

Papeles de Geografía

Papeles de Geografía

ISSN: 0213-1781

espin@um.es

Universidad de Murcia

España

Quesada, Marvin E.; Marsik, Matt

Reacciones en la precipitación ante oscilaciones oceánicas en sus temperaturas superficiales:

Depresión tectónica central, Costa Rica

Papeles de Geografía, núm. 59-60, enero-diciembre, 2014, pp. 125-135

Universidad de Murcia

Murcia, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40733715011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

REACCIONES EN LA PRECIPITACIÓN ANTE OSCILACIONES OCEÁNICAS EN SUS TEMPERATURAS SUPERFICIALES: DEPRESIÓN TECTÓNICA CENTRAL, COSTA RICA

Marvin E. Quesada¹ y Matt Marsik
Universidad de Costa Rica

RESUMEN

Se analiza la influencia del evento el ENOS en la precipitación de la Depresión Tectónica Central de Costa Rica, encontrándose que dicha respuesta es diferente, dada la diferencia de temperaturas superficiales entre océano Pacífico y Atlántico. Estos pueden contribuir en mayor o menor grado en la producción de masas de aire cargadas de humedad que puedan llegar hasta esta región. Similarmente, dicha región presenta irregularidades geomorfológicas en las dos principales sub-cuencas Virilla y Grande de San Ramón que contribuyen aún más con las diferencias en los niveles de precipitación, siendo esta reducción en la precipitación aún mayor en la sub-cuenca del río Grande de San Ramón.

Palabras clave: ENOS, sub-cuencas, Virilla, Grande de San Ramón, precipitación, vientos, caudales, Costa Rica.

PRECIPITATION REACTIONS DUE TO OCEANIC OSCILLATIONS IN ITS SURFACE TEMPERATURES: CENTRAL TECTONIC DEPRESSION, COSTA RICA

ABSTRACT

It is analyze the response of the ENSO event regarding the precipitation in the Central Tectonic Depression of Costa Rica. It was found that such response is different given the variation in sea surface temperatures among the Pacific and the Atlantic Ocean. These may contribute, in varying degrees, to the formation of air masses loaded with humidity which may reach this region. Similarly, such a region presents geomorphologic irregularities in

Fecha de recepción: 19 de Febrero de 2014. Fecha de aceptación: 25 de Noviembre de 2014.

¹ Departamento de Ciencias Sociales, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. San Ramón, Alajuela.
marvin.quesada@ucr.ac.cr

two main sub-basins that contribute even more regarding the differences in the levels of precipitation; this reduction is greater in the sub-basin of the Grande de San Ramón River.

Key words: ENSO, Basins, Virilla, Grande San Ramon, precipitation, winds, flows, Costa Rica.

1. INTRODUCCIÓN

Costa Rica muestra una gran riqueza hídrica dado que existe una gran diversidad en sus características climáticas y orográficas, lo que ha permitido que el agua se almacene en zonas montañosas y luego escurra por los ríos hasta las zonas costeras permitiéndose un aprovechamiento en distintas actividades humanas. Sin embargo, en los últimos años la Depresión Tectónica Central ha sufrido un acelerado proceso de expansión urbana. Dicho crecimiento urbano supone grandes presiones sobre ciertos servicios básicos y un fuerte impacto sobre el entorno natural. Dentro de estos impactos, uno de los más serios es el que se ha ejercido sobre el régimen hidrológico. Unido a ello, en ciertos años los caudales de los ríos se ven disminuidos o aumentados a causa de variaciones de índole climatológica.

Varias investigaciones científicas han analizado la interrelación entre la variabilidad hidrológica y el evento denominado el ENOS (El Niño y/o La Niña-Oscilación del Sur). Desde una amplia perspectiva, los caudales y la precipitación podrían tener consecuencias directas en una variedad de aspectos económicos, sociales, ambientales cuando son sometidos a afecciones climáticas. Algunos investigadores (HASTENRATH, 1990; POVEDA Y MEZA, 1997; GEORGE *ET AL.*, 1998; MAGAÑA *et al.*, 1999; ENFIELD AND ALFARO, 1999; WAYLEN AND QUESADA, 2002), han hecho estudios sobre el comportamiento del ENOS, en países tropicales de América. Algunos de ellos han analizado su relación a través de registros de caudales y precipitación.

