

## XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA

LIMA, PERÚ, 26 AL 30 DE SETIEMBRE DE 2016

**VISIÓN ADIMENSIONAL DEL MÉTODO RACIONAL Y SU PERFORMANCE CON LOS AVANCES CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS***Oswaldo Ortiz Vera<sup>1</sup>, Néstor Montalvo Aquiñigo<sup>2</sup>, Abel Mejía Marcacuzco<sup>2</sup>, Absalón Vásquez Villanueva<sup>2</sup> y Eusebio Ingol-Blanco<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Estudiante del Programa de Doctorado en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, Lima, Perú; Telefax: 340-1180; email: [ingoov@gmail.com](mailto:ingoov@gmail.com)

<sup>2</sup>Profesor del Programa de Maestría y Doctorado en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, Lima, Perú; Telefax: 340-1180; email: [nmontalvo@lamolina.edu.pe](mailto:nmontalvo@lamolina.edu.pe)

<sup>3</sup>Profesor Visitante del Programa de Maestría y Doctorado en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, Lima, Perú; Telefax: 340-1180; email: [ingoll@utexas.edu](mailto:ingoll@utexas.edu)

**RESUMEN:**

Dada la enorme importancia del método Racional en la determinación del caudal pico de diseño de estructuras hidráulicas en contacto con aguas pluviales, es conveniente que se conozca con mayor profundidad sus alcances y detalles de su aplicación y se entienda que el mejoramiento de su performance va de la mano con el desarrollo científico y tecnológico de todo aquello que tiene que ver con la medición y estimación de las variables involucradas; aspectos importantes que se intenta cubrir con este trabajo. El problema de falta de información hidrométrica en la mayoría de cuencas hidrográficas hace prever que el modelo Racional continuará vigente aún. Los parámetros adimensionales que resultan de agrupar las variables principales del fenómeno precipitación-escorrentía no sólo explican los alcances del método, sino también son base para transferir información pluviométrica entre sistemas hidrológicos hidráulicamente similares. Los resultados muestran que el caudal pico está fuertemente ligado al tiempo de retorno, el que a su vez depende del número de años de protección del proyecto y de la probabilidad de acierto de la predicción.

**ABSTRACT:**

Given the enormous importance of the Rational method in determining the peak design flow of hydraulic structures in contact with rainwater, it is desirable that a deeper knowledge on its scope and details of your application and understand that improving your performance goes hand with scientific and technological development of everything that has to do with the measurement and estimation of the variables involved; important aspects is intended to cover this work. The problem of lack of hydrometric information in most watersheds makes it likely that the rational model continue still in force. The dimensionless parameters that result from grouping the main variables of rainfall-runoff phenomenon not only explain the scope of the method, but are also pluviométrica basis for transferring information between hydraulically similar hydrological systems. The results show that the peak flow is strongly linked to flyback, which in turn depends on the number of years of protection project and the probability of success of prediction.

**PALABRA CLAVE:** método Racional, tiempo de retorno, caudal pico.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de caudales máximos tiene especial importancia en el dimensionamiento de muchas estructuras hidráulicas bajo la influencia de la escorrentía directa de aguas pluviales, tales como: represamientos, captación de agua de ríos, canales, defensas rivereñas, puentes, compuertas, aliviaderos, drenaje pluvial urbano, drenaje de aeropuertos, drenaje de carreteras, entre otros. También los caudales máximos de escorrentía directa están asociados con el transporte de grandes cantidades de sedimentos que afectan las estructuras hidráulicas y elevan los costos de mantenimiento. El grado de protección de estas estructuras depende de su importancia y, en algunos casos, depende también del riesgo a que está sometida la población que vive aguas abajo. Por tanto, la selección del caudal máximo de diseño está fuertemente ligada al periodo de retorno, el que a su vez depende de la cantidad de años que se pretende proteger el proyecto y del nivel de certeza de la predicción del caudal pico. No obstante lo vetusto del método Racional (1889), la ausencia de información hidrométrica hace prever que esta metodología continuará siendo la más popular para predecir el caudal pico del hidrograma de escorrentía directa a partir de información pluviográfica y digital de alta resolución correspondiente a tormentas extraordinarias. El método Racional es un modelo matemático muy sencillo y compite exitosamente con cualquier otro modelo sofisticado, si se usa adecuadamente. La visión adimensional del modelo Racional y su fácil adecuación a los avances tecnológicos y científicos garantiza su permanencia en el tiempo; sin embargo, su empleo inadecuado puede convertirlo en un ente con resultados irracionales.

