
VARIACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL RÍO PESCADOR, VALLE DEL CAUCA, DURANTE EL CICLO EL NIÑO 1997/1998-LA NIÑA 1998/1999

VARIATION OF SOME PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS IN PESCADOR RIVER, VALLE DEL CAUCA, DURING EL NIÑO 1997/1998-LA NIÑA 1998/1999

Juan Felipe Blanco¹, Guillermo L. Vásquez², Juan C. Ramírez³ y Ángela María Navarrete⁴

Resumen

Actualmente se está evaluando el impacto que los eventos El Niño y La Niña causan en zonas oceánicas y costeras del Pacífico. Sin embargo, sus efectos sobre los ecosistemas continentales no han sido ampliamente documentados. El objetivo de este trabajo es determinar si las alteraciones hidrológicas causadas por los eventos El Niño y La Niña afectan las condiciones fisicoquímicas del agua en la cuenca del río Pescador, norte del Valle del Cauca. Doce parámetros fisicoquímicos y el caudal se midieron quincenalmente en dos partes de la cuenca (alta y baja) durante 1998 (El Niño) y 1999 (La Niña). Con base en registros históricos de lluvia y caudal se determinó la intensidad de los eventos El Niño y La Niña estudiados y las principales alteraciones hidrológicas. Se compararon los valores de cada parámetro fisicoquímico con una ANOVA de mediciones repetidas. Se realizaron correlaciones con el caudal para determinar el efecto de éste sobre las variaciones de los parámetros. Durante El Niño, la reducción de la precipitación produjo los menores caudales mínimos históricos, pero no alteró la frecuencia de las crecientes. Durante La Niña, el aumento de la precipitación incrementó el caudal promedio y las crecientes tuvieron mayor magnitud. La temperatura disminuyó significativamente durante La Niña, principalmente en la parte baja de la cuenca. Las concentraciones de fosfatos y de hierro aumentaron significativamente durante el año La Niña. Los nitratos también aumentaron como producto de la nitrificación, lo cual redujo el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto. Los incrementos de las anteriores variables no tuvieron una correlación significativa con el caudal diario, lo cual significa que sus niveles dependen de la escorrentía sostenida por periodos mayores. La turbiedad fue la única variable que aumentó instantáneamente con las lluvias. Se discuten las posibles fuentes de fósforo y nitrógeno en la cuenca y se resumen los efectos de estos cambios climáticos sobre las comunidades acuáticas del río.

Palabras clave: alteraciones climáticas, cuenca hidrográfica, bosque seco tropical, nitrógeno, fósforo, turbiedad, dureza, hierro.

Abstract

The impacts of both El Niño and La Niña on oceanic and coastal areas of the Pacific are currently investigated. However, they have not been widely documented in continental ecosystems. The aim of this paper is to determine if the hydrological differences promoted by both El Niño and La Niña influence the physico-chemical characteristics of the stream water in the watershed of Pescador River, northern Valle del Cauca. Twelve physico-chemical parameters were measured along with the discharge at both up and lowland sites during 1998 (El Niño) and 1999 (La Niña). The intensity of both climatic events was determined based on rainfall and discharge time-series, and most hydrological alterations were noted. Water chemistry variables were compared with a repeated measures ANOVA to test the effect of both events and their interaction with watershed site. Minimal flows reached the lowest historical values due to rainfall reductions during El Niño, despite flood frequency remained nearly the same. The rainfall increased during La Niña period and positively affected both mean and

Recibido: febrero de 2002; aprobado para publicación: diciembre de 2002.

¹ Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, San Juan, Puerto Rico 00931-3360. E-mail: jblanco@LTERnet.edu; blanco@coomevail.com.

² Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Educación, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. E-mail: gvasquez@atenea.ucauca.edu.co.

³ Empresa Colombiana de Aguas y Servicios Ltda. (ECOAGUAS), Cali, Colombia. E-mail: jk_Ramirez@mailcity.com.

⁴ Empresa Colombiana de Aguas y Servicios Ltda. (ECOAGUAS), Cali, Colombia. E-mail: navarrete@lycos.com.

peak flows. Temperature was significantly reduced during La Niña, especially in the lowland site. Concentration of phosphorus and iron were higher during La Niña year. The nitrification increased nitrate concentration but dropped dissolved oxygen during this year. Nevertheless, these variations were not significantly correlated with daily discharge, suggesting that they depended on sustained runoff over longer periods. Turbidity was the only variable significantly related to daily discharge as a function of precipitation. The likely sources of both phosphorous and nitrogen are discussed and the effects of these climatic changes on the aquatic community of Pescador river are summarized.

Key words: climatic alterations, watershed, tropical dry forest, nitrogen, phosphorus, turbidity, hardness, iron.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (EN) es una anomalía en el sistema de presiones atmosféricas del Pacífico occidental y oriental, que produce el desplazamiento de la masa de agua cálida superficial desde Indonesia y Australia hacia Sudamérica (Quinn *et al.*, 1987). En la costa Pacífica colombiana, la temperatura superficial del mar (TSM) se incrementa y los vientos costeros cambian de dirección, soplando desde el continente hacia el mar y disminuyendo la precipitación en el continente (CPPS-ERFEN, 1999). Esto reduce notablemente los caudales de los ríos de las vertientes Pacífica y Andina. Recientemente se ha establecido que después de periodos de EN se presentan condiciones opuestas, que se han denominado La Niña (LN) (CPPS-ERFEN, 1999).

