

ESTUDIO PROBABILISTICO DE PRECIPITACION Y CAUDAL EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO CALI

Yesid Carvajal E.*

Edgar Marulanda V.**

COMPENDIO

Se analizó el comportamiento probabilístico de la precipitación y el caudal, así como la influencia del fenómeno del Niño en la cuenca hidrográfica del río Cali (123 Km²), localizada en la vertiente Oriental de la cordillera Occidental en el Municipio de Santiago de Cali, en el Valle del Cauca (Colombia). En la determinación de las curvas de variación temporal y el análisis de los eventos extremos, se obtuvo buen ajuste con el método probabilístico de Weibull, la precipitación media de 2046 mm varía entre 3600 (Zona Alta) y 1200 mm (Zona Baja); el escurrimiento superficial anual de 3.94 m³ s⁻¹ oscila entre 2.32 (julio) y 6.09 m³ s⁻¹ (mayo). Los caudales extremos del río Cali han variado entre 0.20 (sequía) y 193.0 m³ s⁻¹ (época de lluvias intensas); mientras que en el río Pichindé, su principal afluente, la fluctuación ha oscilado entre 0.17 y 79.9 m³ s⁻¹. Entre 1990 y 1993 el caudal medio anual del río se redujo en 26% respecto al promedio histórico. En los años de incidencia del fenómeno del Niño han ocurrido los eventos más intensos: entre el 52 y el 84% de las precipitaciones máximas mayores de 60 mm en 24 horas los caudales críticos máximos (193.0) y mínimos (0.20 m³ s⁻¹); el Niño 1991-1992 tuvo la mayor incidencia en la disponibilidad de agua en los últimos 43 años; redujo en 36% (1311 mm) la precipitación anual y en 50% (1.97 m³ s⁻¹) el caudal medio anual.

ABSTRACT

The probabilistic behavior of the precipitation and the flow in the Cali River catchment (123 km²) was analyzed. The attained curves with the Weibull probabilistic method followed a very good adjustment. The catchment shows a medium precipitation of 2046 mm that varies from 3600 (High Zone) to 1200 mm (Low zone). The annual superficial flow was about 3.94 m³ s⁻¹ with monthly variations between 2.32 (july) and 6.09 m³ s⁻¹ (may). The extreme flows on the Cali River have varied from 0.20 (dry periods), to 193.0 m³ s⁻¹ (intense rainfall seasons). The Pichinde River, its main affluent, have showed variations between 0.17 to 79.9 m³ s⁻¹. Between 1990 and 1993, the annual medium flow felt down 26% with respect to the historical media. During years of incidence of the "Niño" phenomenon have occurred the most intensive events: between 52 % and 84 % of the maximum precipitations in 24 hours higher mean 60 mm, the maximum (193.0) and the minimum flow (0.20 m³ s⁻¹); the "Niño" 1991-92 was more incidence on the availability of water in the last 43 years: it produced a reduction of 36 % (1311 mm) in the annual precipitation, and of 50 % (1.94 m³ s⁻¹) in the medium annual flow.

INTRODUCCION

El agua es uno de los elementos que más incide sobre la potencialidad de desarrollo de una región, por lo tanto, es de gran importancia estudiar su disponibilidad y valores extremos. Actualmente, el aumento de la disponibilidad cuantitativa y cualitativa de agua, es uno de los principales problemas en el Valle del Cauca; el planteamiento de soluciones depende del desarrollo de estudios hidrológicos, del grado de conocimiento de los recursos hídricos, de las investigaciones realizadas acerca de fenómenos clima

tológicos y de las políticas de manejo y conservación de los recursos naturales.

El análisis probabilístico de los datos hidroclimatológicos de la cuenca permite disponer de una herramienta básica para proyectar y mejorar el planeamiento y aprovechamiento del recurso hídrico. En los estudios hidrológicos efectuados en la región poco se ha tenido en cuenta la incidencia del fenómeno del Niño en la distribución de la precipitación y el caudal, a pesar de

* Estudiante del Posgrado Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. A. A. 237.

** Ing. Agríc. M.Sc. Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. A. A. 237.

que su efecto en Colombia es notable, especialmente en el Valle del Cauca, por su cercanía al Océano Pacífico (Carvajal, 1994).