## OBJETIVO

Predicción de caudales máximos de la cuenca del río Jadibamba mediante el método Racional, usando para ello información de la estación pluviométrica Weberbauer ubicada en la proximidad de la cuenca baja del río Mashcón, y principios de transferencia de información mediante similitud hidráulica de sistemas hidrológicos.

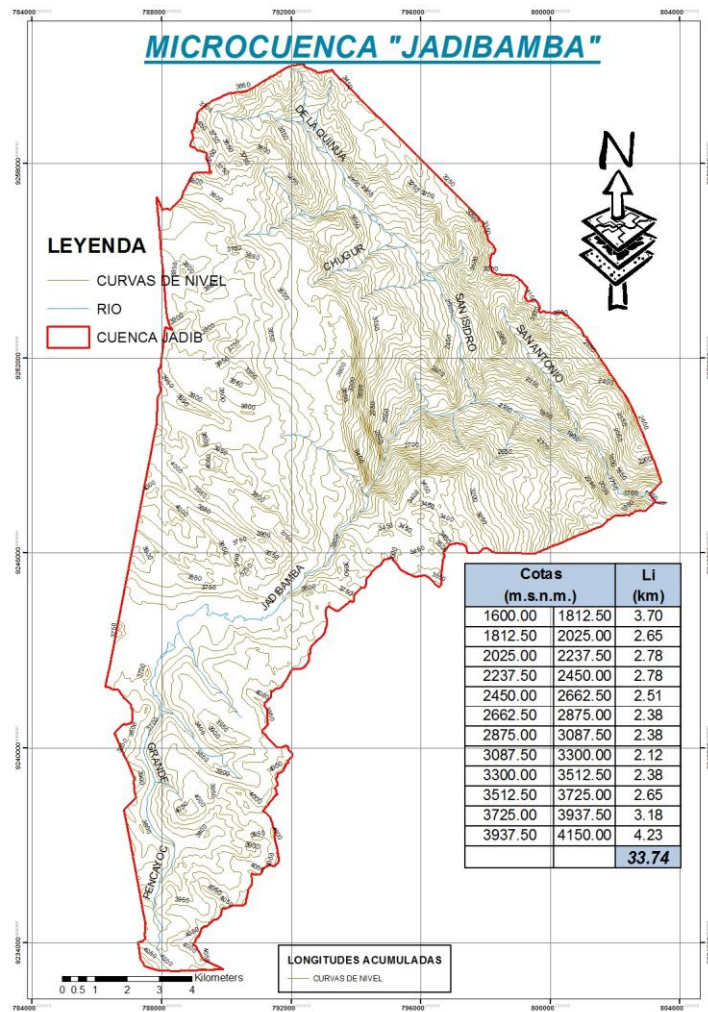
## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

Comprende la microcuenca del río Jadibamba, la misma que se desarrolla en la cuenca del Alto Marañón del departamento de Cajamarca-Perú, entre las cotas 1600 y 4200 msnm, haciendo un área total de 258.81Km<sup>2</sup>. Esta microcuenca es muy importante porque en cabecera alberga el famoso proyecto aurífero Yanacocha. Los parámetros morfométricos más importantes de esta cuenca se presentan en tabla 1 y se ilustran en la Figura 1.