Los fenómenos EN y LN tienen un efecto importante sobre la hidrología de las cuencas y las características fisicoquímicas y biológicas de los cuerpos de agua (Blanco, 2000). Por ejemplo, en el norte del Valle del Cauca se ha observado que durante LN se incrementa la variabilidad de las comunidades de macroinvertebrados, como resultado de la alta frecuencia de crecientes. La temperatura disminuye como producto del incremento de las lluvias y la concentración de oxígeno también disminuye como producto de la nitrificación del amonio. En Colombia no se ha estudiado profundamente el efecto de estas alteraciones climáticas regionales, a pesar del fuerte impacto que tiene sobre la economía, la sociedad y los ecosistemas, y no se conocen trabajos específicos relacionados con el efecto de los eventos EL y LN en cuencas hidrográficas de otras partes del trópico. El objetivo de este trabajo fue determinar si las diferencias de precipitación y caudal entre los eventos El Niño y La Niña influyen las con-

diciones fisicoquímicas del río Pescador, localizado en el norte del departamento del Valle del Cauca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La cuenca hidrográfica del río Pescador se encuentra ubicada sobre la cordillera Occidental en el municipio de Bolívar (figura 1). Este valle transversal está sometido al efecto de sombra de montaña. La precipitación media anual es de 1.464 mm en la cuenca alta y de 1.022 mm en la baja, con un régimen marcadamente bimodal, presentando picos de lluvia en abril y noviembre. La temperatura media anual es de 26 °C. Las anteriores características producen una vegetación que corresponde a bosques secos y muy secos. La cuenca tiene un área relativamente pequeña (aproximadamente 160 km²), lo cual, sumado a pendientes superiores a 40% en la parte media, produce una recolección rápida de agua después de cada precipitación. La cuenca alta está formada por las microcuencas del río Calamar y la quebrada Platanares, que presentan parches de bosque secundario y amplias extensiones de gramíneas que soportan ganadería extensiva. La erosión debida a la tala de árboles, a la ganadería extensiva y a la estructura del suelo, aporta grandes cantidades de sedimentos (20-100 ton/ha/año) al cauce de los ríos, los cuales son transportados rápidamente aguas abajo.

Muestreo y análisis de datos. Los registros de pluviosidad (1972-2000) y de caudales (1989-2000) se obtuvieron de las estaciones de monitoreo que la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y el Instituto Nacional de Estudios Ambientales (IDEAM) tienen a lo largo de la cuenca del río Pescador. Las estaciones

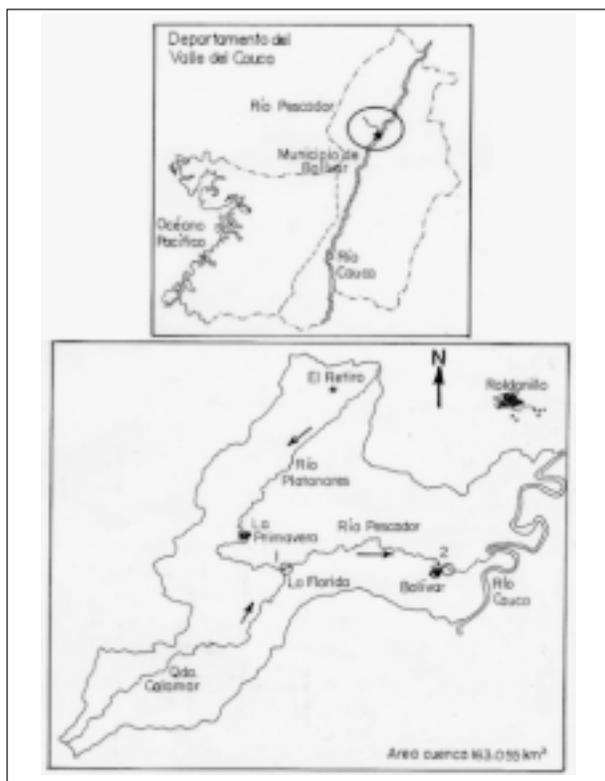


Figura 1. Localización de la cuenca del río Pescador. 1. Estación pluviométrica El Retiro; 2. Estación pluviométrica y limnigráfica Bolívar; 3. Estación limnigráfica La Florida

pluviométricas fueron El Retiro ($04^{\circ} 23' N$ y $76^{\circ} 15' W$, 1.640 msnm) y Bolívar ($04^{\circ} 19' N$ y $76^{\circ} 11' W$, 970 msnm) y la limnigráfica fue La Florida ($04^{\circ} 21' N$ y $76^{\circ} 15' W$, 1.375 msnm). Posteriormente se calculó el índice de anomalía de precipitación (IAP), como la diferencia entre el valor de la precipitación mensual promedio o histórica y los valores registrados durante cada año. Este índice puede tomar valores positivos, negativos o iguales a cero, indicando el sentido de la anomalía. El IAP se calculó para los registros de las estaciones El Retiro y Bolívar. A continuación se superpusieron los periodos de ocurrencia de EN y LN reportados (CPPS-ERFEN, 1999) sobre los pluviogramas y limnigramas, y se validaron los límites de dichos periodos con las gráficas del IAP. Los valores mensuales de precipitación, anomalía de precipitación y caudal (medio, máximo y mínimo) se separaron entre años para El Niño y La Niña y se compararon utilizando una prueba categorizada de Mann-Whitney (no paramétrica).

