métodos Gumbel y Log Pearson Tipo III. Al comparar los resultados se determinó, que los valores más conservadores se obtuvieron con el primer método. También mediante el método analítico se desarrollaron las ecuaciones, para determinar la intensidad de precipitación a partir de los valores de duración y período de retorno para cada una de las estaciones, para ello se utilizó el método de regresión lineal múltiple.

PALABRAS CLAVE: CURVAS IDF, OBRAS HIDRÁULICAS, DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD, GUMBEL, LOG PEARSON TIPO III, FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN.

Abstract

The intensity, duration and frequency`s curves (IDF) allowed to engineers and other technical personal, to count with a practical tool used to determinate in a easy way the precipitation patterns for design of respective hydrological studies, required for the construction of hydraulic structures, therefore is important to know the curves construction methodologies

For the analysis, was carried out evaluations about the methodology for the development of the Curves IDF, probability distributions as Gumbel and Log Pearson Type III methods were applied. After comparing the results, it was determined the more conservative values was obtained by the first method. Also with the analytical method, the equations were developed to determinate the precipitation intensity from the duration and return period for each of the stations, for it was used the method of multiple linear regression

KEYWORDS: IDF CURVES, HYDRAULIC STRUCTURES, PROBABILITY DISTRIBUTIONS, GUMBEL, LOG PEARSON TYPE III, DISTRIBUTION FUNCTION.

1. Introducción

Las Curvas IDF corresponden a una representación gráfica de la relación entre la intensidad de precipitación, la duración y el período de retorno o frecuencia de la precipitación. Son un instrumento práctico en el proceso de diseño de proyectos hidráulicos, tales como sistemas de drenaje ya sean urbanos o agrícolas, puentes, entubados de cauces naturales o artificiales, construcción de

1 Ing. Agrícola. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional. Email: nrojas@imn.ac.cr

muros de protección o contención en las márgenes de los cauces, así como presas y embalses, entre otros, ya que para elaboración de dichos proyectos es necesario realizar previamente el estudio hidrológico.

Dichas curvas son además una herramienta de fácil uso, que permite la estimación de crecidas de las cuencas hidrográficas, siendo su utilidad principal la estimación de la intensidad, duración y frecuencia de la precipitación, en un lugar que no posea pluviógrafo, sino solo pluviómetros totalizadores que entregan precipitaciones diarias (24 horas) o lugares donde no existe información pluviométrica.

En muchos lugares de Costa Rica, una de los mayores limitantes cuando se requiere realizar un análisis hidrológico es la ausencia de datos de lluvia o caudal, situación que impone fuertes limitaciones a las investigación técnico-científicas en esta disciplina. Es por ello, que las curvas IDF son una herramienta de gran utilidad cuando no se cuenta con la información requerida para el desarrollo de este tipo de estudios.

Para realizar el análisis con valores de precipitación, se trabaja con tres variables a saber: la profundidad de la lluvia medida en milímetros, la intensidad en milímetros por hora y la duración en minutos u horas. Cuando se realiza un análisis de frecuencia, se introduce una nueva variable definida como período de retorno. Para interpretar dichas variables, así como la interpolación y extrapolación de valores, se elaboran las curvas IDF. El procedimiento para la generación de estas curvas, consiste en graficar los valores obtenidos en el análisis de frecuencia, que en este estudio fue realizado mediante el análisis de distribución de frecuencias.

Dichas curvas están expresadas de una manera gráfica, con la duración en el eje horizontal normalmente establecido en minutos u horas, mientras que en el eje vertical se ubica la intensidad de precipitación en milímetros por hora, el gráfico muestra una serie de curvas para cada uno de los períodos de retorno.

Otra manera de elaborar las curvas IDF, es a través de una forma analítica propuesta por Aparicio (1997), este autor plantea la opción de obtener una ecuación que genere dichas curvas mediante un modelo de regresión lineal múltiple que relacione simultáneamente la intensidad, duración y período de retorno, de un grupo de curvas establecidas para una región o bien para una estación específica, generando una ecuación que puede ser extrapolada a aquellas zonas que carezcan de registros pluviográficos. Este procedimiento es conocido como Método Analítico y consiste en ajustar los valores originales de precipitación diaria a una distribución teórica.

Los resultados de estos modelos deben ser validados estadísticamente, por medio de las dócimas de hipótesis de linealidad y verificación de los supuestos de regresión. Existen diferentes tipos de pruebas, en este estudio se realizó mediante la Distribución de Fisher y del análisis del valor establecido para el Coeficiente de Determinación.

Además se realiza la prueba de bondad de ajuste, a partir del estadístico de Kolmogorov Smirnov (K-S), que consiste en buscar para cada recta la distancia máxima entre los puntos originales y la recta trazada, la cual se compara con el valor crítico que se encuentra en las tablas establecidas para este test, cuyo valor depende del número de datos de la muestra y del valor del nivel de significación. Para que se acepte el ajuste de la recta, se debe cumplir que la distancia máxima entre las rectas y los puntos originales debe ser menor que el valor crítico del estadístico K-S, en caso contrario se deberá trazar una nueva recta. Para estudios hidrológicos normalmente se considera un nivel de significación equivalente a $0,05$.

Es evidente que dichas curvas son de gran importancia para la predicción de lluvias de diseño,

así como para la investigación de fenómenos que sobrepasan la normalidad de las condiciones climáticas de una región específica. De esta manera, uno de los objetivos de esta investigación fue conocer los diferentes métodos que existen para la determinación de las curvas de IDF.

2. Metodología

2.1. Selección de datos

Los datos utilizados para el desarrollo de las curvas IDF corresponden a los acumulados de precipitación máxima anual, para duraciones de 5, 10, 15 y 30 minutos y 1, 2, 6, 12 y 24 horas.

En esta investigación se usaron datos de las estaciones meteorológicas que contaban con un período de medición igual o mayor a 15 años, ya que el interés principal era desarrollar un análisis de la variabilidad y de los extremos climáticos que se han presentado con mayor frecuencia en las últimas décadas en el país.

Bajo la consideración anterior, solamente 15 de las estaciones tipo mecánica del Instituto Meteorológico Nacional que cuentan con pluviógrafo, han registrado datos de al menos 15 años. En el cuadro 1 se muestran las estaciones utilizadas en este estudio.

2.2. Análisis de datos

Los límites de confianza corresponden al rango entre los valores extremos superior e inferior. Este intervalo de confianza depende del nivel de confianza β. A cada nivel de confianza β le corresponde un nivel de significancia α, dado por:

$$\alpha = \frac{1-\beta}{2}$$

Por ejemplo, si $\beta = 90\%$, entonces $\alpha = 0{,}05$ ó 5%.

Se deben determinar los valores extremos superior e inferior de la muestra. Los valores que se salgan de este rango corresponden a valores fuera del umbral permitido.

Para determinar el valor extremo superior se utiliza la siguiente formula:

$$X_H = \bar{X} + K_N S$$

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas seleccionadas para el diseño de las Curvas IDF

Número	Nombre	Latitud Norte		Longitud Oeste		Altitud	Período
71002	La Mola	10	20	83	40	70	1980-2010
73022	Pacayas	9	54	83	48	1735	1980-2006
73049	Mola 2	10	20	83	39	50	1992-2010
73091	Hacienda el Carmen	10	12	83	28	15	1980-2010
74006	La Guinea	10	25	85	28	40	1980-2006
74020	Llano Grande, Liberia	10	35	85	32	80	1980-2010
76002	Tilarán	10	29	84	56	562	1980-2005
76041	Ingenio Taboga	10	20	85	10	10	1984-2010
81003	Limón	9	57	83	1	5	1980-2010
84046	San Josecito, Heredia	10	1	84	1	1450	1989-2010
84111	Santa Lucía, Heredia	10	1	84	6	1200	1983-2010
90009	Damas	9	29	84	12	6	1983-2010
98027	Pindeco	9	8	83	20	397	1985-2010
98056	Volcán	9	11	83	26	381	1985-2010
10035	Coto 47	8	35	82	58	8	1984-2010

Para determinar el valor extremo inferior se utiliza la siguiente fórmula.

$$X_L = \bar{X} - K_N S$$

Donde:

X_H Umbral valor extremo superior de la muestra transformada a log.

X Valor promedio de la muestra en log.

S Desviación estándar de la muestra.

K_N Factor K en función del tamaño de la muestra.

2.3. Análisis de distribución de frecuencia

Las curvas IDF se generaron a partir de métodos estadísticos, en este caso la distribución de frecuencia se realizó mediante el método de Gumbel y Log Pearson III.

2.3.1 Método de Gumbel

Es una distribución de valores extremos, que se utiliza para ajustar a una expresión matemática las distribuciones de frecuencia de caudales máximos anuales y precipitaciones máximas anuales, entre otras. Esta distribución es llamada también Valor Extremo Tipo I, Fisher- Tippett Tipo I o Distribución Doble Exponencial (Villón, 2001).

Según Te Chow, Maidment, y Mays, (1994), la función de distribución de Gumbel es:

$$F(x)e^{-e^{-(x-\mu)/\alpha}}$$

Para $-\infty < x < \infty$

Donde: $0 < \alpha < \infty$, es el parámetro de escala y $-\infty < \mu < \infty$, es el parámetro de posición, llamado valor central o moda.

Los parámetros de la distribución Gumbel se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$\mu = \bar{x} - 0{,}57721\,\alpha$$

$$\alpha = 0{,}78\,S$$

Una variable reducida puede definirse como:

$$y = \frac{x-\mu}{\alpha}$$

Sustituyendo esta variable reducida:

$$F(x) = e^{-e^{y}}$$

Resolviendo para y:

$$y = -ln\left[\ln\left(\frac{1}{F(x)}\right)\right]$$

Teniendo en cuenta que la probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier observación es el inverso del período de retorno:

$$P(X \geq x_T) = \frac{1}{T}$$

$$T = 1 - F(x_T)$$

$$F(x_T) = \frac{T-1}{T}$$

Sustituyendo:

$$y_T = -ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]$$

Para la Distribución de Gumbel X_T se relaciona con y_T mediante la siguiente ecuación:

$$x_T = \mu + \alpha y_T$$

2.3.2 Método de Log Pearson III

Este método fue desarrollado por Foster en el año 1924 y consiste en transformar los valores extremos X en sus correspondientes logaritmos, con la diferencia de que el valor de K no solo depende de T_r, sino que también es función del coeficiente de asimetría g, el cual indica que tan separados están los datos o los valores de la distribución con respecto a la normal de Gauss (Ramírez, Ghanem, y Lárez, 2006).

El cálculo del valor extremo X se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Log\ X = \overline{Log\ X} + K\ S_{Log\ X}$$

Donde:

$Log\ X$ Logaritmo del valor extremo.

$\overline{Log\ X}$ Logaritmo del promedio de la media de la muestra de valores de intensidad de precipitación.

K Factor de frecuencia en función del coeficiente de asimetría y de la probabilidad asociada al período de retorno.

A cada una de los valores de intensidad de precipitación de la muestra, por duración, se les calculó el logaritmo, el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría o sesgo. Se obtuvo el valor de K para cada uno de los períodos de retorno seleccionados para el desarrollo de las CIDF, en algunos casos fue necesario realizar interpolaciones.

2.4. Método analítico

Para el desarrollo de las curvas IDF también se aplicó el método analítico desarrollado por Aparicio (Aparicio, 1997). Este autor plantea la alternativa de desarrollar un método que relaciona simultáneamente las tres variables de las curvas IDF, en la siguiente ecuación.

$$i = \frac{k\ T^m}{(d+c)^n}$$

Donde k, m, n, c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple. Si los datos se agrupan lo suficiente en torno a líneas rectas, el valor de c puede tomarse cero.

Si se toman los logaritmos de la ecuación anterior se obtiene:

$$Log\ i = \log k + m log\ T - n \log(d+c)$$

O bien:

$$y = a_0 + a_1\ x_1 + a_2\ x_2$$

Donde:

$$y = \log i,\ \ a_0 = \log k,\ \ a_1 = m,$$
$$x_i = \log T,\ \ a_2 = -n,\ \ x_2 = \log\,(d+c)$$

Al hacer un ajuste de correlación lineal múltiple de una serie de tres datos, se obtiene un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\sum y = N a_0 + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2$$
$$\sum (x_1 y) = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum (x_1^2) + a_2 \sum (x_1 x_2)$$
$$\sum (x_2 y) = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum (x_1\, x_2) + a_2 \sum (x_2^2)$$

Donde N es el número de datos y las incógnitas son a_0, a_1, a_2 y x_1, x_2 y y, son respectivamente los logaritmos del período de retorno, la duración (con el valor de c agregado de ser necesario) y la intensidad, obtenidos de un registro de precipitación. Una vez calculados los valores de a_0, a_1, a_2 es posible evaluar los parámetros k, m, n, aplicando el antilogaritmo a estos valores.

Para generar la ecuación para las curvas IDF por estación, habiendo transformado los valores de precipitación en intensidades se procedió a asignar a cada uno de los datos un período de retorno. Para ello las columnas de intensidad de precipitación por duración se ordenan de mayor a menor y se les asigna un período de retorno de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$T = \frac{n+1}{m}$$

Donde;

m Número de orden en una lista de mayor a menor de los datos.

n Número de datos.

Se requiere hacer un análisis de la calidad de la regresión, para lo cual se debe cumplir con los supuestos de Normalidad, Homocedasticidad y no-Autocorrelación.

2.5. Prueba de bondad de ajuste

2.5.1 Test Kolmogorov-Smirnov

Para la aplicación de este test es necesario determinar la frecuencia observada acumulada.

Para la frecuencia observada acumulada en el caso especial de Gumbel, se ordena la información de menor a mayor y se aplica la siguiente ecuación.

$$F_n = \frac{n}{N+1}$$

Donde:
F_n Frecuencia observada acumulada.
n Número de orden.
N Número de datos.

En el caso de la frecuencia teórica acumulada, ésta se determina mediante la función de Gumbel.

$$F(x) = e^{-e^{-d(x-u)}}$$

Una vez determinadas ambas frecuencias, se obtiene el supremo de las diferencias entre ambas, en la i-ésima posición de orden, que se denomina D.

$$D = Sup\ |F_n(x_i) - F(x)_i|$$

Luego asumiendo un valor de significancia, se recurre a la tabla de valores críticos de D en la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y considerando el tamaño de la muestra se establece lo siguiente:

Si $D < Dt$, se acepta que el ajuste es adecuado, con el nivel de confiabilidad asumido (Pizarro, Flores, Sangüesa y Martínez, s.f.).

2.5.2 Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación se encuentra definido por la siguiente expresión.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(F_n(x)_i - F(x)_i)^2}{\sum(F_n(x)_i - \overline{F_n(x)_i})^2}$$

Donde:
R^2 Coeficiente de determinación $0 \leq R^2 \leq 1$.
$\overline{F_n(x)_i}$ Media de las frecuencias observadas acumuladas.

El coeficiente de determinación, indica que proporción de la variación total de las frecuencias observadas es explicada por las frecuencias teóricas acumuladas (Pizarro, et. al., s.f.).

2.6. Análisis de varianza en regresión lineal múltiple

2.6.1 Distribución de Fisher o F

El análisis de varianza se utiliza en el análisis de regresión, para probar la significancia del modelo global, antes de considerar la significación de variables independientes individuales, para probar esta significancia se utilizan pruebas F o Distribución de Fisher.

Planteamiento de la Hipótesis
Si $F < F_{k,\ k\text{-}n\text{-}1,1\text{-}\alpha}$ la hipótesis nula es aceptada y se rechaza la ecuación de regresión.
Si $F > F_{k,\ k\text{-}n\text{-}1,1\text{-}\alpha}$ la hipótesis nula es rechazada y se acepta la ecuación de regresión.

2.6.2 Prueba de estadígrafo de Durbin-Watson

La presencia de autocorrelación se prueba calculando el estadístico d de Durbin - Watson el cual se define como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{T=n}(\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=n}\hat{u}_t^2}$$

Esta es la razón de la suma de las diferencias al cuadrado de residuales sucesivos, sobre la suma de residuos al cuadrado.

Planteamiento de las hipótesis nulas:
H_0: No hay autocorrelación positiva.
H_1: Si existe autocorrelación positiva.
H_0*: No hay autocorrelación negativa.
H_1*: Hay autocorrelación negativa.

Solamente se plantea H_0* si se está seguro de que no hay autocorrelación negativa. Si la hipótesis nula planteada es H_0, las posibilidades que existen de aceptarla o rechazarla se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Reglas de decisión para la prueba Durbin –Watson

Hipótesis nula	Decisión	Si
No existe autocorrelación positiva	Rechazar	$0 < d < d_L$
No existe autocorrelación positiva	No hay decisión	$d_U \leq d \leq d_L$
No existe autocorrelación negativa	Rechazar	$4 - d_L < d < 4$
No existe autocorrelación negativa	No hay decisión	$4 - d_U \leq d \leq 4 - d_L$
No existe autocorrelación positiva o negativa	No rechazar	$d_U < d < 4 - d_L$

Fuente: Arévalo, 2007.

3. Resultados

A lo largo del territorio nacional solamente existen 15 estaciones provistas con pluviógrafos, que cuentan con registros iguales o mayores a 15 años para duraciones de 5, 10, 15, 30 minutos y 1, 2, 6, 12 y 24 horas.

Las estaciones están distribuidas geográficamente de una forma representativa, sin embargo, no se cuenta con estaciones a lo largo de la región norte del país, así como en la parte sur de la península de Nicoya.

Los períodos de registros varían entre una y otra estación, siendo que los mayores registros cuentan con 31 datos y el más corto es de 19 datos.

Respecto a la calidad de los registros, estos pasan por un proceso de análisis y corrección, antes de ser incorporados a la base de datos meteorológicos.

Las curvas IDF se calcularon asumiendo la distribución de frecuencias de Gumbel, que se considera la de mayor calidad de ajustes, por lo que se concluye que esta función es la más recomendable para estimar el comportamiento de las intensidades máximas en distintos períodos de retorno para el país.

De los resultados del análisis de distribución de frecuencias de Gumbel, se determinó que esta función se ajustó satisfactoriamente al análisis de valores extremos, esto se puede afirmar con base en los resultados de las pruebas de bondad de ajuste, ya que solamente para la estación 84-46 se obtuvieron por duración valores de coeficientes de determinación inferiores a un 36%, mientras que para las restantes estaciones este valor superó el 80% (ver cuadro 3).

En el cuadro 4 se muestran los resultados del análisis realizado mediante el test de Kolmogorov - Smirnoff para cada estación y duración analizada, se comprobó que el nivel de ajuste es aceptable, ya que los valores D calculados fueron ampliamente superados por los valores Dt de las tablas.

Con el procedimiento descrito anteriormente se obtuvieron curvas IDF para 15 estaciones mecánicas, distribuidas a lo largo del país, la información de las curvas se expresa en función de un período de retorno.