**Tabla 1.-** Parámetros morfométricos de la cuenca del río Jadibamba

Parámetro	Unidad	Cuenca	
		Río Jadibamba	Río Mashcón
Área (A)	Km <sup>2</sup>	258.81	667.44
Altitud media (H)	m.s.n.m.	3218	3533
Perímetro (p)	Km	81.44	137.21
Índice de Gravelius (K <sub>c</sub> )	Adim.	1.42	1.49
Relación de confluencias (R <sub>c</sub> )	Adim.	3.83	3.67
Coefficiente orográfico (C <sub>o</sub> )	Adim.	4.00	1.87
Número de orden (O)	Adim.	3	4
Longitud de máximo recorrido(L)	Km	23.64	-
Pendiente del máximo recorrido (S)	Adim.	0.073	-
Tiempo de concentración (t <sub>c</sub> )	Minutos	163	-



**Figura 1.-** Cuenca hidrográfica del río Jadibamba

### **Análisis dimensional y parámetros adimensionales**

Los alcances y origen del método Racional se explican mediante uno de los parámetros adimensionales del conjunto formado por las variables principales del fenómeno físico precipitación-escorrentía, a que están sometidos los sistemas hidrológicos altoandinos. Los resultados de la aplicación del teorema Buckingham del análisis dimensional, son las relaciones funcionales que se muestran en seguida (Ortiz Vera, O., 2015).

$$\pi_1 = \frac{Q}{AP} \quad [1]$$

$$\pi_2 = \frac{H}{\sqrt{A}} \quad [2]$$

$$\pi_3 = \frac{I \times t}{H} \quad [3]$$

$$\pi_4 = \frac{Q}{I \times A} \quad [4]$$

$$\pi_5 = \frac{P}{\sqrt{A}} \quad [5]$$

Donde:  $\pi$ , es el parámetro adimensional;  $Q$ , el caudal de escorrentía;  $A$ , área proyectada receptora-colectora;  $P$ , la precipitación pluvial;  $H$ , la altitud sobre el nivel del mar;  $I$ , la intensidad de precipitación;  $t$ , tiempo de duración y  $p$ , el perímetro de la cuenca.

Un breve análisis del conjunto de parámetros, en el orden de presentación, permite auscultar el embrión del método Racional. El primer número adimensional [1], es el *parámetro de flujo sostenido*, donde el primer miembro de la ecuación es un coeficiente de pérdidas en cualquier balance hidrológico. El segundo [2], es el *parámetro de relieve*, pues mientras más escarpada es la cuenca menor será el área proyectada y viceversa, es muy importante porque elevando al cuadrado da origen al *coeficiente orográfico*. El tercero [3], es el *parámetro de lluvia*, pues indica que la precipitación tiene distribución espacial y temporal. El cuarto [4], es el *parámetro de flujo instantáneo*, donde el primer miembro es el coeficiente de pérdidas o de escorrentía, es muy importante porque da origen al popular y vetusto modelo Racional (1889). Finalmente, el número adimensional [5], es el *parámetro de forma*, muy importante porque describe la geometría de la cuenca y da origen al famoso y popular *índice de Gravelius*, cuyos rangos de variabilidad han servido para la clasificación de cuencas atendiendo a su geometría.

Los parámetros dimensionales de *relieve* [2], de *lluvia* [3] y de *forma* [5] están muy estrechamente ligados al parámetro de *flujo instantáneo* [4] y la interacción de todo el conjunto influye en la magnitud del caudal pico del hidrograma de escorrentía directa, involucrados en el método Racional [6]. Por ello, este método bien usado difícilmente será superado por otro, por sofisticado que sea.

