

COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO ESTACIONAL Y SU RELACIÓN CON EL ENOS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO TÁRCOLES, COSTA RICA

*Marvin E. Quesada*¹

RESUMEN

Se analizan las descargas mensuales de tres estaciones hidrológicas ubicadas en la parte alta de la cuenca hidrográfica del río Tárcoles: río Virilla en San Miguel, río Poás en Tacares y río Grande de Tárcoles en Balsa y se establece su relación con El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El régimen de caudales presenta una clara diferencia entre el flanco Oeste (cuenca del río Grande de San Ramón) y el flanco Este (cuenca del río Virilla). La influencia del ENOS es más marcada en la subcuenca del río Grande de San Ramón durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, julio, agosto, setiembre y diciembre, en tanto que en mayo su influencia es menor, mientras que en junio y octubre es nula. En las subcuencas de los ríos Virilla y Poás no existe ninguna relación entre el Índice de la Oscilación del Sur (IOS) y los caudales de los meses de julio, agosto, setiembre y diciembre. Para determinar lo anterior se

¹ Docente e investigador. Apdo. 390-4100. marvinqq@hotmail.com

aplicó un coeficiente de correlación entre los diferentes ríos en estudio y se calcularon los períodos de retorno de 36 meses antes y 36 meses después entre el mes del caudal y el mes del IOS.

Palabras claves: Descargas de ríos, El Niño-Oscilación del Sur, ríos Tárcoles, Virilla, Poás y Grande de San Ramón, Costa Rica.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento del comportamiento de los caudales en una cuenca hidrográfica es imprescindible en la planificación del uso óptimo de los recursos hídricos, los cuales incluyen una variedad de propósitos como son: el consumo humano y animal, la irrigación, el uso industrial, la generación de electricidad, entre otros. Tal información es también indispensable en el diseño de estructuras hidráulicas como puentes, sistemas de alcantarillado, así como en la planificación del uso de la tierra en valles fluviales, la protección de suelos y la provisión de servicios de emergencia, sobre todo en aquellos casos donde existe la probabilidad de inundaciones.

Las descargas de los ríos son el resultado de un conjunto de procesos naturales que actúan a escalas global, regional y local y están sujetas a fluctuaciones temporales en cada una de esas escalas. Frecuentemente, en el proceso de toma de decisiones a largo plazo se requiere información concierne a probables condiciones futuras en las variaciones de caudales. Para ello se tienen que tomar en cuenta modelos de simulación o pronósticos del tiempo, que generalmente son inadecuados para hacer proyecciones a largo plazo. Tales estimaciones son hechas a menudo usando modelos de predicción, que reproducen la estructura probabilística de los registros históricos. Con la idea de dar un aporte científico al comportamiento hidrológico existente en la parte alta de la cuenca del río Grande de Tárcoles, en esta investigación se hace una comparación de las descargas de los tres principales ríos existentes en dicha parte de la cuenca y a partir de allí establecer su relación con el evento ENOS.

2. INFLUENCIA DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LOS CAUDALES

La posición geográfica de Costa Rica, tanto intercontinental como interoceánica, la convierte en un excelente sitio para los estudios hidrometeorológicos. Un ejemplo de ello es la fuerte influencia de patrones de circulación general que afectan constantemente el territorio como son los casos de los

vientos alisios del Noreste, los cuales influyen sobre el país la mayor parte del año y la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual causa copiosas precipitaciones durante una parte del año (Hastenrath, 1990). Los vientos fríos, llamados Nortes, también afectan durante fin y principio del año. Los vientos Oestes ecuatoriales afectan durante una parte del año en especial la vertiente del Pacífico de Costa Rica (Fernández y Ramírez, 1991). Igualmente, de forma espontánea, se manifiestan eventos sinópticos que influyen sobre el territorio costarricense, provocando sobre todo precipitaciones en ciertos sectores del país, asimismo, las diferencias en las temperaturas superficiales de los océanos y mares influyen en la distribución de la precipitación y, por ende, en el comportamiento de los caudales en Costa Rica (Enfield y Alfaro, 1999).

En el Océano Pacífico central durante algunos años se presentan corrientes frías y en otros, más bien éstas son cálidas, a ambas se les ha llamado El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) (Schultz, 1998). Estos cambios se dan en forma repentina y pueden ocurrir, tanto en las temperaturas superficiales del océano como en la presión atmosférica. Dichos cambios se dan específicamente en la sección que va de Australia y Nueva Zelanda hasta las costas de Perú y Ecuador (Ropelewki y Halpert, 1987). Sin embargo, sus efectos se expanden en todo el mundo por medio de las llamadas teleconexiones, las cuales se manifiestan más tarde en sequías, inundaciones, intensas nevadas, entre otros procesos (Quesada y Caviedes, 1992).

Por lo tanto, el ENOS es un evento oceánico-atmosférico que ha sido analizado por varios investigadores, en especial, desde mediados de los años sesenta, en países desarrollados. Estos estudios han sido enfocados desde una perspectiva atmosférica y oceanográfica. Muchos de éstos son a gran escala y muy pocos se han hecho a pequeña escala, sobre todo en el campo de la hidrología. En Costa Rica, entre los trabajos más conocidos, están los de Fernández y Ramírez (1991); Waylen y otros (1994 y 1996); Enfield y Alfaro (1999). Según estos y otros estudios que se han hecho en Centroamérica, Hastenrath (1967 y 1976); Legeckis (1988); Vargas y Trejos (1994); Schultz y otros (1998), han encontrado que el evento El Niño trae sobre la vertiente del Pacífico de Costa Rica una disminución en las precipitaciones, mientras que para el sector del Caribe todavía no es muy conocido su efecto, aunque investigadores como Waylen y otros (1996) consideran que cuando existe una disminución de las precipitaciones en el sector del Pacífico, en el lado del Caribe éstas parecieran aumentar.

