



Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana  
de Geografía

ISSN: 0121-215X

rcgeogra\_fchbog@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia  
Colombia

Quesada Q., Marvin E.; Waylen, Peter R.

Diferencias hidrológicas anuales y estacionales en regiones adyacentes: estudio de las subcuencas  
de los ríos Virilla y Grande de San Ramón, Costa Rica

Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía, vol. 21, núm. 2, julio-diciembre, 2012,  
pp. 167-175

Universidad Nacional de Colombia  
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281823592012>

- 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

# Diferencias hidrológicas anuales y estacionales en regiones adyacentes: estudio de las subcuencas de los ríos Virilla y Grande de San Ramón, Costa Rica

Diferenças hidrológicas anuais e estacionais em regiões adjacentes: estudo das sub-bacias dos rios Virilla e Grande de San Ramón (Costa Rica)

Annual and Seasonal Hydrological Differences in Adjacent Regions: A Study of the Virilla and Grande de San Ramon River Basins (Costa Rica)

**Marvin E. Quesada Q.\***

Universidad de Costa Rica, sede Occidente, Costa Rica

**Peter R. Waylen\*\***

University of Florida, Estados Unidos

## Resumen

Se estudiaron los factores influyentes en el comportamiento mostrado por los caudales de las subcuencas de los ríos Virilla y Grande de San Ramón, en la cuenca del río Grande de Tárcoles, Costa Rica. A partir de un análisis estadístico de los aforos de ambas subcuencas y de una prueba de correlación, se encontró que algunos aspectos geográficos (irregularidad topográfica, presencia de pasos entre las montañas, extensión de las subcuencas, uso de la tierra e influencia de distintos patrones de circulación atmosférica) propician diferencias sustanciales en el régimen de caudales. Antes de 1975, el río Grande de San Ramón mostró un número superior a la mediana, y posteriormente un número inferior; mientras que después de 1975, la subcuenca del río Virilla superó la cantidad de caudal del río Grande de San Ramón.

**Palabras clave:** caudales, condiciones atmosféricas, Costa Rica, Grande de San Ramón, Virilla.

## Resumo

Neste artigo, estudaram-se os fatores influentes no comportamento mostrado pelos caudais das sub-bacias dos rios Virilla e Grande de San Ramón, na bacia do rio Grande de Tárcoles, Costa Rica. A partir de uma análise estatística do volume de ambas as sub-bacias e de uma prova de correlação, encontrou-se que alguns aspectos geográficos (irregularidade topográfica, presença de passagem entre as montanhas, extensão das sub-bacias, uso da terra e influência de diferentes padrões de circulação atmosférica) propiciam diferenças substanciais no regime de caudais. Antes de 1975, o rio Grande de San Ramón mostrou um número superior ao da média e, posteriormente, um número inferior; enquanto, depois de 1975, a sub-bacia do rio Virilla superou a quantidade de caudal do rio Grande de San Ramón.

**Palavras-chave:** caudais, condições atmosféricas, Costa Rica, Grande de San Ramón, Virilla.

## Abstract

The article presents the findings of a study of the behavior of the flow rates of the sub-basins of the Virilla and Grande de San Ramón rivers, in the basin of the Grande de Tárcoles River, Costa Rica. On the basis of a statistical analysis of the flow measurements of both sub-basins and of a correlation test, it was found that some geographical aspects (topographic irregularity, presence of passes between mountains, extension of the sub-basins, land use, and influence of different atmospheric circulation patterns) foster substantial differences in the flow regime. Prior to 1975, the Grande de San Ramón River showed a figure above the median and, later, a figure below the median, while after 1975, the flow rate of the Virilla River sub-basin exceeded that of the Grande de San Ramón River.

**Keywords:** flows, climate conditions, Costa Rica, Grande San Ramon, Virilla.

RECIBIDO: 13 DE FEBRERO DEL 2012. ACEPTADO: 28 DE MAYO DEL 2012.

Artículo de investigación sobre los factores que influyen en el comportamiento de los caudales de las subcuencas de los ríos Virilla y Grande de San Ramón, Costa Rica.

\* Dirección postal: Departamento de Ciencias Sociales, sede de occidente, Universidad de Costa Rica.  
Correo electrónico: marvin.quesada@ucr.ac.cr

\*\* Dirección postal: Department of Geography, University of Florida, Gainesville, FL 32611-7315, USA.  
Correo electrónico: prwaylen@geog.ufl.edu

## Introducción

El conocer las diferencias en los caudales en una cuenca hidrográfica es imprescindible en la planificación del uso óptimo de los recursos hídricos, lo que incluye 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 y sistemas de alcantarillado, así como en la planificación del uso de la tierra en valles fluviales, para la protección de suelos y la provisión de servicios de emergencia, sobre todo en aquellos casos en los que existe la probabilidad de inundaciones o de estiajes.