## Método Racional

Como ya se analizó antes, el método Racional se deriva del *parámetro adimensional de flujo instantáneo* dado por la ecuación [4], reemplazando el primer miembro por el coeficiente de escorrentía directa ( $\pi_4 = C$ ), hecho que convierte a la variable de escorrentía del segundo miembro en el caudal Pico del hidrograma ( $Q = Q_{\text{máx}}$ ), si es que la intensidad es espacialmente uniforme y dura cuanto menos el tiempo de concentración de la cuenca. A menudo el método Racional se expresa en la forma que indica la ecuación [6] (Bolinaga, j., Juan, 1979).

$$Q_{\text{máx}} = \frac{C \times I \times A}{360} \quad [6]$$

Donde, la cantidad numérica (360) que aparece en el denominador es el factor de conversión de unidades cuando el caudal ( $Q_{\text{máx}}$ ) se expresa, en  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ; la intensidad ( $I$ ), en  $\text{mm hora}^{-1}$  y el área proyectada de la cuenca ( $A$ ), en ha.

El hecho de que el método Racional tenga origen adimensional en un fenómeno físico natural hace que su aplicación, como cualquier otro parámetro adimensional (Reynolds, Froude, Euler, por ejemplo), sea totalmente independiente del tamaño de cuenca, importando sólo que las áreas receptora y colectora sean equivalentes y que la intensidad tenga uniformidad espacial y dure cuando menos el tiempo de concentración de la cuenca.

## Tiempo de concentración

Existen diversas expresiones empíricas para estimar el tiempo de concentración de una cuenca, por razones de limitación ( $S > 0.05$ ) se seleccionó aquí la fórmula propuesta por Kirpich, dada por la ecuación [7] (Aparicio, F.J., 1997).

$$t_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times S^{-0.385} \quad [7]$$

Donde:  $t_c$ , es el tiempo de concentración, en horas; L, longitud de máximo recorrido del cauce principal, en m; y S, la pendiente promedio de la longitud de máximo recorrido, adimensional.

El tiempo de concentración es valioso porque constituye el periodo de duración de la intensidad sobre la cuenca estudiada, a efecto de usar el método Racional, por lo que conviene estimarlo lo más aproximado posible.

## Contribución de la ciencia y tecnología

La estimación de las variables principales que involucra el método Racional ha ido mejorando continuamente como consecuencia del desarrollo de la ciencia y la tecnología en lo concerniente a instrumentos de medida y procesamiento de la información. En lo que respecta a la intensidad de precipitación (I), desde una burda estimación a partir de láminas máximas en 24 horas de los pluviómetros, pasando por la utilización de bandas pluviográficas de los pluviógrafos, hasta información de alta resolución de las estaciones digitales automáticas de última generación. En lo concerniente al área proyectada (A), desde procedimientos gráficos, pasando por el uso del planímetro, a partir de mapas cartográficos obtenidos con equipos de restitución aerofotográficos, hasta observaciones satelitales y procedimientos de sistemas de información geográfica, con ayuda de potentes software sofisticados. En este trabajo se utilizó información pluviográfica de precipitación y cartografía digitalizada (escala, 1/100 000) a partir del Software ArcGIS 10.3.

## Tiempo de retorno

El tiempo de retorno se determinó a partir de la ecuación [8] (Ven Te Chow, 1993).

$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - j)^{\frac{1}{N}}} \quad [8]$$

Donde:  $T_r$ , es el periodo de retorno, en años;  $j$ , la incertidumbre o probabilidad de falla en la predicción; y  $N$ , el periodo de años durante el que se pretende proteger la estructura.

## Información de intensidades de precipitación

Para este estudio se usaron resultados de pronóstico de intensidades máximas de tormentas críticas anuales obtenidas, a partir de datos sobre bandas pluviográficas registradas durante 50 años de observación en la estación Weberbauer instalada en las proximidades de la cuenca baja del río Mashcón, información ajustada y simulada mediante el modelo probabilístico *Gumbel* (Tabla2). Este tipo de información es muy escasa, pero a su vez muy útil para la generación de escorrentías partiendo de datos de precipitación.