El muestreo se realizó en la parte alta de la cuenca cerca de la estación limnigráfica La Florida y en la parte baja cerca de la estación pluviométrica de Bolívar. Cada quince días, durante los primeros seis meses de 1998 y 1999, se midió la velocidad de la corriente (utilizando un correntómetro C2 AOTT) a tres profundidades (20, 60 y 80% de la profundidad instantánea), el ancho del cauce y la pendiente longitudinal del cauce y se estableció el perfil batimétrico, a lo largo de una sección transversal del río en cada estación. Con base en estos datos se calculó el flujo del río por cada sección con el programa FLOW MASTER (Haestad Methods, Inc.).

En cada estación se colectaron tres muestras de agua de un litro, tanto en superficie como en fondo. A estas muestras se les midió in situ la concentración de oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación (por medio de un oxigenómetro Schott-Gerate), la temperatura del agua (por medio de un termómetro digital), el pH (por medio de un peachímetro Schott-Gerate) y las concentraciones de amonio, nitritos, nitratos y fosfatos (por medio del sistema de espectrofotometría MERCK SQ-118). Para la turbiedad se utilizó un turbidímetro (HACH 2000), mientras que la dureza total y la dureza carbonácea se midieron con el método Aquaquant-Merck. Los parámetros fisicoquímicos que no presentaron distribución normal fueron transformados logarítmicamente. Por medio de un análisis de varianza de mediciones repetidas (modelo II) se evaluó la variación de cada parámetro con respecto a la parte alta y baja de la cuenca y el periodo EN y LN (medición repetida). A la vez, se realizó una regresión lineal simple entre el caudal instantáneo y cada uno de los parámetros fisicoquímicos. La normalidad de los datos fue verificada previamente y se realizaron transformaciones cuando se requirió.

RESULTADOS

Hidrología superficial. Se observaron diferencias significativas de la hidrología del río Pescador entre los periodos La Niña y El Niño (tabla 1). Los registros históricos confirman que la precipitación mensual ha sido significativamente

mayor durante los periodos LN, pero su variabilidad es mayor durante EN. Aunque tales diferencias son consistentes en ambas partes de la cuenca, son más marcadas en la parte alta. Como resultado de lo anterior, los periodos EN presentan anomalías de precipitación negativas, mientras que en los periodos LN son positivas, pero particularmente en la cuenca alta. Esta variación es significativamente divergente. En contraste, en la cuenca baja las anomalías son convergentes en ambos periodos, aunque significativamente diferentes.

El caudal reflejó las variaciones de precipitación arriba mencionadas entre periodos EN y LN. Los niveles medios, máximos y mínimos han sido predominantemente bajos durante EN. Sin embargo, el coeficiente de variación de las crecientes ha sido mayor. Este coeficiente ha sido menor durante los periodos LN, lo que significa que las crecientes no solo han sido mayores, sino también de magnitudes similares.

Con referencia al periodo de estudio, EN 1997-1998 presentó anomalías de precipitación marcadamente negativas. A partir del primer semestre de 1997 inició un descenso de los niveles de lluvias durante el verano, coincidiendo con el inicio del evento EN que se desarrolló entre julio de 1997 y marzo de 1998 (figura 2a). En abril de 1998 los niveles de lluvias de invierno no sufrieron incrementos considerables en comparación con los registrados durante EN. Sin embargo, los niveles de lluvia durante el siguiente verano (junio) fueron considerablemente mayores que el promedio histórico (anomalías positivas), mostrando la ocurrencia de LN. En la parte alta de la cuenca (estación El Retiro, figura 2b), la precipitación durante la época de lluvias mostró niveles de anomalías alrededor de 0 mm durante todo el evento EN 1997-1998 y en estiaje las anomalías fueron progresivamente inferiores hasta alcanzar el punto más álgido en octubre cuando registró -160 mm, retrasando la temporada de lluvias. Posteriormente se incrementaron en forma progresiva

Tabla 1. Diferencias de algunas variables hidrológicas entre años El Niño y La Niña en varias estaciones de la cuenca del río Pescador (ver figura 1). En la última columna se incluyen los resultados de la prueba no paramétrica de Mann-Whitney comparando los dos periodos

Sitio	Variable	Periodo	Número de meses	Media	Mínimo	Máximo	Error estándar	Coefficiente de variación	Estadístico U
El Retiro	Precipitación mensual (mm)	El Niño	106	115	2	601	8.5	76.3	4253.5*
		La Niña	107	144	5	342	7.4	53.5	
	Anomalía de precipitación (mm)	El Niño	106	-15	-168	406	6.9	491.7	3960.0**
		La Niña	107	16	-120	224	6.3	408.1	
Bolívar	Precipitación mensual (mm)	El Niño	102	79	0	238	5.1	65.7	4104.5*
		La Niña	96	94	0	239	5.5	57.5	
	Anomalía de precipitación (mm)	El Niño	102	-23	-127	94	4.1	181.4	3991.5*
		La Niña	96	-8	-115	111	5.0	627.9	
La Florida	Caudal medio diario (m ³ /s)	El Niño	67	0.8	0.3	2.1	0.0	50.8	863.0**
		La Niña	59	1.3	0.4	3.5	0.1	52.7	
	Caudal mínimo diario (m ³ /s)	El Niño	67	0.5	0.0	1.2	0.0	44.3	
La Niña	59	0.8	0.3	1.7	0.1	49.4			
	Caudal máximo diario (m ³ /s)	El Niño	67	5.7	0.3	44.2	1.2	175.7	973.5**
	La Niña	59	12.0	0.6	35.6	1.4	89.1		

P < 0.05, ** P < 0.001. Datos de precipitación 1972-2000, datos de caudal 1989-2000.