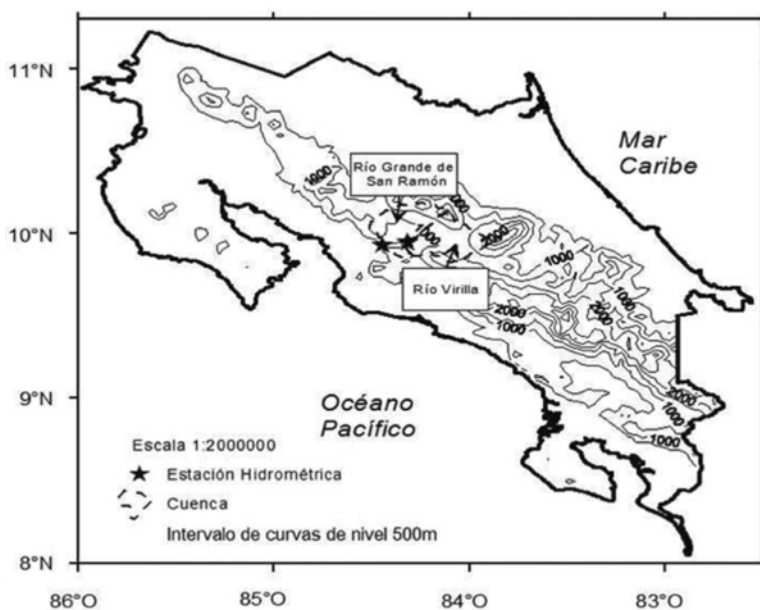
El ENOS manifiesta en algunas regiones excesos de precipitación y en otras mermas. En Costa Rica en la vertiente Pacífica, entre los síntomas que manifiesta el evento el ENOS, durante su fase fría denominada La Niña son abundantes precipitaciones, produciendo incluso inundaciones especialmente en regiones urbanas y agrícolas. En tanto, durante su fase cálida denominada El Niño son mermas en la precipitación, lo que ha afectado los usos de las aguas, especialmente para uso hidroeléctrico. Por ejemplo, la compañía eléctrica de Costa Rica (ICE) obtiene un 70% de su energía eléctrica a partir del agua, incluso la mitad de ella es generada en una represa que se denomina Arenal (GEORGE *et al.*, 1998). Asimismo, son varios los países latinoamericanos que han tenido que recurrir a los llamados «apagones» como medida para ahorrar energía, especialmente durante la época seca, tal es el caso de Colombia, Perú, Nicaragua y Costa Rica, entre otros, inclusive durante los cinco primeros meses del año 2010, dicha eventualidad ocurrió en Venezuela, uno de los países con mayores reservas de petróleo del continente Americano, pudiendo destinar combustibles fósiles para mover las turbinas en lugar de agua, prefirieron ahorrar energía por medio de las suspensiones periódicas del fluido eléctrico.

2. UBICACIÓN DE LA CUENCA EN ESTUDIO

La parte alta y media de la cuenca del río Grande de Tárcoles se ubica en la Depresión Tectónica Central de Costa Rica, donde se localizan tres de las ciudades más pobladas del país y varias ciudades secundarias de importancia, no sólo por su crecimiento demográfico, sino también por sus actividades económicas. Esta cuenca limita al Norte y al Este con la Sección Cordillera Volcánica Central, la cual alcanza altitudes de hasta 3440 m.s.n.m.

Por el Sur se encuentran los cerros de Escazú que tienen altitudes cercanas a los 2000 m.s.n.m. En el Oeste, la cuenca presenta una abertura producto del cañón del mismo río, el cual luego desemboca al océano Pacífico. La cuenca alta y media se divide básicamente en dos sectores; el oriental que es drenado por el río Virilla y el occidental por el río Grande de San Ramón, estos a su vez cuentan con una serie de tributarios que al unirse forman la cuenca del río Tárcoles (Figura 1).

FIGURA 1
Ubicación de los ríos Grande de San Ramón y Virilla.



Fuente: Elaboración propia con base en el Atlas Digital de Costa Rica, 2004.

3. CONDICIONES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON EL ENOS

Desde el punto de vista climatológico, en la vertiente Pacífica de Costa Rica, lugar donde se ubica la cuenca del río Tárcoles, la influencia de los vientos Alisios más intensos ocurren durante el período seco (diciembre a marzo). Sin embargo, de acuerdo con algunas investigaciones realizadas en Costa Rica, dicha influencia no solo ocurre durante ese período

seco. Por ejemplo, FERNÁNDEZ Y RAMÍREZ (1991) aseguran que durante los años de la fase cálida del ENOS (El Niño), se han observado vientos Alisios del Noreste que ingresan por el sector Caribe, los cuales son más fuertes en algunos meses de la estación lluviosa (mayo a octubre) e incluso durante algunos años como en 1972 esos vientos persistieron durante gran parte del año.

