

# Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales

## Estimation of average and maximum flows of the Checras river basin through synthetic and rational equations

Beatriz Gina Herencia Félix <sup>1</sup>; Cesar Eduardo Carrera Saavedra <sup>2</sup>

Recibido: Junio 2019 - Aprobado: Julio 2019

### RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal integrar los parámetros morfo métricos de la cuenca con la información estadística del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, para estimación de caudales medio y caudales máximos aplicando, respectivamente las ecuaciones sintéticas y las ecuaciones racionales.

En la primera parte se estimaron los parámetros morfo métricos de la cuenca aplicando el principio de la georreferenciación y superposición de capas vectoriales y raster, utilizando el programa Arc Gis 10.4. Luego mediante la superposición ponderada de mapas temáticos del Ministerio del Ambiente MINAM, se determina el coeficiente de escorrentía para la cuenca del río Checras.

A continuación se procede a hacer la transformación y tratamiento estadístico de la data histórica de SENAMHI relacionado con registros de precipitación entre 1967 y 2008, obteniéndose la intensidad de precipitación de diseño y la precipitación media de la cuenca.

Con los cuatro parámetros principales identificados: área, coeficiente de escorrentía, precipitación media y la intensidad de precipitación de diseño, se procede a calcular la serie de caudales máximos así como los caudales medios y mínimos del río Checras. Esto permite caracterizar la cuenca en términos hidrológicos y climáticos.

**Palabras clave:** Ecuación Sintética; parámetros morfo métricos; curvas IDF; periodos de retorno; Ecuación Racional; isohietas.

### ABSTRACT

The main objective of this research is to integrate the morphometric metric parameters of the basin with the statistical information of the National Service of Meteorology and Hydrology SENAMHI, for estimating average flows and maximum flows applying, respectively, the synthetic equations and the rational equations.

In the first part the metric parameters of the basin were estimated by applying the principle of georeferencing and superposition of vector and raster layers, using the Arc Gis 10.4 program.

Then, by means of the weighted overlapping of thematic maps of the Ministry of Environment MINAM, the runoff coefficient for the Checras river basin is determined.

Then, the transformation and statistical treatment of the historical data of SENAMHI related to precipitation records between 1967 and 2008 are carried out, obtaining the intensity of design precipitation and the average precipitation of the basin.

With the four main parameters identified: area, runoff coefficient, average rainfall and design rainfall intensity, the series of maximum flows as well as the average and minimum flows of the Checras river are calculated. This allows to characterize the basin in hydrological and climatic terms.

**Keywords:** Synthetic Equation; metric morfo parameters; IDF curves; return periods; Rational Equation; isohietas.

<sup>1</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Sociales. Lima, Perú. Geógrafa. E-mail: [ginna518@gmail.com](mailto:ginna518@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Sociales. Lima, Perú. Geógrafo. E-mail: [cecarrera26@gmail.com](mailto:cecarrera26@gmail.com)

## I. INTRODUCCIÓN

La estimación de caudales de una cuenca es fundamental para la planificación del uso de los recursos hídricos, para la planificación agrícola y urbana así como para el dimensionamiento de las obras de infraestructura física, principalmente hidráulicas.

Se puede establecer modalidades caudales cuantificables, tales como: caudal instantáneo, caudal diario, caudal mensual, caudal promedio anual, caudal modular, caudales extremos, caudales ecológicos, caudales mínimos y máximos. A partir de estas categorías se puede generar series de caudales de diferentes tiempos de retorno así como gráficas que explican su comportamiento espacio-temporal mediante una serie de curvas tales como las curvas de duración, las curvas de variación estacional y la curva de Rippel (Villon, 2011).

En ese sentido para la estimación de caudales, se requiere información estadística histórica de precipitaciones, datos de evapotranspiración potencial y niveles de escorrentía superficial expresados en m<sup>3</sup>/s así como información paramétrica de la cuenca relacionada con su geometría y morfometría espacial.

En síntesis, para la estimación de modalidades de caudales, primero es conocer la precipitación que cae sobre la cuenca con una distribución temporal y una intensidad determinadas, luego la determinación del coeficiente de escorrentía definido por el complejo pendiente-suelo-vegetación así como el cálculo proyectado del área de la cuenca y otros parámetros geométricos (Robredo, 2012).

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación, es precisamente validar un modelo sintético y racional, para estimar los valores de flujo, principalmente de las grandes avenidas, de la cuenca del río Checras, integrando los parámetros geométricos de la misma con los datos históricos de precipitación pluvial registrados por el SENAMHI. Entonces, la aplicación del modelo sintético y racional utilizando los datos históricos de SENAMHI permite la caracterización hidrológica y climática de la cuenca del río Checras.

## II. METODOLOGÍA

El proceso de investigación comprende seis (6) fases: Definición del área de estudio, georreferenciación y parametrización de la cuenca, estimación y cálculo de la escorrentía ponderada, análisis y transformación estadística de los datos históricos para estimación de precipitaciones medias y máximas, estimación del caudal medio y caudales máximos, determinación de las curvas de duración y curva masa. Finalmente la caracterización hidrológica y climática de la cuenca de Checras.