La variación de los caudales de una cuenca hidrográfica particular está relacionado con elementos meteorológicos, con el régimen tropical (presencia de dos periodos estacionales: lluvioso y seco), con los tipos de uso del suelo, con las condiciones de almacenamiento de las aguas subterráneas e, inclusive, con la geomorfología del terreno. Igualmente, es imperativo considerar la conductividad hidráulica de los suelos a diferentes profundidades, así como la frecuencia, intensidad y duración de las precipitaciones (Rowntree et ál. 2003). En los trópicos es común encontrar cursos fluviales que se rebalsan como consecuencia de factores como suelos poco permeables, saturados o con pendientes abruptas producto de las lluvias excesivas y de escasa cobertura forestal.

La conversión de sectores de aptitud forestal para ser utilizados en otros usos, como el agropecuario, urbano e industrial, podría producir cambios drásticos en las condiciones hidrológicas de un río (Bruijnzeel 2004). Al quitarse la vegetación, por lo general el suelo queda desnudo, lo que aunado a precipitaciones intensas causa erosión, escorrentía superficial a través de las vertientes y la consiguiente sedimentación en los cursos de agua (Bonell y Balek 1993); estos aspectos podrían persistir durante varios años, causando a veces disturbios de carácter irreversible en las corrientes fluviales, como son desbordes repentinos de los ríos, colmatación y cambios en los cauces, entre otros (Bruijnzeel 2004).

Varios investigadores (Bosch y Hewlett 1982; Bruijnzeel 1990; Bonelly Balek 1993; Dykes y Thornes 2000; Bruijnzeel 2004) han hecho estudios hidrológicos

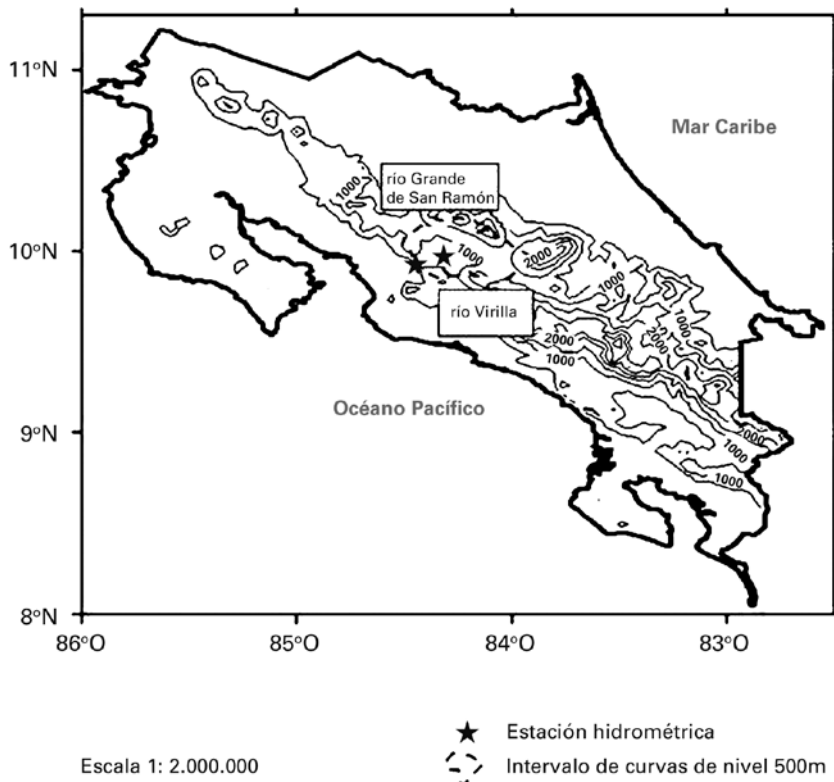
en los que analizan el impacto que sobre las cuencas hidrográficas producen los cambios en los niveles de caudal. Por ejemplo, Bosch y Hewlett (1982) estudiaron 94 cuencas hidrográficas de tamaños que van desde 4 hasta 2.500 hectáreas, y concluyeron que las cuencas que sufren mayores problemas de deforestación ven alterado su régimen hídrico. Bosch y Hewlett (1982) y Bruijnzeel (1990, 2004) consideran que el incremento en la escorrentía depende de la variabilidad temporal y espacial de la precipitación y del grado de disturbio ambiental que presente la cuenca.

