

Evaluación de Métodos Paramétricos para la Regionalización de las Curvas de Duración de Caudales, en las Principales Cuencas del Pacífico sur de Peru

Robinson Peña,

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

Marlon Monge,

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

Doi:10.19044/esj.2019.v15n21p133 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n21p133](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n21p133)

Resumen

Una curva de duración de caudal (CDQ) ilustra la relación entre la frecuencia y la magnitud de los caudales. Las aplicaciones de las CDQ son de interés para muchos problemas hidrológicos relacionados con la generación de energía hidroeléctrica, la sedimentación de los ríos y embalses, abastecimiento de agua, riego. Este estudio es una alternativa para el problema de cuencas no aforadas mediante la obtención de modelos matemáticos regionales con ecuaciones paramétricas, a través de métodos de Quimpo, Mimikou y Suppo, Franchini y Suppo. El estudio se realizó en 11 cuencas del Pacífico Sur del Perú y se adopta un procedimiento de validación mediante la herramienta solver de Excel, con el fin de evaluar el método que mejor se ajuste a la CDC y así realizar una comparación con las CDQ observadas. Los resultados proporcionaron una buena fiabilidad de los modelos matemáticos regionales obteniéndose el área y el porcentaje de área desnuda como los principales parámetros para los sitios no aforadas. Se determinó que el método paramétrico más robusto es de Franchini y Suppo con coeficientes de correlación para los parámetros $a = 0.9199$; $b = 0,8633$ y $c = 0.8538$.

Palabras claves: Curva de duración de caudal, Métodos paramétricos, Hidrología, Modelos regionales

Evaluation of Parametric Methods for Regionalization of Currencies of Duration of Flows, in the Main Basins of the South Pacific of Peru

Robinson Peña,

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

Marlon Monge,

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

Abstract

A flow duration curve (CDQ) illustrates the relationship between the frequency and the magnitude of the flows. The CDQ applications are of interest for many hydrological problems related to the generation of hydroelectric energy, sedimentation of rivers and reservoirs, water supply, irrigation. This study is an alternative for the problem of non-gauged basins by obtaining regional mathematical models with parametric equations, through methods of Quimpo, Mimikou and Suppo, Franchini and Suppo. The study was conducted in 11 watersheds of the South Pacific of Peru and a validation procedure was adopted using the Excel solver tool, in order to evaluate the method that best fits the CDQ and thus make a comparison with the CDQ observed. The results provided a good reliability of the regional mathematical models obtaining the area and the percentage of bare area as the main parameters for the non-gauged sites. It was determined that the most robust parametric method is Franchini and Suppo with correlation coefficients for parameters $a = 0.9199$; $b = 0.8633$ and $c = 0.8538$.

Keywords: Flow duration curve, Parametric methods, Hydrology, Regional models

Introducción

La curva de duración de caudales (CDQ) resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado (Castellarin *et al.*, 2001; Gustard *et al.*, 1992). Las CDQ también pueden considerarse como el complemento de la función acumulativa de distribución de los caudales considerados (Castellarini *et al.*, 2015; Nash & Sutcliffe, 1970). El uso más antiguo de la CDQ se atribuye a Clemens Herschel y se remonta a 1880. La CDQ es ampliamente utilizada por los hidrólogos en todo el mundo en

numerosas aplicaciones relacionadas con el agua, como la generación de energía hidroeléctrica y la planificación y diseño de sistemas de riego, la gestión de corrientes de contaminación, sedimentación de ríos, así como en embalses y la erosión fluvial (López *et al.*, 2016; Cordova & González, 1997; Furness, 1959).

Es posible construir una CDQ a partir de observaciones de caudal utilizando técnicas no paramétricas estandarizada (Mimikou & Kaemaki, 1985; Franchini & Suppo, 1996). Sin embargo, la falta de datos es un problema común, reflejado en el gran número de estudios relacionados con la regionalización de la CDQ para diferentes regiones geográficas de todo el mundo, como: Regionalización de curvas de duración de caudales en el departamento de Antioquia Colombia, Regionalización paramétrica de curvas de duración de caudales en Argentina, Prediction of flow duration curves for ungauged basins in Turkey, Regionalised flow duration curves for Philippines (Quipo *et al.*, 1983; López *et al.*, 2016; Yasar & Baykan, 2013; Arias & Serna, 2017).

La regionalización de las CDQ por lo tanto, es un instrumento operativo esencial cuando se trata con cuencas no aforadas o registros de caudales cortos (López *et al.*, 2016; LeBoutillier & Waylen, 2013). Sin embargo, la literatura sobre la regionalización de CDQ es aún escasa, si se compara con el gran número de trabajos científicos que abordan el problema de análisis regional de frecuencia de crecidas. Además, existe una tendencia generalizada a proponer modelos regionales y recomendar su aplicación a sitios no homogéneos, sin una validación apropiada de la CDQ estimada (Nruthya & Srinivas, 2015; Croker *et al.*, 2003).

Este estudio comprende la región geográfica en el Pacífico sur del Perú para 11 cuencas hidrográficas, a través del ajuste de modelos regionales de los caudales medios mensuales. Los objetivos planteados en esta investigación fueron; a) elaborar las curvas de duración de caudales, por medio de métodos paramétricos que mejor se ajusten a las curvas de duración de 11 cuencas hidrográficas del Pacífico sur del Perú, b) implementar los modelos regionales y evaluar la fiabilidad para sitios no aforadas a través de su validación.

