

## **Generación de caudales mensuales en microcuencas no aforadas con el modelo de la National Rural Electric Cooperative Association: Caso microcuenca Chiriac, 2015**

Monthly Streamflow generation in microbasins ungauged with the model National Rural Electric Cooperative Association: Case microbasin Chiriac, 2015

TORIBIO REYES RODRÍGUEZ<sup>1</sup>

### **RESUMEN**

La investigación tuvo como objetivo generar caudales mensuales en la microcuenca Chiriac empleando el modelo de la National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos, la calibración del modelo se hizo con dos mediciones de caudales realizadas en los meses de agosto y setiembre del 2015, posteriormente se generaron los caudales mensuales. La microcuenca Chiriac aporta un caudal específico de 49.5 litros/s.km<sup>2</sup> y 0.01 litros/s.km<sup>2</sup> en el mes de marzo y setiembre que son los meses de máximo y mínimo caudal, como conclusión el modelo referido se puede usar para la generación de caudales mensuales en la microcuenca Chiriac.

**Palabras clave:** calibración; caudal; caudal específico.

### **ABSTRACT**

The research aimed to generate monthly flows in the Chiriac microbasin using the model of the National Rural Electric Cooperative Association of the United States, the model calibration was made with two flow measurements made in the months of August and September 2015, subsequently the monthly flows were generated.

The Chiriac microbasin contributes a specific flow of 49.5 liters/s.km<sup>2</sup> and 0.01 liters/s.km<sup>2</sup> in March and September, which are the months of maximum and minimum flow. In conclusion, the referred model can be used for the generation of monthly flows in the Chiriac microbasin.

**Keywords:** calibration; flow; specific flow.

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

## INTRODUCCIÓN

La capacidad limitada del estado peruano para instalar estaciones hidrométricas dificulta la gestión adecuada de los recursos hídricos en las subcuencas y microcuencas del Perú, por lo que urge realizar modelaciones matemáticas de los caudales en las subcuencas y microcuencas peruanas, más aún cuando la demanda hídrica se está incrementando debido al crecimiento poblacional, y al cambio climático a nivel mundial. En el presente trabajo investigación se aplicó el modelo de la National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos para generar los caudales mensuales de la microcuenca Chiriac.

En la microcuenca Chiriac se realizan principalmente actividades agropecuarias y mineras, el agua es un factor productivo muy importante e imprescindible para realizar estas actividades, su escasez podría generar conflictos económicos, sociales, y ambientales.

Los objetivos de la investigación son: estimar los parámetros del modelo de generación de caudales mensuales mediante el modelo de la National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos, y generar los caudales mensuales de la microcuenca Chiriac.

El análisis de sensibilidad de un modelo es importante para testear los datos de entrada y los parámetros del modelo (Mays y Tung, 2002).

Singh y Frevert (2002) indican que existen diferentes métodos de estimación de parámetros de un modelo hidrológico tales como calibración, optimización, mínimos cuadrados, entrópicos, máxima verosimilitud y redes neuronales.

Popper (2011) indica que la objetividad de los enunciados científicos está en el hecho que pueden ser contrastados intersubjetivamente.

El modelo de la National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos para la generación de caudales mensuales se aplica para cuencas menores o iguales a 1000 km<sup>2</sup>, en la cual no existan embalses, lagos, y nevados de consideración (Crawford y Thurin, 1981).

Dingman (2002) indica que los cambios de las escorrentías son más sensibles a los cambios de las precipitaciones que a los cambios a la evapotranspiración.

Crawford y Thurin (1981) indican en la Figura 1 el modelo conceptual para la generación de caudales de la National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos:

