

XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA

LIMA, PERÚ, 26 AL 30 DE SETIEMBRE DE 2016

MORFOMETRÍA ADIMENSIONAL DE SISTEMAS HIDROLÓGICOS ALTOANDINOS Y GENERACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA*Oswaldo Ortiz Vera¹, Néstor Montalvo Aquiñigo², Abel Mejía Marcacuzco², Absalón Vásquez Villanueva² y Eusebio Ingol-Blanco³*

¹Estudiante del Programa de Doctorado en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, Lima, Perú; Telefax: 340-1180; email: ingoov@gmail.com

²Profesor 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

³Profesor 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

RESUMEN:

Es común en países en vías de desarrollo y en el Perú en particular la falta de información hidrológica local, situación que no sólo dificulta el planeamiento y gestión de los recursos hídricos, sino también afecta el diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica. El objeto de este estudio fue mostrar que este vacío puede cubrirse transfiriendo información entre sistemas hidrológicos hidráulicamente similares. La regionalización morfométrica adimensional permitió identificar sistemas hidrológicos hidráulicamente similares y los parámetros adimensionales de semejanza hidráulica quedaron convertidos en medios de transporte de información hidrológica. Se encontró que los parámetros adimensionales de semejanza geométrica, cinemática y dinámica son el índice de Gravelius, relación de confluencias y coeficiente orográfico, respectivamente. Los resultados de este estudio de regionalización morfométrica de una muestra de 50 microcuencas altoandinas, ubicadas en el departamento de Cajamarca del norte de Perú, dan cuenta que más del 25% de estos sistemas son similares, entre los que se puede intercambiar información hidrológica.

ABSTRACT:

It is common in developing country and in Peru in particular the lack of local hydrological information, which is not only hinders the planning and management of water resources but also affects the design, operation and maintenance of water infrastructure. The purpose of this study was to show that this gap can be filled by transferring information between hydraulically similar hydrological systems. Morphometric regionalization dimensionless identified hydraulically similar hydrological systems and hydraulic similarity dimensionless parameters were transformed in transportation hydrological information. It was found that the dimensionless geometric parameters, kinematics and dynamics are similarity index Gravelius, confluences and orographic ratio coefficient, respectively. The results of this morphometric study of regionalization a sample of 50 high Andean watersheds, located in the department of Cajamarca in northern Peru, realize that over 25% of these systems are similar, including hydrological information can be exchanged.

PALABRA CLAVE: sistemas hidrológicos, información hidrológica, similitud hidráulica.

INTRODUCCIÓN

La primera dificultad encontrada cuando desarrollamos un proyecto relacionado con la hidráulica es la falta o escasa información hidrológica local, problema común a todos los países en vías de desarrollo. Información que es fundamental no sólo para la planificación y gestión de los recursos hídricos sino también para el diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica. La economía de los países se ve periódicamente afectada por pérdidas millonarias de infraestructura debido a fenómenos hidrológicos extraordinarios, mucho de lo cual se debe a la debilidad de los estudios de los proyectos por falta de información hidrológica. Frente a esta realidad, los estudios de regionalización morfométrica adimensional sustentada en la semejanza hidráulica de sistemas hidrológicos será siempre, en cualquier tiempo y espacio, una alternativa viable para afrontar el problema de falta de información local, pues el carácter adimensional de esta metodología generaliza su aplicación a cualquier región subnacional e internacional.

OBJETIVO

Generación de información hidrológica local, en el lugar o mejor dicho en el punto de interés, a partir de información de estaciones registradoras ubicadas en la misma cuenca o en otras cuencas hidráulicamente similares.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio y muestra hidrológica

Para este estudio se seleccionaron 50 sistemas hidrológicos altoandinos de la región Cajamarca del norte de Perú, con fines de regionalización morfométrica adimensional, entendiéndose aquí por sistema hidrológico altoandino a la cuenca hidrográfica desarrollada por encima de los 1500 msnm, condición regional ésta con la que se garantiza que el área colectora es equivalente al área receptora de precipitaciones. Los sistemas altoandinos de esta región están caracterizados por tener precipitaciones pluviales promedio que varían desde 500 mm/año en zonas bajas (1500 msnm), hasta 1500 mm/año, en las zonas más altas (4200 msnm).