Partiendo de este orden de ideas, se planeó la investigación, con el propósito de efectuar un análisis probabilístico de precipitación y caudal, teniendo en cuenta la incidencia del fenómeno del Niño, en la cuenca del río Cali.

METODOLOGIA

Se estableció la red hidroclimatológica para caracterizar la cuenca teniendo en cuenta: situación, fecha de instalación, fecha de suspensión, registros existentes, duración y confiabilidad de los mismos. Se verificó la consistencia de los datos mensuales de precipitación y caudal suministrados por la CVC, aplicando el análisis doblemente acumulativo, se estimaron los datos faltantes aplicando el método de las proporciones normales (Montoya, 1995).

Precipitación. Se caracterizó el régimen de precipitación tomando como referencia los planos de curvas isoyetas mensuales (Montoya, 1995); se establecieron cuatro (4) zonas: **Alta**, localizada por encima de los 2000 msnm, **Media Suroriental**, cuenca del río Pichindé entre los 2000 y los 1500 m, **Media Nororiental**, cuenca del río Felidia entre los 2000 y los 1500 m, y **Baja** entre los 1500 y los 1050 msnm (Bocatoma).

Se determinaron las curvas de variación temporal de precipitación mensual, aplicando la probabilidad de Weibull, que consiste en ordenar descendientemente los n valores de precipitación de cada mes, calculando la probabilidad de excedencia de las n posiciones de datos, mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{m}{n + 1} * 100$$

donde P , representa la probabilidad de que el dato que ocupa el orden m de una serie de n , sea excedido.

Con el fin de ajustar la precipitación a dicha probabilidad, se aplicó regresión lineal entre los logaritmos de precipitación y los de probabilidad; con la ecuación obtenida, se determinó la precipitación para probabilidades del 4, 10, 17, 25, 50 y 98%, equivalentes a períodos de retorno de 25, 10, 6, 4, 2, y 1 año, respectivamente.

Para cada estación se seleccionaron las n mayores precipitaciones máximas en 24 horas del registro, siendo n el número de años de registro, estos datos se ajustaron a la probabilidad de Weibull, obteniéndose las precipitaciones máximas en 24 horas para tiempos de retorno de 1, 2, 4, 6, 10 y 20 años respectivamente.

Caudal. Se caracterizó el régimen de escorrentía de la cuenca a partir del caudal medio mensual multianual de los ríos Cali y Pichindé; se elaboraron los hidrogramas, y se analizó la dinámica y variación del caudal mensual a lo largo de tres décadas, así como las posibles causas en la disminución diaria del caudal medio en los últimos 4 años (1990-1993).

Para el análisis de caudales extremos (máximos y mínimos instantáneos) se aplicó la metodología descrita para la precipitación máxima en 24 horas, la cual se utiliza en Gran Bretaña y varios países europeos (Natural Environment Research Council, 1975).

Se elaboraron las curvas de variación temporal de caudal medio mensual, para los períodos de retorno de 1, 2, 4, 6, 10 y 25 años para las dos estaciones hidrométricas de la cuenca.

Se determinó la curva de duración de caudal medio diario de la estación Bocatoma para el período 1989-1993, mediante el siguiente procedimiento:

Se ordenaron por magnitud los datos de caudal medio diario, repartiéndolos en clases que agrupaban los términos comprendidos dentro de intervalos seleccionados arbitrariamente.

Se calculó la frecuencia acumulada y los porcentajes del total, para finalmente, elaborar la grafica de la curva de duración de caudal.

Incidencia del Fenómeno Niño. Se seleccionaron los períodos de ocurrencia del Niño teniendo en cuenta la estrecha relación existente entre su inicio y los valores negativos del SOI (Índice de Oscilación del Sur) (Cuadro 1); se seleccionó el SOI calculado en el Centro de Análisis Climático de la NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration), por ser el más difundido y utilizado a nivel mundial (Chavez, 1987).

Debido a que en el período 1976-1994, la mayoría de estaciones presentan datos continuos y completos, se analizaron los Niños ocurridos en dicho lapso; incluyendo 1984, por presentar incrementos notables en la precipitación y el caudal de la cuenca.

CUADRO 1. Delimitación de los períodos de ocurrencia del Niño según las anomalías del SOI.