**Tabla 2.-** Simulación de intensidades máximas de precipitación mediante el modelo Gumbel - estación pluviométrica Weberbauer (altitud 2536 msnm), microcuenca río Mashcón

N	J (%)	Tr (Años)	Intensidades máximas (mm/h)				
			5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
	00	$\infty$	-	-	-	-	-
5	1	498.0	156.9	109.6	58.9	36.3	23.8
	2	248.0	147.0	103.2	55.4	34.1	22.2
	5	98.0	133.7	94.7	50.8	31.1	20.0
	10	48.0	123.4	88.2	47.2	28.7	18.4
	15	31.3	117.2	84.2	45.0	27.4	17.3
	20	22.9	112.7	81.3	43.4	26.3	16.6
	25	17.9	109.1	79.0	42.2	25.5	16.0
	30	14.5	106.0	77.0	41.1	24.8	15.5
	40	10.3	100.9	73.8	39.3	23.6	14.7
	50	7.7	96.4	71.0	37.8	22.7	13.9
	60	6.0	92.6	68.5	36.4	21.8	13.3
	70	4.7	88.7	66.0	35.1	20.1	12.7
80	3.6	84.3	63.2	33.5	19.9	12.0	
90	2.7	79.3	60.0	31.8	18.8	11.1	
100	1.0	-	-	-	-	-	
	00	$\infty$	-	-	-	-	-
10	1	995.5	165.5	115.9	62.4	38.6	25.5
	2	495.4	156.8	109.5	58.9	36.3	23.8
	5	195.5	143.6	101.0	54.2	33.3	21.6
	10	95.4	133.3	94.5	50.6	31.0	20.0
	15	62.0	127.1	90.5	48.5	29.6	19.0
	20	45.3	122.6	87.6	46.9	28.6	18.2
	25	35.3	119.0	85.3	45.6	27.7	17.6
	30	28.5	115.8	83.3	44.6	27.0	17.1
	40	20.1	110.8	80.1	42.8	25.9	16.3
	50	14.9	106.4	77.3	41.2	24.9	15.6
	60	11.4	102.4	74.7	39.8	24.0	14.9
	70	8.8	98.5	72.2	38.5	23.1	14.3
80	6.7	94.3	69.6	37.0	22.2	13.6	
90	4.9	89.4	66.4	25.3	21.1	12.8	
100	1.0	-	-	-	-	-	
	00						-
25	1	2488.0	179.9	124.2	66.9	41.5	27.6
	2	1238.0	169.9	117.9	63.4	39.3	26.0
	5	487.9	156.6	109.4	58.8	36.3	23.8
	10	237.8	146.4	102.8	55.2	33.9	22.1
	15	154.3	140.2	98.9	53.1	32.5	21.1
	20	112.5	135.6	96.0	51.5	31.5	20.4
	25	87.4	132.0	93.7	50.2	30.7	19.8
	30	70.6	129.0	91.7	49.1	30.0	19.3
	40	49.4	123.8	88.4	47.3	28.8	18.4
	50	36.6	119.5	85.7	45.8	27.9	17.7
	60	27.8	115.5	83.1	44.4	27.0	17.6
	70	21.3	111.6	80.6	43.1	26.1	16.4
80	16.0	107.4	78.0	41.6	25.1	15.7	
90	11.4	102.4	74.7	39.8	24.0	14.9	
100	1.0	-	-	-	-	-	

N, es periodo de años consecutivos. J, incertidumbre. T, tiempo de retorno.

Fuente: CEPARHTA, UNC, Perú.

Los tiempos de retorno de los eventos hidrológicos extraordinarios son muy largos (cientos y miles de años), por cuya razón los pronósticos deben hacerse partiendo de registros históricos o series temporales lo suficientemente largos (más de 50 años) a fin de que los pronósticos tengan la suficiente consistencia. Por ello, para fines de utilización del método Racional, no tiene sentido usar series temporales de longitud menor a 30 años y peor aún si la información consiste en datos de láminas máximas en 24 horas.