La lectura de las curvas IDF se realizó de la siguiente manera:

Cuadro 3. Determinación del coeficiente de determinación R^2

Duración	Estación 71-02	73-22	73-49	73-91	74-06	74-20	76-02
5	0,872	0,881	0,960	0,941	0,882	0,889	0,757
10	0,907	0,881	0,700	0,854	0,944	0,968	0,624
15	0,870	0,858	0,818	0,860	0,813	0,932	0,609
30	0,905	0,840	0,785	0,833	0,704	0,950	0,547
60	0,874	0,862	0,840	0,765	0,780	0,950	0,466
120	0,933	0,827	0.840	0,914	0,691	0,850	0,300
360	0,903	0,912	0,764	0,914	0,605	0,811	0,253
720	0,800	0,924	0,822	0,894	0,640	0,914	0,252
1440	0,853	0,890	0,930	0,853	0,864	0,926	0,180

Duración	Estación 76-41	81-03	84-46	84-111	90-09	98-27	98-56	100-35
5	0,840	0,896	0,300	0,876	0,860	0,850	0,923	0,808
10	0,841	0,908	0,317	0,940	0,864	0,902	0,812	0,899
15	0,803	0,490	0,303	0,930	0,920	0,914	0,806	0,799
30	0,786	0,560	0,290	0,840	0,854	0,902	0,895	0,838
60	0,762	0,677	0,288	0,862	0,835	0,878	0,902	0,762
120	0,625	0,941	0,364	0,825	0,843	0,914	0,745	0,586
360	0,617	0,802	0,400	0,878	0,933	0,952	0,654	0,516
720	0,624	0,884	0,466	0,876	0,945	0,978	0,930	0,640
1440	0,714	0,946	0,842	0,910	0,934	0,960	0,940	0,847

Cuadro 4. Resultados del test Kolmogorov-Smirnov

Estación	Estación 71-02		Estación 73-22		Estación 73-49		Estación 73-91		Estación 74-06	
Duración (min)	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste
5	0,1141	A	0,1222	A	0,1770	A	0,1602	A	0,1198	A
10	0,1273	A	0,0940	A	0,2203	A	0,1076	A	0,1420	A
15	0,0925	A	0,0876	A	0,1912	A	0,1086	A	0,1301	A
30	0,1043	A	0,0972	A	0,1531	A	0,1637	A	0,1752	A
60	0,0855	A	0,0861	A	0,1167	A	0,1233	A	0,1391	A
120	0,1162	A	0,1515	A	0,1179	A	0,1145	A	0,2089	A
360	0,1028	A	0,1108	A	0,1429	A	0,1208	A	0,1961	A
720	0,1579	A	0,1107	A	0,1158	A	0,0764	A	0,1328	A
1440	0,1195	A	0,1316	A	0,1738	A	0,0863	A	0,1177	A
Dt (**)	0,2379		0,2544		0,3014		0,2379		0,2544	

Para la lectura de las CIDF, en el eje de las abscisas se coloca la duración y en el eje de las ordenadas se encuentra la intensidad de precipitación, cada una de las curvas corresponde a las rectas por período de retorno.

En la figura 1 se muestran las CIDF de la Estación 71-02, para determinar la intensidad de precipitación de diseño de una tormenta de una hora, con un período de retorno de cinco años, primeramente se define la ubicación de la

Cuadro 4. Continuación.

Estación	Estación 74-20		Estación 76-02		Estación 76-41		Estación 81-03		Estación 81-03		Estación 84-46	
Duración (min)	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste
5	0,1519	A	0,1857	A	0,1753	A	0,1255	A	0,1255	A	0,2034	A
10	0,1746	A	0,1686	A	0,0853	A	0,1488	A	0,1488	A	0,2070	A
15	0,1045	A	0,2082	A	0,1283	A	0,1735	A	0,1735	A	0,1477	A
30	0,0830	A	0,2057	A	0,1164	A	0,1565	A	0,1565	A	0,2227	A
60	0,0970	A	0,1400	A	0,1091	A	0,1243	A	0,1243	A	0,2097	A
120	0,1097	A	0,1593	A	0,1253	A	0,1114	A	0,1114	A	0,1643	A
360	0,1389	A	0,1324	A	0,1373	A	0,1484	A	0,1484	A	0,1829	A
720	0,2340	A	0,1144	A	0,1386	A	0,1155	A	0,1155	A	0,1680	A
1440	0,1146	A	0,1352	A	0,1560	A	0,1117	A	0,1117	A	0,1454	A
Dt (**)	0,2379		0,2640		0,2544		0,2379		0,2379		0,2809	

Estación	Estación 84-111		Estación 90-09		Estación 98-27		Estación 98-56		Estación 100-35	
Duración (min)	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste	Dc (*)	Ajuste
5	0,1223	A	0,1609	A	0,1075	A	0,0737	A	0,1017	A
10	0,1118	A	0,1288	A	0,0938	A	0,1094	A	0,1175	A
15	0,1088	A	0,1086	A	0,0688	A	0,1402	A	0,1313	A
30	0,1539	A	0,1654	A	0,1012	A	0,1080	A	0,1035	A
60	0,1358	A	0,1316	A	0,1694	A	0,0796	A	0,0950	A
120	0,1497	A	0,1427	A	0,1191	A	0,1163	A	0,1501	A
360	0,1006	A	0,0964	A	0,1225	A	0,1188	A	0,2043	A
720	0,1579	A	0,1610	A	0,1728	A	0,1775	A	0,1698	A
1440	0,2813	A	0,1457	A	0,2126	A	0,1880	A	0,0933	A
Dt (**)	0,2457		0,2499		0,2809		0,2591		0,2544	

duración en el eje de las “x”, se genera una línea vertical hasta que esta se intercepte con la curva establecida para el período de retorno de cinco años. Al haber definido el punto de intercepción se dibuja una recta horizontal y perpendicular al eje de las “y”, es en este punto donde se lee el valor de intensidad de precipitación de dicha tormenta, correspondiente en este caso a un valor de 75 mm/h. En la figura 1 se muestra la técnica de lectura de las CIDF.

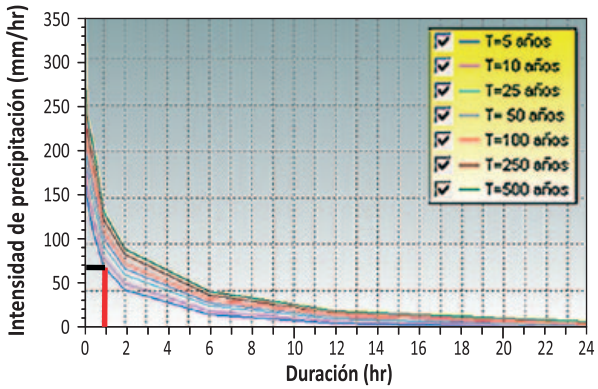


Figura 1. Método de lecturas de las curvas IDF. Estación La Mola.

Siguiendo la metodología propuesta por Aparicio (1997), para la aplicación del método analítico para desarrollar las curvas IDF, se generaron ecuaciones para determinar la intensidad de precipitación en función de la duración y del período de retorno. Esta ecuación genera de una manera simple las CIDF, además de ello con las mismas se pueden realizar correlaciones para otros sectores cercanos a la respectiva estación.

En las figuras de la 2 a la 15, se muestran los resultados de las curvas IDF para cada una de las estaciones incluidas en este estudio.

Para establecer la calidad del modelo de regresión, se puede señalar que para todas las estaciones se cumplieron tres supuestos de regresión probados, éstos son el supuesto de Normalidad, Homocedasticidad, así como el de no-Autocorrelación. Para realizar estas comprobaciones se calculó el coeficiente de determinación, la prueba de Distribución Fisher o F, así como el estadígrafo Durbin-Watson.

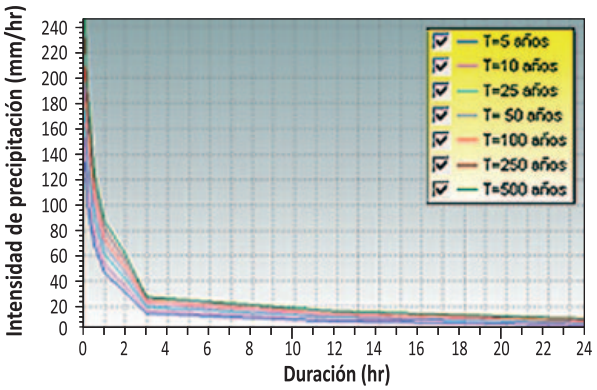


Figura 2. Curvas IDF. Estación 73022, Pacayas.

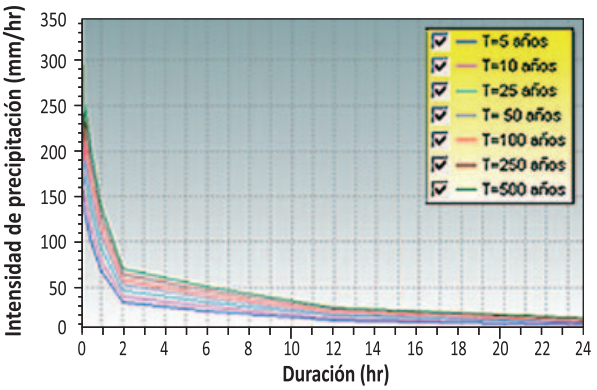


Figura 3. Curvas IDF. Estación 73049, La Mola 2.

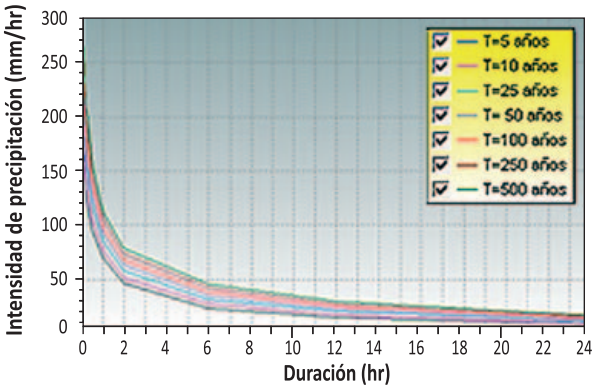


Figura 4. Curvas IDF. Estación 73091, Hacienda El Carmen.

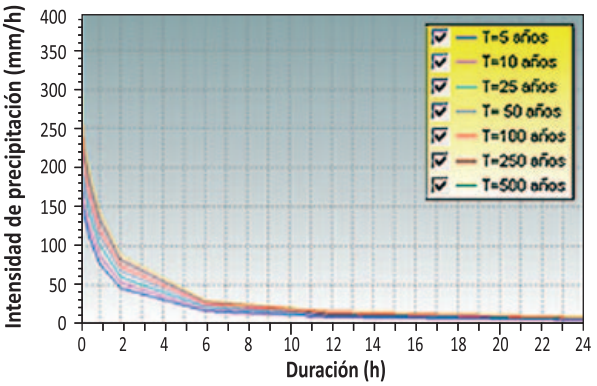


Figura 5 Curvas IDF. Estación 74006, La Guinea.

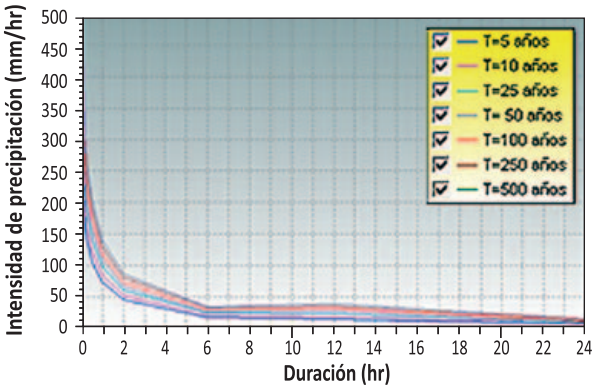


Figura 6. Curvas IDF. Estación 74020, Llano Grande Liberia.

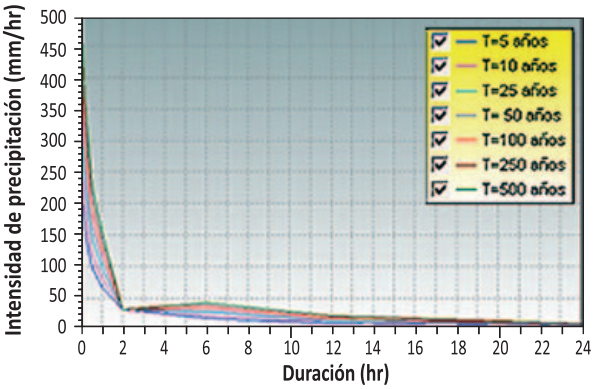


Figura 7. Curvas IDF. Estación 76002, Tilarán.

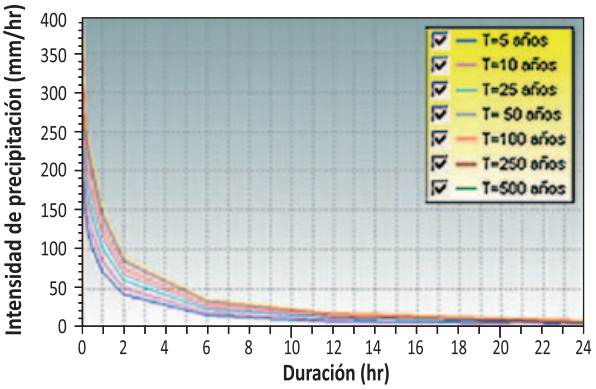


Figura 8. Curvas IDF. Estación 76041, Ingenio Taboga.

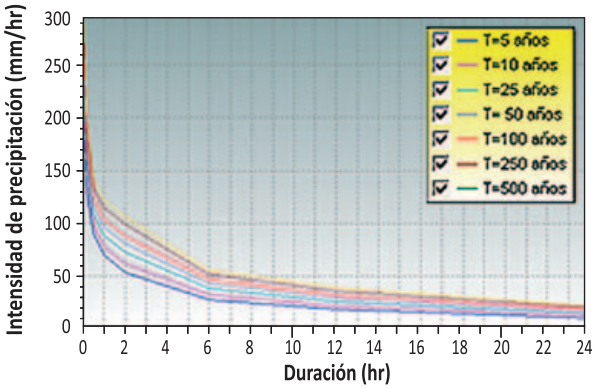


Figura 9. Curvas IDF. Estación 81003, Limón.

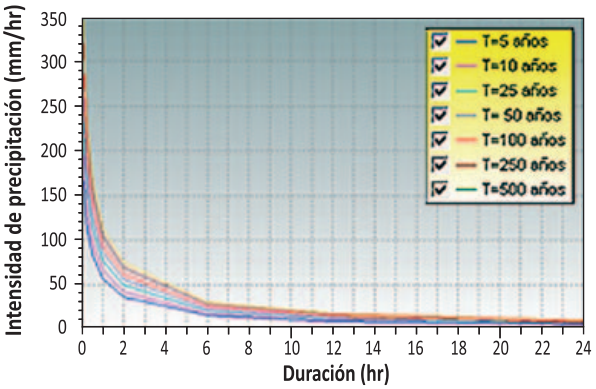


Figura 10. Curvas IDF. Estación 84046, San Josecito.

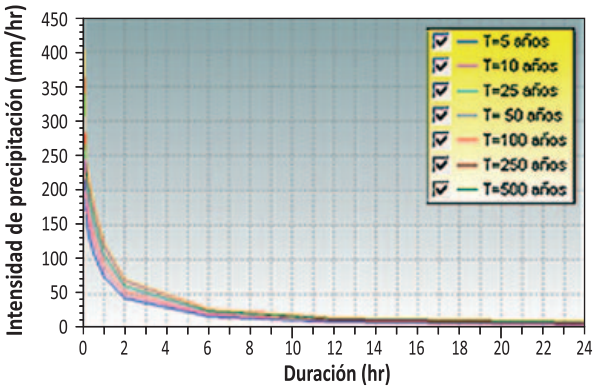


Figura 11. Curvas IDF. Estación 84111, Santa Lucía.

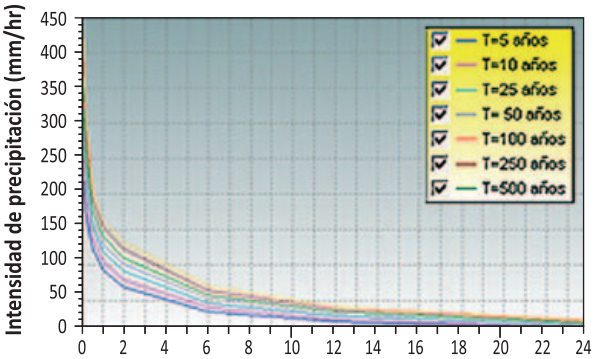


Figura 12. Curvas IDF. Estación 90009, Damas.

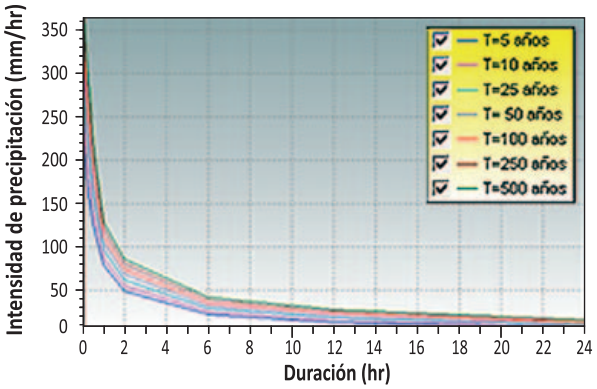


Figura 13. Curvas IDF. Estación 98027, Pindeco.

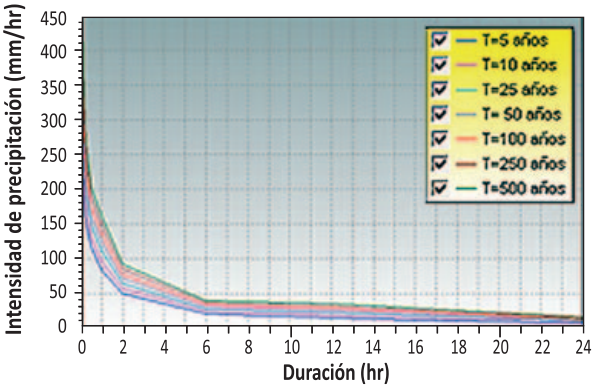


Figura 14. Curvas IDF. Estación 98056, Volcán.

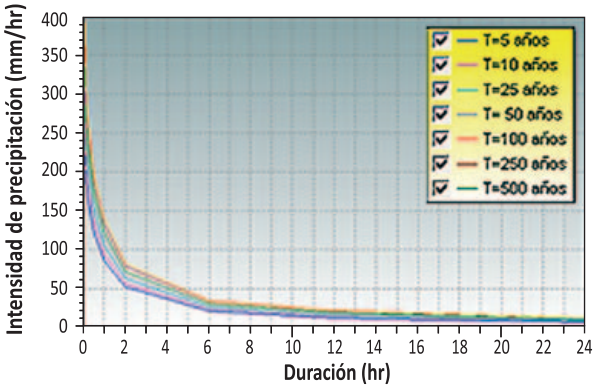


Figura 15. Curvas IDF. Estación 100035, Coto 47.