En ocasiones la reducción de la conductividad hidráulica de los suelos es el reflejo de los disturbios provocados por los humanos, que al final producen alteraciones de las condiciones hidrológicas, generando escorrentía superficial excesiva y la producción de cárcavas e incluso deslizamientos en las laderas de las vertientes (Ziegler et ál. 2004). Este tipo de alteraciones podría modificar la respuesta no lineal de los procesos de infiltración y evaporación, lo que conlleva a una mayor producción de escorrentía superficial.

Las descargas de los ríos son el resultado de un conjunto de procesos naturales que actúan a escala 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 concerniente a probables condiciones futuras en las variaciones de caudales.

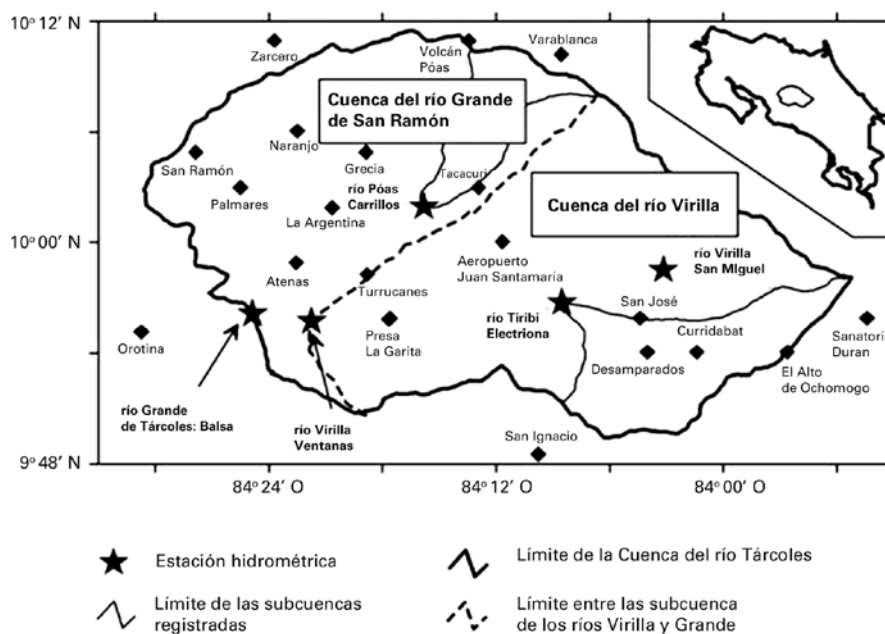
Para ello tiene que tomarse en cuenta varios, o por lo menos uno, de los siguientes aspectos: largos registros de aforos, análisis estadísticos, modelos de simulación, o pronósticos del tiempo; son estos últimos, generalmente, inadecuados para hacer proyecciones a largo plazo. Tales estimaciones son hechas a menudo usando modelos de predicción, que reproducen la estructura probabilística de los registros históricos.

Por lo tanto, con la idea de hacer un aporte científico al comportamiento hidrológico existente en las subcuencas del río Virilla —en adelante, RV— y del río Grande de San Ramón —en adelante, RGSR—, ubicados en la parte alta y media de la cuenca del río Grande de Tárcoles; en esta investigación se hace una comparación de las descargas anuales de los dos principales ríos existentes en dichos sectores de la cuenca, aplicando análisis estadísticos de los aforos de ambas subcuencas (RV y RGSR) (figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de las cuencas de los ríos Grande de San Ramón y Virilla.

Datos: Base de mapas cartográficos San José y Puntarenas. Instituto Geográfico Nacional —en adelante, IGN— Costa Rica 1989.



**Figura 2.** Límite de las subcuencas de los ríos Virilla y Grande de san ramón, y ubicación de las estaciones hidrométricas.

Datos: base de mapas cartográficos de San José y Puntarenas, IGN, Costa Rica 1989.

## Características generales de las subcuencas

Las subcuencas de los RV y RGSR se ubican básicamente en la Depresión Tectónica Central de Costa Rica, en donde se localizan tres de las ciudades más pobladas del país y varias ciudades secundarias y terciarias de importancia. Su importancia radica no solo en su alto crecimiento demográfico, sino también en una serie de actividades económicas, industrias y servicios, entre otras. Esta cuenca limita al norte y al este por la sección cordillera Central, la cual alcanza altitudes de hasta 3.440 msnm. Por el sur se encuentran los cerros de Escazú, que tienen altitudes cercanas a los 2.000 msnm (figura 2).