Años	Período
1957-1958	feb de 1957 - jun de 1958
1965-1966	abr de 1965 - jul de 1966
1968-1969	ago de 1968 - abr de 1970
1972-1973	abr de 1972 - abr de 1973
1976-1978	jun de 1976 - abr de 1978
1982-1983	feb de 1982 - dic de 1983
1986-1988	ago de 1986 - feb de 1988
1991-1994	feb de 1991 a la fecha.

Tomado a partir de datos suministrados por NOAA, 1994

El porcentaje de incremento o disminución de las lluvias mensuales se determinó mediante la siguiente expresión:

$$I = \frac{P_{ni} - P_{mi}}{P_{mi}} \times 100$$

Donde:

I : Incremento de la precipitación del mes i respecto a la precipitación media histórica del mes i.

P_{ni} : Precipitación mensual o anual en el año i en que ocurrió Fenómeno del Niño.

P_{mi} : Precipitación media mensual multianual.

La precipitación media de la cuenca en cada período se calculó promediando las precipitaciones medias mensuales y/o anuales de las estaciones correspondientes a cada zona, para luego, ponderar las precipitaciones de cada zona con el área correspondiente (Cuadro 2). La precipitación media anual multianual calculada (2046 mm) fue similar a la calculada por Montoya (1995) con el método de las isoyetas (2042 mm).

A partir de la serie de precipitaciones máximas en 24 horas de cada estación, se determinó el número de precipitaciones superiores a 60 mm y el número en que estas se presentaron durante la incidencia del Niño. Se seleccionaron precipitaciones superiores a 60 mm, puesto que por experiencia se sabe, que dependiendo de su intensidad, un aguacero de esta magnitud, ocasiona problemas de inundación en la zona urbana de la ciudad de Santiago de Cali.

De la serie de caudales máximos instantáneos, se seleccionaron los mayores caudales y se determinó el número de eventos que coincidieron con la ocurrencia del fenómeno; igualmente, se tomaron los n mayores caudales máximos y se determinó los que coincidieron con la ocurrencia del fenómeno, siendo n el número de años de registro de la estación. Este procedimiento también se aplicó a los caudales mínimos instantáneos.

CUADRO 2. Cálculo de la precipitación media anual multianual de la cuenca del río Cali.

Cuenca del río Cali	Area (m ²)	(%)	Precipitación Media (mm)	Volumen de Precipitación (Mm ³)	(%)
Zona Alta	61.5	50	2583	159	63
Zona Media Suroriental	24.6	20	1798	44	18
Zona Media Nororiental	24.6	20	1245	31	12
Zona Baja	12.3	10	1461	18	7
Total	123.0	100	2046	252	100

RESULTADOS Y DISCUSION

PRECIPITACION. A nivel anual, el coeficiente de variación osciló entre 19 y 36% para las cuatro zonas, indicando una variación aceptable, si se tiene en cuenta la aleatoriedad de la precipitación anual. El valor osciló entre 26 y 87% para la precipitación mensual multianual, indicando mayor dispersión y comportamiento no uniforme de la variable.

Los coeficientes de variación de los meses tradicionalmente secos (enero, febrero, julio y agosto) presentaron los valores más altos, oscilando entre 0.60 y 0.94. Este comportamiento coincidió con los resultados obtenidos por Escobar y Terán (1984) en 30 estaciones pluviométricas del sector sur del Valle del Cauca, quienes encontraron coeficientes de variación altos en los meses secos, especialmente, en julio y agosto.

Las estaciones ubicadas a mayor altura, presentaron las mayores desviaciones standard, especialmente en los meses lluviosos; cabe anotar que la orografía de la cuenca, juega papel muy importante en la magnitud de la precipitación, puesto que ocasiona el forzoso ascenso de las nubes, obligándolas a descargar su humedad sobre las zonas altas.

Los registros indican una variación bimodal de las lluvias, con dos períodos húmedos y dos secos intercalados con eventuales distorsiones, los períodos húmedos ocurren entre marzo y

mayo y septiembre y noviembre y los secos entre diciembre y febrero y junio y agosto (Cuadro 3).

Precipitaciones máximas en 24 horas. Se encontraron coeficientes de determinación superiores a 0.85 y de correlación superiores a 0.92; indicando el alto grado de asociación entre la probabilidad de ocurrencia y la precipitación máxima en 24 horas para las estaciones pluviográficas de la cuenca.