Los resultados de los modelos por estación se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Modelos ajustados por estación pluviográfica

Estación	Modelo	R^2	No. datos
71-02	$I= 483,72* T^{0,126} / D^{0.542}$	0.972	31
73-22	$I= 347,48 * T^{0.139} / D^{0.577}$	0,984	27
73-49	$I= 403,68* T^{0,143} / D^{0,532}$	0,971	19
73-91	$I= 372,77 * T^{0,116} / D^{0,497}$	0.977	31
74-06	$I= 717,79* T^{0,0,126} / D^{0,671}$	0,965	27
74-20	$I= 548,00 * T^{0,153} / D^{0,600}$	0,976	31
76-02	$I= 649,82 * T^{0,176} / D^{0,664}$	0,972	25
76-41	$I= 588,24 * T^{0,154} / D^{0,641}$	0,961	27
81-03	$I= 318,34 * T^{0.140} / D^{0,446}$	0,975	31
84-46	$I= 506,86 * T^{0,151} / D^{0,637}$	0,980	22
84-111	$I= 672,71* T^{0,119} / D^{0,652}$	0,977	29
90-09	$I= 509,54 * T^{0,136} / D^{0,510}$	0,967	28
98-27	$I= 624,59 * T^{0,134} / D^{0,601}$	0,978	22
98-56	$I= 584,78 * T^{0,142} / D^{0,583}$	0,979	26
100-35	$I= 596,53* T^{0,201} / D^{0,632}$	0,959	27

4. Conclusiones y recomendaciones

El estudio presenta los registros de precipitación máxima para diferentes duraciones, que se modelaron mediante curvas IDF a partir del análisis de distribución de frecuencias de Gumbel.

Según los resultados del coeficiente de determinación, solamente la estación 84-46 ubicada en San Josecito de Heredia, tiene poca variación de la variable dependiente con respecto a las independientes, ya que los valores son menores a un 36%. Para las restantes estaciones no se muestran diferencias en los modelos ajustados.

El modelo de distribución de frecuencia de Gumbel utilizado para explicar la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia, posee muy buena calidad de ajuste, lo que asegura una buena estimación y pronóstico de intensidades máximas de precipitación.

Según los gráficos del diseño de las curvas IDF definidas para cada estación, se puede concluir que no existen diferencias en cuanto al tipo y forma de la gráfica para las diferentes estaciones distribuidas a lo largo del territorio nacional, encontrándose diferencias solamente en relación a la escala de intensidad de precipitación.

Las ecuaciones obtenidas por el método analítico cumplieron los supuestos de Normalidad, Homocedasticidad y no-Autocorrelación, por lo que se considera que son resultados confiables y se pueden utilizar como guía para la definición de precipitaciones de diseño en áreas cercanas, que tengan una buena correlación en cuanto a las condiciones climáticas y topográficas.

5. Referencias

Aparicio, F. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Balderas. México: Limusa

Arévalo, P. 2007. *Guía Didáctica: Econometría II.* Universidad Católica de Loja. Escuela de Economía. Ecuador.

Pizarro, R., Flores, J.P, Sangüesa, C. y Martínez, E. (s.f). Módulo 1. *Leyes de distribución de procesos hidrológicos*. Recuperado de http://eias.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/a_modulo_leyes.pdf.

Ramírez, M., Ghanem, A.y Lárez, H. (2006). Estudio comparativo de los diferentes métodos utilizados para la predicción de intensidades máximas de precipitación para el diseño adecuado de estructuras hidráulicas. *Revista Saber* Volumen 18. N°2: 189-196. Universidad de Oriente. Venezuela.

Te Chow, V.; Maidment, D.y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada.* Bogotá, Colombia: D´ Vinni Editorial, Ltda.

Villón, M. (2001). *Hidrología Estadística*. Cartago, Costa Rica: Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y precursores provenientes de la aviación internacional en Costa Rica

KENDAL BLANCO SALAS[1]

Resumen

Costa Rica se encuentra en camino a ser carbono neutral para el año 2021, esto incentivará el turismo internacional por lo que la cantidad de vuelos hacia y desde nuestro país a otros países se encuentra en constante aumento. Por lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero y precursores provenientes de la aviación internacional en el país, tomando como referencia los dos principales aeropuertos, el Juan Santamaría en Alajuela y el Daniel Oduber en Liberia. La estimación de las emisiones se realizó siguiendo la metodología planteada por la Agencia Europea del Ambiente (EEA) recomendada en las Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Las emisiones para el período analizado se estimaron en 558.831 toneladas de dióxido de carbono equivalente, siendo el precursor con mayor número de emisiones el NO_x con 2.541 toneladas.

PALABRAS CLAVE: AVIACIÓN, EMISIONES, GASES DE EFECTO INVERNADERO.

Abstract

Costa Rica is on process to be neutral carbon by 2021, this will encourage international tourism and the number of flights is going to increase from our country to other countries. Therefore this study was mainly to evaluate emissions of greenhouse gases and precursors from international aviation in the country, with reference to the two major airports, the Juan Santamaria in Alajuela and Daniel Oduber in Liberia. The estimate of emissions was carried out following the methodology proposed by European Environment Agency (EEA) that is recommended in the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change of 2006. Emissions were estimated for the period analyzed in 558,831 tonnes of carbon dioxide equivalent. The precursor with more emissions was NO_X with 2,541 tonnes.

KEY WORDS: AVIATION, EMISSIONS, GREENHOUSE GAS.

1. Introducción

El transporte aéreo se encuentra en constante crecimiento, tal como lo indica Wuebbles (2007) y se espera que en los próximos 20 años la demanda en la industria de la aviación a escala mundial podría incrementar tres veces los niveles actuales. Se estima que el tráfico mundial de pasajeros vía aérea creció en un 5,3 % anual, en el período comprendido entre el 2000 y el 2007 (Song, 2012).

En Costa Rica, el turismo internacional se ha establecido como una de las principales actividades económicas; para el 2013 se reportó un ingreso cercano a los 2,5 millones de turistas lo que generó divisas al país por más de 2.300 millones de dólares (Estado de la Nación, 2014). El crecimiento sostenido tanto en la oferta como en la demanda turística en los últimos años se ha traducido en mayor tránsito aéreo, para el 2012 se reportaron 45.985 vuelos de pasajeros tomando en

1 Ing. Químico. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional. Email: kblanco@imn.ac.cr

cuenta entradas y salidas en los aeropuertos Juan Santamaría y Daniel Oduber Quirós (DGAC, 2013).

Igualmente el transporte de carga internacional por vía aérea es de suma importancia para la economía nacional. Según los datos de la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), para el año 2012 se reportó un movimiento de 55.629 toneladas hacia otros países, siendo Estados Unidos el de mayor volumen de movimientos.

Costa Rica forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), por lo que dentro de sus compromisos está realizar de manera bienal el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, donde se realiza un reporte de las emisiones generadas por la aviación civil internacional, dentro de la categoría designada por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) como combustión móvil, aunque no se contabiliza en los totales nacionales.

Al utilizar combustibles fósiles como la gasolina para avión y el jet fuel, la industria de la aviación es responsable de una importante cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, causando un fuerte impacto en el ambiente.

El proceso de combustión que se da en los motores de aeronaves genera emisiones cuya composición es aproximadamente un 70% dióxido de carbono (CO_2), menos del 30% de vapor de agua y menos del 1% de otros gases como los indicados en la figura 1.

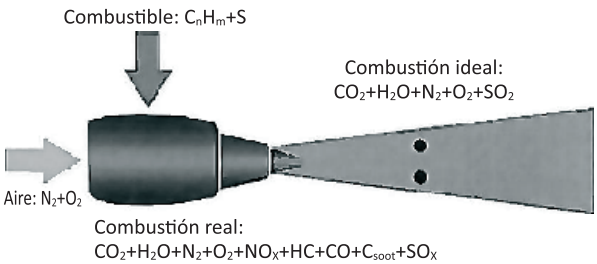


Figura 1. Proceso de combustión en un motor de aeronave. Fuente: Wuebbles (2007).

Al momento de cuantificar las emisiones se deben tomar en cuenta diferentes factores, entre los que se encuentran la cantidad de operaciones de la aeronave, el tipo y eficiencia de los motores, el combustible utilizado, el tiempo de vuelo y la potencia, entre otros. Según la metodología que se utilice así serán los parámetros requeridos para llevar a cabo los cálculos (IPCC, 2006).

1.1. *Evaluación de las emisiones*

Diferentes metodologías han sido desarrolladas para la evaluación de los gases de efecto invernadero, una de las más conocidas es el sistema de modelado de dispersión y emisiones de contaminantes del aire, EDMS por sus siglas en inglés, desarrollado por la Administración Federal de Aviación (FAA), este modelo posee la ventaja de tomar en cuenta el tipo de motor utilizado por las aeronaves de manera actualizada, además de que evalúa aparte de los gases comunes, 394 gases orgánicos.

Para facilitar las estimaciones, el IPCC ha dividido en sus directrices las operaciones de las aeronaves en ciclo de despegue y aterrizaje (LTO) y crucero. En la etapa LTO se encuentran todos los movimientos reportados por debajo de los 3.000 pies de altura (914 m), excepto el encendido de los motores, es decir, de las mostradas en la figura 2 se deben

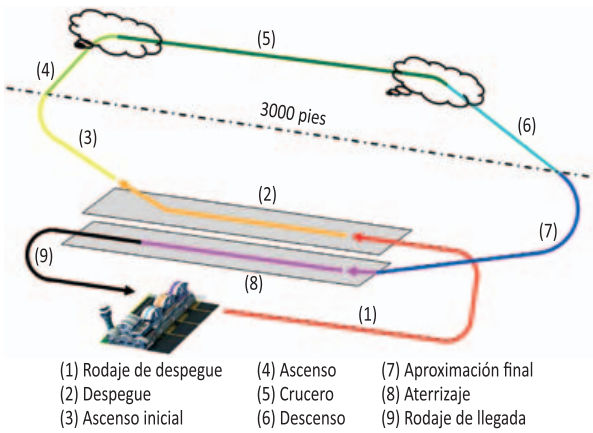


Figura 2. Diferentes etapas de vuelo. Fuente: (EEA, 2013).

excluir la fases de ascenso, crucero y descenso. De manera general, el IPCC además presenta tres categorías para los diferentes métodos utilizados en la estimación de emisiones, estas incluyen todos los usos comerciales civiles de los aviones, incluida la aviación civil, aviones para uso agrícola, privados e incluso helicópteros (IPCC, 2006).

El primer nivel metodológico para estimar las emisiones (Nivel 1), toma en cuenta únicamente el combustible consumido por las aeronaves. Aunque se tiene la ventaja de que existen factores de emisión promedio con bajas incertidumbres para el combustible utilizado, este método puede llevar a errores de cálculo importantes, esto debido a que no se detalla cuánto combustible del consumido a nivel nacional fue destinado para vuelos internacionales y cuanto para locales. Otro punto a tomar en cuenta, es que si se considera directamente el consumo de combustible de estadísticas nacionales se estaría excluyendo las emisiones debidas a consumo de combustibles abastecidos fuera del país.

En el Nivel 2 se toma en cuenta también el uso de combustibles, pero agregando además la cantidad de ciclos de despegue-aterrizaje lo que mejora la división entre combustible consumido en vuelos de cabotaje y el usado en operaciones internacionales.

El IPCC ha dividido el Nivel 3 en: Nivel 3A que utiliza la información de origen y destino, tipo de aeronave y fechas de vuelo, y Nivel 3B que incluye modelos que toman en cuenta hasta el tipo de motor utilizado por cada aeronave. Aunque demanda una mayor cantidad de tiempo y recursos, desarrollar una evaluación de emisiones de Nivel 3 garantizará una baja incertidumbre en los resultados.

2. Metodología

Este estudio tuvo como objetivo estimar las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire, provenientes de la aviación comercial en los dos aeropuertos más grandes del país, en el año 2012, esto incluye transporte de pasajeros y cargas realizado en el país.

Se definió como año a estudiar el 2012, debido a que es el período comprendido en el último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Absorción de Carbono, en donde los resultados de este estudio fueron presentados. También se calcularon emisiones históricas del 2009 al 2011, cálculos basados igualmente en el Nivel 1 de estimación, esto únicamente se presenta como referencia y comparación.

2.1. *Descripción del sitio estudiado*

El transporte de pasajeros y carga a gran escala en Costa Rica se centra en dos terminales aéreas las cuales fueron incluidas en este estudio. La primera y de mayor tamaño es el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría (AIJS), fundado en 1958, se encuentra ubicado en la provincia de Alajuela. El AIJS (con código IATA SJO) cuenta actualmente con diez rampas de abordaje y una única pista. En la figura 3 se muestra una imagen del aeropuerto.

Figura 3. Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.
Fuente: (Google Earth, 2015).

El segundo aeropuerto analizado y que se encuentra mostrado en la figura 4, es el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quirós, inaugurado en el año 2002 y ubicado en la ciudad

Figura 4. Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quirós. Fuente: (Google Earth, 2015)

de Liberia, provincia de Guanacaste, a 220 km de San José.

2.2. *Método de estimación utilizado*

Las estimaciones de emisiones se realizaron en un Nivel 3A, debido a que en Costa Rica se tiene acceso a la información sobre operaciones aéreas, para eso se tomaron en cuenta variables como: número de operaciones LTO realizadas, tipo de avión y distancia recorrida durante el vuelo.

La información de las operaciones y tipo de avión utilizado se obtuvo en la Dirección General de Aviación Civil de Costa Rica, esta información se encontraba organizada por mes, día, aerolínea, aeronave, origen y destino.

En el Nivel 3A, se modelizan los inventarios usando datos promedio de las emisiones y el consumo de combustible para la fase de LTO y las diversas longitudes de fases de crucero, para una variedad de categorías representativas de las aeronaves (IPCC, 2006).

Tal como lo indica el IPCC en sus guías del 2006 y que fue considerado en este estudio, la cantidad de emisiones producidas es diferente en cada una de las etapas de vuelo, además, el combustible y la distancia de vuelo se relacionan.

De acuerdo a la recomendación de los expertos del IPCC se siguió la guía del Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación (EMEP) y de la EEA, para llevar a cabo de manera exitosa un nivel de estimación 3A. Se utilizó la base de datos anexa a dichas guías, que incluye las emisiones para una amplia lista de aeronaves tanto en la fase LTO como en crucero, esta base de datos se generó bajo el Modelo Avanzado de Emisiones (AEM), aprobado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

En este estudio fueron calculadas las emisiones de los gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), así como otros gases precursores como son: óxidos de nitrógeno (NO_X), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos volátiles no quemados (HC).

Para la cuantificación de emisiones se tomaron en cuenta 24.864 del total de 25.509 operaciones de salida internacionales de pasajeros y carga, regulares y no regulares, es decir, se excluyeron los vuelos en los que las aeronaves no formaban parte de la base de datos utilizada, lo que representó menos de un 2,6% del total de los movimientos y que se trata en su mayoría de aviones privados, pequeños y utilizados en vuelos regionales de corta distancia en su mayoría, por lo que sus emisiones se asumieron despreciables en el total.

En aviación internacional se cuantificaron únicamente los vuelos que salieron del país en el año 2012, su despegue y aterrizaje.

3. Resultados y discusión

Para el año 2012, tal como se muestra en el cuadro 1, más del 87% de operaciones de LTO en el país se llevaron a cabo en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, el restante 13% corresponde a operaciones desarrolladas en el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber.

Cuadro 1. Número de operaciones de aterrizaje-despegue en Costa Rica en el año 2012

Mes	Aeropuerto (Número de LTO) SJO	LIR
Enero	1.949	264
Febrero	1.788	314
Marzo	1.952	381
Abril	1.760	266
Mayo	1.715	186
Junio	1.787	218
Julio	1.936	232
Agosto	1.833	232
Setiembre	1.689	232
Octubre	1.722	231
Noviembre	1.749	231
Diciembre	1.966	231
Total	**21.846**	**3.018**

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC.

Al analizar los LTO por tipo de aeronave, como se observa en el cuadro 2, la mayoría de operaciones realizadas se concentran en los modelos A320 y su versión acortada A319, ambos de la compañía Airbus y los 737 y 757-200 de Boeing, destaca también el Embraer 190, un avión de fucelaje estrecho y que es utilizado para vuelos a países vecinos; en total estas aeronaves representan más del 85% de las operaciones en el país.

Cuadro 2. Número de operaciones de aterrizaje-despegue en Costa Rica en el año 2012 por tipo de aeronave

Tipo de aeronave	Número de operaciones
ATR-42	1.230
A319	2.427
A320	3.776
A321	494
A340-300	131
A340-600	237
B737-700	2.470
B737-800	4.726
B757-200	3.407
B767-200	274
B767-300	320
Cessna 208	337
Embraer 190	4.376
Fokker 27	306
Otros	353

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC.

Cuadro 3. Destinos de las operaciones realizadas en el 2012

País	Operaciones Pasajeros	Carga	Total
Canadá	347	0	347
Estados Unidos	9.275	1.067	10.342
México	1.332	19	1.351
Guatemala	1.562	214	1.776
Honduras	1.402	48	1.450
El Salvador	1.331	29	1.360
Nicaragua	1.150	325	1.475
Panamá	2.939	688	3.627
Colombia	1.006	9	1.015
Ecuador	353	3	356
Venezuela	363	2	365
Perú	678	0	678
España	367	0	367
Otros	355	0	355

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC.

De las operaciones analizadas, en el cuadro 3 se muestra la cantidad de salidas por país, en donde el destino con mayor cantidad de movimientos tanto de carga como de pasajeros es Estados Unidos con 10.342, seguido por Panamá con 3.627 y Guatemala con 1.776. Se analizaron varias operaciones hacia Europa, sin embargo, el único país en donde se muestran con regularidad es España con 367 vuelos directos San José-Madrid en el 2012.

3.1. *Emisiones de gases de efecto invernadero.*

Se debe tomar en cuenta que al momento de realizar la evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero para operaciones de aviación internacional, hay que prestar especial atención a los gases que fueron expulsados en las fases de aterrizaje y despegue ya que se llevan a cabo

Cuadro 4. Emisiones de gases de efecto invernadero durante las fases de LTO

Mes	Gas (ton)		
	CO_2	CH_4	N_2O
Enero	6.174,55	0,1338	0,1802
Febrero	5.979,74	0,1272	0,1770
Marzo	6.672,36	0,1402	0,2054
Abril	5.617,20	0,1296	0,1747
Mayo	5.185,18	0,1271	0,1596
Junio	5.476,67	0,1339	0,1691
Julio	5.971,38	0,1385	0,1865
Agosto	5.554,39	0,1422	0,1758
Setiembre	5.215,74	0,1287	0,1633
Octubre	5.396,32	0,1266	0,1724
Noviembre	5.510,23	0,1280	0,1769
Diciembre	6.089,60	0,1432	0,1918
Total	**68.843,35**	**1,5990**	**2,1325**

Fuente: Elaboración propia.

dentro del territorio nacional, incluso dentro del aeropuerto. En el cuadro 4 se muestran las emisiones mensuales de dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4), durante las operaciones totales de aterrizaje y despegue, los meses en que se emitieron más gases fueron de diciembre a marzo y el mes de julio lo que coincide con los períodos de mayor flujo de aeronaves mostrados en el cuadro 1.

Los meses con menores emisiones fueron: mayo, con poco más de 5.100 toneladas, seguido por setiembre y octubre con 5.200 y 5.300 toneladas de CO_2 respectivamente. En cuanto a las emisiones de CH_4, el máximo reportado es de 0,1432 toneladas en diciembre. Este máximo no coincide con el máximo de CO_2, debido a que los factores de emisión de CH_4 para el Boeing 738 son mayores que las otras aeronaves y como se mencionó existe un alto flujo de esta aeronave en el país. Para el N_2O el mes con mayores emisiones fue julio con 0,1865 toneladas.

Las emisiones durante el vuelo se muestran en el cuadro 5 para los mismos gases. La menor cantidad de CO_2 que se emitió fue en el mes de setiembre, superando las 35.000 toneladas, mientras que el mes con mayores emisiones de CO_2 fue marzo con 49.493 toneladas. Las emisiones anuales de CH_4 alcanzan las 3,39 toneladas y las de N_2O son de 13,57 toneladas.