En el oeste, la cuenca presenta una abertura producto del cañón del mismo río, por donde luego desemboca al océano Pacífico. Ambas subcuencas forman parte de la cuenca alta y media del río Grande de Tárcoles, que es una de las más grandes en Costa Rica. Dicha cuenca se divide básicamente en dos sectores: el oriental, que es drenado por el RV, y el occidental, por el RGSR, estos a su vez cuentan con una serie de tributarios.

## Datos y metodología

Los caudales en la cuenca del RGSR 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 en los caudales de las subcuencas del Virilla y del Grande de San Ramón están también basadas en los mismos registros. Algunas estaciones fueron cerradas y el resto muestran registros hasta el año 2007, por lo tanto no fue posible adquirir información posterior a ese año.

Las estaciones escogidas en este estudio contabilizan cerca de treinta años de datos de descargas mensuales, información que fue suministrada por el Instituto Costarricense de Electricidad —en adelante, 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 dos ríos por separado es posible detectar diferencias sustanciales.

Los datos pertenecen a descargas mensuales de las estaciones ubicadas en la cuenca del río Grande de Tárcoles, las cuales corresponden al río Virilla en San Miguel - RVSM, de la cual se obtuvo el drenaje de las subcuencas de los ríos Tiribi 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 RGSR; y de 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. Se aplicaron métodos estadísticos como la prueba de distribución hipergeométrica de los caudales anuales, tanto superior como inferior a la mediana. Se obtuvieron de los distintos registros de caudal, los valores promedios, la mediana y la desviación estándar, y finalmente se aplicó una prueba de correlación entre ambos ríos. Se usaron estas variables con la idea de visualizar el comportamiento en la variación de los caudales

Para medir las contribuciones anuales de los caudales de ambas subcuencas se utilizó un nivel de significancia estadística del 0,05 usando una distribución hipergeométrica. Esta es definida dentro de una población estadística  $N$ , con posibilidad de éxito  $R$ , o de fracaso  $N-R$ , y que se denota de la siguiente forma:

$$f(x) = \frac{\binom{R}{x} \binom{N-R}{n-x}}{\binom{N}{n}}$$

En la distribución hipergeométrica, la  $x$  es el número de eventos con éxito arriba o abajo de la media en los registros de caudal para ambas subcuencas en estudio. El caudal en la subcuenca de los RGSR y RV es visto como un porcentaje del observado en el río Grande de Tárcoles. Por otro lado, la ecuación de correlación ( $Y_i = a + b X_i$ ) es ajustada para cada mes de caudal, para detectar la tendencia al incremento en el porcentaje de los caudales en alguna de las subcuencas.

## Resultados del régimen de caudales en ambas subcuencas

La posición geográfica de Costa Rica, tanto intercontinental como interoceánica, la convierten 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 nacional, como es el caso 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 2002).

Los vientos fríos, llamados *Los Nortes*, también afectan durante fin y principio del año. Los vientos Oestes Ecuatoriales afectan durante una parte del año, espe-

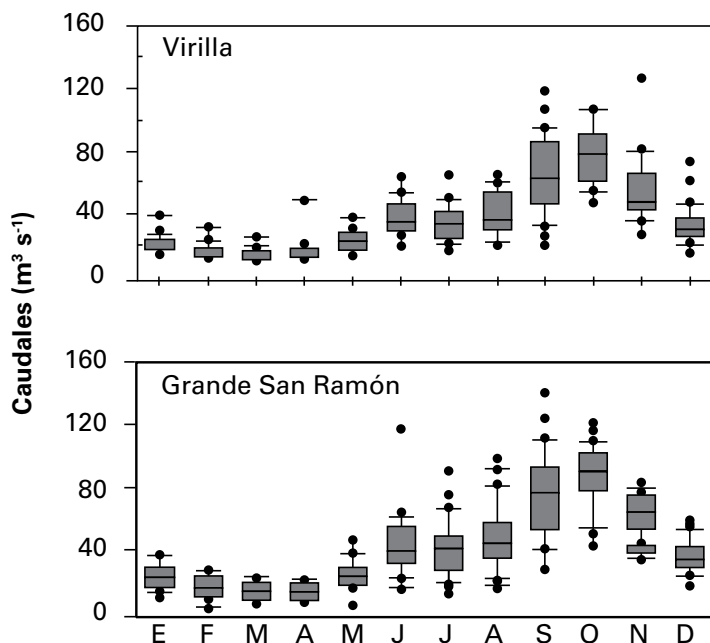
cialmente la vertiente pacífica de Costa Rica (Fernández y Ramírez 1991). Igualmente, de forma espontánea se manifiestan eventos sinópticos que influyen sobre el territorio costarricense provocando, sobre todo, precipitaciones en ciertos sectores del país; asimismo, las diferencias en las temperaturas superficiales de 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). Como se puede observar en la figura 3, el régimen de caudales en ambas subcuencas tiene un comportamiento muy similar, con niveles bajos de caudal durante el periodo seco, y con un aumento paulatino a partir del mes de mayo, hasta mostrar los máximos en septiembre y octubre. Dicho régimen lo definen los patrones de circulación general que afectan la región central de Costa Rica.