En la vertiente del Pacífico de Costa Rica, los vientos alisios son más intensos en la estación seca (diciembre a marzo). De acuerdo con las investigaciones de

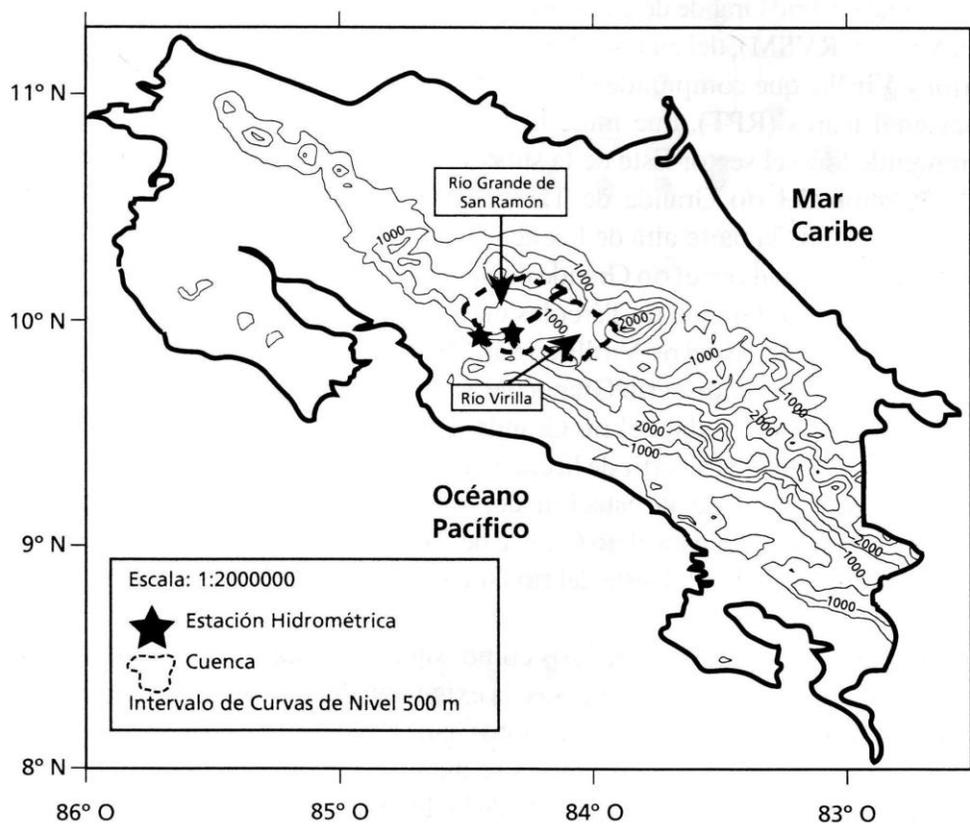
Fernández y Ramírez (1991) durante los años de la fase cálida del ENOS (El Niño), se han observado vientos alisios más fuertes en algunos meses de la estación lluviosa (mayo a octubre), e incluso, durante algunos años como en 1972 esos vientos persistieron durante todo el año. Por lo tanto, durante los 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 en un año sucede el evento de 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 condiciones son más estables, no se presentan diferencias extremas en los niveles de caudal en la vertiente del Pacífico (Waylen y Laporte, 1999).

La disminución de la precipitación en la vertiente del Pacífico 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 y Laporte, 1999), causando pérdidas considerables en aquellas regiones del país que requieren agua de los ríos para irrigar, tales son los casos de la región del Pacífico Norte y la Depresión Tectónica Central. Igualmente, ocurren fuertes racionamientos en los servicios de agua potable en varias comunidades de estos lugares. Esto sucede como consecuencia de las mermas en las precipitaciones y por la consiguiente disminución de la recarga de las fuentes de agua.

En algunos años de la fase cálida del ENOS se han producido descensos en el nivel de los embalses que sirven para la generación de electricidad, como en el caso de los años 1986 y 1987, cuando debido al descenso del nivel del embalse del Arenal, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) se vio obligado a reducir la generación de la planta de ese mismo nombre y como consecuencia en 1987 fue necesario importar energía, con un costo de varios millones de dólares por producción de energía termoeléctrica. Igualmente, las precipitaciones en la Depresión Tectónica Central disminuyeron en un 20% durante la época lluviosa del año 2000 (Waylen y Laporte, 1999; *La Nación*, 2000). En algunos sectores de la parte alta de la cuenca del río Grande de Tárcoles existen varios proyectos para riego, en lugares como Itiquís y Turrúcares, además existen embalses para la generación de electricidad, como son las plantas de La Garita y Electriona, entre otras. De ahí que analizar la variabilidad de las descargas desde un punto de vista espacial y estacional en dicha cuenca tiene una gran importancia socioeconómica.

3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA

La parte alta 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 por sus actividades económicas. Esta cuenca limita al Norte y al Este con la Sección 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 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, éstos a su vez cuentan con una serie de tributarios que al unirse forman la cuenca del Tárcoles (Figura 1).



Los caudales en la cuenca del río Grande de San Ramón se estimaron tomando en cuenta los registros de los ríos Balsa y Virilla, ambos ubicados en el río Tárcoles. Por consiguiente, este estudio usa solamente los años de registro común de esos ríos. Un beneficio adicional es que las relaciones establecidas entre los caudales y el IOS son también basadas en los mismos registros. Algunas diferencias encontradas son el resultado de desigualdades espaciales.

4. DATOS Y METODOLOGÍA

Las estaciones escogidas en este estudio contabilizan cerca de los treinta años de datos de descargas mensuales, información que fue suministrada por el ICE. A pesar de que el patrón de caudales muestra características similares a través de todo el año, a la hora de analizar cada uno de los tres ríos por separado es posible detectar diferencias sustanciales (Figura 2).

Los datos pertenecen a descargas mensuales de tres estaciones ubicadas en la cuenca del río Grande de Tárcoles, las cuales corresponden al río Virilla en San Miguel (RVSM), del cual se obtuvo el drenaje de las subcuencas de los ríos Tiribí y Virilla, que comprende el sector Este de la cuenca del Tárcoles. El río Poás en Tacares (RPT), que mide los caudales de la cuenca del río Poás y comprende todo el sector Este de la subcuenca del río Grande de San Ramón, y la estación del río Grande de Tárcoles en Balsa (RGTB), que mide los caudales de toda la parte alta de la cuenca del río Tárcoles. Aunque no existe una estación ubicada en el río Grande de San Ramón, se utilizó como referencia la estación del río Grande de Tárcoles en Balsa, a la cual se le sustrajeron los caudales de la estación del río Virilla en San Miguel para tener un estimado de sólo el sector que comprende el río Grande de San Ramón. De esta forma se obtuvo una estimación del caudal del río Grande de San Ramón al Oeste (RGSRW), que comprende el área a partir de la cuenca del río Poás. Por último, se sustraen los datos de caudal de la estación del río Poás en Tacares (RPT) de las estimaciones obtenidas para el río Grande de San Ramón (RGSR) y se obtuvieron los caudales para el sector Oeste del río Grande de San Ramón (Figura 3).