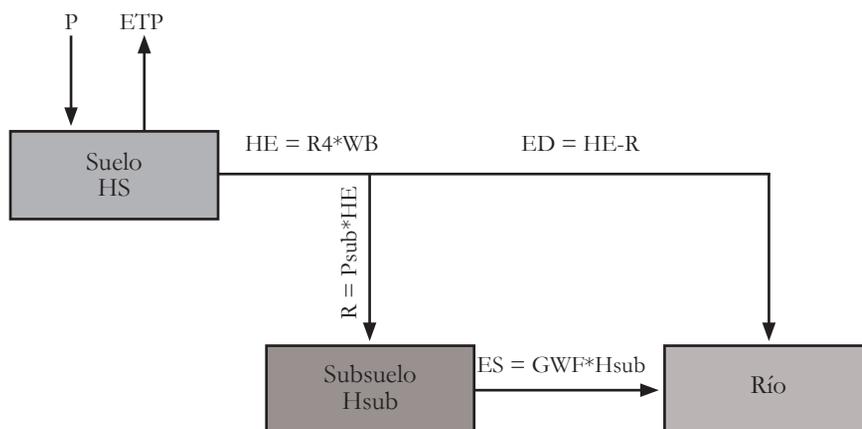


Figura 1. Modelo conceptual para la generación de caudales mensuales

Nominal es la capacidad de almacenamiento del suelo que depende de la textura, pendiente del terreno, y espesor de la franja de suelo. Si el valor de nominal aumenta la escorrentía superficial disminuye, y aumenta la evapotranspiración (Crawford y Thurin, 1981).

$P_{sub}$  es la fracción de la escorrentía que aporta al flujo subterráneo de la cuenca, el valor promedio de  $P_{sub}$  es 0.6, el valor de  $P_{sub}$  en cuencas con suelos muy permeables es 0.8 y en suelos de baja permeabilidad el valor de  $P_{sub}$  es 0.3 (Crawford y Thurin, 1981).

Crawford y Thurin (1981) indican que  $GWF$  es la fracción del volumen total del agua subterránea que aporta al caudal, el valor medio es 0.5, el valor de  $GWF$  es 0.9 en cuencas que tienen poca sostenibilidad de flujo y toma el valor de 0.2 en cuencas que alta sostenibilidad de flujo.

Haryanto y otros (2013) generaron caudales mensuales en el área de irrigación Riam Kanan, South Kalimantan, Indonesia y llegaron a la conclusión que tanto el modelo de Mock y de la National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos dan resultados muy similares.

En el presente artículo de investigación se presentan los parámetros obtenidos del modelo de la National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos y los caudales mensuales generados para la microcuenca Chiriac.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca Chiriac hidrográficamente pertenece a la cuenca del río Santa (Perú), está en la Cordillera Negra (Callejón de Huaylas). Políticamente se encuentra en el distrito de Recuay, región Áncash.

La investigación realizada es de tipo aplicada porque tiene utilidad práctica inmediata, el diseño de investigación es no experimental porque los datos son observacionales que corresponden a fenómenos hidrometeorológicos que ocurrieron naturalmente.

Para realizar el trabajo de investigación se siguió el procedimiento siguiente: delimitación de la microcuenca Chiriac con los mapas digitales 20 – h (Huaraz) y 20 – i (Recuay) empleando el software ArcGis 10.2.1, determinación parámetros geomorfológicos principales de la microcuenca Chiriac empleando las fórmulas pertinentes, generación de precipitaciones y evaporaciones mensuales para la microcuenca de Chiriac a partir de los registros de precipitaciones y evaporaciones mensuales de la estación de Recuay adquiridos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) empleando métodos de regresión estadística, determinación de los parámetros del modelo empleando el método de la calibración, y el parámetro GWF se obtuvo con los caudales que se midieron en los meses de agosto y setiembre del año 2015 empleando el método de flotador, finalmente se generaron los caudales mensuales en la microcuenca Chiriac mediante el modelo matemático de la National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos, que se describe a continuación:

### 1) Estimación de los parámetros del modelo

$$\text{Nominal} = (100 + C_1 * \text{PMA}) C_2$$

Donde:

$C_1$  varía de 0.20 a 0.25, en zonas con lluvia continua durante el año  $C_1 = 0.20$ , en zonas con lluvia estacional  $C_1 = 0.25$ , PMA (precipitación media anual, mm),  $C_2$  que varía de 0.75 a 1.00, el valor 0.75 para cuencas con escasa cobertura vegetal (Crawford y Thurin, 1981).

### 2) Valores de frontera del modelo

Para la microcuenca Chiriac se consideró:  $HS_0 = 1.15 * \text{Nominal}$ ;  $H_{sub_0} = 0.30 * \text{Nominal}$  y se empezó en el mes de enero.