Metodología:

Área de estudio

En función a la disponibilidad de data, el área de estudio comprende 11 cuencas hidrográficas (Figura 1) de la vertiente del Pacífico Sur de Perú, se recopiló observaciones hidrométricas en períodos comprendidos desde 1913 – 2009, para realizar la estimación de CDC con series de caudales medios mensuales (Tabla 1).

Tabla 1. Especificaciones de las cuencas en estudio con sus respectivas estaciones.

Id Estación	Nombre Estación	Cuenca	Latitud	Longitud	Altitud
203903	B_unión	Acari	-15.48	-74.63	70
204617	Huatiapa	Camana-	-15.99472	-72.47028	699
203302	Socsy	Cañete	-13.03	-76.2	500
205201	Aguas_calientes	Caplina	-17.85	-70.11667	1300
203703	La_achirana	Ica	-13.96667	-75.68333	500
203005	Manchay_bajo	Lurin	-12.16667	-76.85	206
204504	Puente_ocoña	Ocoña	-16.42139	-73.115	23
203602	Letrayoc	Pisco	-13.65	-75.71667	720
202906	Chosica	Rimac	-11.92986	-76.68967	906
205103	La tranca	Sama	-17.73011	-70.47917	620
204002	Pte_jaqui	Yauca	-15.48	-74.45	214

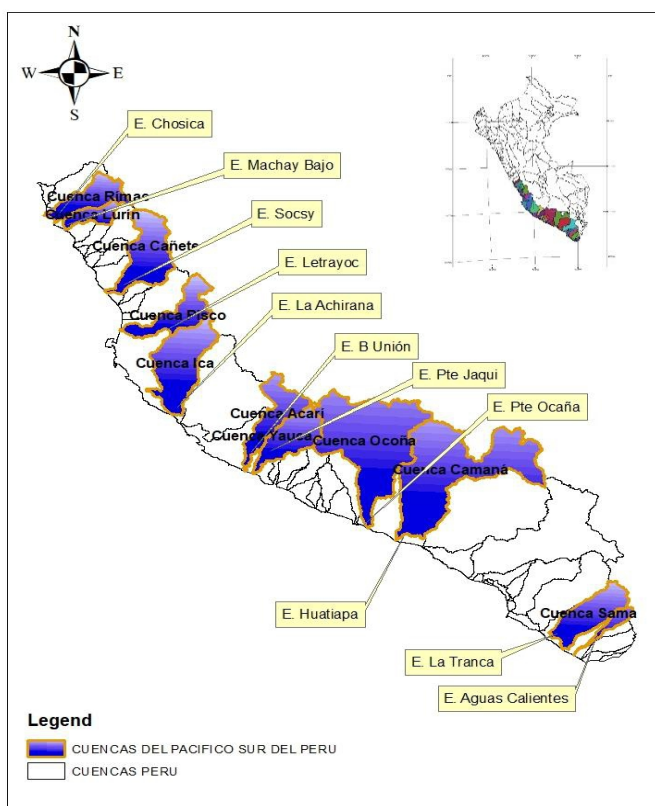


Figura 1. Ubicación de las cuencas de estudio con su respectiva estación.

Construcción de las curvas de duración de caudales (CDQ)

Para la construcción de las CDQ se utilizó las observaciones del flujo a través de procedimientos no paramétricos siguiendo cuatro pasos principales:

Los pasos incluyen: 1. Disponer de los registros de caudales (periodo total de registro), ordenándolos en descendente orden de su magnitud (de mayor a menor). 2. Clasificar los puntos de registros de datos colocándole 1 al primer valor hasta n para el último valor. 3. Asignación de la posición de trazado (probabilidad de superación) a cada punto de datos usando la fórmula de posición de trazado de Weibull (1). 4. Trazar los datos en un espacio bidimensional de magnitud de flujo frente a la probabilidad de excedencia y unir los puntos resultantes para formar una curva lisa (Castellarini *et al.*, 2015; Fennessey, 1994).

(1)

$$P_i = P(Q > q_{(i)}) = i * (N + 1)^{-1}$$

Donde P probabilidad, i observación de caudal, N longitud de la muestra, q es el caudal.

Métodos paramétricos

Para la regionalización de las curvas de duración de caudales (CDC) se utilizó:

Método de Quimpo

En el método de Quimpo (1983), se empleó con un enfoque paramétrico regional para la estimación de la CDQ en sitios potenciales no aforadas, aplicando una ecuación exponencial de dos parámetros (2), para representar CDQ de los caudales diarios.

(2)

$$Q(D) = QA \exp(-c * D)$$

Donde Q (D) indica el caudal diario asociado a una duración D, QA y c son los parámetros de la ecuación.

Para evaluar la CDQ en sitios no aforadas, se empleó un modelo de regresión regional que estima QA como una función del área de drenaje y una representación de contorno de c (Brath *et al.*, 2001; Hughes & Smakhtin, 1996).

Método de Mimikou y Kaemaki

En el método de Mimikou y Kaemaki (1985), se utilizó una ecuación de tercer orden para estimar Q(D) como se muestra en la ecuación 3:

(3)

$$Q(D) = a - bD + cD^2 - dD^3$$

Donde los parámetros a, b, c y d tienen que no ser negativos.