Algunos aspectos geográficos como son la irregularidad topográfica, la presencia de pasos entre las montañas, la extensión de las subcuencas, el uso de la tierra, así como la influencia de distintos patrones de circulación atmosférica, hacen que en una cuenca hidrográfica se manifiesten diferencias sustanciales en el régimen de los caudales. En vista de la diversidad geográfica existente en la parte alta de la cuenca del río Grande de Tárcoles se da la posibilidad de encontrar diferentes caudales a través de las distintas subcuencas, los cuales a

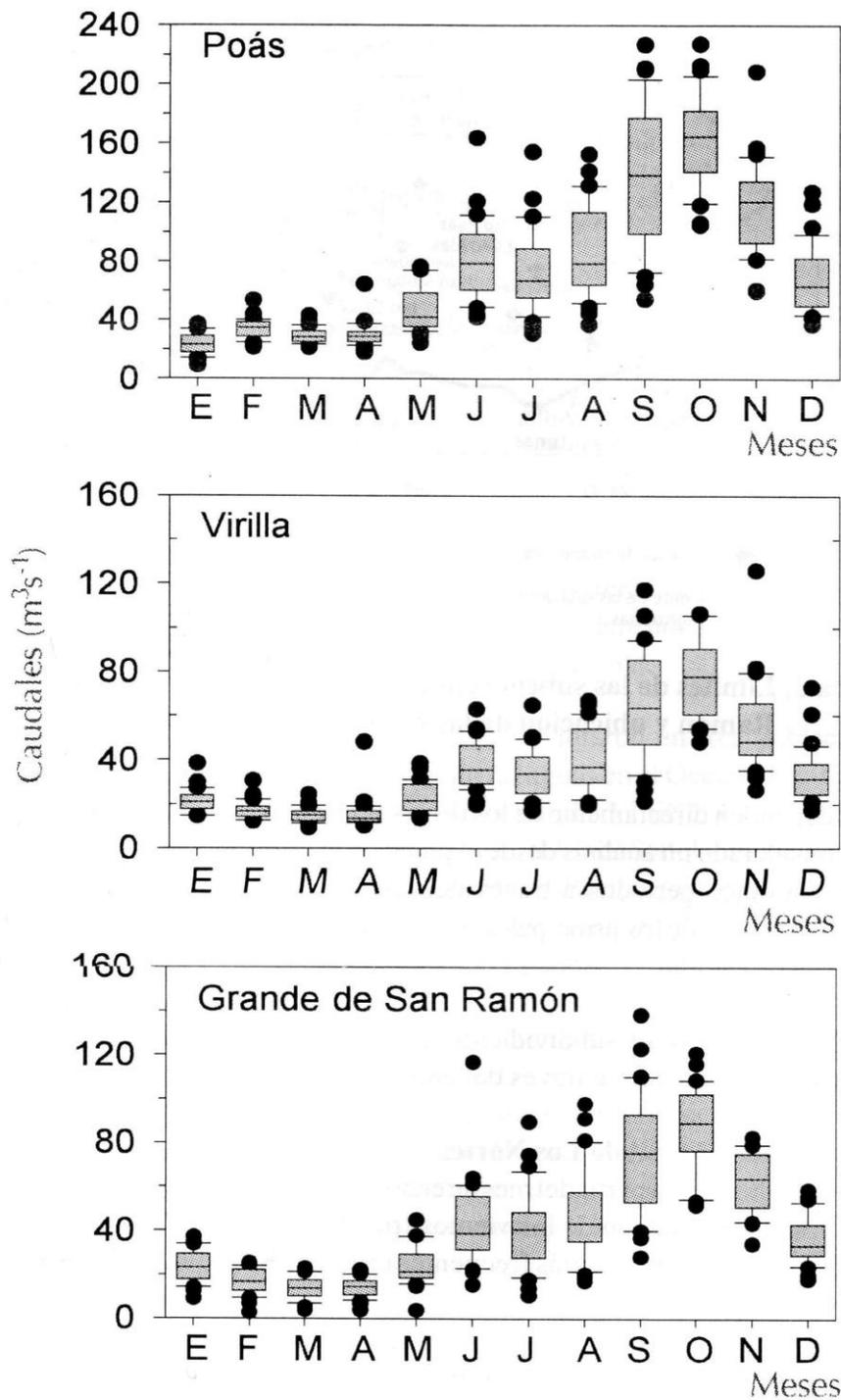


Figura 2. Comportamiento mensual de los caudales en las subcuencas de los ríos Poás, Virilla y Grande de San Ramón