Para la presente investigación, se eligió como área de estudio, la cuenca del río Checras que forma parte de la cuenca del río Huaura, situado al NE de la Región Lima-Provincia.

El tipo de material e información que se utilizó para hallar los parámetros morfométricos de la cuenca del

río Checras fueron imágenes satelitales Landsat 8, Carta Nacional de 1:100000, Modelo Digital de Elevación, los mismos que fueron procesados en ARCGIS aplicando el principio de Mc Harg y obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 1):

Tabla 1. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Checras

Parámetros geométricos	Unidad de medida	Cuenca Checras		
Área de la cuenca	Km <sup>2</sup>	820.533		
Perímetro de la cuenca	Km	139.88		
Longitud máxima	Km	40.103		
Ancho máximo	Km	31.349		
Ancho promedio	Km	20.43		
Diámetro de la cuenca	Km	32.32		
Parámetros geométricos	Lugar	-	Centro poblado Huancahuasi	
	Centroide	Este X	m	311773
		Norte Y	m	879365
		Altitud Z	m	2895
	Factor de forma	-	0.51	
	Índice de compacidad	-	1.37	
	Radio de circularidad	-	0.527	
	Índice de alargamiento	-	1.27	
	Relación de elongación	-	0.086	
	Índice asimétrico	-	2.219	
Rectángulo equivalente	Lado Mayor	Km	57.839	
	Lado menor	Km	15.958	

A continuación se determinó el coeficiente de escorrentía de la cuenca del río Checras, con el programa ArcGis. El coeficiente de escorrentía para la cuenca del río Checras se ha estimado mediante la superposición ponderada de raster de cobertura vegetal, pendiente y zonas de vida (INGEMMET, 2008), obteniéndose un valor promedio de 0.48 y un valor ponderado de 0.54, tal como se indica en la siguiente tabla (Tabla 2) y en el siguiente mapa (Figura 1).

El siguiente paso fue calcular la precipitación promedio de la cuenca del río Checras, con los datos históricos de SENAMHI, entre 1966 y 2008, para un periodo de 42 años, aplicando el método aritmético y el método de las isoyetas, obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 3, Tabla 4 y Figura 2)

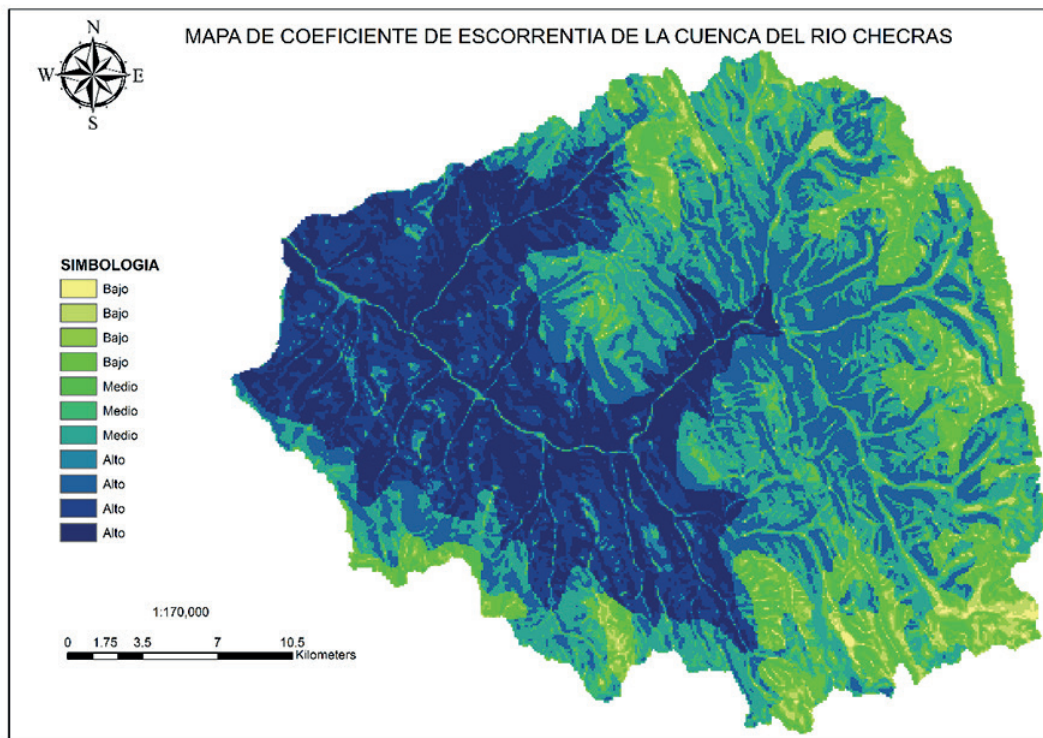
Dentro de esta fase también se logró determinar las máximas precipitaciones para diferentes tiempos de duración así como las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) para diferentes tiempos de retorno.