Donde:  $HS_0$  es la humedad inicial en el suelo y  $H_{sub_0}$  es la humedad inicial en el subsuelo ( $H_{sub_0}$ )

### 3) Procedimiento recursivo del modelo

a) Se ingresa la precipitación (P) y evapotranspiración potencial (ETP) correspondiente al primer mes.

- b) Se halla la relación de almacenamiento de agua en el suelo con respecto a su capacidad máxima de almacenamiento (Nominal)

$$R_1 = HS_o / \text{Nominal}$$

- c) Se calcula la relación P/ETP

Se halla la evapotranspiración real (ETR) usando la Tabla 1 y R1

Tabla 1. Relación ETR/ETP en función de P/ETP y R1

P/ ETP	R1										
	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
0.00	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.10	0.10	0.15	0.19	0.24	0.28	0.33	0.38	0.42	0.47	0.51	0.56
0.20	0.20	0.24	0.28	0.33	0.37	0.41	0.45	0.49	0.54	0.58	0.62
0.30	0.30	0.34	0.38	0.41	0.45	0.49	0.53	0.57	0.60	0.64	0.68
0.40	0.40	0.43	0.47	0.50	0.54	0.57	0.60	0.64	0.67	0.71	0.74
0.50	0.50	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.80
0.60	0.60	0.63	0.65	0.68	0.70	0.73	0.76	0.78	0.81	0.83	0.86
0.70	0.70	0.72	0.74	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.88	0.90	0.92
0.80	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.98
0.90	0.90	0.91	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

- d) Se halla el balance de agua en el suelo (WB)

$$WB = P - ETR$$

- e) Se halla la razón de exceso de humedad del suelo ( $R_4$ )

$$\text{Si } (WB > 0 \text{ y } R_1 > 1) \text{ entonces } R_4 = 1 - (0.5 (2 - R_1))^2$$

$$\text{Si } (WB > 0 \text{ y } R_1 < 1) \text{ entonces } R_4 = 0.5 (R_1)^2$$

$$\text{Si } (WB < 0) \text{ entonces } R_4 = 0$$

- f) Se calcula el exceso de humedad en el suelo (HE)

$$HE = R_4 * WB$$

- g) Se halla el cambio de humedad en el suelo ( $\Delta HS$ )

$$\Delta HS = WB - HE$$

- h) Se halla la recarga al subsuelo (R)

$$R = P_{\text{sub}} * HE$$

i) Se calcula la humedad de agua almacenada en el subsuelo

$$H_{sub} = H_{sub_0} + R$$

j) Se halla el escurrimiento subterráneo hacia el río (ES)

$$ES = GWF * H_{sub}$$

k) Se calcula el escurrimiento directo hacia el río (ED)

$$ED = HE - R$$

l) Se halla el escurrimiento total (E)

$$E = ED + ES$$

m) Se halla el nuevo valor de la humedad almacenada en el suelo

$$HS = HS_0 + \Delta HS$$

o) Se determina el nuevo valor de la cantidad de agua en el subsuelo

$$H_{sub_0} = H_{sub} - ES$$

p) Se repite la secuencia de cálculo para el mes siguiente haciendo

$$HS_0 = HS \text{ y } H_{sub_0}$$

## RESULTADOS

En la figura 2 se indica el mapa de la microcuenca Chiriac delimitada con el software ArcGis 10.2.1 y en la tabla 2 los parámetros geomorfométricos de la microcuenca Chiriac.

Tabla 2. Parámetros geomorfométricos de la microcuenca Chiriac

Microcuenca	A	P	L	Z máx.	Z mín.	$\Delta Z$	S
	(km <sup>2</sup> )	km	km	msnm	msnm	m	(%)
Chiriac	9.36	17.27	17.71	4800	3412	1388	7.84

El índice de Gravellius es igual a 1.59, por lo que la forma de la microcuenca Chiriac es alargada.

En la figura 3 se indica la curva hipsométrica de la microcuenca Chiriac y la media altitudinal de la microcuenca Chiriac que es igual a 4280 m.s.n.m.