Para evaluar la CDQ en lugares no aforados se empleó un modelo de regresión regional, que expresan los parámetros de la ecuación como funciones de la precipitación media anual, el área de drenaje, la caída hipsométrica y la

longitud del curso del río principal (Brath *et al.*, 2001; Beard, 1962; Box & Cox, 1964; Castro & Machado, 2008).

Método de Franchini y Suppo.

En el método de Franchini y Suppo (1996), se describió la parte inferior de la CDQ de los caudales diarios (es decir, $D \geq 0,3$) adoptando la siguiente ecuación (4) analítica de tres parámetros:

$$Q(D) = c + a(1 - D)b \quad (4)$$

Donde los parámetros a, b y c son todos mayores que cero. El parámetro b se asocia con las características físicas de la cuenca (por ejemplo, impermeabilidad, tamaño, etc.) y controla la concavidad de las CDQ (Castellarini *et al.*, 2001; Fennessy & Vogel, 1990).

Evaluación de fiabilidad para sitios no aforados

Para correlacionar los parámetros a, b y c obtenidos se utilizó la herramienta solver de Excel y se determinó el método que mejor se ajustó a la mayoría de las (CDQ). Se consideraron las características geomorfológicas, como el área de la cuenca medida hasta la sección de aforo (ÁREA), cota máxima y mínima (DH), longitud del cauce más largo (L), pendiente (PEND), perímetro (PRIM), relación área/perímetro (A/P), longitud mayor (L Mayor), longitud menor (L Menor), factor de forma (Fm), coeficiente de compacidad (Kc) y el porcentaje de área desnuda (% AREAd).

A partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) se generaron distintos mapas derivados mediante el geo procesamiento y el análisis espacial mediante el *software* ArcGIS, mismo que cuenta con el respectivo licenciamiento educativo. Al final se obtuvo las variables que mejor se correlacionaron con los parámetros, siendo necesario elaboración de mapas temáticos, teniendo en cuenta el porcentaje de área desnuda (% AREAd) y el área de matorrales arbustivo, con la ayuda de *Google Earth pro* y posterior a ello se desarrolló una matriz de coeficientes de correlación, para seleccionar el conjunto de variables explicativas que mejor representan la relación con los parámetros a, b y c. Finalmente, mediante el análisis de los coeficientes de correlación (a, b y c), se procedió a realizar una regresión potencial simple.

Aplicado los distintos métodos paramétricos se pudo visualizar a simple vista la robustez de cada uno de ellos, esta hipótesis visual fue comprobada mediante el cálculo del error (5).

$$e = Ln \sum (Q - q)^2 \quad (5)$$

Dónde: e error, Q caudal observado de la cuenca, q caudal obtenido mediante los métodos paramétricas (Castellarin, 2015).

Resultados:

Construcción de las curvas de duración de caudales

Se elaboraron 11 curvas de duración de caudales de las 11 cuencas estudiadas, presentándose básicamente dos formas de comportamiento: la primera forma aquellas cuencas que desciende su caudal gradualmente tales como: la cuenca del Rimac, Camana, Ocoña, Cañete, Lurin, Ica y Pisco; la segunda forma para cuencas como Caplina, Sama, Yauca y Acari donde se observa una caída mucho más brusca de la curva (Figura 2), que podrían estar asociados a muchos factores que más adelante se detallan.

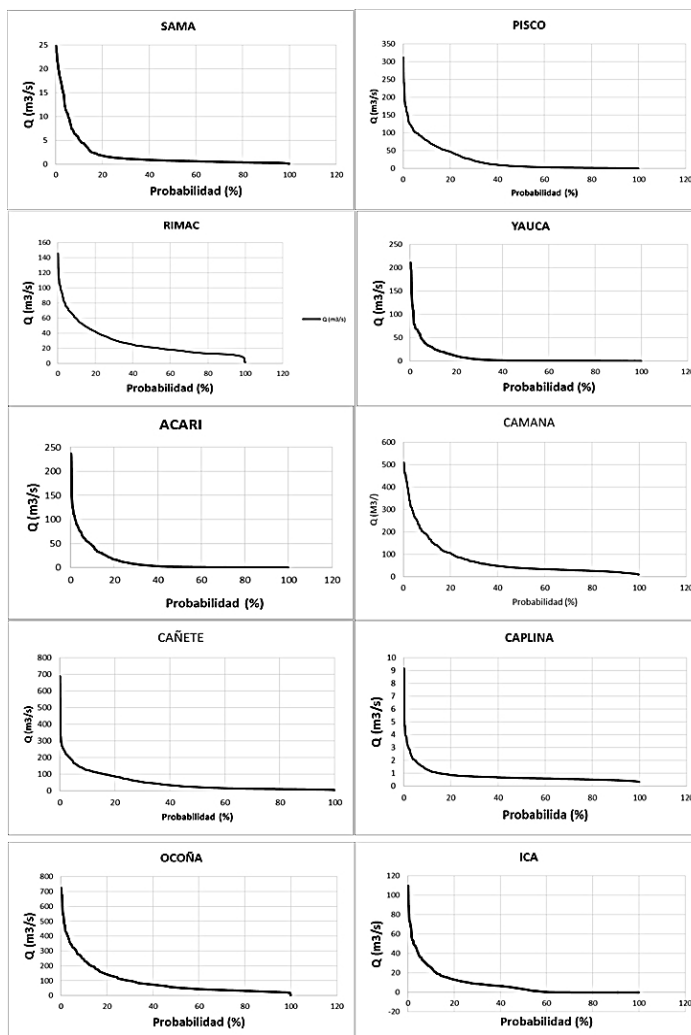


Figura 2. Curvas de duración de caudales.