Se trabajó con data de 42 años de la serie 1966-2008, generados en tres estaciones meteorológicas dentro y próximos a la cuenca del río Checras. La precipitación media máxima obtenida de 24 horas es de 23.4mm, con una desviación estándar de 6.4, tal como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 2.** Valores parciales, promedio y ponderado del coeficiente de escorrentía

Id	Unidad	Área(Km2)	Área (%)	Coefficiente	Área*Coef	Prom_pond
1	A1	1.91	0.23	0.30	0.57377258	
2	A2	17.03	2.08	0.35	5.9617636	
3	A3	19.49	2.37	0.38	7.40513116	
4	A4	86.35	10.52	0.40	34.5381529	
5	A5	39.56	4.82	0.42	16.6153177	
6	A6	56.53	6.89	0.45	25.4397502	C=0.53984091
7	A7	176.00	21.45	0.50	88.0013081	
8	A8	14.98	1.83	0.55	8.23869985	
9	A9	142.04	17.31	0.60	85.2264338	
10	A10	117.89	14.37	0.63	74.2678236	
11	A11	148.77	18.13	0.65	96.6983064	
		SUM: 820.55	SUM: 100	PROM: 0.48	SUM: 442.96646	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 1.** Mapa de coeficiente de escorrentía.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Precipitación media según el Método Aritmético

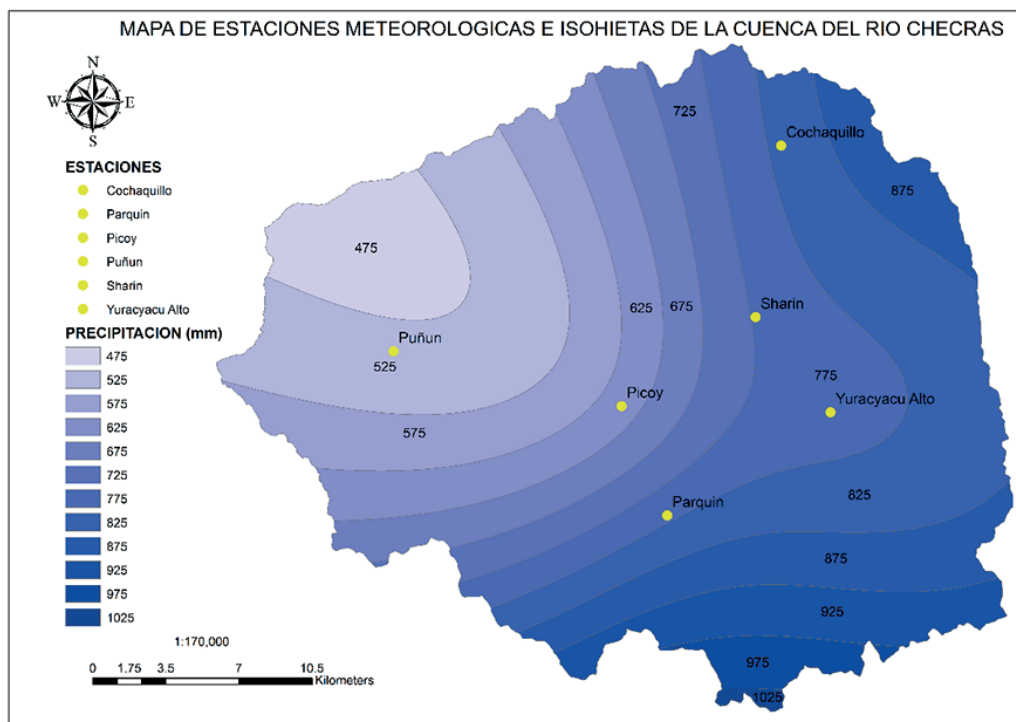
Id	Estación	Método aritmético		Precipitación media
		Altitud	Altura precipitación	
1	Picoy	2903	627.46	
2	Parquin	3571	790.45	
3	Puñun	2925	512.5	
4	Sharin	3660	754.1	713.435
5	Yuracyacu Alto	4120	783.4	
6	Cochaquillo	4575	812.7	
		Suma	4280.61	

Elaboración propia. Fuente SENAMHI

**Tabla 4.** Precipitación media según el Método Isoyetas

Método de las Isoyetas						
Isoyeta	Isoyeta media	Área	% área		Altura de precipitación (mm)	
1000-1050	1025	2.37	0.3	0.003	2.96	
950-1000	975	15.93	1.9	0.019	18.94	
900-950	925	43.74	5.3	0.053	49.31	
850-900	875	80.87	9.9	0.099	86.24	
800-850	825	147.48	18.0	0.180	148.29	
750-800	775	108.35	13.2	0.132	102.35	
700-750	725	62.03	7.6	0.076	54.81	
650-700	675	63.59	7.8	0.078	52.32	
600-650	625	63.61	7.8	0.078	48.45	
550-600	575	76.07	9.3	0.093	53.31	
500-550	525	106.15	12.9	0.129	67.92	
450-500	475	50.28	6.1	0.061	29.11	
Área total		820.48	Precip.media		714.01	

Elaboración propia. Fuente SENAMHI



**Figura 2.** Mapa de isoyetas d la cuenca del río Checras

Después de calcular la precipitación media máxima, se determina la serie de precipitaciones de diseño y las curvas de Intensidad- Duración- Frecuencia (IDF), para diferentes periodos de retorno (Tabla 6 y Figura 3). Una vez conocida las series de intensidades de precipitación de diseño, se obtienen las curvas IDF para diferentes tiempos de retorno, el mismo que servirá para hallar los caudales máximos con el Método Racional.