La estación pluviométrica más cercana en la microcuenca es la estación de Recuay (latitud: 77°27' W, longitud: 09°43' S, 3394 msnm)

La precipitación media anual (PMA) en la microcuenca Chiriac se estimó utilizando la fórmula (2) obtenida a partir de la ecuación (1):

$$PMA_{\text{Chiriac}} = PMA_{\text{Recuay}} \left( \frac{Z_{\text{Chiriac}}}{Z_{\text{Recuay}}} \right)^{1.3875} = 1236.6 \text{ mm} \quad (2)$$

En la tabla 3 se indican las precipitaciones totales mensuales en la estación de Recuay.

Tabla 3. Precipitaciones totales mensuales (mm)  
Estación de Recuay (Z = 3394 msnm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1995	46.4	98.4	144.3	128.9	39.0	0.6	0.0	4.5	18.4	75.2	79.8	124.8
1996	135.2	161.0	208.8	62.1	28.2	0.0	0.0	6.8	17.8	92.0	43.2	76.9
1997	106.5	142.5	44.2	49.9	16.2	0.0	0.0	1.7	23.6	49.3	77.7	200.5
1998	246.2	203.4	173.3	138.4	30.6	15.6	0.0	5.8	38.8	150.4	26.6	39.4
1999	132.2	213.5	129.1	104.3	62.2	9.3	0.0	0.7	62.5	47.9	96.4	111.7
2000	59.5	189.5	124.5	90.6	48.8	0.0	0.0	29.2	31.7	42.5	39.0	164.8
2001	220.7	123.2	259.1	48.2	30.6	13.9	0.0	0.1	84.4	66.8	172.4	56.0
2002	87.3	99.1	175.3	58.8	24.7	7.7	0.0	0.0	22.0	62.1	155.3	157.0
2003	116.2	109.0	163.5	66.2	27.1	8.9	6.4	0.0	2.9	57.4	39.8	92.9
2004	47.0	126.6	119.4	84.6	24.6	4.5	0.8	0.0	59.6	105.2	110.0	91.8
2009	201.3	117.9	327.5	121.2	68.5	4.0	0.0	13.8	14.6	146.2	139.7	152.9
Media	127.1	144.0	169.9	86.7	36.4	5.9	0.7	5.7	34.2	81.4	89.1	115.3

Fuente: SENAMHI, 2009

En la tabla 4 se indican las precipitaciones totales estimadas para la microcuenca Chiriac (Z = 4280 m.s.n.m.), es decir, correspondiente a la altitud media de la microcuenca Chiriac.

Tabla 4. Precipitaciones totales mensuales (mm)  
Microcuenca Chiriac (Z = 4280 m.s.n.m.)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1995	64.0	135.8	199.1	177.9	53.8	0.8	0.0	6.2	25.4	103.8	110.1	172.2
1996	186.6	222.2	288.1	85.7	38.9	0.0	0.0	9.4	24.6	127.0	59.6	106.1
1997	147.0	196.7	61.0	68.9	22.4	0.0	0.0	2.3	32.6	68.0	107.2	276.7
1998	339.8	280.7	239.2	191.0	42.2	21.5	0.0	8.0	53.5	207.6	36.7	54.4
1999	182.4	294.6	178.2	143.9	85.8	12.8	0.0	1.0	86.3	66.1	133.0	154.1
2000	82.1	261.5	171.8	125.0	67.3	0.0	0.0	40.3	43.7	58.7	53.8	227.4
2001	304.6	170.0	357.6	66.5	42.2	19.2	0.0	0.1	116.5	92.2	237.9	77.3
2002	120.5	136.8	241.9	81.1	34.1	10.6	0.0	0.0	30.4	85.7	214.3	216.7
2003	160.4	150.4	225.6	91.4	37.4	12.3	8.8	0.0	4.0	79.2	54.9	128.2
2004	64.9	174.7	164.8	116.7	33.9	6.2	1.1	0.0	82.2	145.2	151.8	126.7
2009	277.8	162.7	452.0	167.3	94.5	5.5	0.0	19.0	20.1	201.8	192.8	211.0
Media	175.4	198.7	234.5	119.6	50.2	8.1	0.9	7.9	47.2	112.3	122.9	159.2

Para estimar la evaporación media anual en la microcuenca Chiriac se utilizó la ecuación regionalizada (3) para la evaporación media anual en la cuenca del río Santa, la misma que se tomó del Estudio de Ingeniería Regulación de la Laguna Rajucolta, dado que en la microcuenca no se dispone de estaciones meteorológicas:

$$E=1752.5-0.1417Z$$

$$R = 0.951$$

Donde:

E = evaporación media anual (mm)

Z = altitud (m.s.n.m.)