### **Transferencia de intensidades de precipitación**

Teniendo en cuenta la similitud hidráulica de las cuencas de los ríos Mashcón (cuena de origen, con información) y Jadibamba (cuena destino, sin información), el parámetro adimensional de la ecuación [3] debe ser equivalente en ambos sistemas, de cuya igualdad resulta la ecuación de transferencia [9] (Ortiz Vera, O., 2015).

$$I_d = H_e \times t_e^{-1} \times I_o \quad [9]$$

Donde:  $I_d$  , es la intensidad de precipitación en la cuena destino;  $I_o$  , la intensidad de precipitación en la cuena de origen;  $H_e$ , la escala de altitudes y  $t_e$  , la escala de periodos de duración.

Si se desea transferir la información de intensidades bajo los mismos periodos de duración estándar, la escala de periodos de duración es la unidad. Si la finalidad de transferencia de intensidades máximas es sólo aplicación del método Racional, la transferencia puede solamente limitarse al periodo de duración equivalente al tiempo de concentración de la cuena (penúltima columna de la Tabla 3).

### **Simulación del modelo racional**

La generación de información mediante el modelo Racional se realizó con el coeficiente de escorrentía promedio de la cuena, estimado en 0.40 e intensidades máximas con periodo de duración igual al tiempo de concentración de la cuena Jadibamba (penúltima columna de la Tabla 3). Pues, como es obvio, los caudales simulados mediante el método Racional (última columna de la Tabla 3) tienen las mismas características probabilísticas que la intensidad de donde provienen.

## **RESULTADOS**

Las intensidades máximas de precipitación transferidas desde la estación Weberbauer de la cuena origen (Mashcón) hacia la cuena destino (Jadibamba), mediante la aplicación de la ecuación [9], se presentan en la Tabla 3. La misma Tabla contiene las intensidades máximas para el tiempo de concentración de la cuena Jadibamba (penúltima columna) y los resultados de la simulación probabilística mediante la aplicación del método Racional (última columna).

La variedad de resultados con una gama muy amplia de probabilidades de ocurrencia, no sólo permite seleccionar el caudal de diseño más apropiado, acorde con la importancia y naturaleza de las estructuras hidráulicas, sino también permite cubrir altos riesgos de vulnerabilidad. Sin embargo, no vale perder de vista que la sobreprotección de las estructuras afecta la economía del proyecto.

**Tabla 3.-** Intensidades máximas de precipitación transferidas a la microcuenca del río Jadibamba (altitud media 3218 msnm) y simulación de esorrentía mediante el método Racional.