Al analizar cada uno de los registros de las estaciones que miden caudales en ambas subcuencas, se encontró que la mayoría de estaciones que poseen caudales inferiores se encuentran en la subcuenca del RV, tal es el caso de la estación de Electriona, en el río Tiribí; de Tacares, en el río Poás, y de Linda Vista. En tanto, las estaciones que poseen caudales medios no muestran una correspondencia definida en una sola subcuenca, dado que estas pertenecen a la estación de San Miguel, en el RV, y a La Garita, en el río Grande de

Tárcoles. Mientras que las estaciones que cuentan con un mayor caudal se ubican en la subcuenca del río Tárcoles; estas son: Balsa y Alumbre. Un ejemplo de estas lo constituye la estación Balsa, en el río Tárcoles.

Algunos aspectos geográficos como la irregularidad topográfica, la presencia de pasos entre las montañas, la extensión de las subcuencas y 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 y media de la cuenca del río Grande de Tárcoles, se da la posibilidad de encontrar diferentes caudales en los distintos ríos, los cuales a su vez dependen directamente de si es período seco o lluvioso.

Además, debe considerarse que los ríos no presentan caudales similares, más bien existen diferencias marcadas entre unos ríos y otros. Por ejemplo, las estaciones fluviométricas como Tacares, Electriona y Linda Vista presentan normalmente caudales bajos, inferiores a 20 m<sup>3</sup>/seg. Mientras que las estaciones de Alumbre y Balsa muestran caudales que giran entre los 50 y los 110 m<sup>3</sup>/seg. En este caso existe una correspondencia espacial, que se debe a que recogen aguas de varios afluentes, pero no es el caso de los que muestran caudales bajos, que, por su ubicación, tienen pocos afluentes.



**Figura 3.** Régimen de caudales en las subcuencas Virilla y Grande de San Ramón.

Datos: Registros de caudal suministrados por el ICE 2009.

Al analizarse el comportamiento anual de los caudales en las dos subcuencas con respecto al área de cada una, se tiene que entre 1960 y 1975 existía una relación inversa en los flujos de caudal: cuando el RGSR tendía a aumentar, el RV bajaba, y viceversa, dándose dicha tendencia a través de todos esos años. No obstante, a partir de 1975 la relación cambia: el RGSR empieza a tener caudales bajos a través de los años; incluso en algunos años sus caudales se redujeron aún más, como es el caso de 1984, que es considerado un año de la fase cálida del ENOS (El Niño-La Niña Oscilación del Sur).

El RV normalmente, antes de 1975, mostraba caudales por debajo del RGSR, pero a partir de ese año empieza a mostrar caudales superiores al RGSR, con ligeras excepciones, como en 1982, cuando los caudales presentaron un ligero incremento. El resto de los años se mantienen ambos ríos con caudales muy similares (figura 4).

Como puede observarse en la figura 4, existen diferencias marcadas en ambas subcuencas entre el porcentaje de área y el porcentaje de escurrimiento para toda la serie temporal. Sin embargo, antes de 1975 dichos valores no son tan marcados. Hasta ese año empieza a ocurrir que el RV contribuya con una mayor proporción en la escorrentía del río Grande de Tárcoles.

La prueba de distribución hipergeométrica de los caudales anuales, tanto superior como inferior a la mediana, muestra que ambas subcuencas tienen una significancia estadística superior a la mediana antes de 1975, e inferior a la mediana en los años posteriores a 1975. El RGSR muestra, según la prueba estadística, un número considerable superior a la mediana en años previos a 1975, e inferior a la mediana en años posteriores a 1975. Por el contrario, la subcuenca del RV no muestra una significancia estadística antes de 1975; después de 1975, supera al RGSR en nueve veces la cantidad de caudal (figura 5).