R = coeficiente de correlación

En la tabla 5 se indica la evaporación registrada en la estación de Recuay (Z = 3394 m.s.n.m.). La evaporación media anual en la microcuenca Chiriac es igual a 1146.02 mm, obtenida con la fórmula (3).

Tabla 5. Evaporación totales mensuales (mm)  
Estación Recuay (Z = 3394 m.s.n.m.)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2004	124.6	92.5	106.9	103.4	111.3	106.2	107.6	133.1	119.9	116.7	95.9	102.0
2005	105.5	93.3	74.7	96.9	122.7	109.5	138.2	131.8	116.9	108.8	97.6	88.7
2006	107.4	77.4	79.4	101.2	112.3	116.2	131.1	118.3	126.2	105.4	99.3	96.0
2007	113.8	100.2	89.6	87.6	110.5	122.4	133.1	138.7	122.3	109.4	99.3	109.8
2008	108.9	90.5	98.4	95.2	130.3	115.3	129.4	129.6	126.0	98.3	109.0	97.3
2009	78.1	66.7	86.3	91.7	109.3	112.3	120.8	130.3	125.7	108.6	88.0	89.6
2010	94.5	100.0	84.9	117.9	117.7	121.8	129.4	131.9	82.7	133.2	98.7	64.0
2011	81.6	73.8	85.8	77.4	129.4	128.1	120.1	124.0	121.2	133.9	111.0	77.4
2012	89.4	78.1	91.8	72.2	113.6	120.2	130.3	122.6	116.8	121.5	99.9	80.5
Media	100.4	85.8	88.6	93.7	117.5	116.9	126.7	128.9	117.5	115.1	99.9	89.5

Fuente: SENAMHI, 2012

En la tabla 6 se indica la evaporación total mensual en la microcuenca Chiriac.

Tabla 6. Evaporación totales mensuales (mm)  
Microcuenca Chiriac (Z = 4280 m.s.n.m.)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2004	111.4	82.7	95.6	92.4	99.5	94.9	96.2	119.0	107.2	104.3	85.7	91.2
2005	94.3	83.4	66.8	86.6	109.7	97.9	123.6	117.8	104.5	97.3	87.3	79.3
2006	96.0	69.2	71.0	90.5	100.4	103.9	117.2	105.8	112.8	94.2	88.8	85.8
2007	101.7	89.6	80.1	78.3	98.8	109.4	119.0	124.0	109.3	97.8	88.8	98.2
2008	97.4	80.9	88.0	85.1	116.5	103.1	115.7	115.9	112.6	87.9	97.4	87.0
2009	69.8	59.6	77.2	82.0	97.7	100.4	108.0	116.5	112.4	97.1	78.7	80.1
2010	84.5	89.4	75.9	105.4	105.2	108.9	115.7	117.9	73.9	119.1	88.2	57.2
2011	73.0	66.0	76.7	69.2	115.7	114.5	107.4	110.9	108.4	119.7	99.2	69.2
2012	79.9	69.8	82.1	64.5	101.6	107.5	116.5	109.6	104.4	108.6	89.3	72.0
Media	89.8	76.7	79.2	83.8	105.0	104.5	113.2	115.3	105.1	102.9	89.3	80.0