**2.1. Estimación de caudales medios y caudales máximos**

Sabiendo que la cuenca del río Checras tiene una extensión de 820.55 km<sup>2</sup>, con una precipitación media de 714mm y con coeficiente de escorrentía ponderado igual a 0.54, se puede calcular los caudales máximos, mínimos y medios de la cuenca, con ecuaciones que enlazan estos parámetros, como la ecuación sintética y la ecuación racional.

**Tabla 5.** Precipitaciones máximas de 24 horas

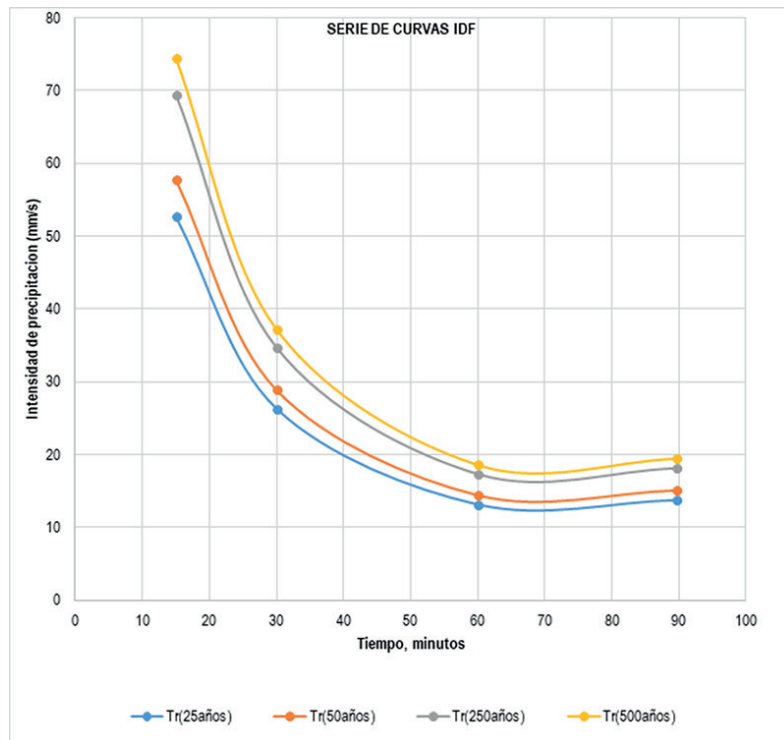
°	Año	PP Max.24 horas	PPmax-PP	(PPmax-PP)Exp2
1	1966	20.0	-3.4	11.56
2	1967	28.0	4.6	21.16
3	1968	32.4	9.0	81
4	1969	18.2	-5.2	27.04
5	1970	13.7	-9.7	94.09
6	1971	15.0	-8.4	70.56
7	1972	39.4	16.0	256
8	1973	23.4	0.0	0
9	1974	18.9	-4.5	20.25
10	1975	20.0	-3.4	11.56
...	...	...	...	...
120	2000	20.3	-3.1	9.61
121	2001	19.5	-3.9	15.21
122	2002	22.1	-1.3	1.69
123	2003	26.6	3.2	10.24
124	2004	16.6	-6.8	46.24
125	2005	15.9	-7.5	56.25
126	2006	20.6	-2.8	7.84
127	2007	22.2	-1.2	1.44
128	2008	20.7	-2.7	7.29

Fuente: SENAMHI

**Tabla 6.** Series de intensidades de precipitación de diseño

Tr	Precipitaciones (mm)				Intensidades diseño (mm/hr)			
	15	30	60	Tc=89.645	15	30	60	Tc=90
25	13.17	15.662	18.625	20.591	52.68	26.34	13.17	13.782
50	14.437	17.168	20.417	22.573	57.748	28.874	14.437	15.108
250	17.351	20.633	24.537	27.128	69.404	34.702	17.351	18.157
500	18.601	22.12	26.306	29.083	74.404	37.202	18.601	19.465

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.** Serie de curvas IDF, según periodo de retorno de los eventos máximos.

Fuente: Elaboración propia.