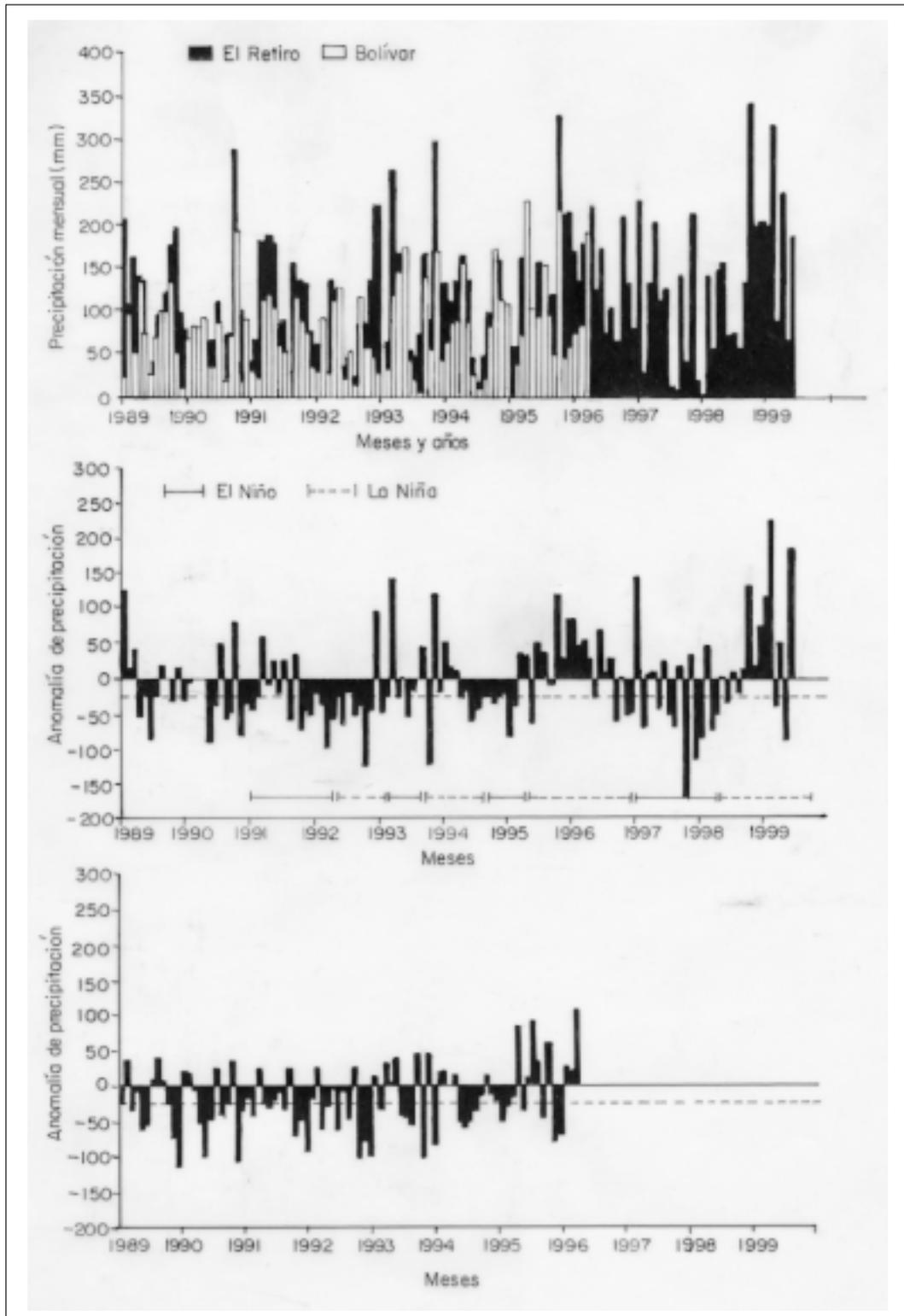


Figura 2. Registro histórico pluviométrico de la cuenca del río Pescador (a). Variación histórica de la anomalía de precipitación en las estaciones pluviométricas El Retiro (b) y Bolívar (c). Se indican los periodos de ocurrencia de los eventos El Niño y La Niña

las anomalías hasta sobrepasar el valor crítico de -25 mm y anticipar LN. El evento LN siguiente (1998-1999) presentó anomalías muy superiores a 0 mm durante los meses de lluvias, inclusive en algunos meses de estiaje. En la estación pluviométrica de Bolívar, las anomalías no mostraron un patrón consistente con los ciclos de ocurrencia EN-LN (figura 2c). Lo anterior puede ser explicado debido a que el régimen de lluvias de esta zona es afectado por un número mayor de factores de escala local (sistema valle-montaña), los cuales le dan mayor variabilidad independientemente de los procesos climáticos de la cuenca alta.

El evento EN 1997-1998 redujo los caudales promedio de verano e invierno a niveles inferiores a

los históricos, y los mínimos casi a cero (figura 3a). Los caudales máximos también se redujeron notablemente ($< 3 \text{ m}^3/\text{s}$, figura 3b) y, en consecuencia, la estacionalidad fue poco marcada. Este evento afectó principalmente los valores mínimos porque se presentó muy tempranamente (junio) y durante un periodo prolongado y probablemente con temperaturas muy altas, lo cual pudo reducir los niveles de escorrentía. A partir de marzo de 1998, con el inicio del evento LN, se incrementaron los caudales, principalmente porque las crecientes incrementaron en frecuencia y magnitud.