Por lo tanto, en esos años de la fase cálida, el régimen de precipitación se altera con respecto a sus valores normales, tanto en su cantidad como en su distribución. Cuando es un año El Niño, la estación lluviosa es irregular y la estación seca siguiente es más cálida y seca que en los años en que ocurre la fase fría (La Niña), en la cual las condiciones parecieran ser totalmente opuestas, mientras que durante los años normales las precipitaciones son más estables, no se presentan diferencias extremas en los niveles de caudal en la vertiente Pacífica (GEORGE *ET AL.*, 1998).

La disminución de la precipitación en la vertiente Pacífica durante los años de la fase cálida del ENOS pareciera estar asociada con la disminución en la velocidad de los vientos provenientes del Oeste (FERNÁNDEZ Y RAMÍREZ, 1991) y por la influencia de patrones de circulación global (WAYLEN Y OTROS, 1996). Esta irregularidad en la precipitación afecta directamente las descargas de los ríos (GEORGE *ET AL.*, 1998; WAYLEN AND LAPORTE, 1999), causando pérdidas considerables en aquellas regiones del país que requieren agua de los ríos para realizar varias actividades indispensables para el ser humano, como son la irrigación, la hidroelectricidad, el consumo doméstico, industrial, comercial, la pesca, abrevaderos, e incluso el campo del turismo se ve afectado.

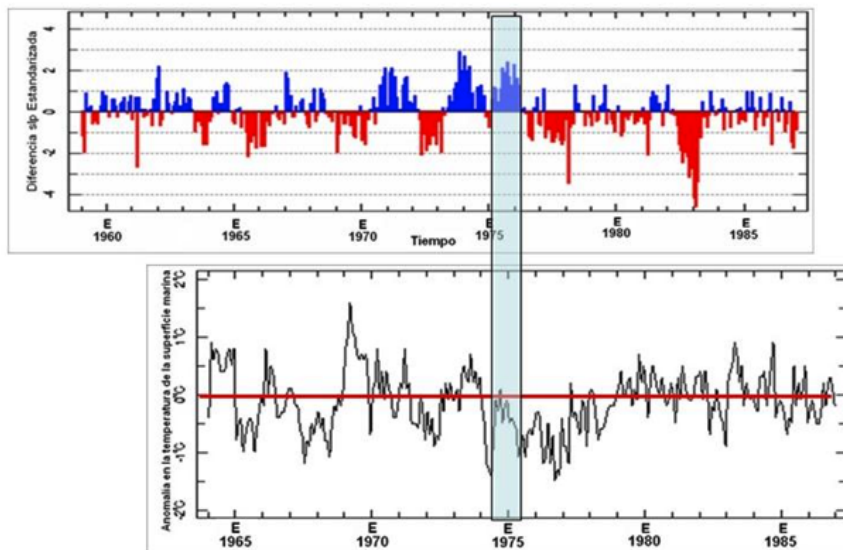
De ahí que analizar los cambios en la precipitación en la Depresión Tectónica Central en forma anual y estacional tenga una gran importancia socioeconómica, dado que todas las actividades mencionadas en el párrafo anterior se desarrollan en esta región.

4. LA PRECIPITACIÓN EN LA DEPRESIÓN TECTÓNICA CENTRAL Y SU RELACIÓN CON EL ENOS

La variabilidad climática que se subsista cuando se empieza a desarrollar el evento el ENOS consiste en lo siguiente: Se inicia a través de los cambios en las temperaturas superficiales del océano Atlántico (TSOA) y del océano Pacífico (TSOP), las cuales varían unos grados centígrados por arriba o debajo de lo normal. Dichos cambios podrían explicar las tendencias que han tenido los caudales en la Depresión Tectónica Central, dado que cuando esa situación ocurre, hay variaciones en la circulación y dirección de los vientos, así como en la presencia de disturbios atmosféricos (WAYLEN AND QUESADA, 2002). Es sabido que a mediados de los años setenta ocurrió un cambio climático a nivel mundial, lo cual se visualiza en la siguiente gráfica. (Figura 2)

En la serie cronológica disponible sobre el Índice de Oscilación del Sur (IOS) (Figura 2) se visualizan tanto, eventos El Niño (Fase Cálida), como eventos La Niña (Fase Fría). Como se puede observar en la gráfica en el océano Atlántico ocurrió un cambio cerca de 1975, con anomalías positivas tempranas en las (TSOA) y anomalías negativas tardías después de 1975. A la hora de interrelacionar el IOS con las temperaturas superficiales de ambos océanos se ha encontrado que existe una fuerte influencia sobre la precipitación de la región Pacífica de Costa Rica (POVEDA AND MEZA, 1997).