La frecuente ocurrencia de eventos superiores a 100 mm en 24 horas (Cuadro 4), convierte la zona en sitio de alta vulnerabilidad, debido a que lluvias de esta magnitud, conjugadas con otros factores erosivos como torrencialidad de la cuenca, pendientes fuertes, cauces encañonados e inestabilidad del terreno, facilitan desprendimientos de suelo, remociones en masa y derrumbes que generan fuertes crecientes.

Curvas de variación temporal. El 3.7 % (4) de los 108 coeficientes de determinación presentó valores inferiores a 0.70, indicando en términos generales, que estos fueron aceptables; dichos valores oscilaron entre 0.49 y 0.99.

Los años de registro de las estaciones (entre 23 y 44 años) y los altos coeficientes de determinación encontrados, garantizan la confiabilidad de la información obtenida.

CUADRO 3. Precipitaciones mensuales medias de las estaciones de la Cuenca del río Cali

ESTACION	PRECIPITACION (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
COREA (1965-1986)	MEDIA	254	275	376	451	410	268	135	181	272	475	409	333	3839
PEÑAS BLANCAS (1965-1993)	MEDIA	141	147	180	252	254	150	89	112	170	250	197	142	2085
LA TERESITA (1965-1993)	MEDIA	109	120	140	209	204	141	88	108	156	234	187	128	1824
TOTAL	MEDIA	168	181	232	304	289	186	104	134	199	320	264	201	2583
ZONA ALTA	MAXIMA	254	275	376	451	410	268	135	181	272	475	409	333	3839
	MINIMA	109	120	140	209	204	141	88	108	156	234	187	128	1824
YANACONAS (1938-1993)	MEDIA	96	106	121	197	205	125	59	80	106	191	149	117	1552
LAS BRISAS (1969-1993)	MEDIA	119	144	180	253	256	134	68	110	143	238	232	165	2043
TOTAL	MEDIA	108	125	151	225	231	130	64	95	125	215	191	141	1798
ZONA MEDIA	MAXIMA	119	144	180	253	256	134	68	110	143	238	232	165	2043
SURORIENTAL	MINIMA	96	106	121	197	205	125	59	80	106	191	149	117	1552
BRASILIA (1965-1993)	MEDIA	86	91	120	169	185	116	66	94	128	162	131	102	1451
AGUACATAL (1970-1993)	MEDIA	53	64	81	144	113	79	48	58	93	129	109	69	1039
TOTAL	MEDIA	70	78	101	157	149	98	57	76	111	146	120	86	1245
ZONA MEDIA	MAXIMA	86	91	120	169	185	116	66	94	128	162	131	102	1451
NORORIENTAL	MINIMA	53	64	81	144	113	79	48	58	93	129	109	69	1039
PLANTA RIO CALI (1929-1993)	MEDIA	71	74	106	146	139	86	48	54	83	144	126	90	1167
LOS CRISTALES (1969-1993)	MEDIA	104	122	176	220	212	113	61	88	120	220	178	141	1754
TOTAL	MEDIA	88	98	141	183	176	100	55	71	102	182	152	116	1461
ZONA BAJA	MAXIMA	104	122	176	220	212	113	61	88	120	220	178	141	1754
	MINIMA	71	74	106	146	139	86	48	54	83	144	126	90	1167

CUADRO 4. Frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas superiores a 100 mm presentadas en la cuenca del río Cali.

Estación	Cuenca	Frecuencia (Veces/Años)	Tiempo retorno (Años)
Las Brisas	Cañaveralejo	10 en 26	2.6
Los Cristales	Cañaveralejo	6 en 26	4.3
Corea	Meléndez	4 en 18	4.5
Peñas Blancas	Pichindé	4 en 30	7.5
Silencio	Pichindé	2 en 18	9.0
Yanaconas	Pichindé	3 en 26	8.7
Brasilia	Felidia	2 en 30	15.0
La Teresita	Felidia	1 en 29	29.0
Leonera	Felidia	1 en 30	30.0
Planta R.	Cali	2 en 43	21.5
San Pablo	Aguacatal	1 en 24	24.0

* Información obtenida a partir de datos suministrados por la Sección de Hidroclimatología de CVC.