Como puede observarse en la figura 5, antes de 1975 el RGSR mostró cerca de doce valores superiores en su desviación con respecto a la mediana, y, por el contrario, el RV mostró diez. No obstante, después de 1975 el RGSR presentó solo una desviación arriba de su mediana, mientras que el RV mostró cuatro valores. Si se considera la situación inversa antes de 1975, ambos ríos tuvieron pocas desviaciones por debajo de la media, pero después de 1975 el RGSR mostró diez y el RV siete ocurrencias.

La figura 6 muestra la prueba de regresión al considerarse los meses del año. Se considera el comportamiento desde enero hasta agosto, mientras que el resto

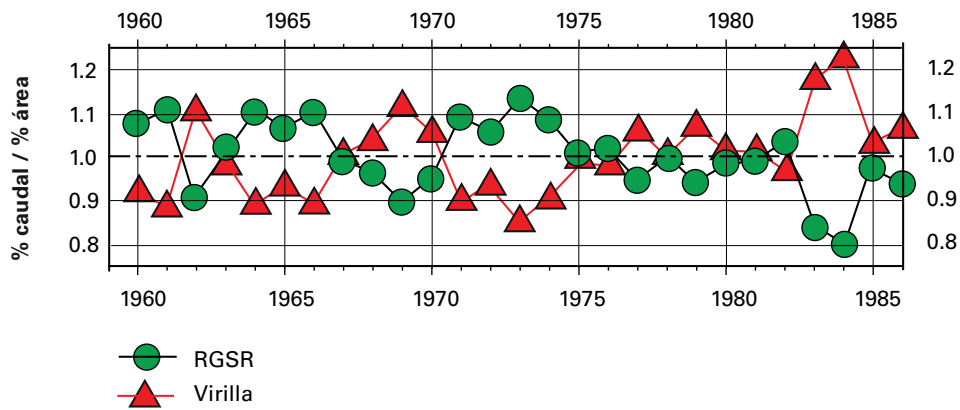
de meses no se estimaron dado que no son estadísticamente significativos. Los meses de enero a junio tienen una regresión muy similar, a diferencia de los meses de julio y agosto, que mostraron un coeficiente de regresión superior. Por el contrario, la subcuenca del RV no muestra una significancia estadística antes de 1975, aunque después de 1975 en varias ocasiones supera la cantidad de caudal con respecto al RGSR.

Como se observa, el comportamiento desde enero hasta agosto muestra valores altos debido a que depende del nivel de recarga del suelo en la cuenca, mientras que el resto de meses no son relevantes, dado que no son estadísticamente significativos, al encontrarse el suelo saturado de agua. Los meses de enero a junio tienen una regresión muy similar, a diferencia de julio y agosto, que mostraron un coeficiente de regresión superior.

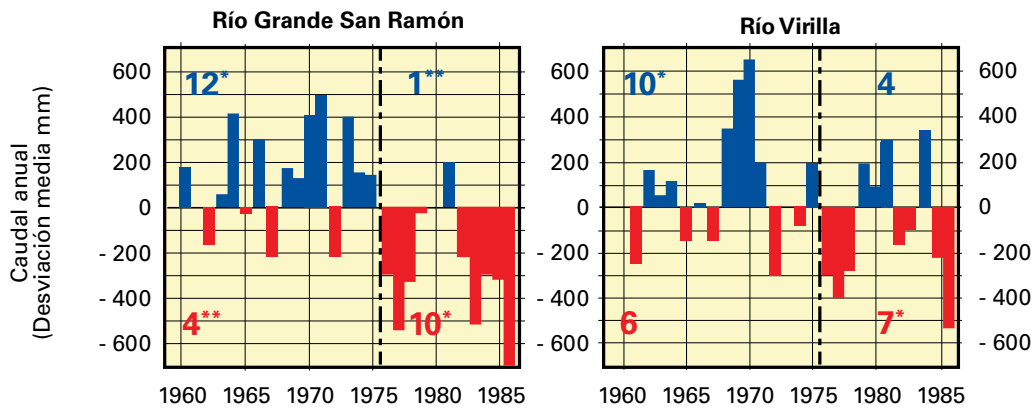
En términos generales, de la cantidad total de caudales que posee la cuenca del río Tárcoles, el RGSR contribuye con menor cantidad con respecto al RV. Sin embargo, al analizarse la precipitación anual, no se visualizan cambios en el RGSR, más bien pareciera que se dan ligeros aumentos. Al aplicarse la curva de regresión sobre la serie cronológica de precipitación mensual, solo se visualizó una tendencia lineal en marzo y junio, encontrándose que dichos cambios han provocado de alguna manera cambios en los caudales.