N	J (%)	Tr (Años)	INTENSIDADES MÁXIMAS (mm/h)						
			5 min	10 min	30 min	60 min	120 min	t <sub>c</sub> =163 min	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)
	00	∞	-	-	-	-	-	-	-
5	1	498.0	199.3	139.2	74.8	46.1	30.2	22.3	641.3
	2	248.0	186.7	131.1	70.4	43.3	28.2	20.9	601.0
	5	98.0	169.8	120.3	64.5	39.5	25.4	18.8	540.6
	10	48.0	156.7	112.0	59.9	36.4	23.4	17.3	497.5
	15	31.3	148.8	106.9	57.2	34.8	22.0	16.3	468.7
	20	22.9	143.1	103.2	55.1	33.4	21.1	15.6	448.6
	25	17.9	138.6	100.3	53.6	32.4	20.3	15.0	431.4
	30	14.5	134.6	97.8	52.2	31.5	19.7	14.6	419.9
	40	10.3	128.1	93.7	49.9	30.0	18.7	13.8	396.8
	50	7.7	122.4	90.2	48.0	28.8	17.7	13.1	376.7
	60	6.0	117.6	87.0	46.2	27.7	17.0	12.6	362.3
	70	4.7	112.6	83.8	44.6	25.5	16.1	11.9	342.2
	80	3.6	106.9	80.3	42.5	25.3	15.2	11.2	322.2
90	2.7	100.7	76.2	40.4	23.9	14.1	10.4	299.1	
100	1.0	-	-	-	-	-	-	-	
	00	∞	-	-	-	-	-	-	-
10	1	995.5	210.2	147.2	79.2	49.0	32.4	24.0	690.2
	2	495.4	199.1	139.1	74.8	46.1	30.2	22.3	641.3
	5	195.5	182.4	128.3	68.8	42.3	27.4	20.3	583.8
	10	95.4	169.3	120.0	64.3	39.4	25.4	18.8	540.6
	15	62.0	161.4	114.9	61.6	37.6	24.1	17.8	511.9
	20	45.3	155.7	111.3	59.6	36.3	23.1	17.1	491.7
	25	35.3	151.1	108.3	57.9	35.2	22.4	16.6	477.4
	30	28.5	147.1	105.8	56.6	34.3	21.7	16.0	460.1
	40	20.1	140.7	101.7	54.4	32.9	20.7	15.3	440.0
	50	14.9	135.1	98.2	52.3	31.6	19.8	14.7	422.7
	60	11.4	130.0	94.9	50.5	30.5	18.9	14.0	402.6
	70	8.8	125.1	91.7	48.9	29.3	18.2	13.5	388.2
	80	6.7	119.8	88.4	47.0	28.2	17.3	12.8	368.1
90	4.9	113.5	84.3	32.1	26.8	16.3	12.1	348.0	
100	1.0	-	-	-	-	-	-	-	
	00						-	-	-
25	1	2488.0	228.5	157.7	85.0	52.7	35.0	25.9	744.8
	2	1238.0	215.8	149.7	80.5	49.9	33.0	24.4	701.7
	5	487.9	198.9	138.9	74.7	46.1	30.2	22.3	641.3
	10	237.8	185.9	130.6	70.1	43.0	28.1	20.8	598.1
	15	154.3	178.0	125.6	67.4	41.3	26.8	19.8	569.4
	20	112.5	172.2	121.9	65.4	40.0	25.9	19.2	552.1
	25	87.4	167.6	119.0	63.8	39.0	25.1	18.6	534.9
	30	70.6	163.8	116.5	62.4	38.1	24.5	18.1	520.5
	40	49.4	157.2	112.3	60.1	36.6	23.4	17.3	497.5
	50	36.6	151.8	108.8	58.2	35.4	22.5	16.7	480.2
	60	27.8	146.7	105.5	56.4	34.3	22.4	16.6	477.4
	70	21.3	141.7	102.4	54.7	33.1	20.8	15.4	442.9
	80	16.0	136.4	99.1	52.8	31.9	19.9	14.7	422.7
90	11.4	130.0	94.9	50.5	30.5	18.9	14.0	402.6	
100	1.0	-	-	-	-	-	-	-	

N, periodo de protección; J, incertidumbre; T<sub>r</sub>, tiempo de retorno; t<sub>c</sub>, tiempo de concentración; Q, caudal pico.

Se observa que, para una misma probabilidad de acierto, el caudal pico es mayor cuanto mayor es el tiempo de retorno y mayor también el número de años de protección y viceversa.