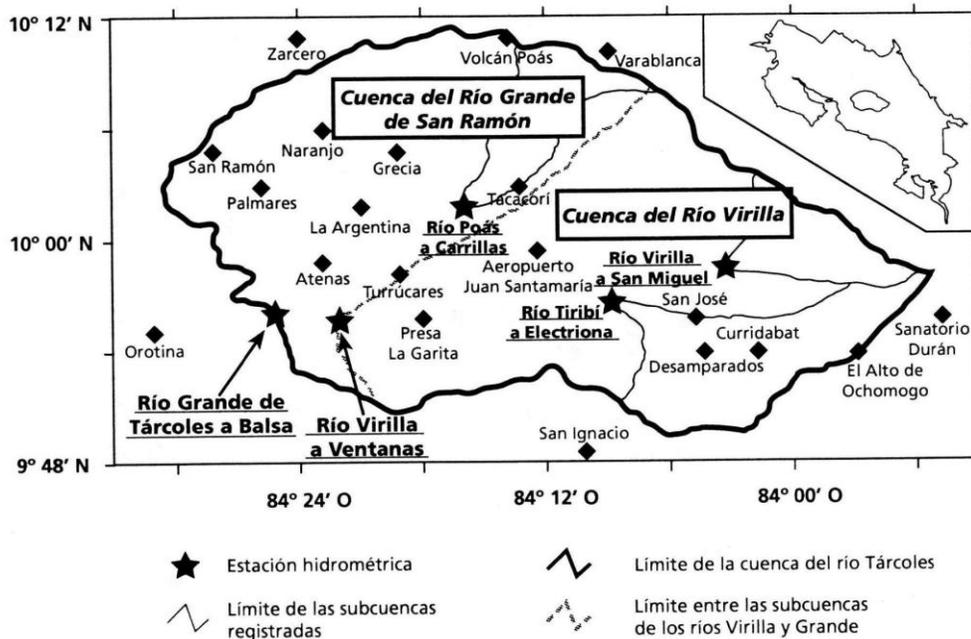


Figura 3. Límites de las subcuencas de los ríos Virilla y Grande de San Ramón y ubicación de las estaciones hidrométricas

su vez dependen directamente de los diversos períodos del año. Es por ello, que se ha considerado 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 la cuenca en estudio.

Los períodos se subdividieron en cinco, con la finalidad de obtener diferencias sustanciales a través del año, éstos se detallan a continuación:

a. Período al final de Los Nortes

Se manifiesta a partir del mes de enero hasta mediados de mayo y coincide con la penetración de los vientos fríos llamados Los Nortes, los cuales aparentemente son más frecuentes en Costa Rica durante la fase cálida del ENOS.

b. Período de Los Preveranillos

Se manifiesta durante la segunda mitad del mes de mayo y en junio, que precisamente coinciden con la primera máxima de precipitación en la parte alta de la cuenca del río Grande de Tárcoles.

c. Período de Los Veranillos

Se manifiesta a mediados de cada año, básicamente entre la última semana de junio, una semana de julio y otra de agosto, se produce una merma de las lluvias en el sector del Pacífico de casi toda América Central (Magaña y otros, 1999). La duración de estos períodos depende de la fase del ENOS.

d. Período de Los Posveranillos

Se manifiesta durante los meses de setiembre 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 cuenca en estudio.

e. Período a inicios de Los Nortes

Se manifiesta normalmente entre los meses de noviembre y diciembre y coincide con el inicio de la penetración de los frentes fríos llamados Los Nortes sobre el territorio costarricense. Éstos dependen del tipo de fase del ENOS que se esté registrando en ese momento.

Las series de registros de caudales se dividieron en tres poblaciones estadísticas, una con años normales, cuando las aguas en el Océano Pacífico no son ni cálidas ni frías, otra con años de la fase cálida del ENOS o “El Niño” y la tercera con años de la fase fría o “La Niña” (FloridaStateUniversity http://www.coaps.fsu.edu/research/jma_index1.shtml). Para cada una de las poblaciones se calcularon los caudales anuales mínimos, medios y máximos, también se obtuvieron el valor medio y la desviación estándar.

Se aplicó una prueba de correlación cruzada y de regresión mensual para cada una de las cinco estaciones estimadas. De esta forma, se obtuvieron las asociaciones lineales entre las descargas mensuales de las estaciones de los tres ríos y los valores del IOS recolectados en el Océano Pacífico Ecuatorial. Esto se hizo con el fin de determinar posibles diferencias en los intervalos de tiempo anteriores y posteriores a la ocurrencia de las fases cálida y fría en el área de estudio.

Se tomó cada uno de los meses por separado y se obtuvo la correlación con el IOS. Dicho análisis de correlación se estableció para 73 meses, a los cuales se les considera como lapsos entre el mes del IOS y el mes de ocurrencia del caudal. Para ello se tomaron los 36 meses previos a dicho caudal y los 36 meses posteriores. Para cada mes se elaboraron gráficos, los cuales se encuentran

seguidos uno de otros en su orden mensual, con la idea de lograr una buena comparación. En los gráficos, las barras hacia la derecha indican una correlación positiva (altas descargas durante La Niña y bajas durante El Niño) y las barras hacia la izquierda indican correlaciones negativas (bajas descargas durante La Niña y altas durante El Niño). Las barras en negro indican que existe un nivel de confianza del 95%.

$$F_t = \sum r_i F_i \quad (1)$$

En este caso cada una de las subpoblaciones fue considerada como normalmente distribuida. Se compararon las variancias de cada subpoblación usando una prueba F, con un nivel de confianza de 0.05.

Para determinar la probabilidad de ocurrencia (o bien, de no ocurrencia) de caudales máximos en ambas cuencas se emplearon modelos estadísticos en los registros de caudales diarios. Es así como se determinaron los máximos picos anuales y las crecidas máximas estacionales.

Las crecidas máximas anuales (picos máximos) son definidas como las más altas descargas diarias observadas durante un año. Para determinar la posibilidad de estas crecidas se ha empleado un modelo propuesto por Jenkinson (1955), basado en un estudio pionero sobre el valor extremo de la teoría de Fisher y Tippett (1928), llamado Distribución General de Valores Extremos Generalizados (VEG), que es una distribución de probabilidad acumulada que se muestra de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} F(X \leq x) &= \exp[-\{1 - \kappa(x - \xi)/\alpha\}^{(1/\kappa)}], \dots \dots \dots \kappa \neq 0 \\ F(X \leq x) &= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \dots \dots \dots \kappa = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Esta distribución tiene una base teórica para su aplicación, su flexibilidad se puede ajustar a una variedad de formas de distribución, la cual ha sido recomendada por la National Research Council de los Estados Unidos (1988).

Los modelos estadísticos señalados anteriormente por Rosbjerg et al. (1992) son utilizados para estimar las diferencias en los caudales anuales de las cuencas de los ríos Virilla, Poás y Grande de San Ramón.