Análisis dimensional y condiciones de similitud hidráulica

Con la finalidad de encontrar las leyes que gobiernan los sistemas hidrológicos altoandinos, sometidos al fenómeno precipitación-escorrentía, se agruparon el conjunto de variables principales involucradas en dicho fenómeno, mediante el teorema fundamental del análisis dimensional conocido como teorema de Buckingham. Se encontró que, por analogía con la ingeniería de modelos hidráulicos, la similitud hidráulica de los sistemas hidrológicos debe cumplir las condiciones de semejanza geométrica, cinemática y dinámica, mediante los parámetros adimensionales: *índice de Gravelius*, *relación de confluencias* y *coeficiente orográfico*, respectivamente. Estos parámetros adimensionales se expresan mediante las relaciones mostradas a continuación (Henaos, J. E., 1988; Gravelius, 1914; Horton, R. E., 1932).

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad [1]$$

$$R_{ci} = \frac{N_i}{N_{i+1}}; \quad R_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1} R_{ci} \quad [2]$$

$$C_o = \frac{H^2}{A} \quad [3]$$

Donde: K_c , es el *índice de Gravelius*; p , el perímetro de la cuenca; A , el área proyectada; R_{ci} , la relación de confluencia parcial; N_i , el número de cauces de orden i ; N_{i+1} , el número de cauces de orden inmediatamente superior; R_c , relación de confluencias promedio; n , número de confluencias parciales; C_o , el *coeficiente orográfico* y H , la altitud media.

Identificación de los sistemas hidrológicos similares

Para identificar los sistemas hidrológicos hidráulicamente similares se estableció el procedimiento protocolar siguiente:

- Cuantificar los parámetros adimensionales de similitud hidráulica de todos los sistemas hidrológicos: índice de Gravelius, relación de confluencias y coeficiente orográfico.
- Agrupar los sistemas hidrológicos por su geometría, tomando como base el criterio de rangos del índice de Gravelius, tal como lo indica la Tabla 1.
- En cada grupo geométrico, seleccionar subgrupos de tal manera que cumplan los límites máximos de discrepancia previamente establecidos para la semejanza geométrica (índice de Gravelius), cinemática (relación de confluencias) y dinámica (coeficiente orográfico).
- Las cuencas de cada subgrupo resultante son similares.

Tabla1.- Formas geométricas de cuencas hidrográficas en base a rangos del índice de Gravelius

Formas de sistemas hidrológicos con base en el coeficiente de Gravelius		
Clase de geometría	Rango de clase	Forma de cuenca
K_{c1}	$1 < K_C \leq 1.25$	Oval redonda
K_{c2}	$1.25 < K_C \leq 1.50$	Oval oblonga
K_{c3}	$1.50 < K_C \leq 1.75$	Oblonga alargada

Fuente: Henaos, (1988).

Transferencia de información hidrológica

Para los fines aplicativos del presente estudio se seleccionó el *sistema hidrológico del río Mashcón* como la cuenca con información (cuenca de origen), en cuya cercanía de la cuenca baja se ubica la estación pluviométrica Weberbauer ($07^\circ 10' S$, $78^\circ 30' W$; altitud 2536 msnm) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI-Perú. Los datos de las bandas pluviográficas de tormentas críticas anuales de 50 años de registro en esta estación se sometieron a un análisis de frecuencias y luego al ajuste y simulación mediante el *modelo probabilístico Gumbel*, cuyo proceso se obvia aquí por cuanto el objetivo es sólo transferencia de información. Asimismo, se seleccionó a la *cuenca del río Jadibamba* (altitud media, 3218 msnm) como la estación sin información de tormentas (cuenca destino).