Evaluación de los métodos paramétricos

Una vez obtenida las curvas de duración de caudales (CDQ), se procedió a hallar sus parámetros mediante los métodos de Quimpo (2), Mimikou y Kaemaki (3) y de Franchini y Suppo (4). Para hallar los valores de los parámetros, se inició dándole valores aleatorios, luego de plotearlos (Figura 3) a las curvas de duración de caudales (CDQ), tratando de que coincidan lo más posible, para llegar al valor más óptimo, mediante la herramienta solver del Excel se obtuvieron los valores que mejor se aproximaron a las curvas de duración de caudales (CDQ) (Blum *et al.*, 2017).

Mediante el cálculo de error (5) se pudo establecer que el método de Franchini y Suppo se acerca más a los datos observados en la gran mayoría de las cuencas del Pacífico sur del Perú, teniendo como error medio de las 11 cuencas analizadas de 9.25, a diferencia de los métodos de Quimpo, Mimikou y Kaemaki obteniendo un error medio de 9.68 y 10.05 respectivamente, obteniendo resultados más aproximados para ciertas cuencas como: Lurin, Acari, Ica y Pisco que tuvieron un mayor acercamiento por el método de Quimpo, pero con mayores diferencias para las demás cuencas, se halló una mayor aproximación para una única cuenca por el método de Mimikou y Kaemaki como el caso de la cuenca del río Rimac (Tabla 2).

Tabla 2. Errores obtenidos de los distintos métodos paramétricos.

Errores de los distintos métodos Paramétricos			
Cuenca	fo (Franchini)	fo (Quimpo)	fo (Mimikou)
Ocoña	12.40	13.02	12.87
Camana	11.43	12.53	12.37
Cañete	12.60	12.66	12.73
Pisco	11.20	11.12	11.55
Yauca	10.22	10.25	11.32
Acari	10.12	10.07	10.98
Rimac	9.93	10.68	9.84
Ica	9.08	9.02	9.69
Lurín	7.02	6.78	7.43
Sama	4.12	5.38	7.21
Caplina	3.66	5.02	4.55