FIGURA 2
Serie cronológica del IOS y las TSOA.



Fuente: <http://www.nnmc.noaa.gov/data/indices>

Los análisis de las desviaciones estándar de la precipitación estacional en el contexto de un simple balance de agua podría dilucidar la compleja interacción entre la precipitación y la variabilidad climática en las descargas de los ríos de la cuenca en estudio.

5. MÉTODO DE ANÁLISIS

Con la idea de lograr un estudio exhaustivo del comportamiento de la precipitación en la Depresión Tectónica Central (Sub-cuenca ríos Virilla y Grande de San Ramón), se efectuó un análisis desde el punto de vista estacional, tomando como referencia cinco períodos a través del año, los cuales corresponden con el comportamiento de los principales patrones de circulación general que afectan el área en estudio. Estos se detallan a continuación:

- a) **EFMA.** Este período se manifiesta a partir del mes de Enero hasta Abril y coincide con la incursión de los vientos fríos llamados Los Nortes, los cuales aparentemente son más frecuentes en Costa Rica durante la fase cálida del ENOS.
- b) **MJ.** Este período incluye Mayo y Junio, que precisamente coinciden con la primera máxima de precipitación en la vertiente Pacífica de Costa Rica.
- c) **JA.** Incluye los meses de Julio y Agosto. Aunque se debe considerar a partir de la última semana de junio (veranillo de San Juan), una semana de julio y otra de agosto en años normales. En estos meses se produce una merma en las lluvias en el sector pacífico de casi toda la América Central (MAGAÑA Y OTROS, 1999). La duración de estos períodos depende de la fase en la que se encuentra el evento el ENOS.

- d) **SO.** Este período se manifiesta durante Septiembre y Octubre en el área de estudio y corresponde con uno de los períodos de mayor influencia de la Zona de Convergencia Intertropical, es precisamente cuando se registran las máximas precipitaciones en la región en estudio.
- e) **ND.** Este período se manifiesta entre Noviembre y Diciembre, siendo el primero de estos meses de transición entre la época lluviosa y la seca y el segundo, mes de temperaturas frías y a veces acompañados de lloviznas.

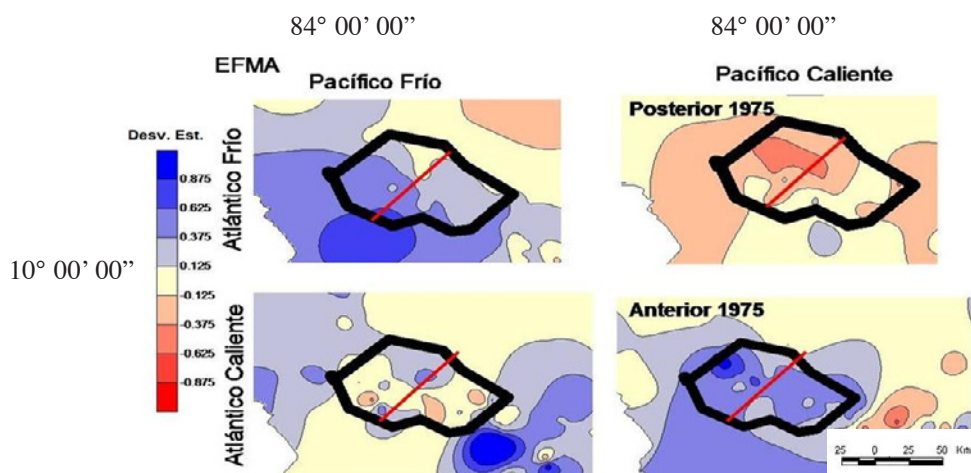
Para efectos de lograr un mayor detalle geográfico en el análisis de la precipitación en el área en estudio se dividió la Depresión Tectónica Central en dos sub-cuencas la del río Virilla y la del río Grande de San Ramón.