Integrando las ecuaciones de Vosresiensky, K. (1956), Zhelezniakov, G (1984) y Zhivotovsky, B. (1978), en una ecuación sintética, el volumen promedio de precipitaciones anuales para cuenca del río Checras, expresado en m<sup>3</sup>/s, es igual a 18.578m<sup>3</sup>/s que se simplifica a partir del valor del volumen promedio de escurrimiento:

$$V = 1000 * \bar{P}A$$

$$V = 1000 * 714 * 820.55$$

$$V = 585872700$$

Dónde:

V: Volumen promedio de escurrimiento

A: Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

$\bar{P}$ : Precipitación promedio de la cuenca en mm

El volumen de escurrimiento de la cuenca del río Checras, convertido a caudal volumétrico, es de 18.578m<sup>3</sup>/s. De esta cantidad hay un porcentaje que forma el caudal promedio de la cuenca en su colector principal y la otra cantidad se diluye por evaporación y/o infiltración. Esto se comprueba con la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{31.71 * C \bar{P} A}{10^6}$$

$$Q_m = \frac{31.71 * 0.5 * 714 * 820.55}{10^6} = 10.032 m^3/s$$

Dónde:

Q<sub>m</sub>: Caudal medio de la cuenca m<sup>3</sup>/s

A: Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

$\bar{P}$ : Precipitación promedio de la cuenca en mm

La otra ecuación simplificada que permite calcular el caudal medio de la cuenca es hacerlo únicamente en función del área, a través de la expresión:

$$Q_m = aA^b$$

Donde a y b son variables, cuyos valores están dados en la siguiente relación:

$$a = \frac{31.71 * C \bar{P}}{10^6}; b = 1$$

Entonces el valor de a es:

$$a = \frac{31.71 * 0.540 * 714}{10^6} = 0.0122$$

Por lo tanto el caudal medio de la cuenca del río Checras es de:

$$Q_m = 0.0122 * 820.55^1 = 10.010 m^3/s$$

En lo que respecta el caudal mínimo para la cuenca del río Checras, se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{min} = \frac{\bar{P}A}{10^6} = Q_{eco} \quad Q_{min} = \frac{714 * 820.55}{10^6} = 0.585 m^3/s$$

Este valor también representa el caudal ecológico (según la Autoridad Nacional del Agua), el cual alcanza los 585 litros de agua fluvial.

Por otro lado, para determinar los caudales máximos de cuencas extensas como Checras, se utiliza la ecuación racional modificada, que establece la siguiente relación:

$$Q_d = 0.278 CIAK$$

Dónde:

C: Coeficiente de escorrentía ponderado

I: Intensidad máxima de precipitación

K: Coeficiente de uniformidad

A: Área de la cuenca

Para el Método Racional Modificado de Témez, K es el coeficiente de uniformidad que busca corregir el tiempo de concentración de la cuenca para tener en cuenta la variación de la precipitación neta a lo largo del tiempo, según la siguiente ecuación:

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

Dónde:

K: Coeficiente de uniformidad

T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración

El tiempo de concentración calculado para la cuenca del río Checras, con la fórmula de Kirpish es de 170 minutos aproximadamente.

$$T_c = 0.0195 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$T_c = 0.0195 * \frac{39546^{0.77}}{0.09^{0.385}} = 170.7 min$$

Dónde:

T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce principal

S: Pendiente media del cauce principal

Luego, conociendo el tiempo de concentración de la cuenca, el coeficiente de uniformidad tiene el siguiente valor:

$$K = 1 + \frac{89.645^{1.25}}{89.624^{1.25} + 14} = 1.9$$

Finalmente, conocido los siguientes datos: área de la cuenca = 820.553km<sup>2</sup>, coeficiente de escorrentía = 0.54,

coeficiente de uniformidad = 1.95 y con precipitaciones máximas de diferentes duraciones (Tabla 10), se tiene las siguientes series de caudales máximos (Tabla 7, Tabla 8) así como las curvas de duración de caudales y la curva masa (Figura 5, Figura 6)

$$Q_d = 0.278CIAK$$

$$Q_d = \frac{0.278 * 0.54 * 52.68 * 820.55 * 1.95}{3600} * 1000$$

### III. RESULTADOS

En la presente investigación se comprueba la efectividad de la ecuación sintética y de la ecuación racional para determinar los caudales medios y caudales máximos respectivamente. Esta aplicación metodológica fue validada por Sandoval y Aguilera (2014), en sus estudios

en las cuencas del Ecuador que carecen de información hidrológica. Por lo que este método es también idóneo para cálculos de caudales en cuencas altoandinas del Perú de hasta 1000 km<sup>2</sup> que no tienen o tienen pocas estaciones meteorológicas e hidrológicas, como es el caso de la cuenca del río Checras.