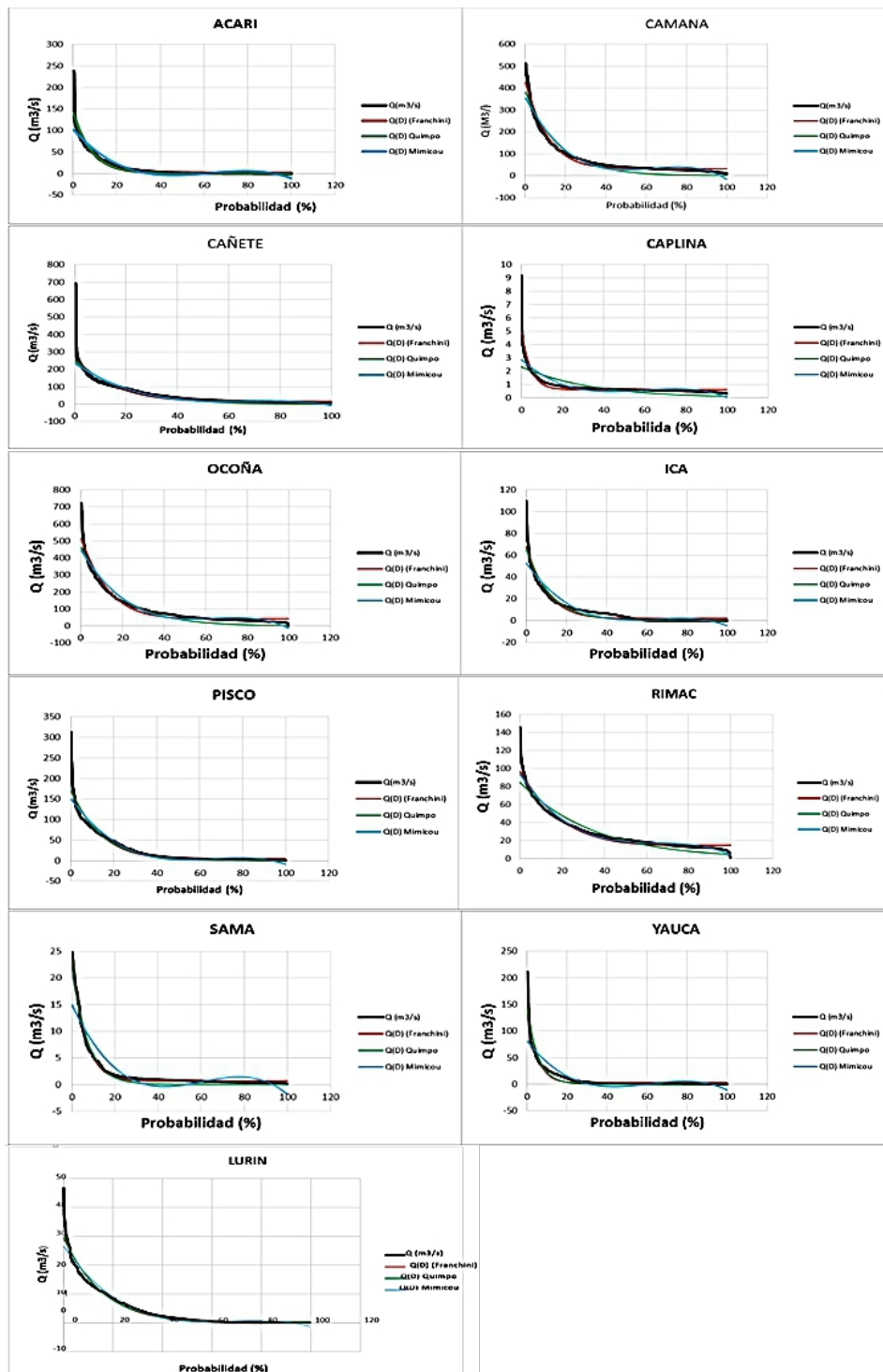


Figura 3. Comparación de los métodos paramétricos.

Implementación de los modelos regionales y evaluación de fiabilidad para sitios no aforados

Mediante la correlación de los parámetros a, b y c obtenidos por la herramienta solver de Excel, el método de Franchini y Suppo, fue el método que mejor se ajustó en la mayoría de las CDQ y siendo el método empleado en esta investigación para la respectiva regionalización. A partir de las características geomorfológicas y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) (Tabla 3) se generaron distintos mapas derivados mediante el geo procesamiento, con variables que mejor se correlacionaron con los parámetros, siendo estas el área de la cuenca medida hasta la sección de aforo (AREA) y el porcentaje de área desnuda (% AREAd) considerada al desierto costero, a los cardonales y un 50% del área a los matorrales arbustivo (Figura 4).

Tabla 3. Valores de las variables explicativas de los parámetros.

Cuenca	a	b	C	Área (km ²)	Área/perim	L_Menor (km)	Kc	L_Mayor (km)	Factor forma	% Área desnuda
Cañete	241.5	5.83	15.4	5875.15	9.74	20.94	2.22	280.53	0.0747	37
Pisco	166.99	6.84	3.92	3118.32	6.66	14.17	2.37	220.03	0.0644	45
Lurin	28.93	6.07	0.45	1479.36	5.12	11.09	2.12	133.42	0.0831	55
Ocoña	478.62	7.37	42.45	16010.88	14.22	30.05	2.51	532.76	0.0564	50
Camana	399.44	8.56	32.47	12784.54	10.97	22.83	2.91	560.01	0.0408	55
Ica	66.67	9.11	2.09	2186.23	5.87	12.58	2.25	173.73	0.0724	60
Sama	23.48	15.64	0.68	1904.17	5.51	11.82	2.24	161.11	0.0734	75
Yauca	146.26	20.02	2.5	4107.69	8.16	17.55	2.22	234.1	0.075	80
Caplina	4.5	21.83	0.62	507.63	3.41	7.59	1.86	66.88	0.1135	85

Se buscaron varias características climáticas y morfológicas de la cuenca que pudieran correlacionarse con los parámetros a,b y c como: el área de la cuenca (ÁREA), perímetro (PRIM), lado menor (L Menor) y lado mayor de la cuenca (L Mayor), el factor de forma de forma de la cuenca (Fm) y el porcentaje de área desnuda de la cuenca (% AREAd). Varios de los parámetros considerados en esta investigación tuvieron una buena correlación con los parámetros, estando por encima del 95% como se muestra en la (Tabla 4), siendo muy positivas para el objetivo de esta investigación.

En investigaciones de López (2016), incluyeron características climáticas y morfológicas adicionales como: Precipitación media anual (PMA), diferencia de cota máxima y mínima (DH), pendiente (PRIM) y el índice de compacidad (IC) que en esta investigación no fueron consideradas por la falta de datos existentes de las cuencas, características que pudieron haber obtenido una correlación con los parámetros a, b y c.