La tendencia mensual de las emisiones totales de gases de efecto invernadero para el 2012 se muestran en la figura 5, los datos en la misma se encuentran graficados en escala logarítmica para analizar la tendencia de los tres gases en una misma figura. Se observa que existen meses en donde hay cierto incremento de las emisiones, sin embargo el comportamiento general es constante.

Al momento de cuantificar las emisiones de dióxido de carbono equivalente, se obtienen los valores que se muestran en la figura 6. El máximo total de emisiones se alcanzó en el mes de marzo, superando las 55.000 toneladas y los mínimos

Cuadro 5. Emisiones de gases de efecto invernadero durante las fases de ascenso, descenso y crucero

Mes	Gas (ton)		
	CO_2	CH_4	N_2O
Enero	45.841,21	0,3206	1,2823
Febrero	44.217,97	0,3092	1,2369
Marzo	49.493,87	0,3461	1,3844
Abril	39.953,77	0,2794	1,1176
Mayo	35.931,60	0,2513	1,0051
Junio	37.768,72	0,2641	1,0565
Julio	41.852,20	0,2927	1,1707
Agosto	38.330,55	0,2680	1,0722
Setiembre	35.240,40	0,2464	0,9857
Octubre	36.359,10	0,2543	1,0170
Noviembre	37.296,60	0,2608	1,0433
Diciembre	42.730,35	0,2988	1,1953
Total	**485.016,347**	**3,3917**	**13,5669**

Fuente: Elaboración propia.

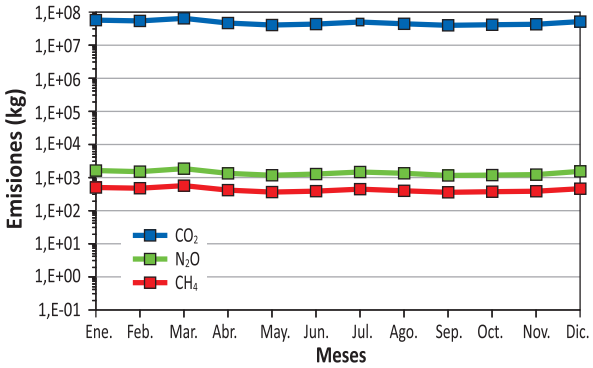


Figura 5. Emisiones totales de gases de efecto invernadero para la aviación internacional, en el 2012.

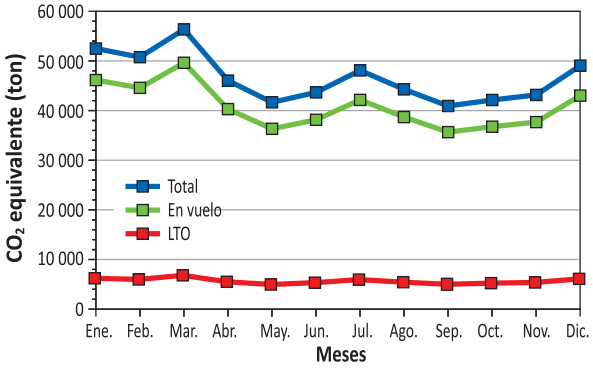


Figura 6. Emisiones de CO_2 equivalente.

en setiembre y mayo. Este comportamiento es esperable debido a que las mayores cantidades de emisiones se dan en el período seco, en donde hay mayor flujo de turistas en el país. El comportamiento alto en el mes de julio coincide con el período de vacaciones de Estados Unidos, ya que como se mencionó este país es el que reporta mayor movimiento de turistas en Costa Rica. En total para el año estudiado se cuantificaron 558.831,32 toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\ eq}$).

3.2. *Emisiones de otros gases precursores.*

Existen otros gases que también son emitidos durante las operaciones de las diferentes aeronaves en el 2012, en Costa Rica, en el cuadro 6 se muestran las emisiones mensuales de óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos volátiles (HC) y monóxido de carbono (CO). El NO_X alcanzó las 2.500 toneladas en el 2012, el mes con mayor liberación fue marzo, patrón que se repite para los otros dos precursores evaluados; seguido el CO con 550 toneladas y los HC con 48 toneladas.

3.3. *Incertidumbres*

La incertidumbre de los factores de emisión utilizados en este análisis cambia según la fase de vuelo. Para las fases de aterrizaje y despegue las incertidumbres están entre el 5%-10% (ICAO, 1995), mientras que para la fase crucero van del 15% al 40%. En cuanto a los datos de actividad como número de LTO´s o distancia recorrida, tiene una incertidumbre del 5%, esto debido a que como se indicó no se tomaron en cuenta la totalidad de las operaciones, además de que se obviaron maniobras de despegue o aterrizaje en las que se puede haber incurrido, por diferentes circunstancias, y que pueden haber cambiado las distancias de vuelo.

Cuadro 6. Emisiones de gases precursores de GEI durante las fases de ascenso, descenso y crucero

Mes	Emisiones (toneladas)		
	NO_x	HC	CO
Enero	233,43	4,47	51,06
Febrero	225,08	4,24	47,93
Marzo	254,52	4,50	52,49
Abril	209,61	3,86	45,02
Mayo	192,21	3,65	41,75
Junio	198,03	4,10	44,77
Julio	219,77	4,24	46,39
Agosto	204,05	4,20	44,96
Setiembre	188,25	3,67	41,62
Octubre	191,80	3,65	43,70
Noviembre	200,44	3,54	42,54
Diciembre	224,23	4,11	48,11
Total	**2541,41**	**48,24**	**550,35**

Fuente: Elaboración propia.

3.4. *Emisiones por itinerarios*

Para la determinación de las emisiones del año 2012, se realizó el inventario de emisiones en aviación civil utilizando los itinerarios de vuelos, es decir, operaciones planeadas no consolidadas. Estas estimaciones aunque válidas introducían una incertidumbre adicional en los datos de actividad, ya que gran cantidad de vuelos se modifican o se cancelan, además de que de esta forma no se toman en cuenta vuelos tipo "charter", información que sí se tomó en cuenta en este estudio. En el cuadro 7 se muestran los resultados de dichas aproximaciones para el período 2009-2012 únicamente de manera informativa.

Al comparar los resultados de emisiones provenientes de operaciones con los resultados de emisiones a partir de itinerarios para el año 2012, se encontró una diferencia de aproximadamente un 5%, resultando mayor si se utilizan itinerarios, es decir, se sobreestiman las emisiones con este método.

Cuadro 7. Emisiones de gases de efecto invernadero totales para el período 2009-2012 a partir de itinerarios de vuelo

Año	Emisiones (ton)			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2 eq
2009	533.035	5,283	15,340	537.901
2010	538.177	5,353	15,454	543.080
2011	572.380	5,612	15,068	532.169
2012	584.430	6,123	16,626	589.713

Fuente: Elaboración propia.

3.5. *Estimación utilizando nivel 1*

Se realizó el cálculo de las emisiones a partir del combustible consumido, en el cuadro 8 se muestra el combustible consumido por aviación internacional y las emisiones totales de CO_2 equivalente, para el 2012.

Cuadro 8. Emisiones estimadas usando Nivel 1

Combustible	Consumo (TJ)	Emisiones de CO_2-eq (ton)
Gasolina para avión	12	856,65
Jet fuel	6.879	496.250,63
Total	**6.892**	**497.107,28**

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las emisiones con las obtenidas en este estudio mediante Nivel 3A se observa un 12% de diferencia entre los datos, siendo más bajo en el caso donde se utiliza el combustible consumido. Esto se debe principalmente a que existen aeronaves que no cargan combustible en los aeropuertos nacionales sino lo hacen fuera, esto principalmente se da en vuelos cortos donde incluso hay aeronaves que tienen escalas o que realizan dos vuelos diarios.

4. Conclusiones

Las emisiones debidas a aviación de pasajeros y carga internacional en los dos principales aeropuertos del país se estimaron para el año 2012, en 558.800 toneladas de CO_2 equivalente.

El comportamiento de las emisiones en el año 2012 fue de manera estacional, en los meses donde se dan vacaciones en Estados Unidos, de diciembre a marzo y en el mes de julio, presentan mayor cantidad de gases liberados.

Las mayores emisiones se dieron en los viajes a los Estados Unidos, debido al alto flujo de aviones a ese país.

En el año 2012 se emitieron 2.541 toneladas de NO_X, siendo estos los precursores de mayor producción.

Realizar la evaluación de las emisiones a partir de datos de itinerarios, es una buena estimación

ya que no se supera el 6% de diferencia con las operaciones.

Se recomienda realizar un estudio que incluya aeronaves que no se encuentran en la base de datos de la metodología utilizada para reducir la incertidumbre de los datos de actividad.

Se recomienda que en caso de análisis similares se haga de manera diaria, además de que se incluya un histórico de las emisiones.

5. Referencias

Agencia Europea del Medio Ambiente. (2013). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013: *Technical guidance to prepare national emission inventories*. Ciudad de Luxemburgo, Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Recuperado de http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013.

Chacón, AR., Jiménez, G., Montenegro, J., Sasa, J., Blanco, K. (2014). *Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de Carbono 2010.* Minae-IMN. San José, Costa Rica.

Dirección General de Aviación Civil (DGAC): Unidad de Planificación. (2013). *Estadísticas Aeronáuticas: Año 2012*. San José, Costa Rica. Recuperado de http://www.dgac.go.cr/acercadgac/transparencia/plani/estadisticas.html.

Estado de la Nación. (2014). *Vigésimo Informe Estado de la Nación*. San José, Costa Rica.

Lee, D.; Pitari, G.,Grewe, V.,Gierens, K., Penner, J., Petzold, A., Prather, M., Schumann, U., Bais, A., Berntsen, T., Lacheti, D., Lim, L. & Sausen, R. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. *Atmospheric Environment* 44. 4678-4734.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2006). *Directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.* IGES, Japón.

Song, S. & Shon, Z. (2012). Emissions of greenhouse gases and air pollutants from commercial aircraft at international airports in Korea. *Atmospheric Environment*. 61, 148-158.

Wuebbles, D., Gupta, M. & Ko, M. (2007). Evaluating the impacts of aviation on climate change. *Eos Trans.* American Geophysical Union, 88 (14). 157-168.

Variaciones en la precipitación y su posible impacto en la producción agrícola de Liberia, Costa Rica

MARVIN QUESADA QUESADA[1] Y PETER R. WAYLEN[2]

Resumen

Se investigan las variaciones en la precipitación, su relación con las fases del evento océano atmosférico El Niño Oscilación del Sur, mejor conocido como ENOS y su posible impacto en la producción agrícola en Liberia, Costa Rica. Se calculan el número de días lluviosos y la distribución de las precipitaciones que se espera que ocurra en cada ciclo de cultivo. Se hacen estimaciones durante un año determinado de la cantidad de lluvia, las fechas de siembra y la duración que podría tomar determinado cultivo en su crecimiento estacional. Igualmente, se puede determinar la cantidad de agua que necesita un cultivo para crecer normalmente. Se determinó que los agricultores podrían experimentar una mayor cantidad de precipitación durante la fase Fría que durante la fase Cálida. Durante esta última, los veranillos se alargan, teniendo el agricultor una mayor dificultad para disponer de agua para sus cultivos.

PALABRAS CLAVES: DISTRIBUCIÓN DE LLUVIA, INICIO Y DURACIÓN DE LAS LLUVIAS, EL NIÑO, LA NIÑA, PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.

Abstract

Variations in precipitation, its relationship with the phases of the event atmospheric Ocean El Niño Southern Oscillation, better known as ENSO and its possible impact on the agricultural production in Liberia, Costa Rica is researched. The number of rainy days and the distribution of precipitation that is expected to occur in each crop cycle are calculated. Estimates are made for a given year in the amount of rain, sowing dates and duration which could take certain farming in their seasonal growth. Similarly, to determine the amount of water that need a crop to grow normally. Farmers could experience a greater amount of precipitation during the cold phase than during the warm phase. During the last one the rain become longer, taking the farmer more difficult to provide water for their crops.

KEYWORDS*:* RAIN DISTRIBUTION, ONSET AND DURATION OF RAINFALL, EL NIÑO, LA NIÑA, AGRICULTURAL PRODUCTION.

1. Introducción

En la zona templada existen cuatro estaciones climáticas invierno, primavera, verano y otoño, aspecto que no existe en la zona Intertropical donde el flujo de radiación es constante durante todo el año. En las zonas tropicales existen por lo general dos períodos climáticos, uno seco y otro lluvioso, entre ambos la diferencia radica en la disponibilidad de agua más que por la diferencia en la temperatura como ocurre en las zonas templadas. En las zonas tropicales la temperatura tiende a ser relativamente constante o con muy poca variación anual. No obstante, la precipitación es el elemento del clima más importante no solo por su variabilidad espacial y temporal, sino también porque es la que permite el crecimiento de los cultivos, en lugares muy secos.

La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) juega un papel esencial en la distribución de la precipitación, su posición durante el año determina

1 Profesor Catedrático. Sede Occidente, Universidad de Costa Rica. marvin.quesada@ucr.ac.cr
2 College of liberal arts and sciences. prwaylen@ufl.edu

la presencia del período lluvioso y cuando esta se aleja tiende a darse el período seco (Hastenrath, 2002; Alfaro y Cid, 1999). Además, existen meses de transición o de aumento o disminución de las lluvias, por la presencia de eventos meteorológicos como frentes fríos o calientes que interrumpen el período seco. Otros elementos, tal es el caso de los vientos pueden por el contrario adelantar o atrasar la época lluviosa, trayendo consigo variaciones en los niveles de precipitación tanto anuales como estacionales (Alfaro y Cid, 1999).

La variabilidad climática, así como el cambio climático constituyen dos circunstancias que están alterando los niveles normales de precipitación y por ende afectan los sistemas ecológicos (PICC, 1997). El elemento de variabilidad climática natural que mayores anomalías induce en la precipitación y la temperatura a escala global es El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), que puede presentar tres fases: la cálida, que se caracteriza por un calentamiento del agua superficial del Pacífico ecuatorial (El Niño), la fría, que se caracteriza por un enfriamiento en la misma zona del océano (La Niña) y la fase neutra (MARNR, 2005).

ENOS se ha manifestado con eventos tanto débiles, como moderados y muy fuertes, los cuales pueden generar sequías y lluvias intensas que provocan inundaciones. Esto ha ocasionado de manera directa o indirecta grandes pérdidas en diferentes agroecosistemas, generando elevados costos ambientales, sociales y económicos (Magaña y Vázquez, 2001), entre los que destacan la agricultura y la ganadería, que además de depender en gran medida de la precipitación, muestran una alta vulnerabilidad ante la variabilidad climática interanual (Soley y Alfaro, 1999; Monasterio y otros, 2011).

En vista de las alteraciones que se producen principalmente sobre la pluviometría durante los episodios ENOS, existen algunas investigaciones sobre la incidencia en la productividad agrícola (Berlato y Fontana, 1999; Cunha et al., 1999, 2001; De la Casa y Ovando, 2006). Cuando se analiza la importancia de las predicciones de ENOS y su impacto sobre los cultivos como maíz y sorgo a nivel de sitio, se han utilizado estimaciones obtenidas de un modelo de simulación (Phillips; Cane y Rosenzweig, 1998). Similarmente, otros científicos también han elaborado pronósticos de rendimientos de cultivos (Nicholls, 1986; Rimmington y Nicholls, 1993; Mjelde y Keplinger, 1998; Pierre y Tirado, 2007). Handler (1984), llegó a la conclusión de que la variación interanual en el rendimiento del maíz en los Estados Unidos, se encuentra estrechamente asociada con la ocurrencia de anomalías positivas de las Temperaturas Superficiales Marítimas (TSM), en el Océano Pacífico Ecuatorial.

Variaciones abruptas en la precipitación, pueden afectar directamente los cultivos en su crecimiento y maduración. Cuando los niveles de precipitación no son suficientes o se presentan con excesos, pueden provocar graves consecuencias en los rendimientos y en la calidad de los productos agrícolas. En los últimos veinte años se han percibido nuevos estados climáticos, que han alterado los patrones de precipitación y por ende se ha acentuado la vulnerabilidad en el sector agrícola (Retana y Villalobos, 1998).

En algunas regiones tropicales las lluvias tienden a ser muy cambiantes, existen unos años muy lluviosos y otros muy secos. Los cultivos de secano tienden a tener cosechas muy irregulares, dependiendo del suministro de agua proporcionado por las lluvias, lo que incluso podría provocar la pérdida de las cosechas.

Por consiguiente, para lograr una eficiente producción agrícola es importante conocer el clima, el estado atmosférico, los niveles de precipitación y sus variaciones a nivel local, con el fin de gestionar mejor el manejo del cultivo. Si se cuenta con registros de precipitación y se pueden hacer pronósticos, se podría planificar la siembra y el desarrollo de los cultivos, dado que esto es

decisivo al sugerirse cuando es el mejor momento para cultivar, fertilizar y recolectar. Asimismo, se podrían estimar los servicios en lo referente al transporte y almacenamiento de los productos agrícolas.

La variabilidad y el calentamiento global, están afectando los patrones de lluvia y la producción agropecuaria. De continuar estas variaciones climáticas al ritmo actual, algunas zonas especialmente de la zona Intertropical pasarían a ser más lluviosas y otras más secas. Según el impacto que tenga el cambio climático y su respectiva variación en las precipitaciones, en un futuro se tendrá que optar por otros cultivos diferentes a los que se siembran actualmente e incluso algunos agricultores o empresas se verán obligados a abandonar la agricultura y la ganadería.

Se han generado varias expectativas en el sector productivo, y en el público en general, respecto a la posibilidad de pronosticar las condiciones ambientales que pueden acompañar el ciclo de producción durante un año El Niño o La Niña. Por lo tanto, considerando que tales manifestaciones tienen un alcance geográfico particular o local, la presente investigación tiene por objetivo analizar para la región guanacasteca de Liberia en Costa Rica, las condiciones pluviométricas de incremento y reducción, así como aquellas que se asocian con las dos fases del ENOS y de esta forma poder pronosticar los meses o períodos de mayor variabilidad.

Por lo tanto, se pretende investigar cuáles son las diferencias entre las fases del ENOS en los niveles de precipitación en Liberia, que podrían influir en la agricultura. Si se siembra un cultivo cualquiera en un día particular, cuánta lluvia se esperaría recibir en los próximos uno o dos meses. Además, cuál es la probabilidad de obtener una cantidad de lluvia sin someter la agricultura a riesgo.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

La región donde se ubica Liberia pertenece al régimen de precipitación Pacífico, el cual es conocido por la presencia de un período seco (diciembre a abril) y un período lluvioso (mayo a noviembre) bien definidos. Se destaca en esta región la presencia de grupos climáticos como son: áreas de clima templado (mesotermal) y áreas de clima tropical con estación seca, ambos modificados a lo largo de esta región por factores geográficos que influyen en la intensidad de los sistemas atmosféricos (Solano y Villalobos, 2001). En esta región predomina un clima muy severo, dado el fuerte déficit hídrico y a veces transcurren hasta siete meses sin llover (Leitón, 2015; Leiva, 2015).