La efectividad de la ecuación sintética de Vosresiensky, K. (1956), Zhelezniakov, G (1984) y Zhivotovsky, B. (1978) para la estimación de la precipitación media y del caudal medio de la cuenca del río Checras alcanza el 94.3% por lo que es un método válido para cuencas de escasa información hidrológica y climática, que toma como variable principal el área de la cuenca. En efecto el caudal medio del río Checras obtenido con las dos ecuaciones sintéticas son, respectivamente 10.032 y 10.010m<sup>3</sup>/s. El caudal promedio calculado por métodos experimentales de aforo y medición directa por SN Power y el SENAMHI, para la cuenca del río Checras, a lo largo de 42 años, entre 1966 y 2008, es de 9.4m<sup>3</sup>/s, por

Tabla 7. Caudales máximos- Método Racional Modificado de Témez

Qdiseño	15	30	60	90
Qd(25 años)	35.43	17.72	8.86	9.27
Qd(50 años)	38.84	19.42	9.71	10.16
Qd(250 años)	46.68	23.34	11.7	12.21
Qd(500 años)	50.04	25.02	12.51	13.09

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Caudales máximos- Método Racional Clasico

Qdiseño	15	30	60	90
Qd(25 años)	64.839861	32.419931	16.20996525	16.96323
Qd(50 años)	71.0776821	35.538841	17.76942053	18.5953041
Qd(250 años)	85.4241783	42.712089	21.35604458	22.3480895
Qd(500 años)	91.5783033	45.789152	22.89457583	23.9580086

Fuente: Elaboración propia.

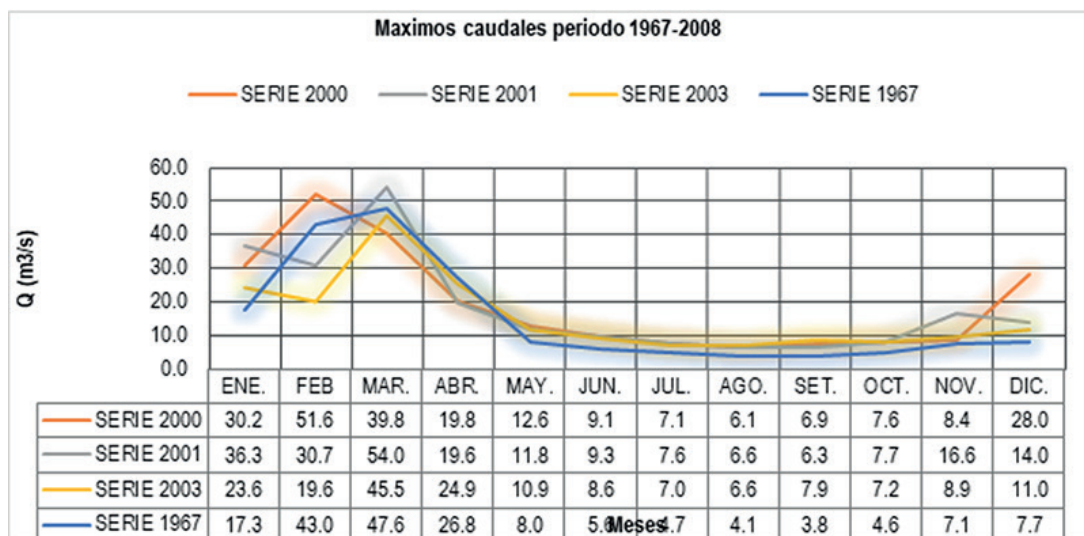


Figura 4. Serie de caudales máximos del río Checras ocurridos entre 1967 y 2008

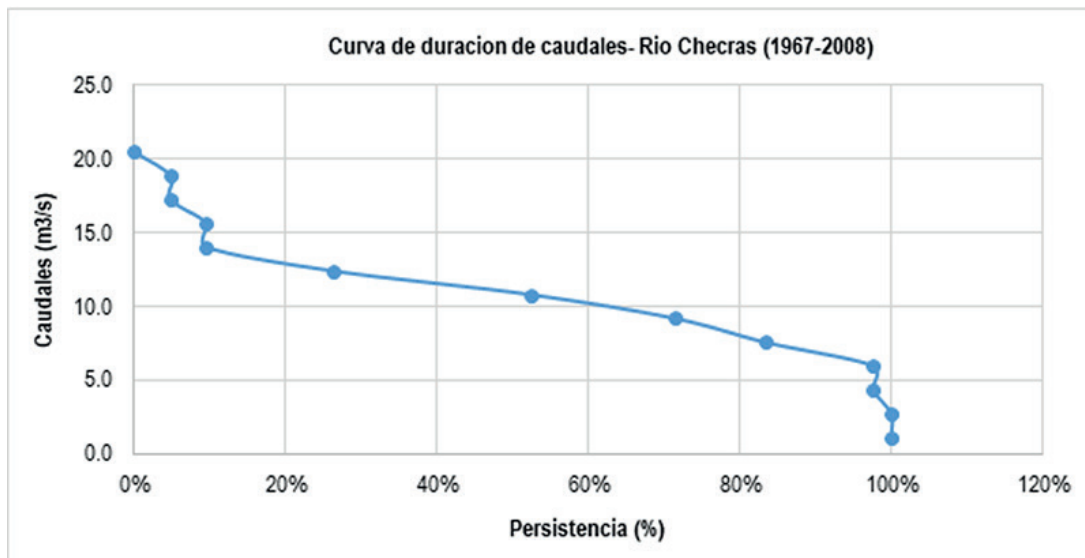


Figura 5. Curva de duración de caudales del río Checras.