RESULTADOS

De la aplicación del teorema Buckingham se obtuvieron las 5 leyes o parámetros adimensionales que gobiernan los sistemas hidrológicos altoandinos, las que se expresan mediante las relaciones funcionales siguientes:

$$\pi_1 = \frac{Q}{AP} \quad [4]$$

$$\pi_2 = \frac{H}{\sqrt{A}} \quad [5]$$

$$\pi_3 = \frac{I \times t}{H} \quad [6]$$

$$\pi_4 = \frac{Q}{I \times A} \quad [7]$$

$$\pi_5 = \frac{P}{\sqrt{A}} \quad [8]$$

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

Los hallazgos de este análisis, en orden de presentación, se describen brevemente. El primero [4], es el *parámetro de flujo sostenido*, donde el término adimensional es el coeficiente de pérdidas en cualquier proceso de balance hidrológico, según el interés del investigador. El segundo [5] es el *parámetro de relieve*, pues los sistemas más escarpados tienen menor área proyectada y viceversa, es importante porque al elevar al cuadrado da origen al *coeficiente orográfico*. El tercero [6] es el *parámetro de lluvia*, cuya característica principal es su variabilidad espacial y temporal. El cuarto [7], es el *parámetro de flujo instantáneo*, cuyo primer miembro es el coeficiente de pérdidas o de escorrentía, parámetro muy interesante por dar origen al popular y vetusto método Racional (1889). Finalmente, el quinto [8] es el *parámetro de forma* o de geometría del sistema hidrológico, muy importante porque da origen al famoso *índice de Gravelius*, en el que se basa la clasificación geométrica de cuencas más importante y utilizado en el presente trabajo.

Cuencas hidrográficas con similitud hidráulica y grado de aproximación

Se identificaron dos grupos importantes de microcuencas con similitud hidráulica los que son mostrados en las Tablas 2 y 3 siguientes.

Tabla 2.- Microcuencas con similitud hidráulica de la forma oval oblonga ($1.25 < K_c \leq 1.50$)

Microcuenca	Área A (Km ²)	Perímetro P (Km)	Altitud H(msnm)	Número de orden O	Coefficiente Gravelius K _C	Relación de Confluencias R _C	Coefficiente orográfico C _O (%)	Cuenca	Vertiente
01. Río Cospán	239.67	81.93	2 803	4	1.48	2.83	3.28	Chicama	Pacífico
02. Río Cirato	136.37	56.86	2 276	3	1.36	3.80	3.80	Chancay	Pacífico
03. Qda. Chausís	209.32	73.65	2 177	4	1.42	2.70	2.26	Jequetepeque	Pacífico
04. Río Chetillano	177.79	67.08	2 790	4	1.41	2.89	4.38	Jequetepeque	Pacífico
05. Río Huambayoco	173.35	66.05	2 286	4	1.40	2.92	3.01	Chancay	Pacífico
06. Río Jadibamba	258.81	81.44	3 218	3	1.42	3.83	4.00	Alto Marañón	Atlántico
07. Río Llantén	279.48	83.89	3 378	4	1.41	3.53	4.08	Chancay	Pacífico
08. Río Mashcón	667.44	137.21	3 533	4	1.49	3.67	1.87	Crisnejas	Atlántico
09. Río Ochape	214.52	77.22	2 472	3	1.48	4.67	2.85	Chicama	Pacífico
10. Río Pallac	238.21	81.63	2 363	4	1.48	2.93	2.34	Jequetepeque	Pacífico
11. Río San Jorge	581.41	119.26	3 038	4	1.38	4.38	1.59	Chicama	Pacífico
12. Río San Pablo	180.46	69.24	2 505	3	1.44	2.47	3.48	Jequetepeque	Pacífico
13. Río Trapiche	359.39	97.87	2 818	4	1.45	3.53	2.21	Alto Marañón	Atlántico
PROMEDIO DESVEST COEFVAR					1.432 0.042 0.029	3.396 0.672 0.198	3.012 0.909 0.302		