5. VARIACIONES ESTACIONALES DE LOS CAUDALES

Una vez determinados los años de fases cálidas y frías del ENOS (Florida State University http://www.coaps.fsu.edu/research/jma_index1.shtml), se puede determinar si estos ríos muestran variaciones notables en las series de años disponibles para cada uno de ellos y de acuerdo con los distintos períodos del año planteados anteriormente. Esto con la finalidad de establecer si el comportamiento de los caudales a través de toda la parte alta de la cuenca en estudio es similar o si hay diferencias entre ellos. Además, se desea conocer si la variación regional en los caudales tiene relación con las fases del ENOS. Por lo tanto, para encontrar detalles desde el punto de vista estacional, el análisis se hace tomando como base los cinco períodos descritos anteriormente.

a. Período al final de Los Nortes

Aunque este período no se manifiesta con la misma intensidad año con año, ya que depende del tipo de fase del evento ENOS existente, cuando se presenta es notoria la influencia de estos vientos sobre ciertos sectores de la cuenca. De acuerdo con el registro de aforos se puede visualizar que la mayor influencia de este patrón de circulación se da en el sector de la cuenca del río Grande de San Ramón, mientras que el sector del río Virilla muestra una señal por completo opuesta. A pesar de que en estos meses es precisamente cuando los caudales son por lo normal bajos en la parte alta de la cuenca del río Tárcoles. Sin embargo, en el sector del río Grande de San Ramón, los caudales muestran un estiaje aún mayor (Figura 4).

b. Período de Los Preveranillos

Solamente un pequeño porcentaje del mes de mayo pareciera estar influenciado por la fase cálida del ENOS, mientras que el mes de junio muestra una asociación muy baja en relación con dicha fase. Esto se da prácticamente en todas las estaciones hidrológicas de los ríos considerados en este estudio. Sólo los ríos Virilla y Poás muestran una buena señal, aunque muy débil. Sin embargo, las estaciones RGSR y RGSRW sí presentan señales más pronunciadas durante el mes de mayo, previo a la ocurrencia de los primeros caudales máximos del año (Figura 5).

c. Período de Los Veranillos

Durante este período se muestra una señal más fuerte de la fase cálida del ENOS. Dicha influencia pareciera extenderse durante los restantes ocho meses,

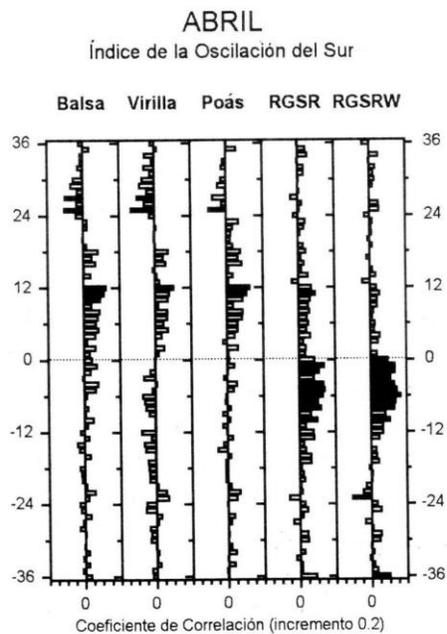
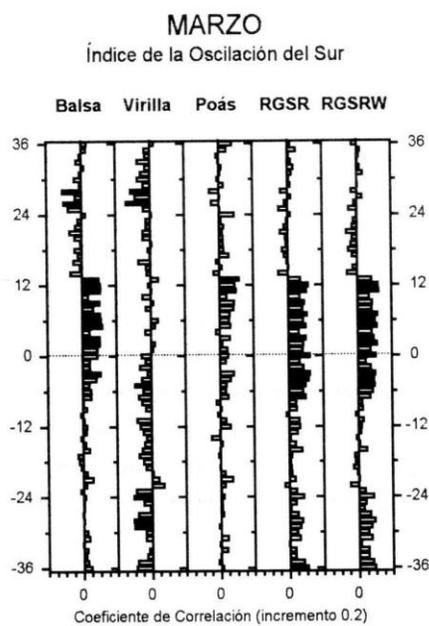
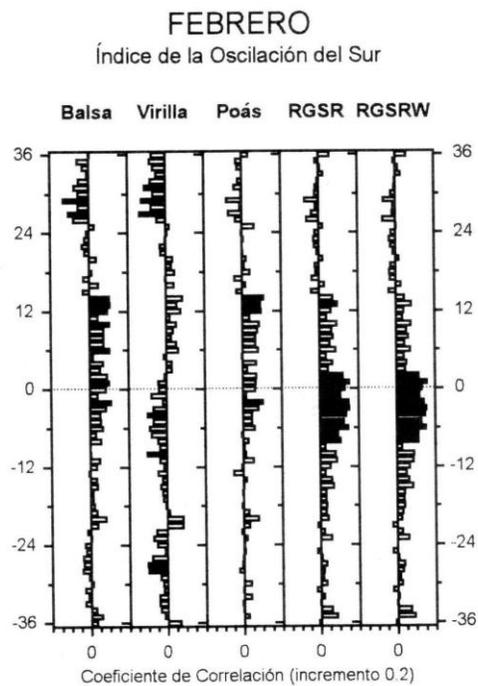
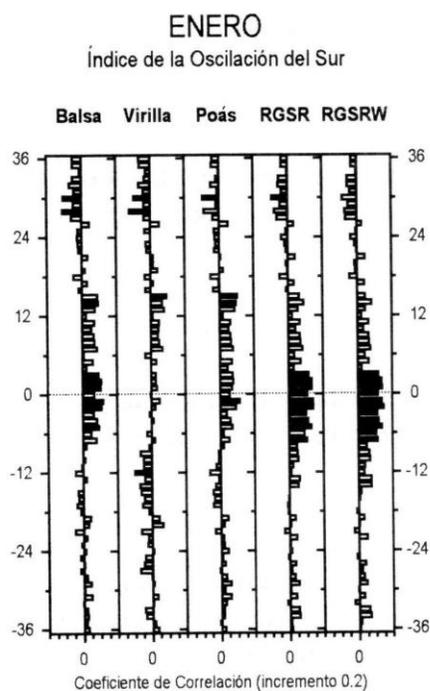


Figura 4. Los Nortes (finales)