En Liberia se presenta un régimen de precipitación bimodal característico de dos máximas de precipitación, la primera en mayo-junio y la segunda en setiembre-octubre, como producto de la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Se da una recesión de lluvias en julio y agosto, dado el alejamiento relativo de la ZCIT y la incursión del flujo alisio que produce un efecto de subsidencia sobre la región de Liberia, al bajar a gran velocidad por las faldas de la sección sur de cordillera de Guanacaste. El período seco se puede extender hasta seis meses, desde noviembre hasta abril.

Liberia es un cantón de la provincia de Guanacaste en Costa Rica, donde se localiza la ciudad más extensa de la zona noroeste del país (figura 1). Se caracteriza por sus planicies y por sus grandes extensiones en productos agrícolas como: maíz, caña de azúcar, arroz, melón, mango, sandía, entre otros. Así como por la producción ganadera, especialmente de engorde.

La estación meteorológica de Liberia, cuenta con registros diarios de precipitación de 32 años. Para el presente estudio se utilizaron los datos diarios,

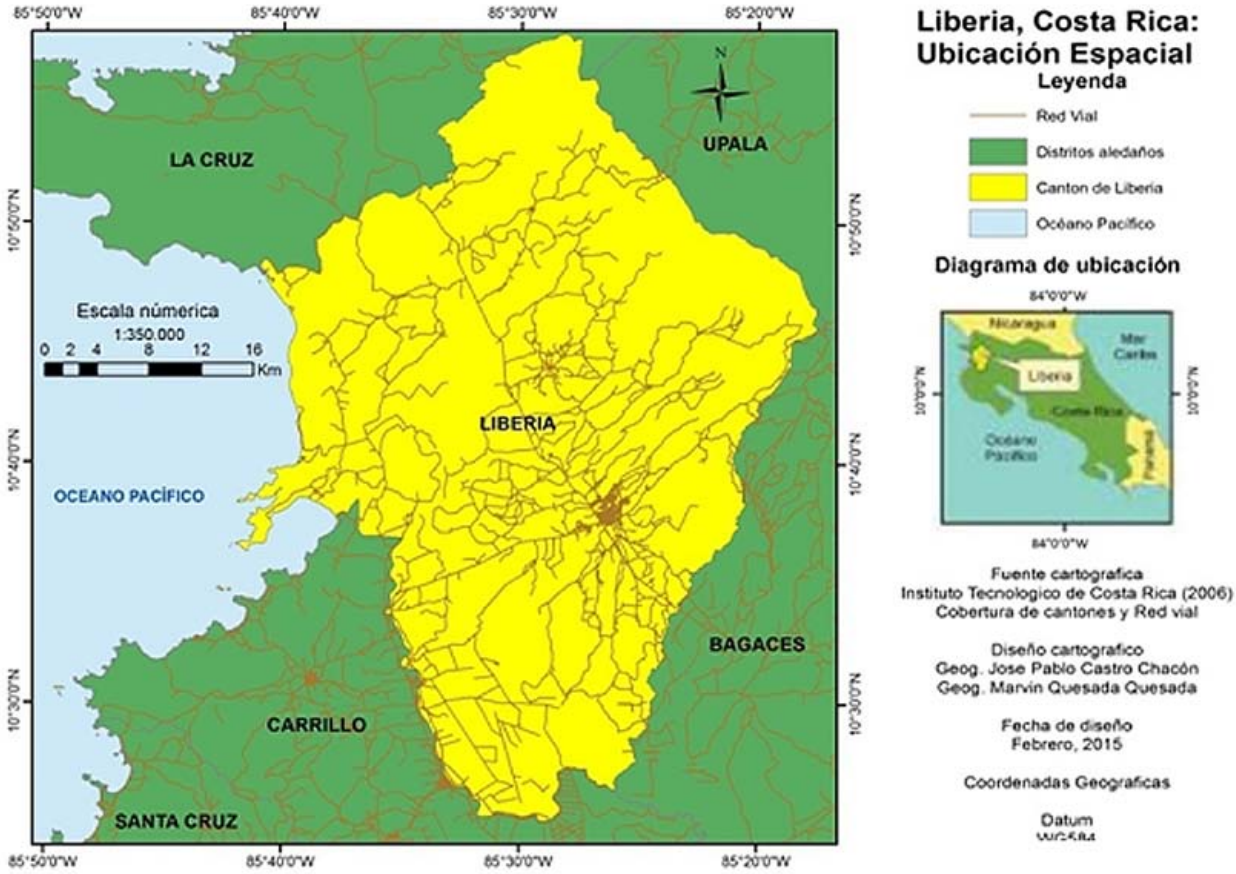


Figura 1. Ubicación de Liberia, Costa Rica.

con la idea de hacer un estudio exhaustivo de las variaciones en la precipitación y su posible impacto en la producción agropecuaria.

2.2. Procedimiento metodológico

Para realizar esta investigación, se utilizaron los registros históricos de precipitación diaria de la estación meteorológica de Liberia. Como unidad temporal se usó un período de tiempo definido como es la fecha de inicio de la estación seca y otra específica como es la duración de días en el crecimiento de las plantas de un cultivo determinado. Se utilizaron varias fechas de inicio durante las distintas siembras de cultivos que se extienden a lo largo del año, las cuales pueden ir desde el día 30 (enero 30), antes del comienzo de la temporada de lluvias, hasta el día 305 (1 de noviembre), acercándose al final de la temporada de lluvias.

Cada posible fecha de inicio se asocia con períodos posteriores con duraciones que varían entre 30 a 60 días. Esta serie de combinaciones o ciclos crecientes varían en la fecha de inicio y la duración de las cosechas, en un año. Cada una de estas combinaciones permite visualizar la cantidad de lluvia aproximada que requiere un cultivo para crecer. La cantidad de agua que requiere un cultivo para su desarrollo está dada por el tipo de cultivo, su fisiología y propósito productivo: grano, semilla, corta, heno, pasto, fruto. Lo que se estaría calculando con el análisis es la cantidad probable de lluvia de la que podría disponer cualquier actividad que la requiera, desde agricultura hasta energía.

Se calcularon las propiedades de la precipitación total, el número de días lluviosos y la distribución de las precipitaciones, en cada ciclo de cultivo. Se establecieron comparaciones inter e intra estacional, las cuales permiten examinar las variaciones en la precipitación y la influencia del evento ENOS. La precipitación total se define como día con lluvia cuando la precipitación es igual o mayor a un milímetro, que en este caso es indispensable para la producción agrícola. La entropía relativa es una medida de la distribución temporal o "uniformidad" de la lluvia que cae dentro de un ciclo de cultivo.

Se establecieron comparaciones numéricas de las varianzas y medias, las cuales se realizaron mediante las pruebas F y t respectivamente, en el nivel 0,05. En la aplicación de estas pruebas F y t, se parte del principio de que los datos se distribuyen normalmente. Siete pruebas estándar de normalidad (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Martínez-Iglewicz, test de Kolmogorov-Smirnov, Distribución D'Agostino, curtosis D'Agostino y D'Agostino Omnibus), fueron realizadas utilizando el paquete estadístico NCSS (Hintze, 2004). Se registró el número de pruebas que rechazan la normalidad a un nivel 0,05, con el fin de dar una idea de la cambiante validez de esta hipótesis, variable, a partir la fecha y duración.

3. Resultados

Por medio de una prueba normal se establece la relación entre la fecha de inicio de la precipitación y la duración de días con lluvia. Es de esperar que ésta sea constante durante el período lluvioso, sin embargo la abundancia de las precipitaciones es un factor que varía año a año.

Por otra parte, es necesario considerar que la estación seca puede extenderse ya que las recesiones de lluvia a mitad de año no son regulares, debido a que este fenómeno tiende a prolongarse en unos años más que en otros.

Estas diferencias se deben a una serie de factores, como son: la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la influencia de centros de alta presión sobre el istmo centroamericano, la diferencia en las temperaturas superficiales de los océanos Atlántico y Pacífico y a la presencia del evento ENOS, en sus fases Fría, Neutra y Cálida, entre otras (Poveda y otros, 2014). Es conocido que ENOS manifiesta una alta influencia sobre la vertiente Pacífica de Costa Rica, especialmente en la zona de Guanacaste, donde se ubica el área en estudio (Barquero, 1998; Quesada y Waylen, 2014). Las figuras 2 y 3 muestran las diferencias

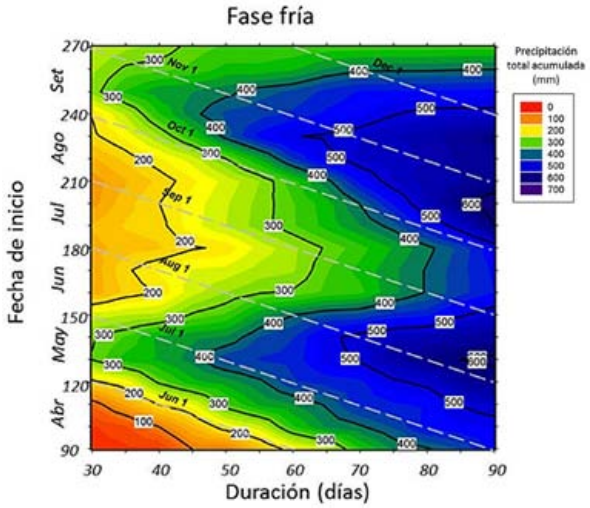


Figura 2. Promedio de precipitación durante la fase Fría en Liberia, Costa Rica. Fuente: IMN, 2014.

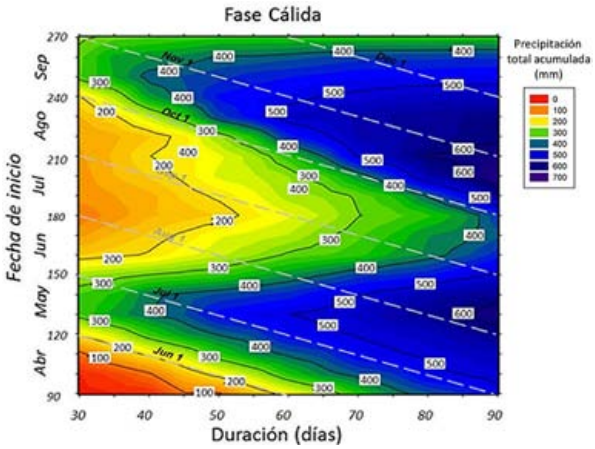


Figura 3. Promedio de precipitación durante la fase Cálida en Liberia, Costa Rica. Fuente: IMN, 2014.

que ocurren entre la fase Fría y la fase Cálida (Fría-Cálida) de ENOS.

Los valores positivos (verde y azul) muestran combinaciones de fechas de inicio y duración, en las cuales los agricultores podrían experimentar una mayor cantidad de precipitación durante la fase Fría que durante la fase Cálida. Se puede observar, que durante la fase Cálida los veranillos se alargan teniendo el agricultor una mayor dificultad para disponer de agua para sus cultivos. Por ejemplo, el arroz de secano que se siembra en Liberia entre junio y agosto, se ve afectado por las diferentes fases de ENOS y los rendimientos tienden a ser menores a lo normal hasta en un 60% (Villalobos y Retana, 1997; Barquero, 1998). Esto puede deberse a la irregular distribución de precipitaciones durante esta fase, principalmente durante el veranillo, meses en los cuales el arroz entra en fases del ciclo que requieren de suficiente agua para satisfacer sus necesidades (Retana J. 1999).

Durante la fase Fría los veranillos se acortan, teniendo mayores niveles de agua para los cultivos, incluso podría ser tanta la lluvia que más bien se afectarían algunos cultivos como las hortalizas, las cuales se siembran en pequeños predios (ver figura 4).

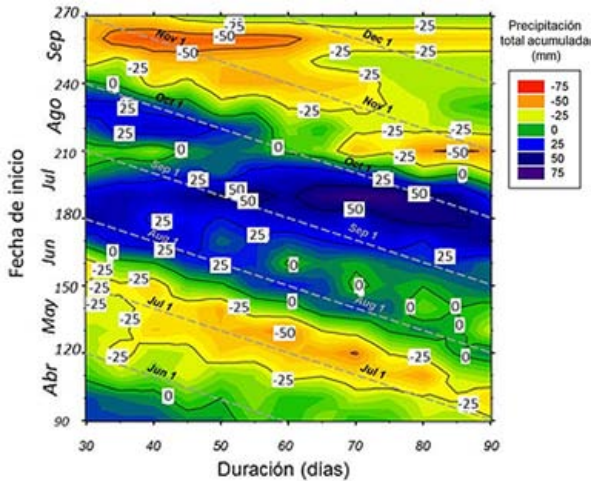


Figura 4. Fase Fría menos la fase Cálida. Fuente: IMN, 2014.

La fase Cálida muestra en ciertos meses del año mayores niveles de precipitación que durante la fase Fría (Vega y Stolz, 1997). Si un agricultor siembra en mayo, pareciera que podría esperar niveles mayores de lluvia en los próximos 30 a 60 días que durante la fase Fría. En la figura 3, se muestra como al inicio del período húmedo se incrementa la precipitación durante la fase Cálida. Algo similar ocurre al final del período húmedo. Por el contrario, durante la fase Fría, el período húmedo más bien finaliza con anticipación.

Si un agricultor decide sembrar el primero de junio (día 152) durante la fase Cálida, en promedio se podría esperar que llueva cerca de 270 mm en los próximos 30 días. Si el agricultor necesita otro mes más (60 días), se podría esperar que llueva cerca de 380 mm y si ocupara tres meses, entonces podría recibir 500 mm de precipitación. Si hubiera una demora en la siembra, por ejemplo que se siembre a principios de julio (día 180), a los 30 días (agosto 1) podría llover cerca de 100 mm. Después de dos meses recibiría 240 mm y después de tres meses 440 mm.

Como es sabido los veranillos son más extensos durante la fase Cálida del ENOS (Vega, 1993; Waylen y Quesada, 2001). Si un agricultor supiera que un cultivo determinado ocupa 400 mm de lluvia para lograr cosechar después de dos meses de ser sembrado, entonces se tiene según el cálculo que en el día 110 (20 de abril) se estaría obteniendo dicha cantidad de lluvia. Sin embargo, si fuera un año de fase Cálida se tendría que esperar 150 días (inicios de mayo) y, si se siembra cerca del día 215 (mediados de agosto) en los próximos 60 días se podría esperar una precipitación de 400 mm.

Las figuras 2 y 3 sirven de parámetro para planificar la producción agrícola, por medio de la cantidad de precipitación que se espera que ocurra y de esta forma se podría hacer una estimación de la cantidad de lluvia requerida durante un año determinado. Para la zona donde se ubica Liberia se pueden dar las siguientes opciones: cuando los niveles de

lluvia son menores a 300 mm para un período de 90 días o sea condiciones muy secas (ver figura 5). Si esta es superior a 400 mm hay condiciones muy húmedas (figura 6). Cuando la probabilidad de que la cantidad de lluvia se encuentra entre 300 y 400 mm, se tienen condiciones intermedias u óptimas para el crecimiento de las plantas (figura 7). El conocimiento de estos datos no solo permite saber cuánta lluvia ocurrirá, sino poder planificar cuál sería el cultivo más indicado dependiendo del año o del período estacional. En cada uno de los siguientes gráficos se detalla la precipitación acumulada, dependiendo de si las condiciones son muy secas (figura 6), si las condiciones son muy húmedas (figura 7) o si las condiciones son intermedias (figura 8).

Si un cultivo muestra un déficit hídrico con una cantidad de precipitación de entre 300 a 400 mm, se estaría bajo la influencia de lo que normalmente

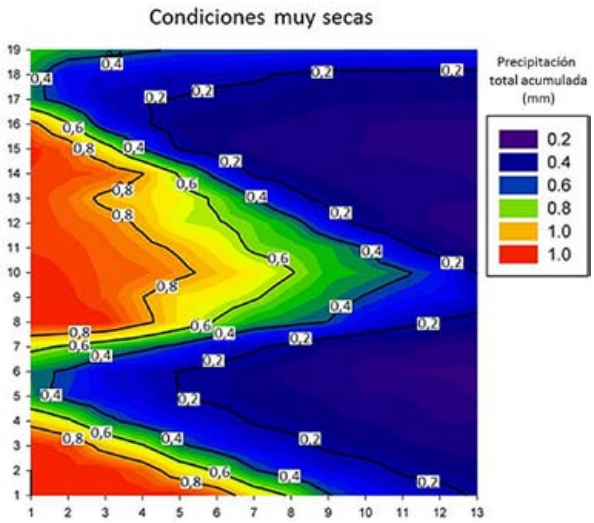


Figura 5. Probabilidad de que se presenten menos de 300 mm precipitación en Liberia, Costa Rica. Fuente: IMN, 2014.

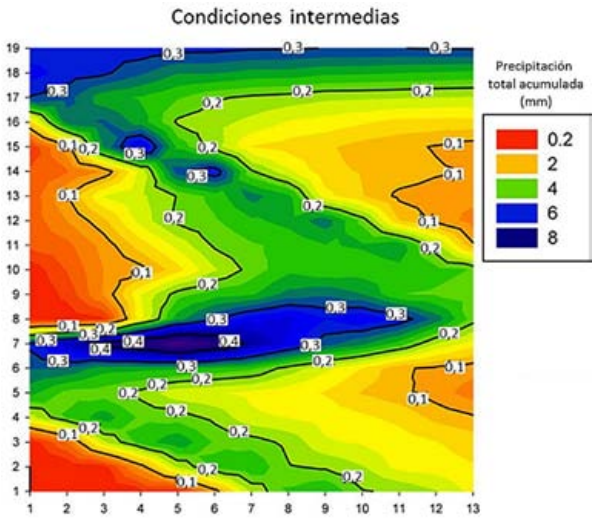


Figura 7. Probabilidad de que se presenten lluvias entre los 300-400 mm en Liberia, Costa Rica. Fuente: IMN, 2014.

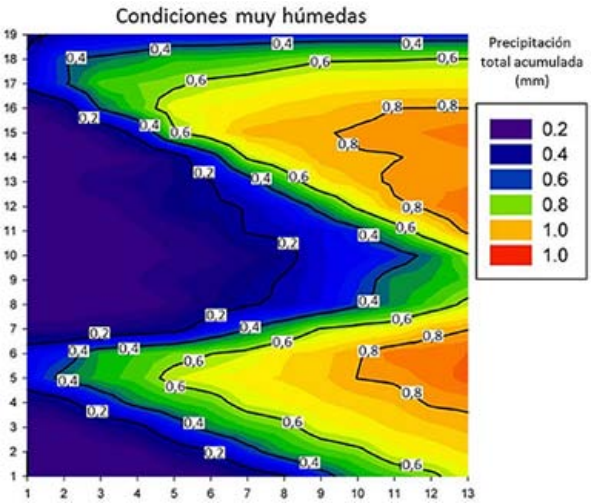


Figura 6. Probabilidad de que se presenten lluvias mayores a 400 mm en Liberia, Costa Rica. Fuente: IMN, 2014.