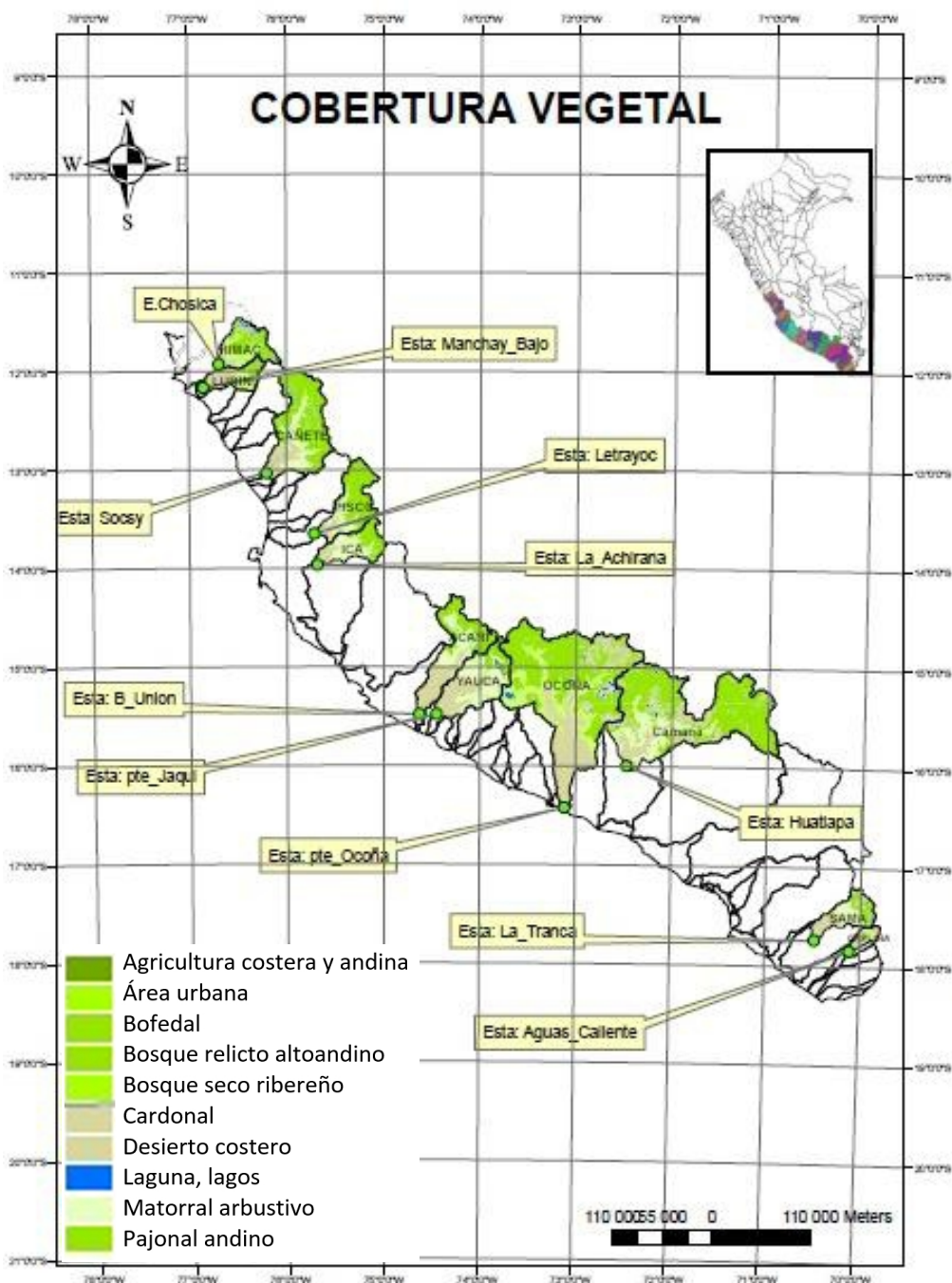


Figura 4. Cobertura vegetal.

En la matriz de coeficientes de correlación (Tabla 4) se observa un conjunto de variables explicativas que mejor representan la relación con los

parámetros a, b y c, tomando en consideracion investigaciones como la de Castellarin (2004) y López (2016), quienes sugieren que se debe evitar incluir los parámetros que se correlacionen simultáneamente entre sí, por lo tanto los parámetros que mantuvieron alta correlación entre si no fueron consideradas en esta investigación.

Tabla 4. Matriz de los coeficientes de correlación de las distintas variables consideradas

Variables Explicativas	a	b	c	Área (km2)	Área/perim	L_Menor (km)	Kc	L_Mayor (km)	Factor forma	% Área desnuda
A	1.000									
B	-	1.000								
C	0.965	-	1.000							
Área (km2)	0.978		0.988	1.000						
Área/perim	0.969		0.930	0.956	1.000					
L_Menor (km)	0.965		0.925	0.950	1.000	1.000				
Kc	0.794		0.742	0.787	0.724	0.707	1.000			
L_Mayor (km)	0.971		0.952	0.976	0.933	0.924	0.895	1.000		
Factor forma	-	0.584	-0.674	-0.736	-0.745	-0.731	-0.955	-0.841	1	
% Área	-	0.955	-0.421	-0.381	-0.477	-0.476	-0.431	-0.417	0.543	1

Modelos regionales

Una vez obtenidas las variables que mejor describieron los parámetros a, b y c mediante el análisis de los coeficientes de correlación, se procedió a realizar una regresión potencial simple (Figura 5), teniendo en cuenta que solo se halló una variable por parámetro. Mediante la regresión simple se obtuvo la ecuación para cada parámetro como se muestra a continuación.

$$\begin{aligned}
 a &= 0.0014 * (\hat{ÁREA})^{1.36} & R^2 &= 0.92 & (6) \\
 b &= 0.009 * (\% \hat{ÁREA}d)^{1.724} & R^2 &= 0.86 \\
 c &= 0.00002 * (\hat{ÁREA})^{1.4714} & R^2 &= 0.85
 \end{aligned}$$

El análisis de series de caudales medios mensuales observadas en las once cuencas permitió seleccionar el modelo matemático para los tres parámetros a, b y c que mejor describe las CDC de la región, siendo este modelo muy confiable ya que sus coeficientes de determinación se encuentran entre el (85 al 92 %).

En investigaciones como la de López (2016) los coeficientes de determinación del modelo matemático para los parámetros a, b y c estuvieron entre (42 al 69 %), estando por debajo de lo recomendado por Castellarin (2004).