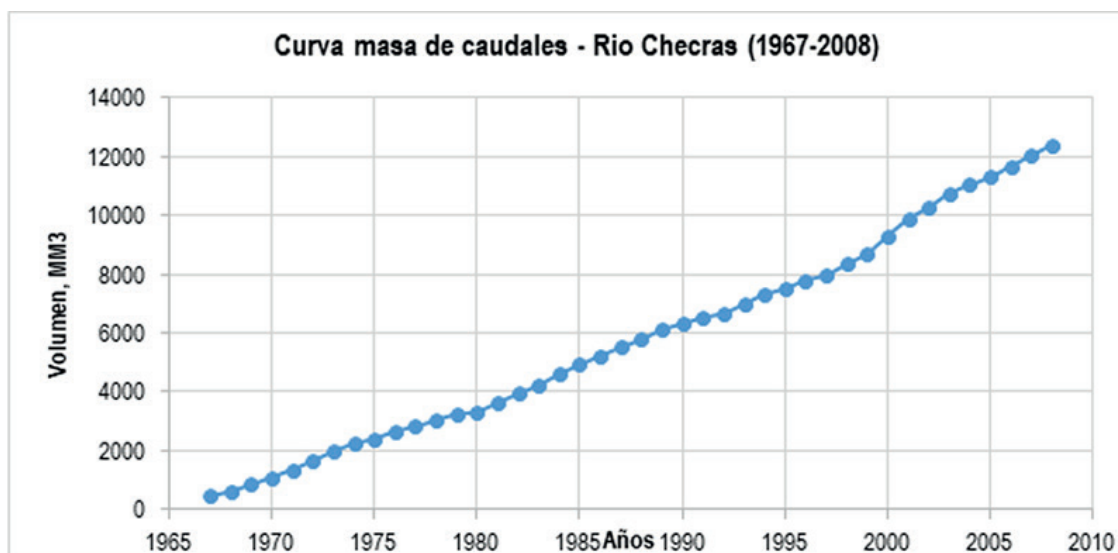


Figura 6. Curva masa del río Checras.

lo que la diferencia excedente es de  $0.6\text{m}^3/\text{s}$ ; es decir un margen de error de 5.99%.

#### IV. DISCUSIÓN

Integrando las ecuaciones, en una ecuación sintética, el volumen promedio de precipitaciones anuales para cuenca del río Checras, expresado en  $\text{m}^3/\text{s}$ , es igual a  $18.578\text{m}^3/\text{s}$  que se simplifica a partir del valor del volumen promedio de escurrimiento. En este caso el caudal medio de la cuenca representa el 53.8% del caudal volumétrico del volumen de escurrimiento de la cuenca. Este es un valor que se ajusta a los cálculos del SENAMHI.

Las ecuaciones sintéticas también pueden determinar directamente el caudal mínimo de la cuenca, el mismo que representa su caudal ecológico. Para la cuenca del río

Checras esto es de  $0.585\text{m}^3/\text{s}$ , la misma que fue corroborada mediante una medición directa, por SN Power, para la construcción de la Hidroeléctrica de Cheves (2014).

Con la información histórica de caudales medios, año por año entre 1967 y 2008, se construyó la curva masa de descarga de la cuenca del río Checras y la curva de duración de caudales (CDC).

La curva masa, llamada también curva de volúmenes acumulados, es una curva que se utiliza en el estudio de regularización de los ríos por medio de embalses (Chereque, 1997).

El río Checras descarga anualmente alrededor de 300  $\text{MM}^3$  de agua, el cual es suficiente para abastecer de agua potable a más 500 000 personas e irrigar hasta 50 000 ha. Por eso la empresa SN Power ha construido una gigantesca



represa para almacenar agua (del río Checras y río Churin) y abastecer a una de las hidroeléctricas más grandes de la cuenca del Pacífico, la hidroeléctrica de Cheves que produce 170 Mw de energía.

La curva de duración de caudales es una curva de frecuencia acumulada, que presenta el porcentaje del tiempo que un determinado valor de caudal es igualado o excedido durante el periodo analizado y representa de forma simple y directa el rango de variación de caudales en un punto específico de una corriente (Searcy, 1963). La curva de duración de caudales (CDC) de la cuenca del río Checras, indica una alta eficiencia hidráulica ya que durante 7 meses del año presenta caudales superiores a  $10\text{m}^3/\text{s}$ . Este caudal es un indicador muy importante para planificar proyectos agrícolas de miles de hectáreas, pues tendrían agua suficiente disponible durante gran parte del año.

Por otro lado, para la localización y dimensionamiento de obras hidráulicas y en general para todas las obras de ingeniería civil que interactúa con el agua, se requiere conocer el periodo de retorno de los grandes eventos, el mismo que está relacionado con los caudales máximos, llamado también caudales de diseño.