Parámetros fisicoquímicos. Las medias de estos parámetros y su variación en las partes alta y baja de la cuenca durante los dos eventos se resumen

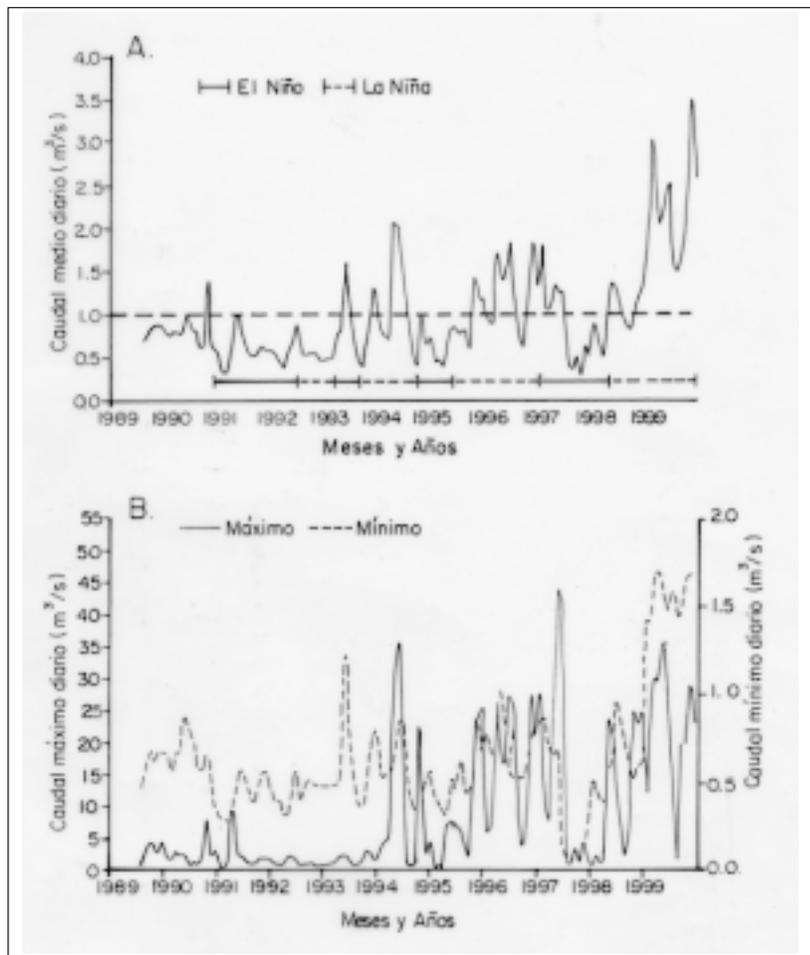


Figura 3. Registro histórico de caudales en la cuenca del río Pescador (estación La Florida). a. Caudal medio diario; b. Caudal mínimo diario; c. Caudal máximo diario. Se indican los periodos de ocurrencia de los eventos El Niño y La Niña

en la tabla 2. Con excepción de la temperatura y el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, ningún parámetro presentó diferencias significativas entre las dos zonas, mostrando la ausencia de un efecto acumulativo de materiales hacia la parte baja del sistema. Por esta razón, las variaciones más notables de los parámetros se presentaron entre los dos periodos de estudio. Las concentraciones de hierro y de fosfatos fueron significativamente mayores durante LN ($F_{1,1} = 6100.81$, $p = 0.008$ y $F_{1,1} = 1874.97$, $p = 0.015$, respectivamente), pero la dureza (total y carbonácea) y la turbiedad no presentaron diferencias entre los dos periodos. La turbiedad mostró fuertes variaciones durante el estudio debido a su di-

recta relación con el caudal instantáneo ($Y = 2.76 + 0.78X$, $r = 0.32$, $F_{1,33} = 15.67$, $p < 0.01$). Las otras variables no se correlacionaron con el caudal instantáneo, debido a que sus concentraciones posiblemente dependen de la duración de los eventos de alta y baja escorrentía.

DISCUSIÓN

Hidrología. Este estudio evidencia que la precipitación mensual es marcadamente afectada por los eventos EN y LN, produciendo anomalías negativas y positivas, respectivamente, en la cuenca del río Pescador. Aunque tales diferencias son consistentes en ambas partes de la cuen-

Tabla 2. Comparación de algunos parámetros fisicoquímicos entre los años El Niño 1998 y La Niña 1999 en dos partes de la cuenca del río Pescador