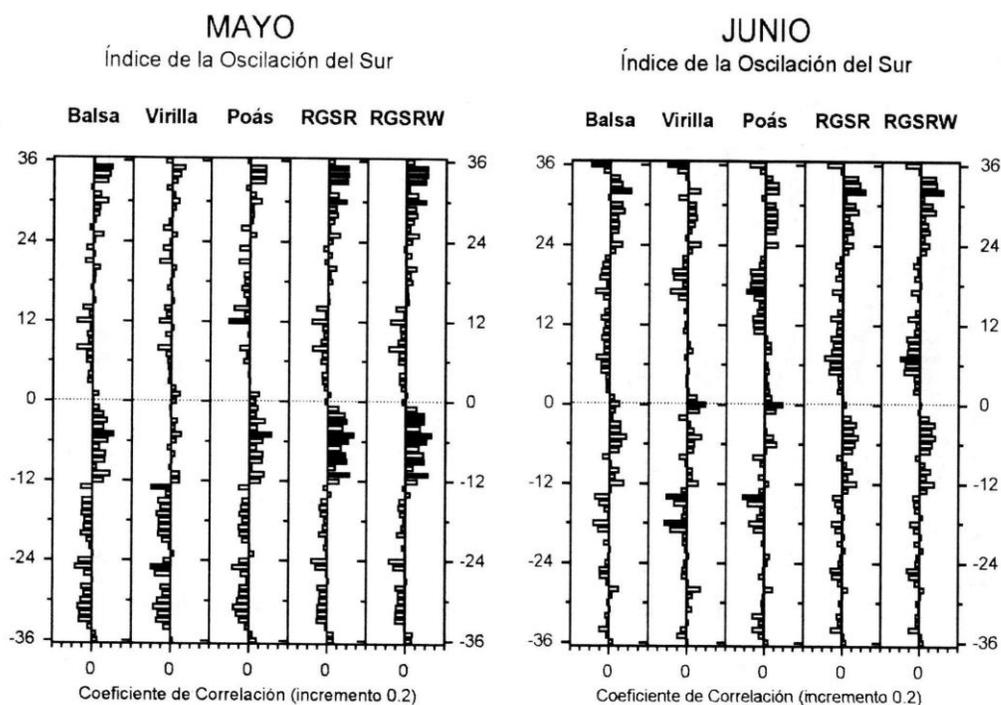


Figura 5. Los Preveranillos

o sea, hasta marzo o abril, que coincide con la típica influencia de El Niño. Prácticamente, todos los ríos en análisis muestran asociación con el evento El Niño. El río Poás es el que presenta una asociación más débil, mientras que el sector de la cuenca del río Grande de San Ramón y su sector ubicado en el extremo Oeste son los que tienen una señal más marcada de la fase cálida del ENOS, la cual se visualiza mayormente durante el mes de julio. Por el contrario, en el mes de agosto todos los ríos muestran una fuerte asociación, sólo es ligeramente débil en el río Poás (Figura 6).

d. Período de Los Posveranillos

Las descargas en setiembre muestran una alta correlación con el IOS. Ésta se da para todos los ríos en estudio en una forma muy similar e inicia cinco meses antes de que ocurra el caudal del período en análisis y se prolonga por cerca de siete meses. El mes de setiembre es el que tiene una mayor correlación y consistencia en las diferentes estaciones de la cuenca del río Tárcoles. Sin embargo, durante octubre la señal de El Niño en las descargas de los ríos es muy

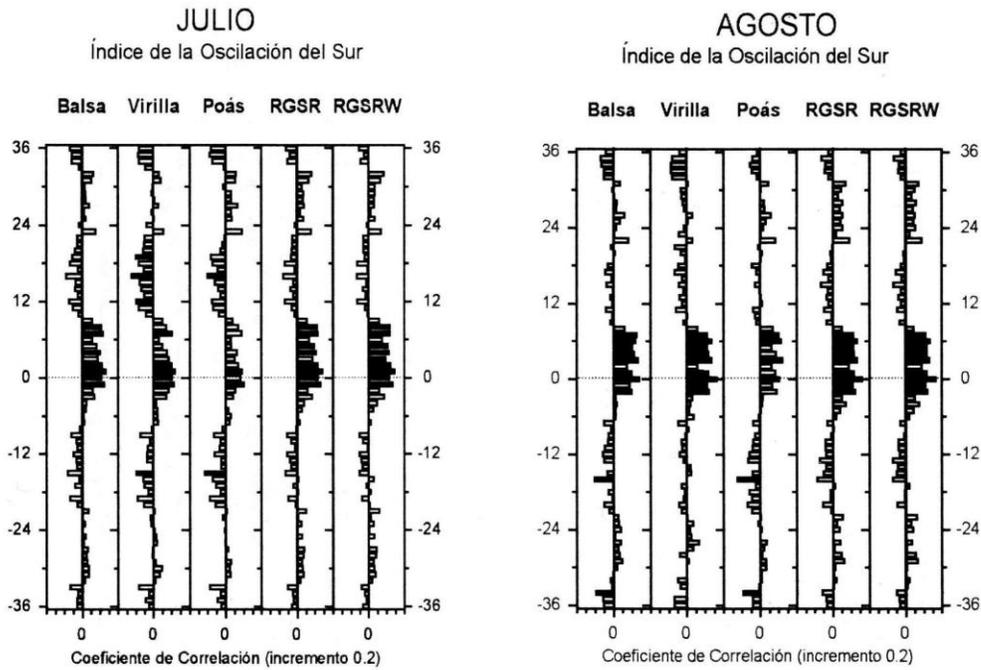


Figura 6. Los Veranillos

débil, solamente las estaciones de Balsa, Virilla y Poás muestran correlación, aunque es baja. Ésta se da durante los tres meses previos a que ocurra dicho caudal, mientras que las estaciones ubicadas en el sector del río Grande de San Ramón no tienen ninguna influencia de la fase cálida del ENOS durante dicho mes (Figura 7).

e. Período a inicios de Los Nortes

En la cuenca del río Tárcoles, la señal de El Niño es más débil en el mes de noviembre que en diciembre. Sin embargo, en noviembre la señal de la influencia de la fase cálida del ENOS se presenta ligeramente en las cuencas de los ríos Virilla y Grande de San Ramón y está ausente en los ríos Poás y Balsa. Durante diciembre dichas señales de El Niño son muy fuertes en las descargas de todos los ríos estudiados. En la mayoría de los ríos esa señal inicia cerca de cinco meses de anticipación y se mantiene aproximadamente por cuatro meses. Todos los ríos muestran una señal de ocurrencia de La Niña, pero después de 19 meses de haber ocurrido el evento de El Niño (Figura 8).