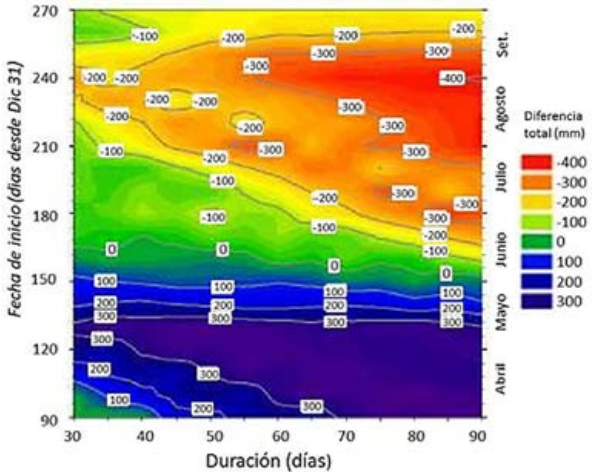


Figura. 8. Diferencia entre año 1972 menos el promedio del registro climático de Liberia. Fuente: IMN, 2014.

se asocia con El Niño (La República, 1997). Siempre se ha dicho que en la fase Cálida disminuye las lluvias durante todo el año, sin embargo, en esta investigación se encontró que dicha disminución se da solo en el caso de Liberia, aproximadamente a partir del 10 de junio. Lo anterior demuestra que durante los meses anteriores al veranillo (mayo-junio) más bien se da un incremento en los niveles de precipitación en Liberia, durante El Niño. Mientras que la reducción en las precipitaciones se empieza a dar conforme se acercan los veranillos o canículas entre finales de junio y alguna (as) semanas en julio y agosto.

En la figura 8 se muestra la diferencia resultante en mm de lluvia si se elige el año de 1972, considerado como uno de los años El Niño más fuertes del Siglo XX y se compara el promedio de este año, con el promedio total de todo el registro de precipitación de la estación de Liberia. Bajo estas circunstancias los agricultores que sembraron antes del día 160 (10 de junio), obtendrían entre 200-300 mm más de lluvia en ese año El Niño como promedio (en azul), en los meses de mayo y junio. Sin embargo, después de esa fecha las precipitaciones empiezan a disminuir.

Como se puede ver en la figura 8, los colores verde y azul son valores superiores al promedio, por otra parte las tonalidades amarillas y naranjas muestran

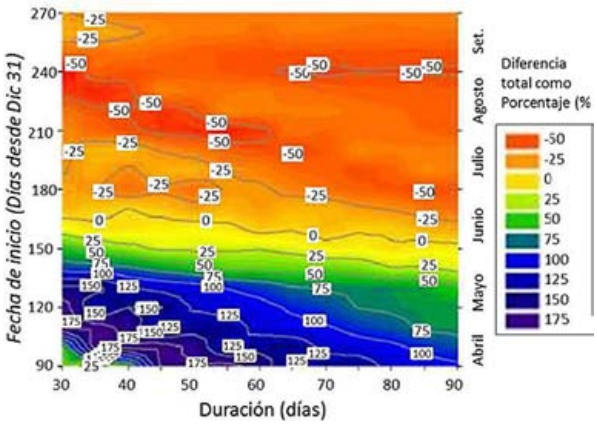


Figura 9. Diferencia entre 1972 menos el promedio como un porcentaje del promedio total. Fuente: IMN, 2014.

cifras que se encuentran bajo el promedio. En esta ilustración se observa que durante los pre-veranillos las lluvias son casi el doble de lo usual. En tanto, durante el pos-veranillo las lluvias son la mitad de lo usual. Este es un ejemplo típico del año 1972, donde los agricultores tuvieron un exceso de lluvias en mayo y parte de junio y un déficit de estas durante los meses de setiembre y octubre (figura 9).

4. Conclusiones

Del análisis efectuado se puede concluir que, al hacer sumatorias de las cantidades de precipitación que se podrían esperar durante ambas fases del ENOS (Fría y Cálida), para la región donde se ubica Liberia en Guanacaste, se pueden extraer estimaciones que podrían ayudar a una mejor planificación agrícola, desde el punto de vista climático.

El graficado de la relación entre las fechas de siembra y la duración del desarrollo del cultivo, permite estimar la cantidad de agua que ocupa un cultivo para crecer normalmente. Por ejemplo, si se tiene que un agricultor siembra un cultivo a finales de abril (día 120) durante un año en que está ocurriendo la fase Cálida del ENOS, se podría esperar un promedio de cerca de 470 mm de lluvia en los próximos 60 días. Sin embargo, si el agricultor planta dicha cosecha a finales de junio (día 180), podría esperar cerca de 240 mm de lluvia en los próximos 60 días. En este ejemplo se refleja no solo la cantidad de lluvia en esa fase del ENOS, sino también el comportamiento bimodal de la precipitación y el impacto de las recesiones a mitad de año o veranillos.

La investigación permitió demostrar, que si se obtienen los promedios y la desviación estándar de las lluvias de la combinación de fechas de inicio y duración de las lluvias, estos podrían ser de mucha ayuda en la planificación sectorial en el campo agropecuario, incluso si se asume que

los datos de precipitación están normalmente distribuidos, se podrían estimar posibles riesgos en las cosechas. Por ejemplo, si una compañía agropecuaria, cooperativa agrícola o un agricultor tienen planeado la siembra de algún cultivo durante un año que se sabe que va a ocurrir la fase Cálida del ENOS, se sabría de antemano de que existirían irregularidades en las precipitaciones. Si se hace en abril posiblemente existirá en exceso de agua, pero si se hace en junio, se tendrán que tomar ciertas medidas para un suministro mayor de agua. En este último caso, se tendría que disponer de 400 mm de lluvia en los próximos 60 días para poder recoger la cosecha.

Esta investigación revela la importancia del análisis de los eventos El Niño y La Niña y sus diferencias en los totales de precipitación en una región determinada. En el caso de Liberia, Guanacaste, durante los años El Niño, los promedios de precipitación se ven reducidos y quienes se dedican al sector primario la agricultura, tienen que seguir cultivando sin saber que tendrán menos cantidad de lluvia para que sus cultivos crezcan.

Por consiguiente, si el agricultor tiene conocimiento si está ocurriendo un año Niño, Niña o Normal, podrá planificar en forma más idónea su producción y de esta forma no tener grandes pérdidas económicas. Por otro lado, podrá optar por otras opciones de siembra y dedicarse a otro tipo de actividad o de cultivo que no requiera mucha agua para su crecimiento.

5. BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, E. y Cid L. (1999). Análisis de las anomalías en el inicio y término de la estación lluviosa en Centroamérica y su relación con los océanos Pacífico y Atlántico tropical. En: *Meteor Oceanog*., 6 (1): 1-13.

Barquero M. (1998). Verano marchita el agro. El Niño golpea por doquier. *La Nación*, San José, CR. Marzo, sp.

Cunha, G.; Dalmago, G y Estafanel, V. (1999). ENSO influences on wheat crop in Brazil. *Rev. Bras. Agrometeorol.* 7:127-138.

Cunha, G.; Dalmago.; G.; Estafanel, V.; Pasinato, A y Moreira, M. (2001). El Niño-Oscilaçao do Sul e seus impactos sobre a cultura de cevada do Brasil. *Rev. Bras. Agrometeorol.* 9:137-145.

De la Casa, A. y Ovando, G. (2006). Influencia de Episodios El Niño-Oscilación Sur (ENOS) sobre la Precipitación y el Rendimiento de Maíz en la Provincia de Córdoba, Argentina. Investigación Recursos Naturales. *Agricultura Técnica* (Chile) 66(1):80-89 (enero-marzo).

Handler, P. (1984). Corn yields in the United States and sea surface temperature anomalies in the Equatorial Pacific Ocean during the period 1868-1982. *Agric. For. Meteorol.* 31:25-32.

Hastenrath, S. (2002). The Intertropical Convergence Zona of the Eastern Pacific Revisited, *International Journal of Climatology.* 22: 347-356.

Hintze, J. (2004). *Number cruncher statistical system*: Dr. Jerry L. Hintze, Kaysville, Utah.

Leitón, P. (2015). Fuerte sequía golpea a Centroamérica. Recuperado de www.nacion.com/economia/agro/sequia-centroamerica-agricultura. *La Nación,* 9 de Junio.

Leiva, C. (2015). Guanacaste entre sequía y muerte. Ganado es plato fuerte de zopilotes. Recuperado de www.diarioextra.com. *Diario Extra*, 2 de Junio.

La República (1997). MAG previene agricultores. *La República*, San José, Costa Rica. Agosto, 18: 5ª.

Magaña, V., Vázquez, J. (2001). *Sobre los usos del pronóstico de El Niño en América Latina y el Caribe.* EIRD Informa-América Latina y El Caribe 2: 8.

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (2005). *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Fondo Mundial para el Medio Ambiente. Caracas. Venezuela.

Mjelde, J. y Keplinger, K. (1998). Using the southern oscillation to forecast Texas winter wheat and sorghum crop yields. *J. Climate* 11:54-60.

Monasterio, P.; Pierre, F.; Barreto, T.; Marín, C.; Mora, O.; Tablante, J.; Maturet, W.; y Mendoza, C. (2011). Influencia del Fenómeno El Niño / Oscilación del Sur sobre la precipitación y rendimiento de cultivo de Maíz en el Municipio Peña, Estado Yaracuy, Venezuela. *Revista Agronomía Trop.* 61(1): 59-72.

Nicholls, N. (1986). Use of the Southern Oscillation to predict Australian sorghum yield. *Agric. For. Meteorol*. 38:9-15.

Phillips, J.; Cane, M. y Rosenzweig, C. (1998). ENSO, seasonal rainfall patterns and simulated maize yield variability in Zimbabwe. *Agric. For. Meteorol*. 90:39-50.

Panel Intergubernamental en Cambio Climático (1997). *Impactos regionales del cambio climático: Evaluación de la vulnerabilidad*. Recuperado de http://www.grida.no/climate/ ipcc/spmpdf/region-s.pdf

Pierre, F. y Tirado, M. (2007). Influencia del ENOS sobre la precipitación en la cuenca del río Yacambú y la depresión de Quíbor, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*. Vol-19. N 1. Pp: 41-52.

Poveda, G.; Jaramillo, L y Vallejo, L. (2014). Seasonal precipitation patterns along pathways of South American low-level jets and aerial rivers. *Water Resources Research.* Vol. 50, 98–118, doi: 10.1002/2013WR014087.

Quesada, M. y Waylen, P. (2014). *Análisis climático de la precipitación anual e interanual en la cuenca media del río Grande de San Ramón, Costa Rica* (Vol. 45). (I. Geográficas, Ed.) Santiago, Chile: Investigaciones Geográficas.

Retana, J. (1999). *Posibles efectos de la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en la agricultura de Costa Rica: Un análisis cualitativo de las estadísticas de producción agropecuaria*. Instituto Meteorológico Nacional. Gestión de Desarrollo. San José, Costa Rica. 15p.

Retana, J.; Villalobos, R. (1998). *Efecto del Cambio Climático en la agricultura. Experiencias en Costa Rica.* Gestión del Desarrollo. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica.

Rimmington, G. y Nicholls, N. (1993). Forecasting wheat yields in Australia with the Southern Oscillation Index. *Aust. J. Agric. Res*. 44:625-632.

Solano, J. y Villalobos, R. (2001). Aspecto fisiográfico aplicado a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, Vol. 8 (1): 26-39

Soley, J., Alfaro, E. (1999). Aplicación de análisis multivariado al campo de anomalías de precipitación en Centroamérica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 6 (2):71-93.

Vega, A. (1993). Suspendida la siembra de maíz y sorgo por sequía. *La Nación*. San José, Costa Rica. Mayo 29: 01, 10.

Vega, G. y Stolz, W. (1997). *El fenómeno de El Niño y su impacto en la economía de Costa Rica. Oficina de pronósticos*. Instituto Meteorológico Nacional. Folleto Informativo, San José. 11 pp.

Villalobos, R. y Retana, J. (1997). Posibles efectos del calentamiento global en el cultivo del arroz de secano en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 21 (2):179-188.

Waylen, P. y Quesada, M. (2001). Anomalías en las temperaturas superficiales en los océanos Pacífico y Atlántico y su relación con las lluvias de julio y agosto en Costa Rica. *Avances Recursos Hídricos*. N 8. Setiembre.

La influencia de los pasos montañosos en la sensación térmica del Valle Central Occidental

KARINA HERNANDEZ ESPINOZA[1]

Resumen

Se seleccionaron seis estaciones meteorológicas ubicadas a los largo del Valle Central Occidental de Costa Rica y se calculó la sensación térmica para cada una de ellas. El modelo de cálculo utiliza datos horarios y depende únicamente de la temperatura del aire y la velocidad del viento a 1,5 m de altura sobre la superficie. Las variaciones horarias de la sensación térmica obtenidas rondan los 17 a 27°C, según sea la estación. La estación meteorológica ubicada en el AIJSM es afectada por el viento Caribe tras atravesar el paso de la Palma, con excepción del mes de julio, momento en que ingresa el viento Pacifico con un rango de 8°C. El viento Caribe después de atravesar el Paso de la Palma que interactúa con los Cerros de Escazú, excepto por la incursión del viento Pacifico en octubre en el caso de Belén, produce rangos de la sensación térmica de 7°C para San Antonio y Aeropuerto Pavas, mientras que Belén presenta 8°C. Las estaciones IMN y CIGEFI presentan los valores más bajos con un rango de 6°C, debido a la interacción del viento del Caribe que se acelera en el Paso de la Palma en las faldas del Volcán Irazú.

PALABRAS CLAVES: VIENTO, SENSACIÓN TÉRMICA, TEMPERATURA.

Abstract

Six meteorological stations positioned in the Occidental Central Valley of Costa Rica were selected to run a model to estimate wind chill. The model depends only on hourly data of temperature and wind at 1.5 m height. Results showed thermal comfort values extending from 17°C to 27°C along the day, depending on the station location. AIJSM is influence by Caribbean wind through Palma mountain pass, with an exception on July because Pacific wind get into country, range 8°C. The influence of Caribbean wind through Palma mountain pass and its interaction with Escazu hill, with an exception in October for Belen moment which Pacific wind get into land, range 7°C for San Antonio and Pavas, 8°C for Belen. Lower values are represented by IMN and CIGEFI with a range of 6°C, by Caribbean wind interaction between Palma mountain pass and Irazu Volcano foothills.

KEY WORDS: WIND, WIND CHILL, TEMPERATURE.

1. Introducción

Costa Rica posee climas variables según la influencia marina y/u orográfica propias de su topografía y su ubicación geográfica, lo cual permitió al Instituto Meteorológico Nacional establecer una clasificación de seis regiones climáticas.

El área en estudio pertenece al Valle Central Occidental (VCO), que se ubica dentro de la región climática denominada Región Central y se encuentra protegida por la cadena montañosa de la Cordillera Volcánica Central, ubicada al norte de este valle. Debido a su ubicación central en el territorio nacional, esta zona es influenciada tanto por los vientos Alisios como por el viento del oeste que ingresa desde el Pacifico así como las brisas de montaña. El clima del VCO debe su influencia a los vientos Alisios procedentes del Mar Caribe tras los pasos de montaña de la Palma y el Desengaño (figura 1). Es la influencia de estos pasos en el viento

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

del VCO, la que se pretende modelar mediante la sensación térmica, utilizando la temperatura, y la dirección y velocidad del viento.

La región climática VCO posee dos épocas secas y una época lluviosa bien definidas, según Hernández (2013). El primer período seco va de mediados del mes de noviembre a mediados del mes de mayo, un segundo intervalo seco de mediados de julio a inicios de agosto (definido como el veranillo), y la época lluviosa el resto del año.

Zárate (1974) nombra como oestes sinópticos a aquellos vientos que afectan Costa Rica, con componentes del oeste provenientes de sistemas sinópticos en el mar Caribe, tales como bajas presiones, huracanes y tormentas tropicales, entre otros.

Los vientos Alisios son aquellos vientos que teniendo componente este, abarcan la ancha faja entre los anticiclones subtropicales. Estos son generados por esos anticiclones y su diferencia de presión en relación a la parte más ecuatorial de los hemisferios norte y sur. Los mismos presentan direcciones medias del este y noreste en el hemisferio norte; y del este y sureste en el hemisferio sur.

El frente de brisa según indica Zarate (1978), es una línea imaginaria de convergencia o confluencia de dos sistemas de vientos: los Alisios y las brisas de mar a tierra, los cuales se manifiestan solo en horas diurnas.

Además de los oestes sinópticos y los vientos Alisios, Costa Rica es afectada por los oestes ecuatoriales, conocidos actualmente como viento monzónico. Estos según indica Zarate (1978), afectan únicamente el litoral Pacífico, el Valle del General, Guanacaste y el Valle Central, debido a que los oestes ecuatoriales alcanzan nuestro país como un flujo de poco espesor vertical y bajas velocidades.

A nivel local Castro y Campos (1992) indican, que en un valle en sotavento la velocidad del viento depende del ángulo que se forma entre la dirección del viento dominante y la orientación del valle, la relación L/H entre el ancho del valle (L) y la altura de la montaña (H). En los pasos de montaña se observa que las velocidades del viento a sotavento son superiores que ha barlovento, cuando la inclinación de la montaña es inferior a 25° y aumenta conforme la relación L/H disminuye debido al estrechamiento del aire.

El viento posee seudónimos según de donde provenga y hacia donde vaya, barlovento indica un viento proveniente del valle que asciende por la ladera o montaña, mientras que sotavento sugiere un viento que desciende por la ladera o montaña en dirección al valle.

Tomando en cuenta los sistemas de viento que modelan el clima en la Región Valle Central, se seleccionaron las cinco estaciones meteorológicas ubicadas en el VCO, a fin de estudiar la influencia que presentan los pasos de montaña en la sensación térmica de dicha región climática.

Se utilizan las variables climáticas temperatura y velocidad del viento, como indicadores de las variaciones climáticas en la percepción de las personas, lo que se denomina sensación térmica. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto que tienen los pasos de montaña en las estaciones meteorológicas ubicadas en VCO.

2. Metodología

2.1. Datos meteorológicos

Se utilizaron cinco estaciones meteorológicas ubicadas en los puntos de interés, para cuantificar los efectos que tiene el paso de la Palma y el Desengaño en el clima local del VCO. Las estaciones seleccionadas son de tipo automático y pertenecen al Instituto Meteorológico Nacional

(IMN) y al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), y para el cálculo de estadísticas se limitan a los años 2009 y 2012 debido al registro incompleto de algunas de las estaciones. El cuadro 1 muestra la ubicación geográfica, coordenadas y elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm) de las estaciones seleccionadas.

Los porcentajes de datos faltantes para cada una de las variables climáticas utilizadas se muestran en el cuadro 2, donde se observa que dichos años (2009 y 2012) tienen registros completos, lo cual mejora las estimaciones realizadas.

En la figura 1 se puede apreciar la ubicación de las estaciones meteorológicas, donde se observan los pasos de montaña tales como el Paso de la Palma, ubicado entre el Volcán Irazú y el Volcán Barba, y el Paso del Desengaño, ubicado entre el Volcán Barba y el Volcán Poás. Ambos pasos pertenecen a la cordillera Volcánica Central y son los responsables del ingreso de los vientos Alisios acelerados al VCO, que es donde se ubican las cinco estaciones analizadas.

2.2. Calculo de la sensación térmica.

Una forma de mostrar y cuantificar las variaciones en la percepción de las personas respecto a las variaciones climáticas, es la sensación térmica.

La sensación térmica es el efecto de dos factores climáticos: la velocidad del viento y la temperatura. Al transpirar, el sudor se evapora de la superficie de la piel gracias al efecto del viento y la radiación, relación conocida como evapotranspiración, la cual nos permite perder calor latente; razón por la cual sentimos más frío al tener una condición ventosa en nuestro alrededor inmediato, ya que la piel pierde calor más rápido de lo que puede calentarse.