Parámetro	Año	Parte alta		Parte baja	
		Media	Error estándar	Media	Error estándar
Temperatura (°C)**	1998	20.58	0.46	25.56	0.94
	1999	20.51	0.29	23.41	0.20
O ₂ (mg/l)	1998	7.90	0.31	7.73	0.28
	1999	7.65	0.20	7.51	0.25
O ₂ (%)*	1998	89.88	2.50	97.13	4.21
	1999	86.50	2.01	88.38	2.76
pH	1998	7.38	0.08	7.41	0.15
	1999	7.36	0.05	7.33	0.08
PO ₄ (mg/l)*	1998	0.63	0.80	0.60	0.80
	1999	2.02	0.71	3.01	0.71
NH ₄ (mg/l)	1998	0.51	0.07	0.63	0.06
	1999	0.33	0.07	0.34	0.04
NO ₂ (mg/l)	1998	0.05	0.01	0.06	0.01
	1999	0.04	0.01	0.04	< 0.01
NO ₃ (mg/l)*	1998	12.44	1.36	13.96	1.07
	1999	13.81	1.59	13.83	2.68
Fe (mg/l)**	1998	0.07	0.02	0.06	0.02
	1999	0.22	0.02	0.21	0.02
Dureza total (mg/l)	1998	72.98	7.24	79.21	7.24
	1999	75.58	7.24	73.37	6.83
Dureza carbonácea (mg/l)	1998	62.96	6.77	71.20	6.77
	1999	69.76	6.77	63.89	6.38
Turbiedad (NTU)	1998	57.50	35.70	88.00	35.70
	1999	89.60	31.93	63.90	31.93

Se indican las medias y errores estándar y las diferencias significativas entre años: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. Sólo la temperatura y el porcentaje de saturación de oxígeno presentaron diferencias entre las ambas partes de la cuenca

ca, son más marcadas en la parte alta, posiblemente porque ésta es más influenciada por los vientos provenientes del océano Pacífico, mientras que la parte baja es más influenciada por el clima del valle interandino como producto del efecto de sombra de montaña.

Tales diferencias de precipitación se reflejan en los caudales, especialmente en la magnitud y variabilidad de las crecientes. Durante EN las crecientes disminuyen en magnitud pero son más variables, mientras que durante LN son mayores y menos variables. Estudios en la cuenca del río Amazonas también muestran que los eventos EN pueden retardar en varios meses la temporada de inundaciones (Adis y Latif, 1996). Los registros históricos de caudal en el río Pescador confirman que los eventos EN 1997-1998 y LN 1998-1999 han sido los más severos y que la variabilidad climática es cada vez más marcada (figura 3).

Parámetros fisicoquímicos. Las anteriores diferencias climáticas entre los dos años de estudio tuvieron una influencia significativa en las características fisicoquímicas del agua. La temperatura bajó significativamente durante el periodo LN, principalmente en la parte baja de la cuenca como producto del aumento de las lluvias y de la escorrentía. Igualmente, los iones hierro y fosfato incrementaron su concentración durante LN ya que el aumento de la escorrentía sobre la porción terrestre de la cuenca puede removerlos de partes subsuperficiales del suelo, como se ha establecido en estudios de largo plazo en zonas templadas (Borman *et al.*, 1974). Actualmente se conoce que la química del agua está relacionada con las perturbaciones que incrementan la precipitación. Por ejemplo, Schaefer *et al.* (2000) registraron aumentos de nitratos, amonio y potasio hasta por dos años posteriores al paso del huracán Hugo por Puerto Rico (mar Caribe) en 1989. Estos incrementos tienen valores intermedios a los obtenidos en claros de bosque y zonas taladas. Estos autores también observaron variaciones menores en otros iones, tales como sulfatos, cloruros, sodio, magnesio y calcio.

El fosfato puede provenir de acumulaciones de nutrientes en las capas profundas del suelo debido a la adición de abonos. Se ha establecido que los usos agrícolas de las tierras alteran las concentraciones de fósforo total, ortofosfatos, nitrógeno, sedimentos suspendidos totales y la alcalinidad (Johnson *et al.*, 1997; Townsend *et al.*, 1997). No obstante, en cuencas donde las prácticas agropecuarias son comunes, los efectos sobre la química de las aguas naturales varían estacionalmente y dependen de otros factores tales como el paisaje, la geología y la geomorfología (Johnson *et al.*, 1997).

En el río Pescador las fuentes de fósforo son desconocidas. Estudios en zonas templadas han determinado que la mayor cantidad de fósforo proviene de las quebradas tributarias (62%), mientras que cantidades menores son aportadas por los detritus, el agua subterránea y la precipitación (23, 10 y 5%, respectivamente, Meyer y Likens, 1979). En contraste, en cuencas de origen volcánico se ha establecido que el fósforo proviene de aguas de manantial o subterráneas (Pringle y Triska, 1989, 1991), de la precipitación (Ekland *et al.*, 1997) y de las acumulaciones en el suelo (Triska *et al.*, 1993).

Las concentraciones de fósforo similares entre las partes alta y baja de la cuenca sugieren que el río Pescador lo acumula y procesa in situ y lo exporta durante las crecientes en forma de detritus fino, como se ha establecido en otras áreas geográficas (Meyer y Likens, 1979). De acuerdo con Newbold *et al.* (1983), el fósforo se mueve cuenca abajo a una tasa de 10 m por día y se recicla cada 18 días en tramos aproximados de 190 m (espiralización) en algunos ríos de Tennessee. Este reciclaje se debe a la captura por parte del detritus grueso (62%), fino (35%) y la lama o biopelícula sobre las rocas (5%). Por tanto, la distancia de espiralización en el río Pescador puede ser corta.