Tabla 3.- Microcuencas de la forma oblonga alargada con similitud hidráulica ($1.50 < K_C \leq 1.75$)

Microcuenca	Área A (Km ²)	Perímetro P (Km)	Altitud H(msnm)	Número de orden O	Coefficiente Gravelius K _C	Relación de Confluencias R _C	Coefficiente orográfico C _O (%)	Cuenca	Vertiente
01. Río Huayro	195.50	79.76	3 668	4	1.61	2.83	6.88	Crisnejas	Atlántico
02. Qda. Huertas	100.89	54.32	2 389	3	1.51	3.75	5.66	Jequetepeque	Pacífico
03. Río Porcón	155.71	72.10	3 487	4	1.62	2.55	7.81	Crisnejas	Atlántico
04. Río Rejo	218.80	90.77	3 665	4	1.72	3.33	6.14	Jequetepeque	Pacífico
05. Qda. Shitamalca	119.29	59.98	3 173	4	1.54	2.58	8.44	Crisnejas	Atlántico
06. Qda. Yanahuanca	205.99	88.39	3 277	3	1.72	3.93	5.21	Jequetepeque	Pacífico
PROMEDIO DESVEST COEFVAR					1.620 0.088 0.054	3.162 0.598 0.189	6.690 1.258 0.188		

El grado de aproximación de la similitud, desde el punto de vista práctico, se estableció en base al *coeficiente de variación* (COEFVAR), asumiendo como discrepancias máximas de 0.05 para el *índice de Gravelius*, 0.20 para la *relación de confluencias* promedio y 0.30 para el *coeficiente orográfico*. Sin embargo, el criterio queda a voluntad del investigador en función de sus intereses.

Previamente, la muestra de 50 microcuencas fue clasificada en 3 grupos, en base al criterio de rangos del índice de Gravelius de la Tabla 1, resultando dos cuencas de la forma *oval redonda* (4%), 28 de la forma *oval oblonga* (56%) y 20 de la forma *oblonga alargada* (40%). Resulta evidente el predominio de la forma oval oblonga, sistema caracterizado por menores tiempos de concentración y, por tanto, caudales pico muy fuertes y de alta capacidad degradante con altos riesgos de inundaciones en las zonas bajas, frente a tormentas extraordinarias.

En esta clasificación geométrica, las dos unidades hidrológicas del grupo oval redonda no presentaron similitud hidráulica. En las dos otras formas resultaron dos subgrupos como los más importantes de cuencas hidráulicamente similares, el uno conformado por 13 unidades de la forma oval redonda (Tabla 2) y el otro compuesto de seis unidades de la forma oblonga alargada (Tabla 3), no obstante existen otros grupos menores no mostrados aquí.

Estadísticamente hablando, la similitud hidráulica en cuencas hidrográficas de la forma oval oblonga (Tabla 2) representa el 46.4% del total grupal y el 26% del total muestral. En cambio, para la forma oval alargada la similitud hidráulica es de 30% del total grupal y el 12% del total muestral. Es importante resaltar que estos porcentajes son bastante significativos en el análisis regional morfométrico adimensional, porque en esa misma proporción se hace posible la transferencia de información hidrológica.

Funciones de transferencia y generación de información hidrológica

Todas las leyes físicas o parámetros adimensionales y sus combinaciones pueden convertirse en funciones de transferencia de información entre sistemas hidrológicos similares, según interés del investigador. Sólo se presentan aquí dos funciones de transferencia, consideradas las más importantes, una para escorrentías sostenidas [9] y para características de precipitación la otra [10].

$$Q_d = H_e^{-1} P_e A_e^{3/2} Q_o \quad [9]$$

$$I_d = H_e t_e^{-1} I_o \quad [10]$$

Donde: Q_d , es el caudal en la cuenca destino. H_e , escala de altitudes; P_e , escala de precipitaciones; A_e , escala de áreas; Q_o , caudal en la cuenca de origen; I_d , intensidad de precipitación en la cuenca destino; I_o , intensidad de precipitación en la cuenca de origen; t_e , escala de periodos de duración. En general, se adoptaron los subíndices o, d, para las cuencas origen y destino, respecto a la información.