## CONCLUSIONES

- El modelo Racional proviene de uno de los parámetros adimensionales que gobiernan el fenómeno físico precipitación-escorrentía sobre la cuenca y, por tanto, como cualquier otro parámetro adimensional (Reynolds, Froude, Euler, por ejemplo), su aplicación es totalmente independiente del tamaño de la cuenca.
- El método Racional es un modelo matemático aplicable a cualquier tamaño de cuenca, con las únicas restricciones de que el área colectora coincida con el área receptora de precipitaciones y, que la intensidad de precipitación tenga una distribución espacial uniforme y una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.
- El pronóstico de caudales simulados mediante el método Racional debe incluir necesariamente la probabilidad de acierto (nivel de confianza) en el periodo de años analizado y el tiempo de retorno, puesto que los eventos máximos extraordinarios siempre están asociados a riesgos significativos. Lo contrario no tiene sentido.
- La amplia variedad de caudales, bajo condiciones probabilísticas muy diversas, permite la selección de un valor de diseño racionalmente adecuado, acorde con la importancia de la estructura, economía del proyecto y riesgos sociales que se pretende cubrir. La sobreprotección de las estructuras afecta negativamente la economía del proyecto.
- El uso de la ciencia y tecnología avanzadas, en lo concerniente a sistemas de información geográfica-SIG y registros de tormentas de precipitación de alta resolución digital, en la toma de datos y procesamiento de información, para la estimación de las variables involucradas, permite mejorar la performance del método Racional.
- La generación de caudales máximos es siempre puntual y en este caso corresponde al punto de efluencia de la cuenca del río Jadibamba. Para esto, se debe procurar siempre tener como información una distribución pluviométrica de alta resolución en el tiempo y cartografía digitalizada. Recuerde que el método Racional proviene del *parámetro adimensional de flujo instantáneo*. Debe quedar desterrado definitivamente la burda información de láminas máximas de precipitación en 24 horas, a efecto de aplicar el método Racional.
- Los tiempos de retorno de los eventos hidrológicos extraordinarios son muy largos (cientos y miles de años) muy difíciles cubrir con series temporales relativamente cortas, siendo requisito, para fines de aplicación del método Racional, registros con longitudes no menores a 30 años.

## REFERENCIAS

**Antigüedad I. & Cruz S., (1980).** “*Estudio morfométrico de la cuenca del río Arratia*”. Boletín de La Real Sociedad Geográfica 66: 31-52.

**Aparicio F. J., (1997).** Fundamentos de Hidrología de Superficie. Edit. Limusa S.A., España, 303 pp.

- Askoa Ibizate G., (2004).** “Análisis Morfométrico de la Cuenca y de la Red de Drenaje del Río Zadorra y sus afluentes Aplicado a la Peligrosidad de Crecidas”. Boletín de la A.G.E. n° 38-2004, pp. 311-329, Universidad del País Vasco.
- Beltrán, P., R., (1990).** Introducción a la Mecánica de Fluidos. Bogotá. McGraw Hill Uniandes, 346 pp.
- Bolinaga J. Juan, (1979).** Drenaje Urbano. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Instituto Nacional de Obras Sanitarias. Caracas-República de Venezuela.
- Cruz Santillán, J. & Sáenz, F., (1980).** “Análisis cuantitativo de la red de drenaje de la cuenca del río Nervión”. Kovie (Ser. Ciencias Naturales) 10: 39-52.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1993).** *Hidrología Aplicada*. Ediciones McGraw-Hill, Santa Fe de Bogotá, Colombia: 580 pp.
- Delgadillo, A. & Páez, G., (2008).** “Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo por crecidas”. EN: Ferrer C. y Dugarte M. (Editores). Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de la gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocotíes. Mérida. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)-Fundación para la Prevención de Riesgos del Esta Mérida (FUNDAPRIS). Inédito.
- Gutiérrez Elorza M. (2008).** *Geomorfología*. Ed. Pearson Prentice Hall.
- Jiménez, O. & Farías, H., (2005).** “Problemática de la sedimentación del embalse Valdesia”, República Dominicana, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de la República Dominicana (INDRHI). Santo Domingo, República Dominicana.
- Miguel A. Vergara S. (1993).** *Técnicas de Modelación en Hidráulica*, Ediciones Alfaomega.
- Ortiz Vera, O. (2015).** “Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica”, Revista Tecnología y Ciencias del Agua-TyCA, México.
- Raúl F. Vásquez Z. (2010).** “*Modelación Hidrológica de una Microcuenca Altoandina en el Austro Ecuatoriano*”. Grupo de Ciencias de la Tierra y del Ambiente, Dirección de Investigación, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Streeter V.; Wylie E. & Bettford K. (1999).** *Mecánica de Fluidos*; 9ª Ed. Santafé de Bogotá. McGraw Hill Internacional, S.A., 740 pp.
- Tarbuck J. & Lutgens F. (1999).** *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física*. Ed. Prentice Hall Iberia.