Las altas concentraciones de hierro pueden reflejar más directamente la naturaleza geológica de

la cuenca (posiblemente de origen sísmico). Aparentemente, no hay aportes importantes de aguas de manantial ya que la conductividad es baja, mientras que varios iones tienen concentraciones bajas y de poca variación (Vásquez *et al.*, 1998, Blanco *et al.*, 1999). Esto contrasta lo descrito en cuencas de origen volcánico en donde las aguas subterráneas promueven altas concentraciones de algunos iones en las aguas superficiales (Pringle *et al.*, 1990; Pringle, 1991). La idea de que en el río Pescador no hay fuentes de agua subterráneas afectando el agua superficial, es apoyada por el pH casi neutro (rango 7.00-8.00), que no presentó diferencias significativas entre los dos periodos, en ninguna de las dos partes de la cuenca. En contraste, la turbiedad presentó amplia variación intraanual, lo cual muestra su estrecha relación con las crecientes comunes aun durante las condiciones EN.

Blanco (2000, 2002) mostró que el flujo de nitratos también se incrementó durante el evento LN debido al aumento de la escorrentía y la nitrificación. La saturación de oxígeno disuelto disminuyó en LN como producto de la oxidación del amonio durante la nitrificación.

Posibles efectos ecológicos. Se ha establecido que los cambios de la precipitación y la temperatura del aire en las cuencas hidrográficas tienen efectos sobre la vegetación, el suelo y el agua, los cuales de manera conjunta se reflejan en los ciclos de nutrientes (Clair y Ehrman, 1996). Con la reducción de la precipitación y el incremento de la temperatura se reduce el crecimiento de la vegetación terrestre, aumentan la evapotranspiración y la mineralización del suelo, llevando a una disminución del flujo de materia orgánica por escorrentía desde el margen ribereño hacia el cauce del río (Clair y Ehrman, 1996). Estas condiciones pueden ser típicas de la parte álgida del evento El Niño y explican las diferencias fisicoquímicas con respecto al evento La Niña anotadas arriba.

La influencia que ejercen El Niño y La Niña sobre el caudal y las condiciones fisicoquímicas también se reflejan en las comunidades acuáti-

cas. Por ejemplo, la reducción misma del caudal produce efectos físicos sobre la comunidad, incidiendo en su estructura y composición (Nowell y Jumars, 1984; Carpenter *et al.*, 1992). Actualmente se acepta que en ambientes de aguas corrientes de baja velocidad, la ausencia de agentes que causan remoción física de especies lleva al monopolio del espacio por parte de unas pocas (Patrick, 1988; Carpenter *et al.*, 1992; Grubaugh y Wallace, 1995; Townsend *et al.*, 1997). Esto no se ha observado en el río Pescador, ya que las crecientes siguen siendo frecuentes, aun durante periodos El Niño (Blanco, 2000). Sin embargo, el recrudescimiento de los caudales mínimos en este río podría afectar negativamente el reclutamiento y la supervivencia de las especies acuáticas. Estudios en el Caribe han indicado que la mortalidad de invertebrados aumenta durante sequías prolongadas debido a la aglomeración de individuos y la pérdida de conexión de los ríos (Covich *et al.*, 2000). Adicionalmente, estudios en la cuenca del río Amazonas establecen que el retraso de la temporada de lluvias durante EN provoca una emigración de los invertebrados hacia áreas que aún están inundadas (Adis y Latif, 1996).

Por otra parte, Blanco (2000) encontró mayor diversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del río Pescador en condiciones de bajo caudal ($0.5 \text{ m}^3/\text{s}$) pero crecientes menores frecuentes, como las presentadas durante el evento EN. Esta diversidad fue reducida significativamente durante el evento LN, ya que la mayor magnitud de las crecientes produce arrastre de individuos cambiando la composición de especies. Debido a que la fauna de substratos móviles es muy fácilmente perturbada y removida (Townsend *et al.*, 1997), la comunidad es dominada por especialistas que se fijan a las piedras más grandes. Lo anterior se traduce en una disminución de la diversidad de especies (Patrick, 1988).

CONCLUSIONES

Con este trabajo se establece que en la cuenca del río Pescador los eventos El Niño y La Niña

producen anomalías de precipitación negativas y positivas, respectivamente. Estas se traducen, en su orden, en una reducción de caudales mínimos e incremento de caudales máximos. Tales cambios se reflejan en variaciones de las concentraciones de iones (fosfatos, nitratos, hierro) influenciados por la magnitud de la escorrentía máxima. Estas conclusiones corroboran diferencias en el flujo del nitrógeno y variaciones de su ciclo con relación a los eventos EN y LN observadas en un trabajo anterior en la zona.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de campo fue financiado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-

CVC, mediante los proyectos 0177-97 y 0238-98. El Grupo de Monitoreo Ambiental de la entidad suministró los registros históricos de las estaciones pluviométricas y limnigráficas, y el Grupo de Hidrobiología prestó apoyo logístico y técnico. Durante la escritura del artículo, el autor principal fue financiado por el convenio cooperativo 00-CA-11120101-004 entre la Universidad de Puerto Rico y el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (USDA Forest Service). C. M. Pringle (Universidad de Georgia) y F. N. Scatena (US Forest Service, Puerto Rico) facilitaron bibliografía. Dos evaluadores anónimos realizaron comentarios importantes al manuscrito.