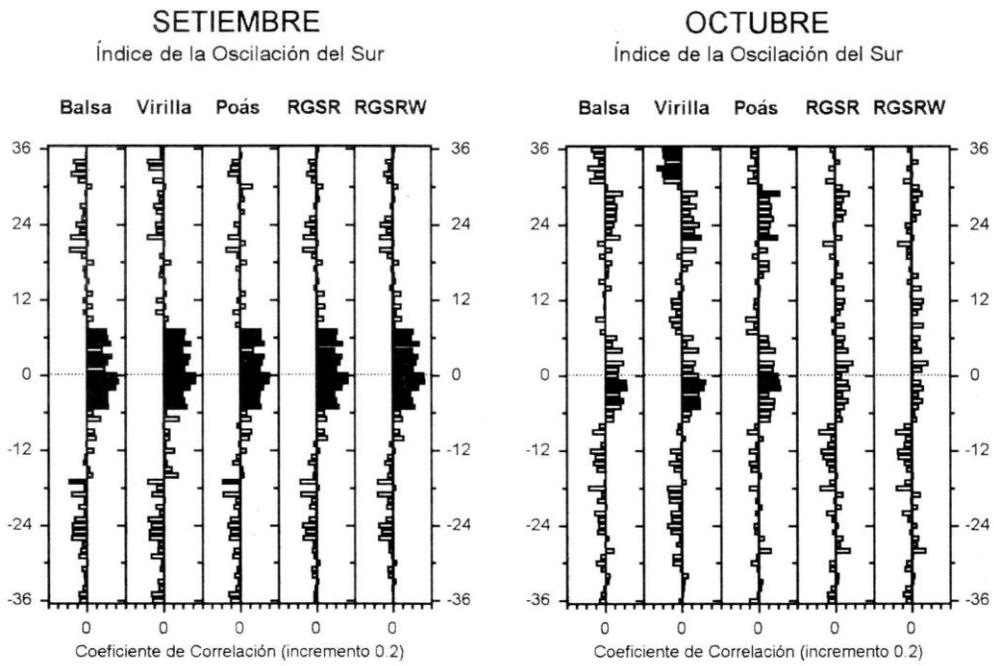


Figura 7. Los Posveranillos

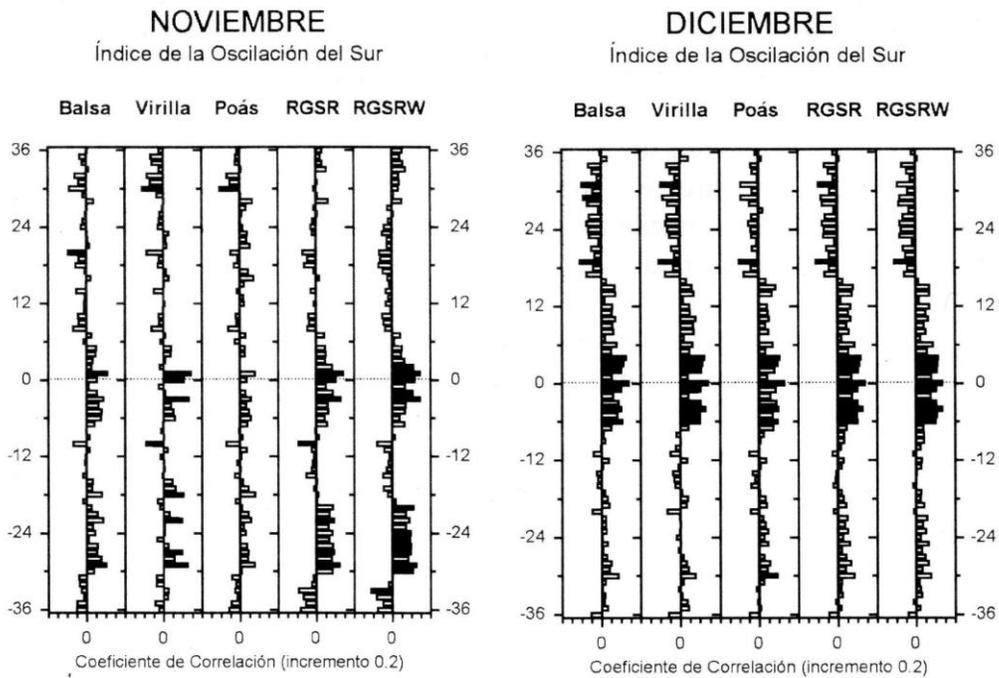


Figura 8. Los Nortes (iniciales)

6. REFLEXIÓN FINAL SOBRE LAS DIFERENCIAS ESTACIONALES DE LOS CAUDALES

El estudio de las descargas de algunos ríos de la cuenca del Grande de Tárcoles pone de manifiesto algunos elementos propios de la circulación atmosférica que influyen sobre Costa Rica, relacionados con el evento del ENOS. Como se ha demostrado algunos de estos ríos muestran caudales más altos durante la fase fría (La Niña) y viceversa durante la fase cálida. Esta característica se resalta especialmente en la cuenca del río Grande de San Ramón.

El análisis estacional de las descargas efectuado sugiere que desde el punto de vista geográfico existe una respuesta ante la señal de El Niño, en especial durante el período de Los Veranillos y durante el mes de setiembre. Similarmente ocurre en los meses que abarcan la época seca en esta región del país como son diciembre, enero, febrero, marzo y abril. Esta señal inicia en algunos meses con anticipación y luego se extiende por otros meses, tales son los casos también de julio, agosto y setiembre. Los datos y las pruebas empleadas no muestran ninguna señal de influencia, tanto de El Niño como de La Niña en junio y octubre, siendo ésta mínima en los ríos Virilla y Poás.