Los caudales máximos, son caudales extraordinarios de gran magnitud que se manifiestan en largos ciclos de periodos de retorno. La estimación de estos caudales es fundamental para dimensionar sistemas de drenaje, muros de encausamiento para proteger sistemas urbanos, alcantarillados, vertederos de demasías, luz en puentes, represas (Bateman, 2007).

El año 2010, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), estimó las siguientes series de caudales, para periodos de retorno de 20, 50 y 200 años. Estos valores tienen una correlación más aproximada con la serie de caudales máximos obtenidos con el Método Racional Clásico que no considera el coeficiente de uniformidad. En este caso los caudales máximos para un periodo de retorno de 25 y 50 años son respectivamente,  $64$  y  $71\text{m}^3/\text{s}$ , para una duración de 15 minutos.

Estos caudales máximos para diferentes periodos de retorno se han calculado tomando en cuenta los siguientes parámetros de la cuenca: área de la cuenca igual a  $820.55\text{ km}^2$ , coeficiente de escorrentía  $0.54$ , coeficiente de uniformidad  $1.95$  y precipitaciones máximas de diferentes duraciones.

## V. CONCLUSIONES

1. Existe una integración de parámetros fundamentales de la cuenca en las ecuaciones sintéticas y ecuaciones racionales para la estimación de caudales máximos, caudales mínimos y caudales promedios de las cuencas.
2. Las ecuaciones sintéticas y ecuaciones racionales pueden ser aplicados con bastante eficiencia en la caracterización hidrológica de las cuencas con poca información hidrológica como es el caso de la cuenca del río Checras.

3. La estimación de series de caudales máximos para la cuenca del río Checras, es fundamental para definir la localización, extensión y dimensionamiento de obras de infraestructura física
4. El cálculo de los caudales medios anuales permite hallar el volumen de descarga de la cuenca graficada en curvas masa y por otro lado la curva de duración de caudales permite identificar, el caudal ecológico así como el caudal 70, 90, 100% de los 365 días del año, importantes para la planificación agrícola y urbana.
5. La gran extensión de la cuenca de Checras así como su máxima longitud determinan caudales de gran magnitud de hasta  $54\text{m}^3/\text{s}$  dentro de un periodo de retorno de 50 años. La cuenca del río Checras tiene gran eficiencia hidráulica. Supera a la cuenca del río Chillón a pesar que esta tiene una extensión de  $2444\text{ km}^2$ , frente a  $820.53$  del río Checras. El caudal medio del río Chillón es  $4.2\text{m}^3/\text{s}$ , según los registros de SENAMHI.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, nuestra alma mater donde aprendimos a desarrollar los principios de la investigación científica y que en esta ocasión nos permite desarrollar el presente artículo. También expresar nuestra gratitud a todos los colegas sanmarquinos por su mística y preocupación permanente por la ciencia y la investigación.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua, (2010). *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Huaura*. Ministerio de Agricultura. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/00.12543/1965>
- Bateman, L. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos. GITS. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Chereque, W (1985). *Hidrología para estudiantes de ingeniería*. Universidad Pontificia Católica del Perú- CONCYTEC. Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>
- Cheves (2014). Estudio de Impacto Ambiental de la cuenca del río Churin-cuenca del río Huaura. Proyecto Hidroenergético de Cheves. Recuperado de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=19794](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=19794)
- INGEMMET, (2008). *Estudio Geoambiental de la Cuenca del río Huaura*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/246>
- Sandoval Erazo Washington y Aguilera Ortiz Eduardo (2014). *Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica*. Revista Ciencia UNEMI. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol17iss12.2014pp100-110p>

- Searcy, J. (1963) *Manual of Hydrology: Part 2, Low-Flow Techniques. Flow-Duration Curve*. United States Department of the Interior. Geological Survey, Washington. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/wsp/1542a/report.pdf>
- Searcy, J. (1969) *Curva de dobles masas: manual de hidrología parte I: técnica de hidrología superficial*. SIAC Sistema de Información Ambiental de Colombia
- Robredo, J. et al. (2012). *Un método para la estimación de caudales continuos en pequeñas cuencas de montaña*. Ecología, N° 24, 2012, pp. 27-42. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia\\_24\\_02\\_tcm30-100368.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_24_02_tcm30-100368.pdf)
- Villon, Maximo. (2011). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. República de Costa Rica.
- Vosresiensky, K. (1956). *Cálculos hidrológicos para el diseño de obras hidráulicas en pequeños ríos y riachuelos*. Leningrado (San Petersburgo), Rusia. Ed. Hidrometereológica
- Zhelezniakov, G. Negovskaya, T. y Ovcharov, E. (1984). *Hidrología y regulación de esorrentía*. Moscú, Rusia. Editorial Kolos.
- Zhivotovsky, B. (1978). *Cálculos hidrológicos para construcciones hidráulicas*. Moscú, Rusia. Ed. UAP.