REFERENCIAS

- Adis J, Latif M.** 1996. Amazonian arthropods respond to El Niño. *Biotropica* 28(3):403-408.
- Blanco JF.** 2000. Flujo de nitrógeno y dinámica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en una cuenca subxerofítica tropical. Tesis de maestría, Departamento de Biología, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Blanco JF.** 2002. Flujo de nitrógeno y detritus en una quebrada de bosque seco tropical (río Pescador). *Actual Biol* 24(76):49-58.
- Blanco JF, Vásquez GL, Ramírez JC, Navarrete AM, Cantera JR.** 1999. Modelo descriptivo hidrobiológico para el programa de gestión ambiental de la cuenca del río Pescador, municipio de Bolívar, departamento del Valle del Cauca. Informe técnico SPA-HI-0238-98. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), junio. Cali.
- Bormann FH, Likens GE, Siccama TG, Pierce RS, Eaton JS.** 1974. The export of nutrients and recovery of stable conditions following deforestation at Hubbard Brook. *Ecol Monogr* 44:255-277.
- Carpenter SR, Fisher SG, Grimm NB, Kitchell JF.** 1992. Global change and freshwater ecosystems. *Ann Rev Ecol Syst* 23:119-140.
- Clair TA, Ehrman JM.** 1996. Variations in discharge and DOC and N export from terrestrial basins with changes in climate: a neural network approach. *Limnol Oceanogr* 41(5):921-927.
- Covich AP, Crawl TA, Johnson SL, Scatena FN.** 2000. Linking habitat stability to floods and droughts: effects on shrimp in montane streams, Puerto Rico. *Verh Internat Verein Limnol* 27:2.430-2.434.
- CPPS-ERFEN** (Comisión Permanente para el Pacífico Sur-Estudios Regionales del Fenómeno El Niño). 1999. Resumen ejecutivo, estudio regional del fenómeno El Niño 1997-1998. *Bol Alerta Climático* 100:5-14.
- Ekland TJ, McDowell WH, Pringle CM.** 1997. Seasonal variation of tropical precipitation chemistry in La Selva, Costa Rica. *Atmosph Environm* 23:3.903-3.910.
- Gill AE, Rasmusson EM.** 1983. The 1982-1983 climate anomaly in the Equatorial Pacific. *Nature* 306:229-234.
- Grubaugh JW, Wallace B.** 1995. Functional structure and production of the benthic community in a Piedmont river: 1956-1957 and 1991-1992. *Limnol Oceanogr* 40(3):490-501.
- Johnson LB, Richards C, Host GE, Arthur JW.** 1997. Landscape influence on water chemistry in midwestern stream ecosystem. *Freshwat Biol* 37:193-208.
- Meyer JL, Likens GE.** 1979. Transport and transformation of phosphorous in a forest stream ecosystem. *Ecology* 60(6):1.255-1.269.
- Newbold JD, Elwood JW, O'Neill RV, Sheldon AL.** 1983. Phosphorus dynamics in a woodland stream ecosystem: a study of nutrient spiralling. *Ecology* 64(5):1.249-1.265.
- Nowell ARM, Jumars PA.** 1984. Flow environments of aquatic benthos. *Ann Rev Ecol Syst* 15:303-328.
- Patrick R.** 1988. Importance of diversity in functioning and structure of riverine communities. *Limnol Oceanogr* 33(6 part 1):1.304-1.307.
- Pringle CM.** 1991. Geothermally modified surface waters at La Selva Biological Station Costa Rica: Volcanic processes introduce chemical discontinuities into lowland tropical streams. *Biotropica* 23(4b):523-529.
- Pringle CM, Triska FJ.** 1989. Spatial variation in phosphate concentrations of small-order streams draining volcanic landscapes in Costa Rica: sources and applications for nutrients cycling. In: Tiessen H, López-Hernández D, Salcedo IH (eds.). *Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems*. Regional Workshop 3: South and Central America. SCOPE-UNEP, Maracay (Venezuela), Turner-Warwick Com, Saskatoon, Canadá. 257 p.
- Pringle CM, Triska FJ, Browder G.** 1990. Spatial variation in basic chemistry of streams draining a volcanic landscape on Costa Rica Caribbean slope. *Hydrobiologia* 206:73-85.
- Pringle CM, Triska FJ.** 1991. Effects of geothermal groundwater on nutrient dynamics of a lowland Costa Rican stream. *Ecology* 72(3): 951-956.

- Quinn WH, Neal VT, Antunez de Mayolo SE.** 1987. El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *J Geophys Res* 92(C13):14.449-14.461.
- Schaefer DA, McDowell WH, Scatena FN, Asbury CE.** 2000. Effects of hurricane disturbance on stream water concentrations and fluxes in eight tropical forest watersheds of the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *J Trop Ecol* 16:189-207.
- Townsend CR, Arbuckle CJ, Crowl TA, Scarsbrook MR.** 1997. The relationship between land use and physicochemistry, food resources and macroinvertebrate communities in tributaries of the Taieri river, New Zealand: a hierarchically scaled approach. *Freshwat Biol* 37:177-191.
- Townsend CR, Scarsbrook MR, Doleddec S.** 1997. The intermediate disturbance hypothesis, refugia and biodiversity in streams. *Limnol Oceanogr* 42(5):938-949.
- Triska FJ, Pringle CM, Zellweger GW, Duff JH, Avanzino RJ.** 1993. Dissolved inorganic nitrogen composition, transformation, retention and transport in naturally phosphate-rich and phosphate-poor tropical streams. *Can J Fish Aquat Sci* 50:665-675.
- Vásquez GL, Ramírez JC, Blanco JF, Navarrete AM, Cantera JR.** 1998. Determinación de caudales mínimos ecológicos en las cuencas media y baja de los ríos Timba, Claro, Amaimé, Tuluá y Pescador, del departamento del Valle del Cauca. Informe técnico. Subdirección de Patrimonio Ambiental. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC.