CAUDAL. Los coeficientes de variación de los caudales medios anuales de los ríos Cali y Pichindé (0.21 y 0.26) indicaron variación aceptable y mayor homogeneidad respecto a los datos de precipitación mensual de la cuenca. En la estación Bocatoma, los mayores coeficientes de variación de caudal medio mensual (0.42-0.46), ocurrieron en febrero, marzo y septiembre; la mayor variabilidad en el caudal medio mensual, se presentó en los mismos meses o en los inmediatamente anteriores a la ocurrencia de los mayores coeficientes de variación en la precipitación mensual de la cuenca. Lo anterior se fundamenta en que el caudal medio mensual del río se compone del escurrimiento superficial, propio de las lluvias del mes, y del escurrimiento subsuperficial, propio de las lluvias del mes y de los que le anteceden; por lo tanto, las grandes variaciones en la precipitación de un mes, se reflejan en las variaciones del caudal medio mensual del mismo mes o de los siguientes.

En la estación Pichindé, los mayores coeficientes de variación del caudal medio mensual (0.73-0.86) se presentaron en agosto, septiembre

y octubre.

Los mayores valores de desviación standard en el caudal medio mensual registrado en la Bocatoma, correspondieron a los meses de lluvias (mayo y noviembre), mientras que en la estación Pichindé correspondieron a los meses de mayo y octubre.

Régimen de escurrimiento mensual. A la altura de la Bocatoma, el río Cali presentó un caudal medio anual multianual de $3.94 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ oscilando entre 2.32 y $6.09 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A nivel mensual, se aprecia una distribución bimodal con dos períodos de caudal alto (abril-junio, octubre-diciembre), intercalados con los períodos de bajo caudal. En 43 años, la estación La Bocatoma, ha registrado un mínimo caudal medio mensual de 0.75 (septiembre, 1980) y uno máximo de $12.39 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (mayo, 1962).

El caudal medio mensual del río Pichindé presenta un comportamiento bimodal similar al del río Cali: registra un caudal medio anual multianual de $2.40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ oscilando entre 1.51 y $3.34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. En 25 años, la estación Pichindé ha

registrado un mínimo caudal medio mensual de 0.38 (septiembre, 1983) y uno máximo de 12.95 m³ s⁻¹ (octubre, 1990).

Dinámica y variación del caudal mensual del río Cali. El primer período seco del año es menos fuerte y más atenuado que el segundo, debido entre otros a los siguientes factores: la evapotranspiración es más alta en el segundo período (250 vs 119 mm), (Montoya, 1995) y la precipitación es menor (339 vs 426 mm).

Entre 1990 y 1993 el caudal medio del río Cali ha disminuido, especialmente en el periodo de julio - septiembre, debido entre otros factores a la incidencia del fenómeno del Niño en los últimos 4 años, al Consumo de agua en la zonas Alta y Media de la cuenca, a las pérdidas de agua en verano por infiltración (Giraldo, 1994), a la desviación de agua de la quebrada El Socorro

hacia el Pacífico.

Caudales máximos instantáneos. En el análisis de caudales máximos instantáneos se encontraron coeficientes de determinación superiores a 0.96 y de correlación superiores a 0.98, que indicaron alto grado de asociación entre la probabilidad de ocurrencia y el caudal máximo instantáneo (Cuadro 5).

El promedio histórico de la carga anual de sedimentos del río Cali es de 6475 t/año; sin embargo, una creciente puede arrastrar el 70% del total anual de sedimentos en un día, o el 77% en tres días consecutivos, como ocurrió en julio de 1984 y en noviembre de 1990.

El Cuadro 6 registra los caudales extremos estimados utilizando la probabilidad de Weibull.

CUADRO 5. Parámetros de las regresiones logarítmicas del análisis de caudal máximo y mínimo instantáneo.

Parámetro	Constante	Coefficiente x	Coefficiente Determinación	Coefficiente Correlación
Máximo instantáneo				
Pichindé	1.990	- 0.3240	0.9275	0.9630
Bocatoma	2.572	- 0.4490	0.9404	0.9697
Mínimo instantáneo				
Pichindé	- 0.8703	- 0.3963	0.9243	0.9614
Bocatoma	- 1.0150	- 0.5892	0.9638	0.9817

Modelo Lineal de la forma $Y = A + BX$

CUADRO 6. Caudales máximos y mínimos instantáneos estimados para diferentes tiempos de retorno (Tr) en los ríos de la cuenca.