Desde el punto de vista hidrológico, los almacenamientos de agua subterránea y la humedad del suelo son bajos desde enero hasta abril. Estos almacenamientos comienzan a llenarse con precipitación en los preveranillos (marzo-junio - MJ) y veranillos (julio-agosto - JA). En una escala estacional, estos serían los meses más sensibles a variaciones interanuales en los almacenamientos de agua subterránea y humedad del suelo.

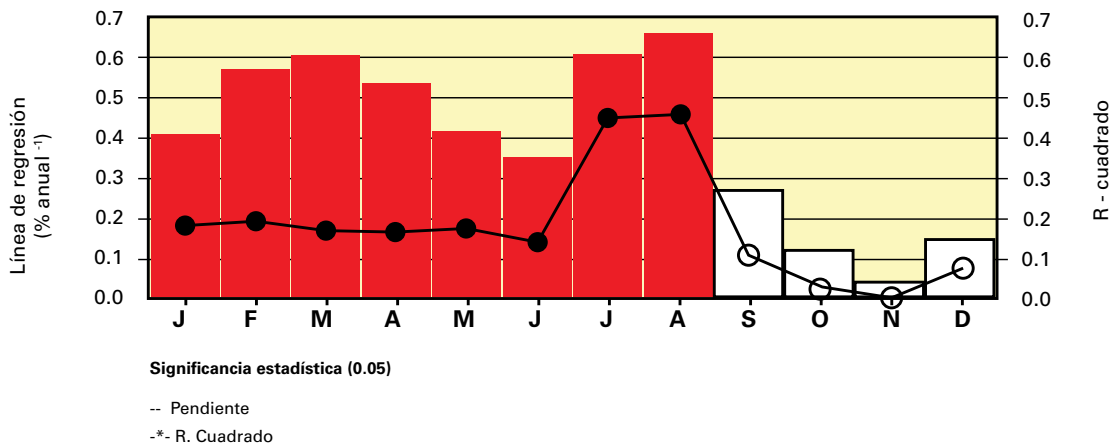
Los cambios anuales en los caudales son producto especialmente del tipo de uso de la tierra y de la variabilidad climática; sin embargo, mensualmente no puede hacerse la misma aseveración, dado que durante los meses de la estación seca y durante la recesión de lluvias pareciera que son más determinantes los distintos usos de la tierra al permitir o evitar el almacenamiento del agua y ciertos elementos del clima (como los vientos), pues ocasionan subsidencias y, por ende, mermas en las lluvias sobre el área en estudio. Mientras que durante la estación lluviosa, los caudales están regidos por los niveles de precipitación que se registran. En una cuenca de tamaño medio, como es el caso en estudio, comparada con una cuenca pequeña, es más difícil precisar el efecto sobre los caudales producto del uso de la tierra.



**Figura 4.** Comparación de los porcentajes de caudal anual entre las subcuencas de los ríos Virilla y Grande de San Ramón. Datos: Registros de caudal suministradas por el ICE 2009.



**Figura 5.** Desviación media en el porcentaje de caudales. Datos: Registros de caudal suministradas por el ICE 2009.



**Figura 6.** Caudales mensuales y su respectiva curva de regresión sobre los promedios mensuales de caudal para ambas subcuencas. Datos: registros de caudal brindados por el ICE 2009.



## Conclusiones

Los distintos aspectos geográficos como la irregularidad topográfica, la presencia de pasos intermontanos, el tamaño desigual de ambas subcuencas (RGSR y RV), el uso variado de la tierra, así como la influencia de patrones de circulación atmosférica hacen que haya diferencias entre una subcuenca y otra en su régimen hidrológico.

Además, dicha diferencia hidrológica es inversa entre ambas subcuencas, desde el punto de vista temporal. Por ejemplo, entre 1960 y 1975 la subcuenca del RV mostró menores valores en sus caudales que la subcuenca del RGSR. No obstante, a partir de 1975 dicha relación se invierte, y la subcuenca del RV incrementa su nivel de caudal.

El hecho de que la subcuenca del RV muestre mayores niveles de caudal a partir de 1975 pareciera estar relacionado con la presencia de una mayor masa urbana que impide la infiltración de las lluvias, dada la existencia de pavimentos, construcciones y otras infraestructuras y la poca presencia de vegetación, cultivos, pastos, etc. Esto contribuye a que las lluvias que caen lleguen con más rapidez hasta los cauces de la subcuenca del RV. Por el contrario, en la subcuenca del RGSR, al no existir tanta masa urbana, se manifiesta una mayor infiltración de las lluvias.