El cálculo del índice de sensación térmica (WCI, por sus siglas en inglés, Wind Chill Index) a nivel horario, se hace utilizando la siguiente ecuación:

$$w = 13.12 + 0.6215 \times T_{air} - 11.37 \times (V_{10m})\ 0.16 + 0.3965 \times T_{air} \times (V_{10m})\ 0.16$$

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas

Número	Nombre	Latitud	Longitud	Elevación (m snm)
84169	Aeropuerto Juan Santamaria (AIJSM)	9°59’28”	84°10’52”	913
84199	Belén	9°58’30”	84°11’8”	926
84142	Planta San Antonio	9°58’1”	84°9’30”	942
84193	Aeropuerto Tobías Bolaños	9°57’24”	84°8’22”	997
84141	IMN	9°56’17”	84°4’11”	1181
84136	CIGEFI	9°56’10.4”	84°02’42”	1237

Cuadro 2. Porcentajes de datos faltantes por variable

Número	Porcentaje de datos faltantes de la velocidad viento (%)	Porcentaje de datos faltantes de la Dirección Viento (%)	Porcentaje de datos faltantes de la Temperatura (%)
84169	4	4	4
84199	0	0	7
84142	4	3	0
84193	0	0	0
84141	0	0	0
84136	1	1	1

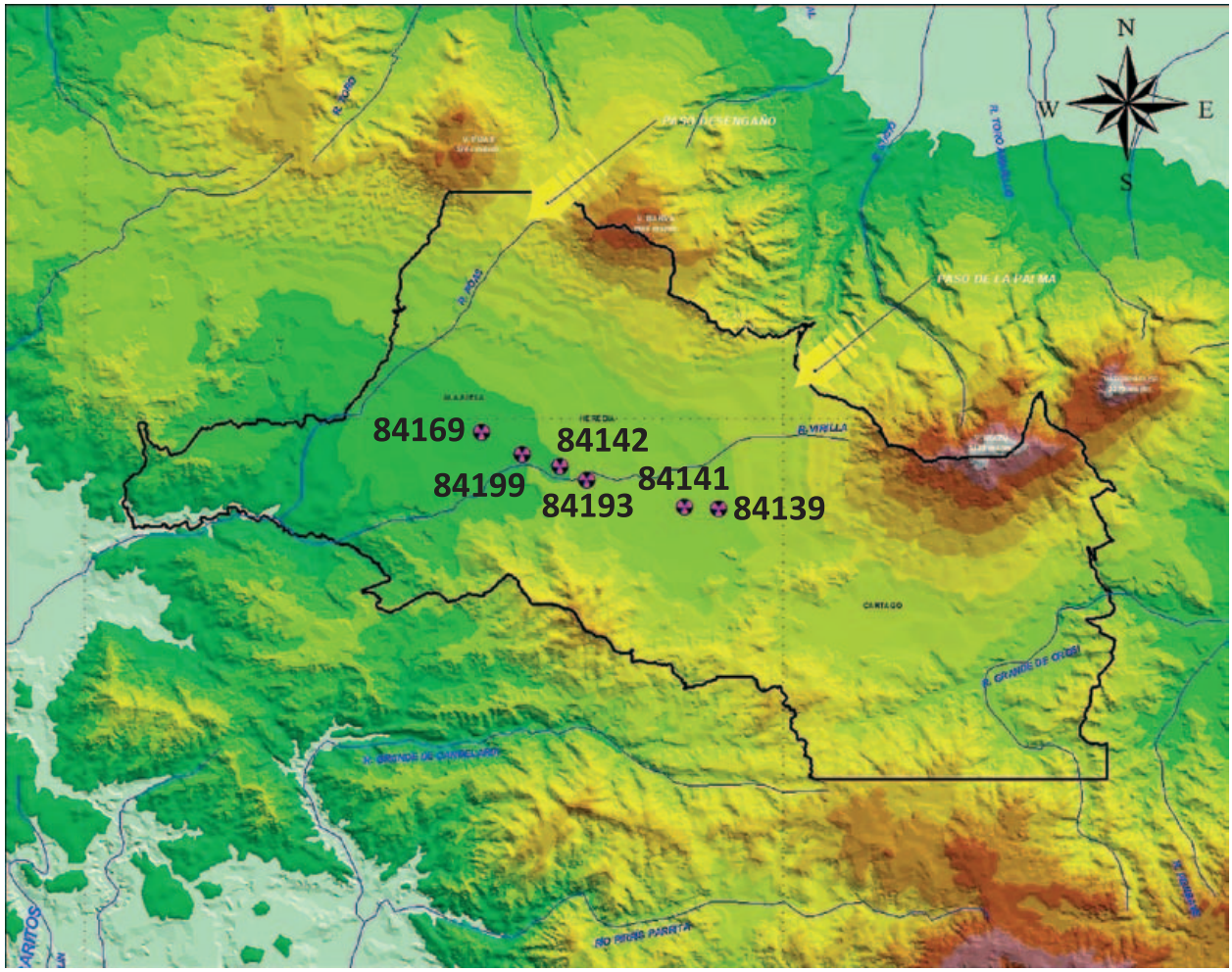


Figura1. Mapa de ubicación de estaciones utilizadas.

Donde:

T_{air} = Temperatura del aire en unidades de grados Celsius (°C).

V_{10m} = Velocidad del viento a 10 m de altura, en unidades de kilómetros por hora (km/h).

w = Índice de sensación térmica, en unidades de grados Celsius (°C).

Dicha fórmula fue desarrollada por Randall Osczevski del Instituto Canadiense de Defensa Civil y Medicina Ambiental, en conjunto con Maurice Bluestein de la Universidad Purdue de Indiana (WMO, 2004). El modelo se basa en la capacidad del ser humano para perder calor y fue probado con voluntarios, en laboratorio bajo condiciones controladas. El resultado del cálculo se aproxima mucho a lo que realmente siente una persona bajo condiciones ventosas y temperaturas bajas.

Este modelo es la nueva forma de estimación del WCI propuesta por WMO, con las siguientes especificaciones: el cálculo de la velocidad del viento se ajusta a la altura promedio humana de 1,5 m, desde la altura de medición de un anemómetro que registra datos a 10 m, multiplicando el valor de la velocidad del viento por un factor de 2/3. Se aplicó la teoría moderna de la transferencia de calor, es decir la teoría de cómo se transfiere el calor del cuerpo hacia el medio ambiente, utilizando un umbral de viento calmo de 4,8 km/h. Finalmente se estandariza la resistencia de la piel

de la cara ante la pérdida de calor, donde se elige esta zona del cuerpo por su continua exposición a los cambios del clima.

3. Resultados

3.1. Análisis de la velocidad y dirección del viento

Las estaciones meteorológicas seleccionadas se ubican a sotavento de la incursión de los vientos Alisios al Valle Central, tras pasar la cordillera Volcánica Central. Castro y Campos (1992) comprueban que en las estaciones ubicadas a sotavento la velocidad del viento es mayor que para aquellas ubicadas en barlovento, mientras que las estaciones ubicadas en el paso de montaña presentan una aceleración del viento aún mayor que las anteriores.

La importancia de analizar las direcciones dominantes del viento de las estaciones meteorológicas seleccionadas, a pesar de que no se utiliza en la estimación de la sensación térmica, se fundamenta en el estudio de las influencias ya sea climáticas y/o geográficas que producen las variaciones de la sensación térmica en el VCO durante el transcurso del año.

En la figura 2 se muestra la dirección dominante del viento a nivel mensual, correspondiente a la estación del aeropuerto Tobías Bolaños (ATB), ubicado en Pavas, el cual tiene dirección dominante del este-sureste (ESE) durante los meses de mayo y de julio a noviembre, mientras que durante junio y de diciembre a abril presenta dirección este (E). La estación de Belén presenta una dirección del sureste (SE) para los meses de abril a diciembre y con direcciones de ESE el resto del año. La estación Planta San Antonio, muestra valores del E los meses de diciembre a febrero, abril a junio, agosto y setiembre y valores ESE en los meses de marzo y julio, además de dirección oeste suroeste (OSO) en octubre. La estación Aeropuerto Internacional

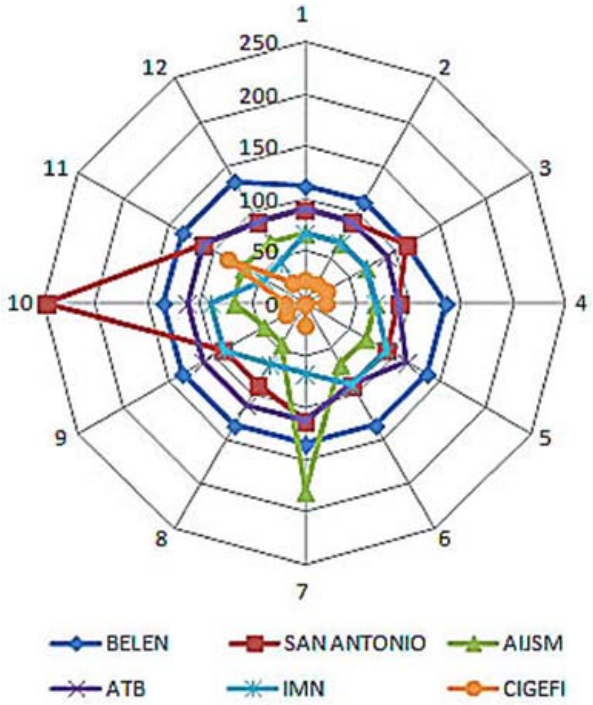


Figura 2. Diagrama de rosa de los vientos de la dirección dominante mensual del viento (°) para los doce meses del año.

Juan Santamaría (AIJSM) presenta dirección este noreste (ENE) desde el mes de octubre hasta junio, con dirección suroeste (SO) en julio y dirección noreste (NE) en agosto y setiembre. La estación del IMN muestra una dirección del viento ENE entre enero y abril, julio y agosto, con valores E en mayo y junio además de setiembre y octubre, así como NE en noviembre y diciembre. La estación CIGEFI muestra dirección dominante nor-noreste (NNE) durante la mayor parte del año, con norte (N) en mayo, junio y agosto, y de E en noviembre.

Al analizar la distribución mensual de la velocidad del viento en una estación ubicada a barlovento de la incursión de los Alisios al Valle Central, Castro y Campos (1992) encuentran una mayor frecuencia de dirección E entre enero y mayo, producto de la aceleración del viento en el Valle Central, lo cual se puede evidenciar en la figura 2. Por otra parte, en un estudio de la estación ubicada en el Aeropuerto Juan Santamaría, Zarate (1978) observa que desde diciembre hasta

abril para todas las horas del día predominan los vientos Alisios.

La figura 3 muestra la distribución a nivel diario de la dirección dominante del viento, para un mes reducido a 28 días, con el fin de igualar la cantidad de días para todos los meses de año. En la estación del IMN varía entre NE, ESE y E; el AIJSM muestra solamente dirección ENE, mientras que el Aeropuerto Tobías Bolaños presenta direcciones muy variables entre E y ESE y Belén presenta únicamente dirección SE. San Antonio por su parte mantiene direcciones principalmente E, mientras el CIGEFI presenta dirección dominante NNE.

En la figura 4 se aprecia la dirección dominante del viento a nivel horario. La estación de San Antonio muestra en su mayoría dirección E, con dos cambios de viento ESE de 8 am a 12 md y de 5 pm a 6 pm. Belén presenta dirección dominante SE, mientras que para el IMN domina la dirección ENE. El Aeropuerto Tobías Bolaños mantiene dirección dominante ESE de las 9 am a las 8 pm, con ENE de 10 am a 4 pm y E a las 9 am así como de 5 pm a 8 pm. El IMN modela dirección E desde la 1 am hasta 5 am, con NE de 8 am a 10 am y de 1 pm a 4 pm, viento NNE a las 11 am y 12 md, con ENE a las 6 am y de las 5 pm en adelante. El CIGEFI mantiene dirección dominante N a las 8 pm y de 10 pm a 6 am, con valores NNE de 9 am a 7 pm con dos horas en dirección E a las 7 am y 8 am.

Resumiendo del análisis realizado por Zarate (1978), para el caso de los vientos provenientes del Mar Caribe hacia el Valle Central, en la estación de Limón, que representa a la vertiente del Caribe se tiene caracterizado el viento horario en superficie por los siguientes dos sistemas: la brisa de tierra a mar durante la noche presenta viento con direcciones dominantes SO y oeste (O), a partir de las 20 horas, con velocidades débiles de entre 1 km/h y 10 km/h. Durante el día, entre las 10 y 18 horas el viento es dominante del norte (N), NE y E, con velocidades entre 11 y 27 km/h.

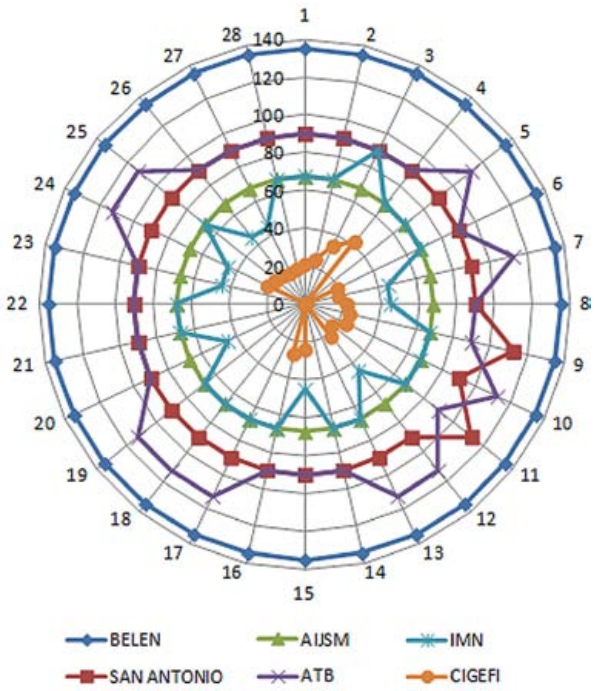


Figura 3. Diagrama de rosa de los vientos de la dirección dominante diaria del viento (°) para un mes de 28 días.

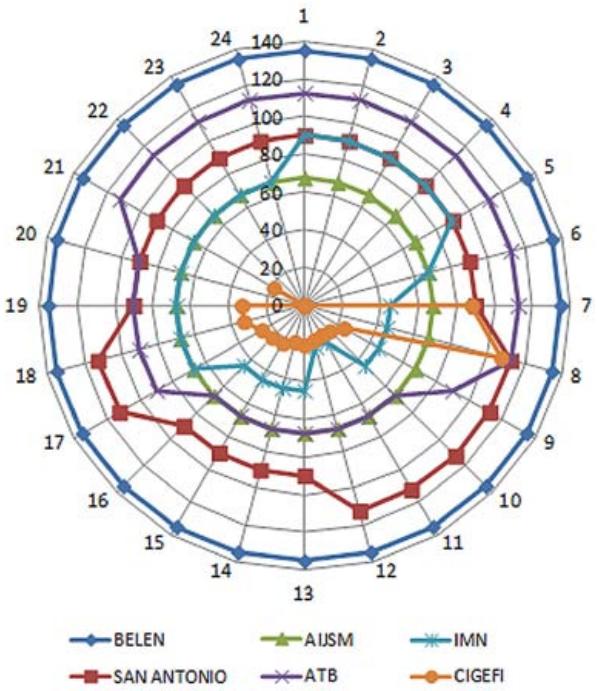


Figura 4. Diagrama de rosa de los vientos de la dirección dominante horaria del viento (°) para las 24 horas del día.

Al analizar la estación de Cobal, Zarate (1978) logra comprobar que en ésta no se aprecia la influencia de la brisa nocturna de tierra a mar que si se ve claramente en Limón, a pesar de estar a 45 km en línea recta, lo cual implica que las dimensiones horizontales de dicha brisa son de corto alcance.

Para el caso del viento procedente del Océano Pacifico, Zarate (1978) analizó la estación de Puntarenas y halló una distribución casi opuesta al caso de Limón. Durante las noches predominan los vientos del N, NE y E a partir de las 19 horas que se asume pertenece al campo de vientos Alisios, además de la componente del este de la brisa nocturna de tierra a mar, mientras que durante las mañanas prevalece el viento con dirección sur (S) y SO, debido a la brisa de mar y los oestes ecuatoriales. En la época seca entre los meses de noviembre a abril, los vientos se deben a la brisa marina. Durante la época lluviosa se presentan una combinación de oestes ecuatoriales y brisa de mar, donde la brisa de mar deja de actuar al caer el sol y los oestes ecuatoriales actúan hasta altas horas de la noche.

En el caso del Valle Central la brisa de montaña posee direcciones de N y NE, por lo que la brisa de valle presenta dirección S y SO. Como es conocido, las brisas de montaña ocurren en horas de la madrugada, mientras que las brisas de valle suelen ocurrir durante la mañana. Castro y Campos (1992), justifican la ausencia de brisa de valle pasadas las dos de la tarde en la época lluviosa, debido a las precipitaciones.

La figura 5 se presentan los datos de velocidad promedio del viento a nivel mensual. Las velocidades más altas se obtienen para todas las estaciones durante los meses de noviembre a abril. El IMN y el CIGEFI muestran las velocidades más bajas de las seis estaciones, con máximos absolutos de 3,5 m/s y 4 m/s en febrero. Por el contrario la estación de Belén tiene valores máximos de noviembre a enero, siendo la estación que posee las mayores velocidades. Pavas, AIJSM y San Antonio, presentan una distribución mensual muy similar con un incremento durante el mes de julio, el mínimo en octubre y máximos de enero a marzo.

En la figura 6 se puede observar la distribución promedio diaria de la velocidad del viento. Las estaciones de San Antonio, Pavas y AIJSM, presentan distribuciones similares con valores que rondan los 3,9 m/s, 4,5 m/s y 4,2 m/s respectivamente. Belén tiene los valores más altos, los cuales se mueven alrededor de 5,2 m/s. El IMN y el CIGEFI muestran los valores más bajos, que oscilan entre 2,6 m/s y 2,8 m/s, lo que puede deberse a la diferencia de elevación de más de 2.000 m respecto a las restantes estaciones.

Zarate (1978) logró concluir que las velocidades del viento más altas se dan durante las horas diurnas

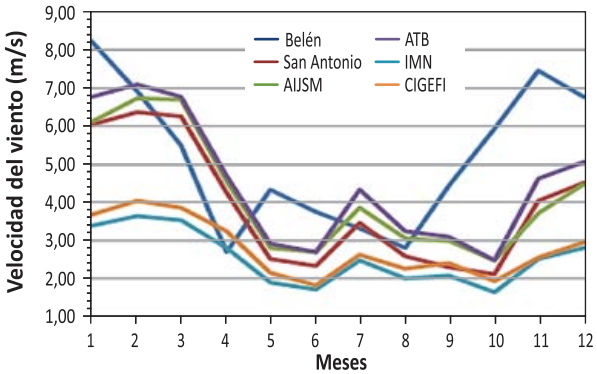


Figura 5. Velocidad promedio mensual del viento (m/s).