La evapotranspiración potencial (ETP) se estimó con la fórmula (4):

$$ETP=0.85E_v \quad (4)$$

Tabla 7. Evapotranspiración potencial (mm)  
Microcuenca Chiriac (Z = 4280 m.s.n.m.)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2004	68.1	60.3	48.2	62.6	79.3	70.7	89.3	85.1	75.5	70.3	63.0	57.3
2005	69.4	50.0	51.3	65.4	72.5	75.1	84.7	76.4	81.5	68.1	64.1	62.0
2006	73.5	64.7	57.9	56.6	71.4	79.1	86.0	89.6	79.0	70.7	64.1	70.9
2007	70.3	58.5	63.6	61.5	84.2	74.5	83.6	83.7	81.4	63.5	70.4	62.8
2008	50.4	43.1	55.7	59.2	70.6	72.5	78.0	84.2	81.2	70.1	56.8	57.9
2009	61.0	64.6	54.8	76.2	76.0	78.7	83.6	85.2	53.4	86.0	63.8	41.3
2010	52.7	47.7	55.4	50.0	83.6	82.7	77.6	80.1	78.3	86.5	71.7	50.0
2011	57.7	50.4	59.3	46.6	73.4	77.6	84.2	79.2	75.4	78.5	64.5	52.0
2012	64.9	55.4	57.3	60.5	75.9	75.5	81.8	83.3	75.9	74.3	64.5	57.8
Media	63.1	55.0	55.9	59.8	76.3	76.3	83.2	83.0	75.7	74.2	64.8	56.9

En la salida de la microcuenca Chiriac en los meses de agosto y setiembre del 2015 se midieron los caudales iguales a 0.00052 y 0.00015 m<sup>3</sup>/s con los cuales se estimó el valor de GWF igual a 0.71

Los parámetros del modelo National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos obtenidos para la microcuenca Chiriac son: Psub igual a 0.55, GWF igual a 0.71, C<sub>1</sub> igual a 0.25, y C<sub>2</sub> igual a 0.80.

La precipitación media anual (PMA) es igual a 1236.6 mm, además Nominal = 316.04 mm, los valores de borde iniciales considerados para la generación de los caudales en la microcuenca Chiriac son HS<sub>o</sub> = 363.4 mm, HSub<sub>o</sub> = 94.8 mm.

Los caudales mensuales generados para la microcuenca Chiriac se indican en la tabla 7.

Tabla 7. Caudales medios mensuales generados en la microcuenca Chiriác

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P	175.4	198.4	234.5	119.6	50.2	8.1	0.9	7.9	47.2	112.3	122.9	159.2
ETP	76.3	65.2	67.4	71.2	89.3	83.6	90.6	92.2	84.1	82.3	71.4	64.0
HS	376.4	412.1	448.1	480.6	487.5	458.4	401.9	343.3	296.1	277.0	293.0	321.2
Hsub <sub>o</sub>	98.2	33.3	21.7	23.9	11.7	2.9	0.7	0.2	0.0	0.0	1.2	2.9
R1	1.15	1.26	1.37	1.47	1.49	1.40	1.23	1.05	0.90	0.85	0.90	0.98
P/ ETP	2.30	3.05	3.48	1.68	0.56	0.09	0.01	0.08	0.53	1.28	1.62	2.34
ETR	76.3	65.2	67.4	71.2	79.3	64.6	59.5	55.1	66.2	87.5	75.9	68.0
WB	99.1	133.5	167.1	48.4	-29.1	-56.5	-58.6	-47.2	-19.0	24.8	47.0	91.2
R4	0.64	0.73	0.81	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.40	0.48
HE	63.5	97.5	134.5	41.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	18.8	43.9
ΔHS	35.6	36.0	32.6	6.9	-29.1	-56.5	-58.6	-47.2	-19.0	16.0	28.2	47.3
R	34.9	53.6	74.0	22.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	11.6	27.1
Hsub	133.1	86.9	95.7	46.8	11.7	2.9	0.7	0.2	0.0	4.9	11.6	27.1
ES	99.8	65.2	71.8	35.1	8.8	2.2	0.5	0.1	0.0	3.7	8.7	20.3
ED	28.6	43.9	60.5	18.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	8.5	19.8
E	128.4	109.0	132.3	53.8	8.8	2.2	0.5	0.1	0.0	7.6	17.1	40.1
Q (l/s)	451.6	383.5	465.5	189.2	30.9	7.7	1.9	0.5	0.1	26.80	60.3	141.0

## DISCUSIÓN

El área de la microcuenca Chiriác es 9.36 km<sup>2</sup>, es una microcuenca de forma alargada según el índice de Gravelius que es igual a 1.59, la pendiente del curso principal es 7.84 %, la altitud media de la microcuenca es igual a 4280 m.s.n.m.