Tr	Probabilidad	Caudal Máximo		Caudal Mínimo	
		Instantáneo ($m^3 s^{-1}$)			
Años	(%)	Pichindé	Bocatoma	Pichindé	Bocatoma
1	99.10	20.0	45.0	0.83	1.45
2	50.00	25.0	61.0	0.64	0.97
3	33.33	29.0	72.0	0.54	0.76
4	25.00	32.0	82.0	0.48	0.64
5	20.00	35.0	90.0	0.44	0.56
10	10.00	44.0	121.0	0.34	0.37
15	6.67	51.0	145.0	0.29	0.30
20	5.00	57.0	164.0	0.26	0.25

Caudales mínimos instantáneos. En el análisis de caudales mínimos se encontraron coeficientes de determinación superiores a 0.92 y de correlación superiores a 0.96, indicando el alto grado de asociación entre la probabilidad de ocurrencia y el caudal mínimo instantáneo.

Curvas de variación temporal de caudal. Los coeficientes de variación oscilaron entre 0.73 y 0.97, presentando buen ajuste; el comportamiento cronológico y probabilístico que muestran estas curvas indica la ocurrencia de dos períodos de caudales altos y dos de caudales bajos; en el río Pichindé corresponde a octubre la mayor probabilidad de ocurrencia de caudales medios máximos, y a mayo y noviembre en el río Cali; mientras que en ambos ríos, en agosto y septiembre, se presenta la mayor probabilidad de ocurrencia de caudales medios mínimos.

Lo anterior, sumado al análisis de caudales medios y extremos, indica la necesidad de regular el caudal del río: la construcción de un embalse permitirá controlar los efectos nocivos de las crecientes, almacenar agua para aumentar la disponibilidad en verano, y mejorar la estética del río al reducir el grado de contaminación a su paso por la ciudad.

Curva de duración de Caudal. En los últimos

5 años, el caudal medio diario del río ha oscilado entre 37.0 y 0.75 $m^3 s^{-1}$, indicando que la regulación natural del cauce no es buena, debido principalmente a la torrencialidad de la cuenca, y a la variabilidad en el régimen de precipitación. En el 13.1% del tiempo (240 días), el río ha presentado un caudal medio diario igual o inferior a 1.27 $m^3 s^{-1}$, es el caudal mínimo necesario para abastecer adecuadamente de agua potable a la parte alta de la ciudad de Santiago de Cali.

Incidencia del Niño.

Precipitaciones máximas en 24 horas. Más del 52.4% de las precipitaciones máximas superiores a 60 mm han ocurrido en los años de incidencia del Niño (Cuadro 7), lluvias que por su magnitud e intensidad favorecen la erosión hídrica y generan caudales máximos que ocasionan desbordamientos en la ciudad.

Caudales máximos instantáneos. El 60% (6) de los 10 mayores caudales máximos instantáneos registrados en 25 años en el río Pichindé, han ocurrido en período de incidencia del fenómeno del Niño; el 52% (12) de los 23 mayores caudales máximos instantáneos registrados en Pichindé (79.9-28.4 $m^3 s^{-1}$) ocurrieron en período de incidencia del fenómeno.

CUADRO 7. Precipitaciones superiores a 60 mm presentadas en la cuenca del río Cali.

Estación	Precipitaciones > 60 mm			
	Histórico	Período Niño	% (mm)	Rango
Corea	109	91	83.5	135-60
Peñas Blancas	32	25	78.1	135-60
La Teresita	28	20	71.4	84-60
Los Cristales	61	43	70.5	140-60
Planta Río Cali	35	26	71.4	113-60
Las Brisas	79	546	68.4	135-60
Yanaconas	40	24	60.0	188-60
Brasilia	21	11	52.4	107-60
Aguacatal	7	5	74.3	135-60

El 70% (7) de los 10 mayores caudales máximos instantáneos registrados en río Cali ocurrieron en período de incidencia del fenómeno (Cuadro 8); el 67% (35) de los 52 mayores caudales máximos instantáneos registrados en el río Cali, (193.0-45.9 m³ s⁻¹) ocurrieron en período de incidencia del fenómeno. Lo anterior eviden-

cia cierta asociación entre la ocurrencia del fenómeno y los caudales máximos instantáneos presentados en la cuenca. El caudal máximo instantáneo es una variable directamente ligada a las fuertes precipitaciones, por lo cual, un incremento en las mismas genera una respuesta en los caudales máximos.