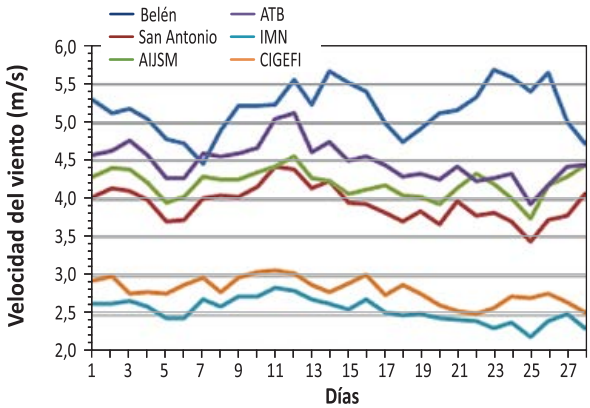


Figura 6. Velocidad promedio diaria del viento (m/s).

de la época seca, mientras que por las noches las velocidades son bajas debido a la disminución del gradiente térmico. Se puede notar, que durante las horas diurnas, en el mes de febrero, se acelera el viento debido al desplazamiento hacia el trópico de los anticiclones semipermanentes y migratorios del norte.

3.2. Análisis de la temperatura

Ya que la temperatura también influye en el cálculo de la sensación térmica, se procesaron los datos de la temperatura del aire promedio a nivel mensual (figura 7) y diario (figura 8).

A nivel mensual las temperaturas promedio de las estaciones Aeropuerto Tobías Bolaños, San Antonio mantienen un comportamiento y valores similares, con extremos de 21°C y 23°C. El AIJSM y Belén

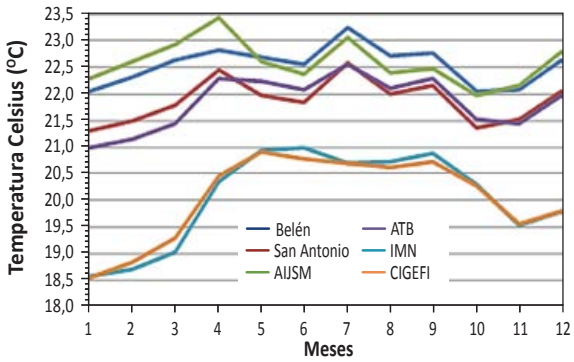


Figura 7. Temperatura promedio mensual (°C).

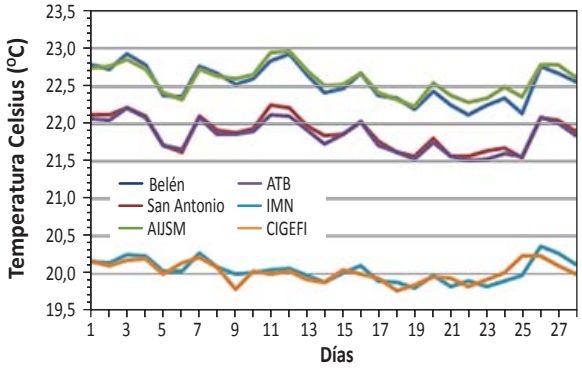


Figura 8. Temperatura promedio diaria (°C).

presentan los valores más altos y una distribución parecida con excepción del mes de marzo donde el máximo lo tiene AIJSM, sus valores extremos son de 22°C y 23°C. Las cuatro estaciones tienen máximos relativos entre marzo/abril, junio/julio y agosto; con su mínimo en enero. El IMN muestra la misma distribución de CIGEFI, con valores casi idénticos, con su máximo entre abril y agosto, sus valores extremos son 19°C y 21°C. Estas dos estaciones presentan una distribución muy diferente, lo que se debe principalmente a la diferencia de elevación respecto de las otras cuatro estaciones analizadas y la influencia del Paso de la Palma.

A nivel diario la distribución de la temperatura es muy estable para las series, donde dos grupos de estaciones mantienen prácticamente los mismos valores entre sí, estas son: Belén y AIJSM, con valores que rondan los 22,5°C, así como Pavas y San Antonio, con valores alrededor de los 22°C, mientras que IMN y CIGEFI muestran valores de 2°C menos que el resto.

3.3. Análisis de la sensación térmica

Finalmente, se utilizan los datos de temperatura y velocidad del viento a nivel horario para calcular la sensación térmica (figuras 9 a 13) de cada una de las estaciones meteorológicas utilizadas, con el fin de ver qué tanto afectan los pasos de montaña la percepción de la temperatura, debido al efecto del aceleramiento del viento.

Para las estaciones analizadas los máximos de la sensación térmica se presentan durante las horas que rondan el medio día, donde el valor más alto de 27°C de sensación térmica lo alcanzan las estaciones de AIJSM y Aeropuerto Tobías Bolaños.

AIJSM presenta un mismo valor de sensación y temperatura al medio día, separándose ambas curvas durante el resto del día. La velocidad del viento se mantiene entre 3 m/s y 5,5 m/s, con su máximo de 12 a 13 horas. La temperatura

se muestra entre 20°C y 27°C, y la sensación entre 18°C y 27°C. Al mostrar el viento valores fluctuantes entre medios y altos, se obtiene una curva de sensación con valores inferiores a los de la temperatura.

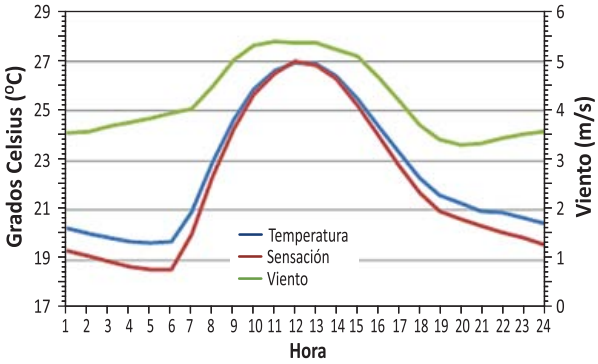


Figura 9. Gráfico compuesto de temperatura (°C), sensación térmica (°C) y velocidad del viento (m/s) a nivel horario. Estación 84169 - AIJSM.

La estación de Belén muestra una curva de sensación térmica que varía entre 17°C y 26°C. La distribución horaria de la velocidad del viento ronda los 4,5 m/s y 5,5 m/s. La temperatura horaria se mueve entre 20°C y 27°C. La brecha entre las curvas de temperatura y sensación rondan los 2°C, esto se debe al aporte poco variable y valores altos de la velocidad del viento.

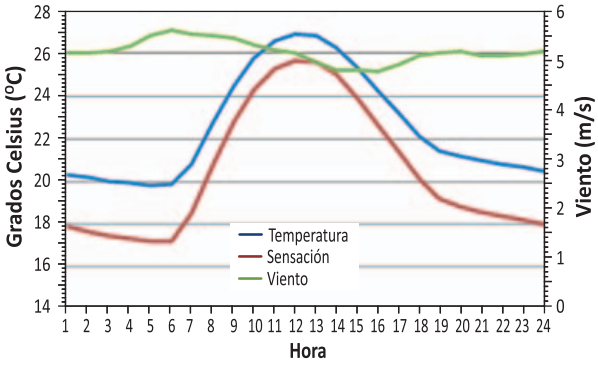


Figura 10. Gráfico compuesto de temperatura (°C), sensación térmica (°C) y velocidad del viento (m/s) a nivel horario. Estación 84199 - Belén.

San Antonio mantiene una sensación térmica de entre 20°C y 27°C. El viento oscila entre 3 m/s y 5 m/s, con su máximo a las 9 horas y la temperatura fluctúa entre 19°C y 25°C.

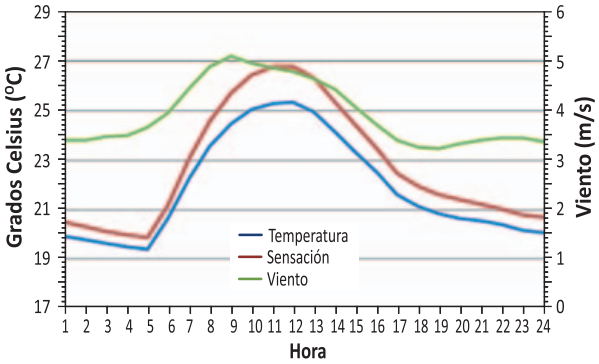


Figura 11. Gráfico compuesto de temperatura (°C), sensación térmica (°C) y velocidad del viento (m/s) a nivel horario. Estación 84142 - Planta San Antonio.

La sensación térmica para la estación Aeropuerto Tobías Bolaños posee valores de entre 19°C y 27°C. La velocidad del viento se mantiene entre 4 m/s y 6 m/s, con un máximo sostenido entre las 9 y 14 horas, mientras la curva de temperatura horaria se da entre 19°C y 26°C.

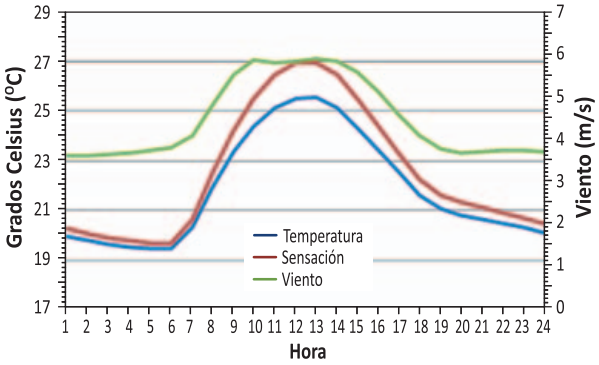


Figura 12. Gráfico compuesto de temperatura (°C), sensación térmica (°C) y velocidad del viento (m/s) a nivel horario. Estación 84193 - ATB.

Para el caso del IMN, la sensación térmica varía entre 18°C y 24°C. La dirección del viento ronda de 2 a 4 m/s, con su máximo a las 13 horas. La temperatura horaria varía entre los 18°C y los 23°C. Se observa que al ser menor la velocidad del viento la sensación es mayor que la temperatura.

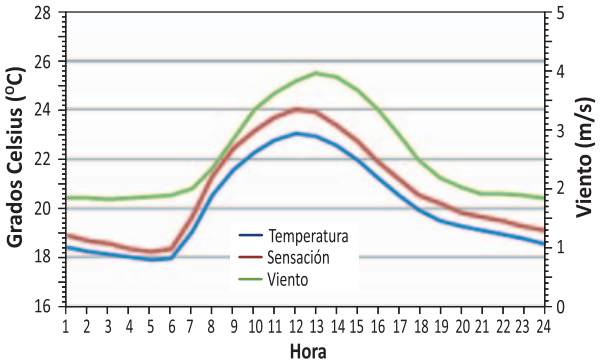


Figura 13. Gráfico compuesto de temperatura (°C), sensación térmica (°C) y velocidad del viento (m/s) a nivel horario. Estación 84141 - IMN.

El CIGEFI muestra valores de sensación térmica que varían entre 18°C y 24°C. La distribución horaria de la velocidad del viento ronda los 1,7 m/s y 5,0 m/s y la temperatura horaria se mueve entre los 17°C y los 23°C.

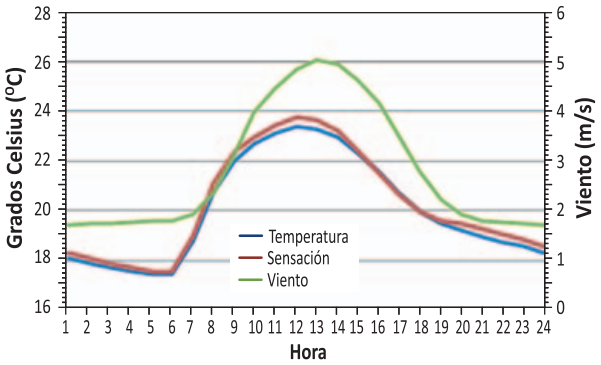


Figura 14. Gráfico compuesto de temperatura (°C), sensación térmica (°C) y velocidad del viento (m/s) a nivel horario. Estación 84136 - CIGEFI.

El cuadro 3 muestra el resumen de los valores extremos y los rangos obtenidos de la sensación térmica, de los seis lugares analizados en el VCO. Las estaciones IMN y CIGEFI presentan la sensación térmica con el valor máximo y rango más bajos, ya que estas estaciones mantuvieron los menores valores de temperatura y velocidad del viento, como resultado de la influencia del Paso de la Palma sobre éstas. El AIJSM, Aeropuerto Tobías Bolaños y San Antonio, mantienen el mismo valor máximo de 27°C al medio día. Belén es la estación que presenta el menor valor mínimo de sensación térmica que es de 17°C, mientras que San Antonio y Aeropuerto Tobías Bolaños muestran el mínimo más alto de 20°C, durante la madrugada.

Cuadro 3. Valores extremos de la Sensación Térmica en el VCO

Número	Nombre	Sensación Térmica (°C)		
		Mínimo	Máximo	Rango
84169	AIJSM	19	27	8
84199	Belén	17	26	8
84142	Planta San Antonio	20	27	7
84193	Aeropuerto Pavas	20	27	7
84141	IMN	18	24	6
84136	CIGEFI	18	24	6

4. Conclusiones

La ubicación geográfica de las estaciones seleccionadas permitió identificar la influencia de los vientos Alisios sobre el VCO, los cuales son acelerados por el estrechamiento que el Paso de la Palma ejerce sobre estos vientos.

Se observan tres patrones bimodales bien definidos de la velocidad y dirección del viento: Belén muestra un patrón dominantemente SE a lo largo del año, lo que se debe al efecto orográfico que provocan los Cerros de Escazú, con los máximos de velocidad del viento que supera los 8 m/s.

San Antonio, AIJSM y Aeropuerto Tobías Bolaños modelan el segundo patrón, con máximos de hasta 7 m/s. En San Antonio las direcciones del viento varían entre E y ESE para ambas épocas seca y lluviosa, lo que se debe a la interacción del viento con la orografía que rodea a dicha estación conocida como Paso de la Palma y Cañón del Virilla, y con dirección OSO en octubre debido al ingreso del viento Pacifico a la región. Para AIJSM dominan los vientos ENE tanto en la época seca como lluviosa, esto se debe a la interacción del

viento procedente del Caribe tras atravesar la cordillera mediante el Paso de la Palma cerca de las faldas del Volcán Barva, y con dirección S en julio tras la incursión del viento procedente del Pacifico. La estación de Pavas presenta dirección E en la época seca debido al efecto del viento Caribe tras el Paso de la Palma, así como dirección ESE en la época lluviosa dado por la incursión del viento procedente del Pacifico.

El tercer patrón es representado por IMN y CIGEFI, con velocidades máximas de 4 m/s, donde IMN presenta dirección dominante ENE en la época seca por el viento Alisio acelerado, con fluctuaciones E, ENE y NE, durante la época lluviosa cuando el Alisio disminuye su intensidad. Por su parte, el CIGEFI muestra dirección dominante NNE durante todo el año. Ambas estaciones deben sus particularidades a la influencia directa de los vientos procedentes del Caribe tras el Paso de la Palma.

La estación de Belén muestra una tendencia Sur a lo largo del año, la cual podría deberse a la influencia que provoca el Cañón del río Virilla en dicha estación al estar ubicada a escasos metros del borde del mismo. Dicha hipótesis no pudo corroborarse debido a la ausencia de instrumental dentro de dicho cañón, donde también influye el efecto orográfico producido por la interacción del viento con los Cerros de Escazú, que se ubican al oeste de la Cordillera Volcánica Central y el ingreso de vientos del Pacifico. La estación de San Antonio, a pesar de su cercanía con Belén, tiene influencia Sur únicamente durante marzo, julio y noviembre. Pavas con direcciones E en la época seca y ESE en el veranillo y época lluviosa. San Antonio y Belén muestran una variación de la velocidad del viento de 3,9m/s en la época seca y de 1,3m/s en la época lluviosa, con rango de temperaturas de 1,3°C y en época lluviosa 0,8°C y 0,5°C respectivamente. Pavas exhibe un rango de 4,8m/s en época seca y 1,8m/s en época lluviosa, con rango de temperaturas de 1,6°C en época seca y 0,8°C en época lluviosa.

De acuerdo con la distribución de la velocidad promedio del viento a nivel mensual, las velocidades más altas se presentan para todas las estaciones durante los meses de noviembre a abril. IMN y CIGEFI muestran las velocidades más bajas entre todas las estaciones, y su máximo valor ronda los 4 m/s en febrero. Belén tiene valores máximos de noviembre a enero, siendo la estación que posee las mayores velocidades de 8,2 m/s. El Aeropuerto Tobías Bolaños, AIJSM y San Antonio presentan una distribución mensual muy similar con un incremento que ronda los 4 m/s durante los meses de junio y julio, su mínimo de 2,5 m/s en octubre y máximos que rondan los 6,5 m/s de enero a marzo.

La temperatura modela dos patrones bien definidos: el primer patrón lo comparten las estaciones Belén, AIJSM, San Antonio y Aeropuerto Tobías Bolaños, donde las dos primeras alcanzan máximos mensuales de 23,5°C y las dos últimas muestran mínimos de 21°C. El segundo patrón lo definen IMN y CIGEFI con extremos mensuales 18,5°C y 21°C. La sensación térmica presenta semejanzas al comparar los mismos patrones definidos para la temperatura, donde la relación entre sensación térmica y temperatura, para cada una de las estaciones rondan 1°C. Belén y AIJSM presentan valores de sensación térmica que superan a la temperatura, con extremos de entre 19°C y 27°C. San Antonio y Pavas modelan una sensación térmica superior a la temperatura, con máximos de 26°C y 27°C, y mínimos de 17°C y 20°C, respectivamente. IMN y CIGEFI muestran valores de la sensación térmica mayores en contraste con la temperatura, ambos con extremos de 18°C a 24°C, donde las variaciones de las distribuciones de sensación y temperatura se deben a los valores de velocidad del viento propios de cada estación.

Respecto a la distribución de la sensación térmica, los valores máximos en todos los casos se dan durante el mediodía, respetando a la distribución gaussiana característica de la temperatura, donde el valor más alto de 27°C lo alcanzan las

estaciones de AIJSM, Aeropuerto Tobías Bolaños y Belén. San Antonio muestra la mayor diferencia entre sensación térmica y temperatura de hasta 1,5°C, debido a la mayor velocidad del viento y su constancia a lo largo del día. El AIJSM presenta un mismo valor de 27°C de sensación y temperatura al medio día, separándose ambas curvas durante el resto del día. El IMN, CIGEFI, Pavas y San Antonio tienen la misma distribución horaria de la sensación respecto a la temperatura de 20°C, 20°C, 22°C y 22°C respectivamente, donde ambas curvas casi se alcanzan alrededor de las 6 de la mañana.

Algunas recomendaciones de este estudio son:

- La ubicación de un sensor de velocidad y dirección del viento, así como temperatura dentro del Cañón del río Virilla, para verificar exactamente la influencia que sufre una estación como Belén ubicada cercana del cañón.

- La creación de mapas de dirección y velocidad del viento a nivel diurno y nocturno, diario y mensual, para conocer mejor el comportamiento del viento debido a la geografía propia de Costa Rica.

- Replicar este estudio en otras zonas del territorio nacional, para generar un mejor entendimiento de los microclimas de Costa Rica.

5. Referencias

Zarate, E. (1974). *La convergencia de la brisa de mar del Océano Pacifico con el flujo Alisio dentro del Valle Central*. Costa Rica.

Zarate, E. (1978). *Comportamiento del Viento en Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional. Nota Investigación, N°2.

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.

Castro, V.; Campos, M. (1992). *El clima a sotavento de las montañas de Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional. Nota Investigación, N°2.

WMO (2004*). Guidelines on biometerology and air quality forecasts*. Geneva, Switzerland. WMO/TD No. 1184.

Instituto Meteorológico Nacional

Sitios web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

Instituto Meteorológico Nacional
Fundado en 1888