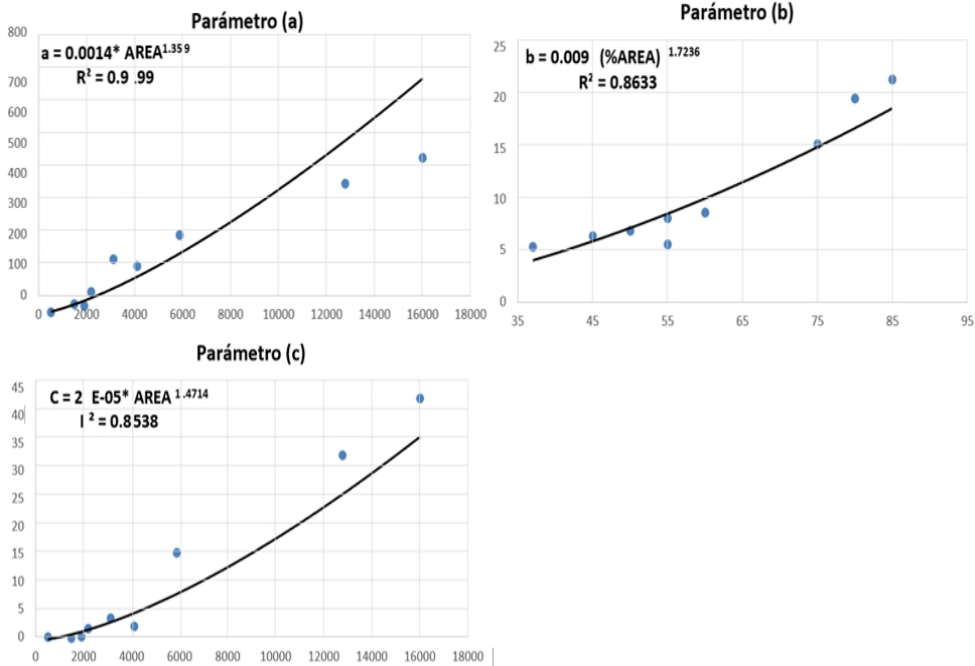


Figura 5. Regresión potencial de los parámetros a, b, c.

Verificación de los modelos regionales

Con el fin de validar la efectividad de los modelos regionales (6), se estimó la CDQ de la cuenca Acari (Figura 5), que previamente no fue considerada en los procesos de regionalización y así compararlo la curva de duración de caudales propia de la cuenca (Figura 6).

Tabla 5. Características Geomorfológicas de la Cuenca Acari.

Especificaciones Cuenca Acari	
Área (km ²)	4166.84
Área desnuda (%)	6

Nota: El área y el área desnuda fueron obtenidas a través de los mapas temáticos (Figura 4 y 6).



Figura 6. Cuenca Acari para la validación de los modelos regionales.

Además con el propósito de evaluar con criterio el desempeño del modelo, se calculó el error comparándolo con los demás métodos, es así tal como se muestra en la Tabla 6, el modelo regional se ajusta bien a la CDQ incluso superando al método de Quimpo, ya que presenta el menor error con 10.05, observándose en la Figura 7 que la curva es más suavizada, reflejando un alto grado de correlación con el comportamiento real de la cuenca.

Tabla 6. Valor estimado del error del modelo regional.

Errores de los distintos métodos Paramétricos				
Cuenca	fo (Franchini)	fo (Quimpo)	fo (Mimikou)	fo (Reginal)
ACARI	10.12	10.07	10.98	10.05

Es así, que al aplicar el método de Franchini y Suppo en función de las distintas probabilidades (D), se obtuvieron los parámetros:

$$a = 0.0014 * (\text{ÁREA})^{1.36} = 0.0014 * (4166.84)^{1.36} = \mathbf{116.17}$$

$$b = 0.009 * (\text{ÁREAd})^{1.724} = 0.009 * (60)^{1.724} = \mathbf{10.450}$$

$$c = 0.00002 * (\text{ÁREA})^{1.4714} = 0.00002 * (4166.84)^{1.4714} = \mathbf{4.239}$$

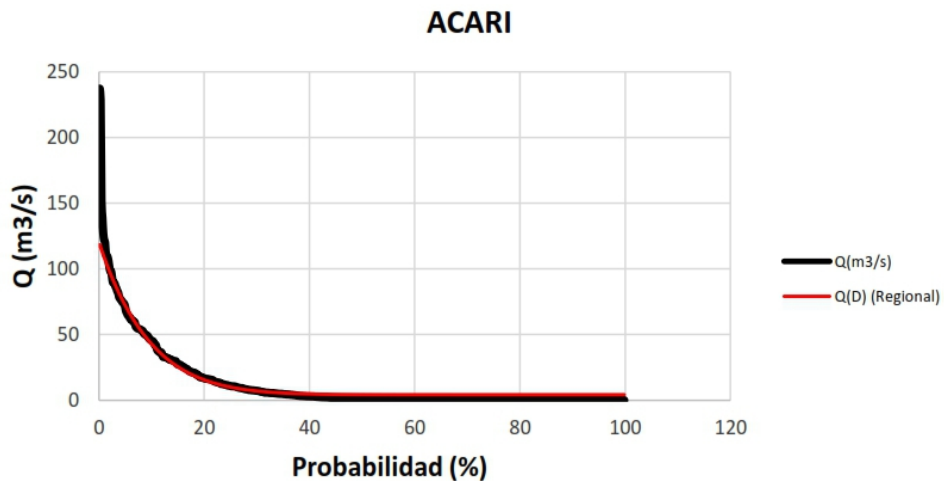


Figura 7. Curva de duración de caudal vs la curva de duración del modelo regional.