6. FLUCTUACIONES EN LAS TEMPERATURAS MARINAS DURANTE LAS FASES DEL ENOS

Los registros en la precipitación entre 1959-1990 muestran una baja precipitación en el período A (EFMA) para la sub-cuenca del río Grande de San Ramón y una ligera desviación positiva para la sub-cuenca del río Virilla. Los registros de aforos reflejan que la precipitación estacional tiene muy poco impacto en las descargas de los ríos, dado que en este momento en ambas sub-cuencas se desarrolla un periodo seco. Sin embargo, si se analiza detenidamente de acuerdo con la fase del ENOS se tiene que durante esa época

FIGURA 3

Precipitación en diferentes condiciones oceánicas en la Depresión Tectónica Central en el periodo de EFMA.



Fuente: Elaboración propia con base en los registros de precipitación suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2009.

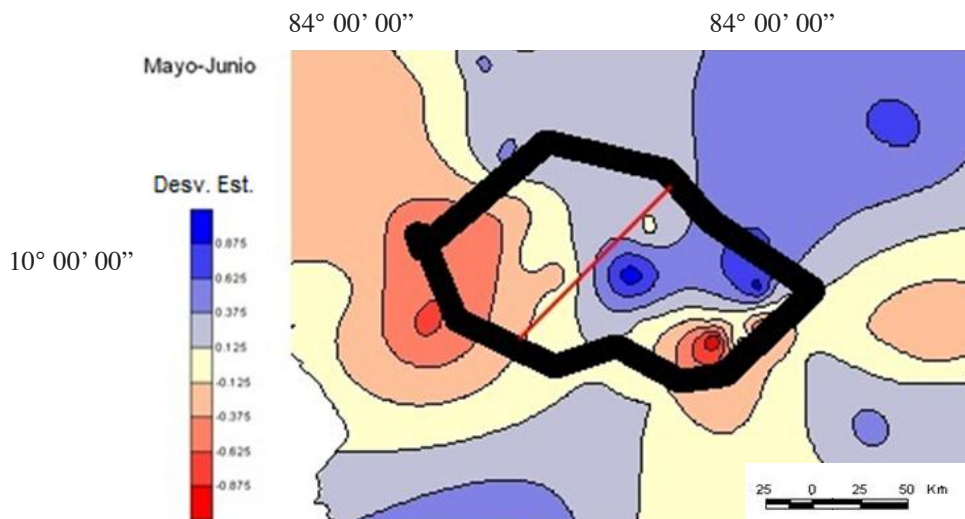
cuando existen un Pacífico Frío con un Atlántico Frío, existe la tendencia a tener condiciones más húmedas (ciertos días con lloviznas) en ambas sub-cuencas, especialmente en la del río Grande de San Ramón.

Cuando el Pacífico está frío y el Atlántico cálido se dan condiciones intermedias entre lluvioso y seco, siendo un poco más lluviosa la parte alta de la cuenca. Sin embargo, al analizar el registro histórico antes de 1975 cuando se tenía un Pacífico cálido con Atlántico cálido, se manifestaron condiciones más lluviosas en ambas sub-cuencas. En tanto, posterior a 1975 cuando el Pacífico estaba cálido y el Atlántico frío se manifestaron condiciones aún más secas, sobre todo en la sub-cuenca del río Grande de San Ramón.

El gráfico anterior muestra la Depresión Tectónica Central dividida en dos sectores: Al lado derecho la sub-cuenca del río Virilla y al lado izquierdo la sub-cuenca del río Grande de San Ramón. Para el periodo **B** (MJ) también ocurren desviaciones negativas en la precipitación debido a la combinación de un Pacífico cálido con un Atlántico frío. La disminución en la precipitación en la sub-cuenca del río Grande de San Ramón, se produce en el sector Suroeste de la sub-cuenca y podría deberse a las características topográficas de la cuenca. Bajo dichas condiciones se da un efecto de sotavento, lo que conduce, más tarde, a la producción de caudales más bajos.

FIGURA 4

Precipitación en la condición Pacífico cálido y Atlántico frío en la Depresión Tectónica Central para el periodo de Mayo-Junio.



Fuente: Elaboración propia con base en los registros de precipitación suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2009.