La diferencia de caudales entre ambas subcuencas también está influenciada por la existencia de depresiones intermontañas que contribuyen a que varíen las condiciones atmosféricas entre una subcuenca y otra. Es así como en la subcuenca del RV se produce la confluencia de los vientos que incursionan por el Paso de la

Palma, provenientes del Caribe, lo que contribuye con niveles mayores de precipitación. En tanto, por otros sectores ingresan los vientos del suroeste o, a veces, frentes de brisa que provienen del Pacífico, y que incursionan por el cañón del río Tárcoles, los cuales normalmente convergen en las primeras horas de la tarde durante el periodo lluvioso en la vertiente pacífica.

Esta convergencia es producto de la incursión de vientos, tanto de la vertiente caribe como de la pacífica, desde las primeras horas de la mañana, y que durante las tardes ocasionan lluvias convectivas sobre una serie de sectores de dicha cuenca; entre los que se pueden mencionar: Heredia, Barba, San Joaquín, Alajuela, San Antonio de Belén, Escazú, Santa Ana, Ciudad Colón, Puriscal, La Guacima, San Rafael de Alajuela, Grecia, Atenas, entre otros lugares. Unido a ello, también influye, hasta cierto punto, el uso de la tierra pues, por lo general, en sectores con un alto porcentaje de masa urbana se produce un mayor calentamiento, dado que las infraestructuras tienen la particularidad de guardar calor, lo que ocasiona una mayor inestabilidad atmosférica.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por el financiamiento parcial de esta investigación, así como a las instituciones gubernamentales Instituto Costarricense de Electricidad e Instituto Meteorológico Nacional, por poner a nuestra disposición para la realización de la investigación la información hidrometeorológica que tenían disponible.

### Marvin E. Quesada Q.

Máster en Geografía graduado de la Universidad de Florida, en Gainesville (Estados Unidos), y licenciado en Geografía por la Universidad de Costa Rica. Actualmente es profesor catedrático de Geografía, de la Universidad de Costa Rica, en la sede de occidente.

### Peter R. Waylen

Doctor en Geografía de la Universidad de Waterloo, en Canadá. La mayoría de sus investigaciones las ha realizado en el campo de la hidroclimatología. Actualmente se desempeña como profesor de Geografía, a tiempo completo, en la Universidad de Florida, en Gainesville (Estados Unidos).

## Referencias

- Bonell, Michael y J. Balek. 1993. Recent Scientific Developments and Research Needs in Hydrological Processes of the Humid Tropics. En *Hydrology and Water Management in the Humid Tropics*, ed. Michale Bonell, M. M. Hufschmidt y John S. Gladwell, 167-260. Cambridge: Unesco, International Hydrology Series, Cambridge University Press.
- Bosch, J. M. y J. D. Hewlett. 1982. A Review of Catchment Experiments to Determine the Effect of Vegetation Changes on Water Yield and Evapo-Transpiration. *Journal of Hydrology* 55:3-23.
- Bruijnzeel, L. A. 1990. *Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: a State of Knowledge Review*. Netherlands IHP Committee.
- Bruijnzeel, L. A. 2004. Hydrological Functions of Tropical Forests: Not Seeing the Soil for the Trees. *Agriculture Ecosystems & Environment* 104 (1): 185-228.
- Dykes, A. P. y J. B. Thornes. 2000. Hillslope Hydrology in Tropical Rainforest Steeplands in Brunei. *Hydrological Processes* 14 (2): 215-235.
- Enfield, David B. y Eric 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, Walter y Patricia Ramírez. 1991. EL Niño: la Oscilación del Sur, sus efectos sobre Costa Rica; una revisión. *Tecnología en Marcha* 11 (1): 3-10.
- Hastenrath, Stefan. 2002. Variations in Low Latitude Circulation and Extreme Climatic Events in the tropical Americas. *Journal of Atmospheric Sciences* 33 (2): 202-215.
- Rowntree, Lester, Martin Lewis, Marie Price y William Wyckoff. 2003. *Diversity Amid Globalization, World Regions, Environment, Development*. 2.<sup>a</sup> ed. New York: Prentice Hall.
- Ziegler, Alan, Thomas W. Giambelluca, Liem T. Tran, Thomas T. Vana, Michael A. Nullet, Jefferson Fox, Tran Duc Vien, Jitti Pinthong, J. F. Maxwell y Steve Evett. 2004. Hydrological Consequences of Landscape Fragmentation in Mountainous Northern Vietnam: Evidence of Accelerated Overland flow Generation. *Journal of Hydrology* 287 (1-4): 124-146.