Conclusiones

Las variables que mejor se correlacionaron con los parámetros obtenidos para las cuencas del Pacífico sur, fueron el área de la cuenca medida hasta la sección de aforo (AREA) y el porcentaje de área desnuda (% AREAd) obteniéndose valores superiores al 95% para cada uno de los parámetros.

Los resultados permiten concluir que el método de Franchini y Suppo se ajusta mejor en la gran mayoría de las cuencas del Pacífico sur del Perú, siendo un método más robusto teniendo en cuenta que en la totalidad de los casos se mantuvo muy cercano a las (CDQ), a diferencia de los métodos de Quimpo y Mimikou y Kaemaki que si se ajustaron para ciertas cuencas como Lurín, Acari, Ica y Pisco que se obtuvieron menor error con el método de Quimpo pero con errores mayores para otras cuencas, por otra parte el método de Mimikou y Kaemaki dio un mejor ajuste para la cuenca del río Rimac.

References:

1. Arias, S., & Serna, L. (2017). Regionalización de curvas de duración de caudales en el departamento de Antioquia Colombia. *Water Resources*. 27 (14), 21 – 30.
2. Castellarin, A., Burn, D. H., & Brath, A. (2001). Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for regional flood frequency analysis. *Hydrology* 241 (3–4), 270-85.
3. Castellarin, A., Galeati, G., Brandimarte, L., Montanari, A., & Brath, A. (2015). Regional flow- duration curves: reliability for ungauged basins. *Water Resources*. 27 (4), 641-648.
4. Beard, L. R. (1962). Statistical analysis in hydrology. *Corps of Engineers*. 108 (11)10-60.

5. Blum, A., Archifiel, S. A., & Vogel, R. M. (2017). The probability distribution of daily streamflow in the United States. *Hydrology Earth System Science*. 21, 3093-3103.
6. Box, G., & Cox, D. (1964). An analysis of transformations flow. *Hydrology*. 26, 211-52.
7. Brath, A., Castellarin, A., Franchini, M., & Galeati, G. (2001). Estimating the index flood using indirect methods. *Hydrology*. 46(3), 399-418.
8. Castro, M., & Machado, L. (2008). Análisis regional de caudales medios de la cuenca del río Patía de Colombia. *Water Resources*. 15, 123-128.
9. Cordova, J. R., & González, M. (1997). Sediment yield in small watersheds based on streamflow and suspended sediment discharge measurements. *Soil Technology*. (11),57-65.
10. Croker, K. M., Young, M. Z., & Rees, H. (2003). Flow duration curve estimation in ephemeral catchments in Portugal. *Hydrology*. 48(3), 427-39.
11. Fennessey, N. M., & Vogel, R. M., (1990). Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts. *J Water Resour Plann Manage*. 116 (4), 531-49.
12. Fennessey, N. M. (1994). *A hydro-climatological model of daily streamflows for the northeast United States*. Vol 1. Tufts University. Medford.
13. Franchini, M., & Suppo, M. (1996). Regional analysis of flow duration curves for a limestone region. *Water Resour Manage*. 10, 199-218.
14. Furness, L. (1959). Kansas streamflow characteristics-part 1. Flow duration. *Kansas Water Resources*. Vol 1. 213 p.
15. Gustard, A., Bullock, A., Dixon JM. (1992). Low flow estimation in the United Kingdom. *Institute of Hydrology*. Vol 108. Wallingford.
16. Hughes, D. A., & Smakhtin, V. Y. (1996). Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves. *Hydrology Science*. 41(6), 851-71.
17. LeBoutillier, D. V., & Waylen, P. A. (1993). Stochastic model of flow duration curves. *Water Resources*. 29 (10), 35-41.
18. LeBoutillier, D. V., & Waylen, P. A. (2013). Regional variations in flow-duration curves for rivers in British Columbia, Canada. *Physical Geography*. 14(4), 359-378.
19. López, P., Maza, J., Burgos, V., Vargas, A., Fornero, L., & Bonilla, J. (2000) Regionalización paramétrica de curvas de duración de caudales en Argentina. *Hydrology* 201 (3–9), 45 – 50.
20. Mimikou, M., & Kaemaki, S. (1985). Regionalization of flow duration characteristics. *Hydrology*. 82, 77-91.

21. Nash, J., & Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models, Part 1—A discussion of principles. *Hydrology*. 10(3), 282-90.
22. Nruthya, K., & Srinivas V. V. (2015). Evaluating methods to predict streamflow at ungauged sites using regional flow duration curves: a case study. *Water Resources*. (4), 641-648.
23. Quimpo, R., Alejandrino, A., & McNally T. (1983). Regionalised Flow Duration Curves for Philippines. *Water Resources* 109 (4) 320–330.
24. Yasar, M., & Baykan, N. (2013). Prediction of flow duration curves for ungauged basins Turkey. *Water Resources and Protection*. 5, 97-110.