Esta situación pareciera estar fuertemente relacionada con la Zona de Convergencia Intertropical, dado que es alrededor de esos meses cuando se encuentra sobre Costa Rica y su presencia produce copiosas precipitaciones sobre la cuenca del río Grande de Tárcoles. Similarmente, la influencia de los vientos alisios del Noreste y los Oestes Ecuatoriales es determinante en la producción de precipitaciones y, por ende, en la recarga de los ríos en la Depresión Tectónica Central.

Las descargas de los ríos son generalmente más bajas durante El Niño, en noviembre y diciembre, así como en enero, febrero y marzo. Esta situación se da sobre todo cuando existe la influencia de vientos Nortes, los cuales producen un incremento en la precipitación pluvial en el sector del Caribe del país. Por el contrario, al otro lado de la cordillera, en el sector del Pacífico, donde precisamente se ubica la cuenca del río Grande de Tárcoles, se produce un efecto catabático debido a la subsidencia que se manifiesta al pasar los vientos sobre la cordillera, ocasionándolos fuertes sobre la cuenca del Tárcoles y, por consiguiente, un efecto secante sobre dicho espacio geográfico. Esta situación colabora con la disminución en el nivel de los caudales en gran parte de los ríos de la cuenca del río Tárcoles. Solamente pareciera tener un cierto nivel de

influencia en la subcuenca del río Virilla, al encontrarse más cerca del paso de vientos en Ochomogo, por donde eventualmente se canalizan los vientos cargados de humedad provenientes del sector del Caribe, en especial durante noviembre y diciembre y en otros años, en enero, febrero, marzo, abril y una parte de mayo, precipitan a sotavento en el sector de la cuenca del río Virilla y en algunos casos producen aumentos en el nivel de los caudales de dicho río.

Por consiguiente, en la cuenca del río Virilla, además, podrían estar interviniendo algunos aspectos como su extensión, el uso de la tierra (área altamente urbanizada) y la influencia del paso de vientos. Este último aspecto no logra alcanzar al sector de la cuenca del río Grande de San Ramón, dada su lejanía. Aunque podrían darse algunas excepciones que no es posible deducir en este estudio, como es el caso de un pequeño sector de la cuenca en la zona de San Ramón de Alajuela, que está expuesta a un paso por donde se infiltran los vientos provenientes del sector del Caribe, los cuales podrían producir un aumento en los caudales de una pequeña parte del sector Oeste de la cuenca del río Grande de San Ramón en ciertos meses del año.

En síntesis, esta investigación ha mostrado que los caudales pueden variar estacionalmente en una región tan pequeña como la cuenca del río Grande de Tárcoles, aspecto que no se había considerado antes desde un punto de vista hidrológico. Además, se ha señalado que el evento ENOS influye en distinta forma durante los mismos meses en ríos ubicados en distancias relativamente cortas. Un ejemplo de ello lo constituye la fuerte señal de El Niño sobre los ríos ubicados en la subcuenca del río Grande de San Ramón. Asimismo, desde el punto de vista temporal, durante algunos períodos existe una fuerte influencia de El Niño, tal es el caso de los veranillos-canículas a mitad del año.

Por otro lado, las señales de La Niña son relativamente débiles, se visualizan en algunos casos varios meses después de la ocurrencia de El Niño, pero no con la misma consistencia y fortaleza que muestra este último.

7. AGRADECIMIENTOS

Estos datos fueron brindados por los funcionarios del Centro de Servicio Estudios Básicos y el Centro de Servicio Comercialización del Instituto Costarricense de Electricidad. Se agradece, además, al profesor Peter R. Waylen sus sugerencias y comentarios.

8. REFERENCIAS

- Enfield, D.B. and Alfaro, E.J. 1999. "The Dependence of Caribbean Rainfall on the Interaction of the Tropical Atlantic and Pacific Ocean". *Journal of Climate*, 12: 2093-2103.
- Fernández, W. y Ramírez, P. 1991. "El Niño. La Oscilación del Sur, sus efectos sobre Costa Rica: una revisión". *Tecnología en Marcha*, 11: 3-11.
- Giannini, A., Kushnir, Y. and Cane, M. 2000. "Interannual Variability of Caribbean Rainfall, ENSO and Atlantic Ocean". *Journal of Climate*, 13: 297-311.
- Hastenrath, S. 1967. "Rainfall distribution and regime in Central America". *Archiv fur Neteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, serie B Band 15, Heft 3: 201-241.
- Hastenrath, S. 1976. "Variations of low-altitude Circulation and Extreme Events in the Tropical Americas". *Journal of Atmospheric Sciencs*, 25: 2222-2231.
- Hastenrath, S. 1990. "Diagnostics and prediction of river discharge in northern South America". *J. Climate*, 3: 1080-1096.
- Legeckis, R. 1988. "Upwelling off the Gulfs of Panama and Papagayo in the Tropical Pacific, during March 1985". *Journal of Geophysical Research*, 93: 15 485-15 489.
- Magaña, V., Amador, J.A. and Medina, S. 1999. "The Mid-summer drought over Mexico and Central America". *Journal of Climate*, 12, 1577-1588.
- Quesada, M. y Caviedes, C. 1992. "Características estadísticas de algunos ríos de Colombia". *Revista Geográfica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia*. N° 16. Julio-Diciembre.
- Ropelewki, C. and Halpert, M. 1987. "Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation". *Monthly Weather Review*, 115: 1606-1626.
- Schultz, D. et al. 1998. "Planetary and synoptic-signatures associated with Central America cold surges". *Monthly Weather Review*, 126: 5-27.

- Vargas, A. and Trejos, V. 1994. "Changes in the general circulation and its influences on precipitation trends in Central America: Costa Rica". *Ambio*, 23: 87-90.
- Waylen, P., Quesada, M. and Caviedes, C. 1994. "The Effects of the El Niño-Southern Oscillation on Precipitation in San Jose, Costa Rica". *International Journal of Climatology*, 14: 559-568.
- Waylen, P., Quesada, M. and Caviedes, C. 1996. "Temporal and spatial variability of annual precipitation in Costa Rica and the Southern Oscillation. International". *Journal of Climatology*, 16: 173-193.
- Waylen, P.R. and Laporte, S. 1999. "Flooding and the El Niño-Southern Oscillation phenomenon along the Pacific coast of Costa Rica". *Hydrological Processes*, 13: 2623-2638.