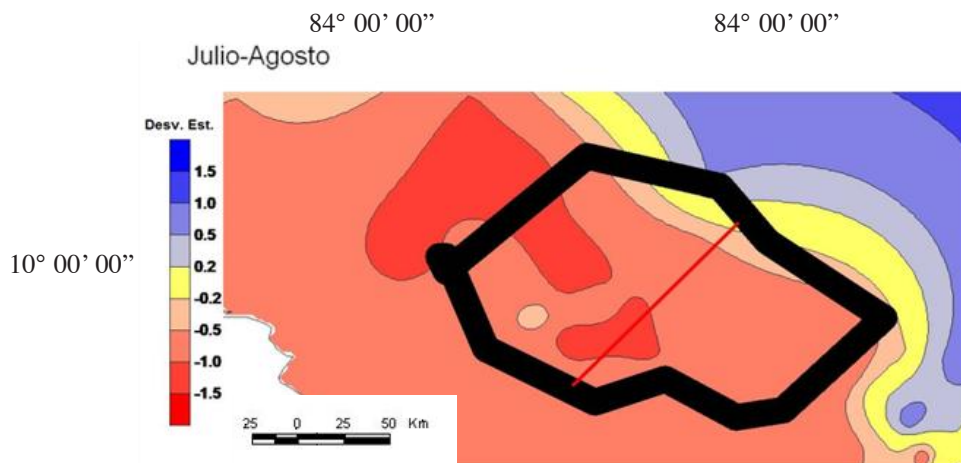
El periodo **C** (JA) (Figura 5) que se distingue normalmente por la presencia del veranillo de San Juan y las canículas ha mostrado ser particularmente muy sensible a la señal de ENOS durante su fase cálida (WAYLEN AND QUESADA, 2002). Cuando se manifiesta un

Pacífico cálido con un Atlántico frío se da una señal de merma en la precipitación que influye, aún más, sobre la sub-cuenca del río Grande de San Ramón. Esto por cuanto esta sub-cuenca se encuentra a sotavento de la Sección de la cordillera Central, aspecto que induce a que se produzcan condiciones más secas.

La disminución en la precipitación en esos meses se da por el alejamiento de la Zona de Convergencia Intertropical hacia el Norte de las latitudes a las que se encuentra Costa Rica. Esto permite que incursione con más intensidad los vientos Alisios del Noreste, ocasionando un efecto de subsidencia sobre ambas sub-cuenclas y sobre todo en la sub-cuenca del río Grande de San Ramón, en aquellos sitios donde existen valles y planicies como es el caso de Palmares, Atenas, Grecia, La Garita, Turrucars, La Guácima, Alajuela, entre otros.

FIGURA 5

Precipitación en la condición Pacífico cálido y Atlántico frío en la Depresión Tectónica Central para el periodo de Julio-Agosto

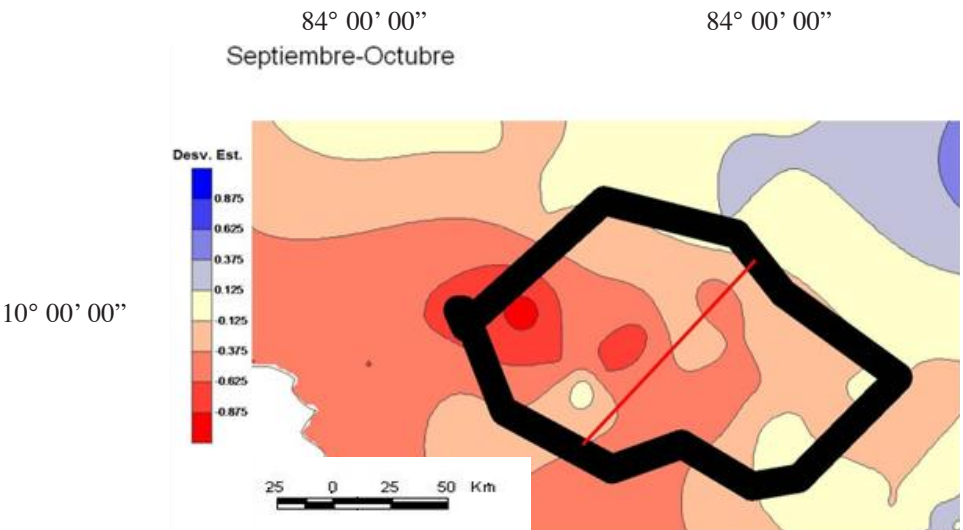


Fuente: Elaboración propia con base en los registros de precipitación suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2009.