CUADRO 8. Mayores caudales máximos instantáneos registrados en los ríos Pichindé y Cali en período de incidencia del Niño.

PICHINDE			CALI		
Caudal (m ³ s ⁻¹)	Fecha	Frecuencia (años)	Caudal (m ³ s ⁻¹)	Fecha	Frecuencia (años)
79.9	may de 1974	1 en 25	193.0	jul de 1984	1 en 43
31.4	may de 1975	4 en 25	165.0	mar de 1974	3 en 43
30.6	oct de 1987	5 en 25	161.0	sep de 1973	5 en 43
29.6	oct de 1986	8 en 25	143.0	nov de 1986	6 en 43
29.6	may de 1982	9 en 25	91.0	oct de 1986	8 en 43
26.0	abr de 1978	10 en 25	85.0	abr de 1978	9 en 43
			83.8	may de 1978	10 en 43

ACTA AGRONOMICA

Caudales mínimos instantáneos. En el Río Pichindé, el 100% (10) de los 10 menores caudales mínimos instantáneos registrados, ocurrieron en período de incidencia del Niño (Cuadro 9); el 71% (24) de los 34 menores caudales mínimos instantáneos ($0.60-0.17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), se presentaron en período de incidencia del fenómeno Niño.

En el río Cali, el 67% (4) de los 6 menores caudales mínimos se registraron en el período de incidencia del fenómeno (Cuadro 9); el 60% (30) de los 50 menores caudales mínimos registrados en 43 años ($0.99-0.20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), ocurrieron en el período de incidencia del fenómeno.

CUADRO 9 . Menores Caudales mínimos instantáneos registrados en Los ríos Pichindé y Cali en período de incidencia del Niño.

PICHINDE			CALI		
Caudal ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Fecha	Frecuencia (años)	Caudal ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Fecha	Frecuencia (años)
0.17	sep de 1983	1 en 25	0.20	oct de 1958	1 en 43
0.17	oct de 1983	2 en 25	0.30	sep de 1958	3 en 43
0.20	sep de 1976	3 en 25	0.40	sep de 1957	6 en 43
0.30	ago de 1976	4 en 25	0.40	oct de 1983	5 en 43
0.40	mar de 1973	5 en 25	0.40	jul de 1976	6 en 25
0.40	sep de 1976	7 en 25			
0.40	ago de 1983	8 en 25			
0.40	nov de 1983	9 en 25			
0.42	sep de 1992	10 en 25			

Del análisis de la información se deduce que existe cierta correspondencia entre los años de ocurrencia del fenómeno y los períodos extremadamente secos y húmedos que ha presentado la cuenca. En los años de ocurrencia del fenómeno, el caudal se ha incrementado 50 veces por encima de su valor normal ($193.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 1984) y ha disminuido 20 veces por debajo del mismo ($0.20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 1958); esto ratifica la necesidad de regular el caudal del río.

BIBLIOGRAFIA

- CARVAJAL E., Y. Informe de evaluación de la creciente del río Pance ocurrida el 13 de mayo de 1994 en cercanías a la Reserva Natural de Hato Viejo. EMCALI, 1994. 12 p.
- CHAVEZ, F. El Niño y la Oscilación del Sur. *En: Investigación y Ciencia*. No 128, 1987. p 46-55.

- EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI. El fenómeno del Niño y su incidencia en la región. EMCALI, 1994. 27 p.
- ESCOBAR CH, C.A. y TERAN, R.O. Estudio probabilístico de la precipitación en el Valle del río Cauca (Sector Sur). Tesis Ing. Agríc. Universidad Nacional de Colombia-Universidad del Valle. Cali, 1984. 210 p.
- GIRALDO A., F. Identificación de pérdidas de caudal en la subcuenca hidrográfica del río Cali. Corporación Autónoma Regional del Cauca (CVC), 1994. 8 p.
- MONTOYA, A. H. Sistematización y actualización del balance de producción hídrica de la Cuenca Hidrográfica del río Cali. Proyecto de Grado. Ing. Agríc. Universidad del Valle-Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 1994. 135 p.
- NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL, Flood studies report, Hydrological studies. Wallingford; Oxon, England : Institute of Hydrology, 1975. Vol. 1.