La aplicación de la ecuación [10], para el caso del ejemplo planteado, permitió obtener la información de intensidades máximas de precipitación transferida a la altitud media de la cuenca del río Jadibamba, tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.- Intensidades máximas de precipitación transferidas a la microcuenca del río Jadibamba (altitud media 3218 msnm).

N	J (%)	Tr (Años)	Intensidades máximas (mm/h)				
			5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
	00	∞	-	-	-	-	-
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	∞	-	-	-	-	-
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; J, incertidumbre; T_r, tiempo de retorno.

CONCLUSIONES

- Las cinco leyes o parámetros adimensionales del fenómeno físico precipitación-escorrentía encontrados en este estudio describen la dinámica hidrológica superficial más importante de la cuenca y constituye la base científica de esta metodología (ecuaciones [4] al [8]).
- Dos o más sistemas hidrológicos son hidráulicamente semejantes sólo si cumplen las condiciones de semejanza geométrica, cinemática y dinámica, a través de los parámetros adimensionales *índice de Gravelius*, *relación de confluencias* y *coeficiente orográfico*, respectivamente.
- Los límites máximos de aproximación de la similitud hidráulica de sistemas hidrológicos con fines prácticos, medidos mediante el *coeficiente de variación*, son 0.05 para el índice de Gravelius, 0.20 para la relación de confluencias y 0.30 para el coeficiente orográfico. Sin embargo, el criterio queda a voluntad del investigador de acuerdo con sus intereses.
- La naturaleza adimensional de la regionalización morfométrica es atractiva por cuanto su aplicación tiene carácter general, a diferencia de cualquier otra metodología empírica. No obstante que este trabajo se limitó a la región Cajamarca, pero la metodología es aplicable a cualquier otra región o regiones subnacionales o internacionales.
- El porcentaje de unidades hidrológicas hidráulicamente similares, encontrado en este estudio de regionalización morfométrica adimensional, corresponde a la forma oval oblonga 26%, seguido por la forma oblonga alargada con 12%, todo con respecto a la totalidad muestral. Porcentajes, bastante importante con fines de transferencia de información hidrológica.
- La geometría de la cuenca tiene una gran incidencia en la similitud hidráulica, lo que significa que la forma influye no sólo en la distribución espacial o configuración de la red de drenaje superficial sino también, en menor escala, en el relieve de la cuenca.
- Los estudios de regionalización morfométrica adimensional no sólo pueden ayudar a la solución de falta de información hidrológica local o puntual, sino también puede aplicarse en estudios de réplicas de manejo integral de cuencas piloto y en prevención de desastres por fenómenos extraordinarios de El Niño.
- El método de transferencia de información hidrológica mediante parámetros adimensionales en cuencas similares es muy sencillo, a diferencia de otras metodologías regionales que requieren de gran cantidad de información adecuadamente distribuida en espacio y tiempo para conseguir resultados aceptables, todo lo cual repercute en el costo.
- Como cualquier otra metodología de generación de información hidrológica, la calidad de la información transferida depende de la calidad de información registrada en la estación de la cuenca de origen.

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.
- Gutiérrez Elorza M. (2008).** *Geomorfología*. Ed. Pearson Prentice Hall.
- Gravelius, H., (1914). “Morfometry of Drainage Bassins”. Amsterdam, Elsevier.
- Henaos, J. E., (1988).** Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santon Tomás. Centro de enseñanza desescolarizada. Bogotá: 396 p.
- Horton, R. E., (1932).** “Drainage Bassin Characteristics” Transactions of the American Geophysical Union. 13, pp 350-361.
- 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.