Durante el periodo **D** (SO) persiste una condición de una ligera merma en las lluvias en la sub-cuenca del río Grande de San Ramón, a pesar de ser meses muy lluviosos. La sub-cuenca del río Virilla no muestra condiciones tan secas, dada la incursión de masas de aire cargadas de humedad provenientes del Caribe que logran cruzar el sistema montañoso a través del paso inter-montano de La Palma. Aunque, la sub-cuenca del río Grande de San Ramón muestra una mayor respuesta ante dicha condición del evento El Niño, que la del Virilla, las descargas no reflejan que los suelos estén saturados de agua. De ahí que ambas sub-cuenclas tengan una respuesta muy similar (evidenciado por la no linealidad de la respuesta de las sub-cuenclas).

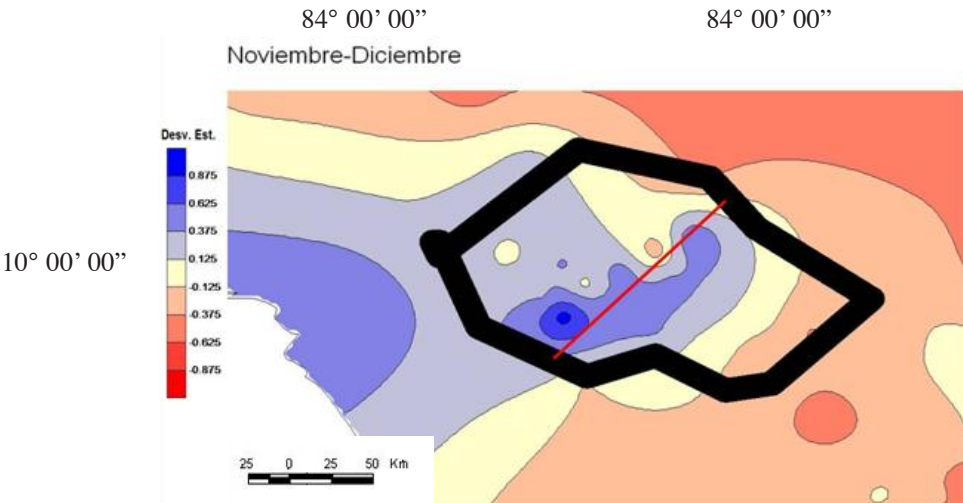
En el periodo **E** (ND) la señal que se manifestó en los meses previos cambió en ambas sub-cuenclas, donde las condiciones pasan de ser secas, a convertirse en relativamente más húmedas. Se da una respuesta positiva ante el ENOS pero con mayor influencia del océano

FIGURA 6
Precipitación en la condición Pacífico cálido y Atlántico frío en la Depresión Tectónica Central para el periodo Septiembre - Octubre.



Fuente: Elaboración propia con base en los registros de precipitación suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2009.

FIGURA 7
Precipitación en la condición Pacífico cálido y Atlántico frío en la Depresión Tectónica Central para el periodo Noviembre - Diciembre.



Fuente: Elaboración propia con base en los registros de precipitación suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2009.

Atlántico Norte. En la sub-cuenca del río Grande de San Ramón no se muestra ningún caudal significativo, sobre todo porque la estación lluviosa en esos meses está terminando. En tanto, el río Virilla tiene una desviación estándar superior, o sea una presencia mayor de precipitación, la cual se explica por la presencia del paso intermontano de la Palma, lugar por donde lograr pasar masas de aire cargadas de humedad aspecto que se visualiza con mayor claridad en los cerros de La Carpintera, cerca del cerro de Ochomogo en Cartago.

Este paso facilita la incursión de los vientos Los Nortes (WAYLEN *ET AL.*, 1998) que proceden de Norte América. Algunas estaciones meteorológicas ubicadas en la parte media baja de la sub-cuenca del río Grande de San Ramón (Fabio Baudrit, Sabana Larga) muestran condiciones de altas precipitaciones durante los meses de Noviembre y Diciembre. Esto es producto de masas de aire provenientes del Caribe y que logran incursionar por dichos pasos intermontanos y que por la ubicación de estas estaciones (zona de confluencia de vientos) se logra producir una mayor presencia de lluvias.

7. CONCLUSIÓN

En síntesis, los análisis estadísticos efectuados indican que ambas sub-cuencas muestran una declinación estadística en las precipitaciones anuales a partir del 1975. Aunque en la sub-cuenca del río Virilla ocurre en menor grado que en la sub-cuenca del río Grande de San Ramón. Después del año 1975 se muestra ese declive en la precipitación. Al darse la fase cálida del ENOS, al estar el océano Pacífico con condiciones de aguas calientes se inhibe la incursión de los vientos provenientes del sector Pacífico y que normalmente influyen entre Mayo y Octubre sobre la vertiente Pacífica de Costa Rica. A parte de ello la presencia de un océano Atlántico Frío contribuye con una menor presencia de lluvias sobre la región en estudio.