Los meses de mayor precipitación son enero, febrero y marzo con valores medios de 175.4 mm, 198.4 mm, y 234.5 mm respectivamente, y los meses de menor precipitación son julio, agosto, y setiembre con valores medios 8.1, 0.9, y 7.9 mm; en los meses de menor precipitación los caudales son menores, y son de aporte subterráneo.

Los parámetros del modelo National Rural Electric Cooperative Association de los Estados Unidos obtenidos para la microcuenca Chiriác son: Psub igual a 0.55, GWF igual a 0.71, C<sub>1</sub> igual a 0.25, y C<sub>2</sub> igual a 0.80.

Para la microcuenca Chiriác C<sub>1</sub> es igual a 0.25 porque en la microcuenca las lluvias son estacionales según Crawford y Thurin (1981) C<sub>1</sub> varía de 0.20 a 0.25, en zonas con lluvia continua durante el año C<sub>1</sub> = 0.20, en zonas con lluvia estacional C<sub>1</sub> = 0.25.

Para la microcuenca Chiriac  $C_2$  es igual a 0.80, según Crawford y Thurin (1981)  $C_2$  varía de 0.75 a 1.00, el valor 0.75 para cuencas con escasa cobertura vegetal y el valor de 1 para cuencas con buena cobertura vegetal.

El valor obtenido de la fracción de la escorrentía que aporta a la microcuenca Chiriac ( $P_{sub}$ ) es igual a 0.55 que según Crawford y Thurin (1981) el valor promedio de  $P_{sub}$  es 0.6, el valor de  $P_{sub}$  en cuencas con suelos muy permeables es 0.8 y en suelos de baja permeabilidad el valor de  $P_{sub}$  es 0.3.

El valor obtenido de la fracción del volumen total del agua subterránea que aporta al caudal de la microcuenca Chiriac (GWF) es igual a 0.71 que según Crawford y Thurin (1981) el valor medio es 0.5, el valor de GWF es 0.9 en cuencas que tienen poca sostenibilidad de flujo y de 0.2 en cuencas que alta sostenibilidad de flujo.

Según los caudales mensuales generados para la microcuenca Chiriac, los caudales específicos máximos y mínimos son de 49.5 litros/s.km<sup>2</sup> y 0.01 litros/s.km<sup>2</sup> correspondientes a los meses de marzo y setiembre.

## CONCLUSIONES

Los parámetros estimados del modelo de la National Rural Electric Cooperative Association para la microcuenca Chiriac son  $C_1 = 0.25$ ,  $C_2 = 0.80$ ,  $P_{sub} = 0.55$ ,  $GWF = 0.71$ .

Los caudales específicos máximos y mínimos son de 49.5 litros/s.km<sup>2</sup> y 0.01 litros/s.km<sup>2</sup> correspondientes a los meses de marzo y setiembre en la microcuenca Chiriac.

## AGRADECIMIENTO

A las personas que me apoyaron incondicionalmente en la realización del presente trabajo de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Crawford, Norman and Thurin, Steven. 1981. *Hydrologic estimates for small hydroelectric projects*. Washington: National Rural Electric Cooperative Association.

Dingman, Lawrence. 2002. *Physical hydrology*. Illinois: Waveland Press, Inc.

Haryanto, Tukeri y otros. 2013. «Actual water availability and water needs in irrigation area of Riam Kanan in South Kalimantan province». *Academic Research International*, Vol. 4, N° 6. Malang: Universitas Brawijaya. 580 – 593. <<http://www.savap.org.pk/journals>> [Consultation: 05-23-2016].

Mays, Larry and Tung Yeou-Koung. 2002. *Hydro systems engineering and management*. Colorado: Water Resources Publications, LLC.

Popper, Karl. 2011. *La lógica de investigación científica*. Madrid: Tecnos.

Singh, Vijay and Frevert, Donald. 2002. *Mathematical models of large watershed hydrology*. Colorado: Water Resources Publications, LLC.

**Presentado:** 12/01/2017

**Aceptado:** 12/04/2017

### **Correspondencia**

Toribio Reyes Rodríguez  
tmreyes2@gmail.com