A pesar de que ambas sub-cuencas se encuentran adyacentes, la respuesta ante el evento del ENOS es diferente, dada la diferencia de temperaturas entre un océano y otro, lo que conlleva a una menor incursión de vientos que contribuyen en la producción de masas de aire cargadas de humedad que puedan llegar hasta la Depresión Tectónica Central. Similarmemente, las irregularidades geomorfológicas de ambas sub-cuencas contribuyen aún más con las diferencias en los niveles de precipitación en las sub-cuencas, siendo esta reducción mayor en la sub-cuenca del río Grande de San Ramón.

El uso de la tierra existente en ambas sub-cuencas ha mostrado cambios durante los años que se analizaron. A pesar de que no se cuenta con información reciente, se puede deducir que los cambios entre 1992 y 1997 han sido en forma radical en algunos de los usos. Por ejemplo, las áreas bajo bosque, han disminuido considerablemente, sobre todo en la sub-cuenca del río Virilla. Mientras que las áreas residenciales se han expandido considerablemente. La expansión urbanística ha sido principalmente en las partes planas y en 1997 incluso hacia las áreas montañosas.

La presión por ocupar el espacio con fines residenciales es muy fuerte. Esto conlleva a que en periodos de lluvias estas escurran rápidamente hacia los cursos de los distintos ríos de esta sub-cuenca. La presencia de tanta masa urbana podría estar contribuyendo a que durante días cálidos, la evaporación sea alta y coadyuve a la formación de nubes cumulonimbos que luego precipitan en sectores circunvecinos.

En tanto, en la sub-cuenca del río Grande de San Ramón los sectores bajo urbanizaciones han incrementado pero en menor grado, de ahí que no se tengan cambios drásticos en los niveles de caudal. Es a partir de 1975 donde se nota un descenso en los caudales, a pesar de que las precipitaciones se mantienen constantes.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación por el apoyo brindado en el financiamiento del Proyecto de Investigación de la Universidad de Costa Rica. N° 540-A7-027. Asimismo, al profesor Peter R. Waylen por sus sugerencias y comentarios.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ENFIELD, D.B. AND E.J. ALFARO (1999): The Dependence of Caribbean Rainfall on the Interaction of the Tropical Atlantic and Pacific Oceans. *Journal of Climate*, 12, 2093-2103.
- FERNÁNDEZ W, RAMÍREZ P. (1991): EL Niño. La Oscilación del Sur, sus efectos sobre Costa Rica: Una revisión. *Tecnología en Marcha*. Vol. 11: 3-11.
- GEORGE, R. ET AL. (1998): Interannual variability of annual streamflow and the Southern Oscillation in Costa Rica. *Journal of Hydrological Sciences*. 43 (3). <http://www.nmic.noaa.gov/data/indices>.
- HASTENRATH S.L. (1990): Variations in low latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas. *Journal of the Atmospheric Sciences* 33: 202-215.
- MAGAÑA, V., J. A. AMADOR AND S. MEDINA (1999): The midsummer drought over Mexico and Central America, *Journal of Climate*, 12(6), 1577-1588.
- POVEDA, G. AND MEZA, O. (1997): Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large scale oceanic-atmospheric phenomena. *J. Climate* 10, 2690-2702.
- WAYLEN, P., M. QUESADA. (2002) The effect of Atlantic and Pacific sea surface temperatures on the mid- summer drought of Costa Rica, Environmental change and Water Sustainability, *Instituto Panamericano de Ecología, Zaragoza*.
- WAYLEN P. ET AL. (1996): Temporal and Spatial variability of annual precipitation in Costa Rica and the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology* 16: 173-193.
- WAYLEN, P. ET AL. (1998): Rainfall distribution and regime in Costa Rica and its response to the El Niño- Southern Oscillation, *Conference of Latin Americanist Geographers Yearbook*, 24 (1998) pp. 75-84, 75-84.
- WAYLEN, P. AND S., LAPORTE. (1999): «Flooding and the El Niño-Southern Oscillation phenomenon along the Pacific coast of Costa Rica». *Hydrological Processes*, 13, 2623-2638.

