

# CAUDALES ECOLÓGICOS PARA CUENCAS ECUATORIANAS DETERMINADOS POR EL MÉTODO DE LA PENDIENTE DE LA CURVA DE MASAS

*ECOLOGICAL FLOWS FOR ECUADORIAN BASINS DETERMINED BY THE SLOPE METHOD OF THE MASS-CURVE*

**EVELYN ARCE, WASHINGTON SANDOVAL, THEOFILOS TOULKERIDIS Y DAVID CARRERA**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, SANGOLQUÍ, ECUADOR Av. Gral Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador.

Recibido: 4 de julio del 2017 / Aceptado: 6 de octubre del 2017

## RESUMEN

Este estudio presenta los resultados del cálculo de los caudales ecológicos para tres condiciones: base, mantenimiento y máximo de cuencas ecuatorianas que se dispone de datos hidrométricos; a partir de la metodología denominada Método de Pendiente de la Curva de Masa. Para el Ecuador establecer dichos caudales es de vital importancia para la preservación de los ecosistemas naturales, tomando en cuenta que actualmente la inversión en obras hidráulicas como presas, centrales hidroeléctricas, obras de concreción y otras es muy alta. Los resultados obtenidos permiten establecer una línea base para todos los proyectos, que de alguna manera afectan a los ecosistemas fluviales de las cuencas geográficas del Ecuador, en concordancia con la disponibilidad del agua. Se presenta en forma gráfica los valores de los caudales ecológicos de acuerdo a la ubicación de las estaciones hidrométricas, permitiendo de esta manera apreciar la magnitud de variación espacial de los caudales.

**Palabras clave:** Caudal ecológico, método de pendiente, curva de masa integral, Ecuador

## ABSTRACT

This study presents the results of the calculation of the ecological flows below the parameters base, maintenance and maximum of Ecuadorian basins that have hydrometric data, based on the new methodology called Slope Method to the Mass-Curve. For Ecuador to establish the flows is of vital importance for the preservation of the natural ecosystems, taking into account that currently the investment in hydraulic constructions such as dams, hydroelectric power stations and others is enormous. The results obtained allow to establish a baseline for all the projects that somehow affect the fluvial ecosystems, of the geographic basins of Ecuador, in agreement with the availability of the water. The values of the ecological flows are presented graphically according to the location of the hydrometric stations, allowing to appreciate the magnitude of variation of these flows.

**Keywords:** Ecological flow rate, slope method, integral mass-curve, Ecuador

## INTRODUCCIÓN

En proyectos de ingeniería y ambientales establecer los caudales ecológicos de una cuenca pequeña o grande permite conocer cual es el volumen de agua adecuado en cantidad, calidad y la regularidad para asegurar el normal desarrollo de la flora, la fauna, la salud de los ríos y otros ecosistemas acuáticos. (Ward y Stanford , 1995, Poff et al., 1997, Arthington et al., 2006). Toda obra de construcción en un cauce de agua debe incluir estructuras que permitan el paso de un caudal mínimo que garantice la vida, la circulación y la reproducción de las especies que habitan las aguas en el momento anterior a la construcción de la obra. (Vaux y Howitt, 1984, Griffin y Chang, 1991, Ward y Lynch, 1997, McCarl et al, 1999). También existe la necesidad de definir en las corrientes superficiales los caudales mínimos que permitan, ante los diversos usos que se le da al agua que circula por ellas, la existencia o permanencia de la fauna acuática para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico de sistema. (Davies y Jackson, 2006, Cairns y Pratt, 1993, Baron et al., 2002). De esta manera, determinar los caudales ecológicos es uno de los parámetros más importantes de un proyecto que modifica las condiciones naturales del ecosistema de una cuenca, debido a que la existencia de los sistemas naturales guardan relación directa con la disponibilidad de agua y esta a su vez con la precipitación en la cuenca. (Wiens, 1992, Poff y Zimmerman, 2010, Cui et al., 2009, Bunn y Arthington, 2002). El no establecer un caudal ecológico apropiado puede generar un impacto ambiental significativo, que puede ser crítico para la vida vegetal y animal de la zona. (Poff et al., 2010; Arnaud et al., 2006; Borja et al., 2006).

Con el fin de determinar los caudales ecológicos para las principales cuencas del Ecuador donde se dispone de estaciones hidrométricas y con el fin elaborar un mapa de caudales ecológicos, se propone usar la nueva metodología llamada Método de la Pendiente a la Curva de Masas (MPCM), que utiliza los datos de caudales medidos en una determinada cuenca (Sandoval et al. 2016).

## METODOLOGÍA

Por su condición de uso frecuente en proyectos se requiere comparar los resultados del cálculo de los caudales ecológicos con otros métodos existentes y los obtenidos mediante el MPCM. Como métodos hidráulicos se tiene los desarrollados por: Tennant, 1976, Alcázar, 2007, Ministerio de Energía y Combustibles de la Federación Rusa, 2007, Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2014, García et al., 1997 El método utilizado en Ecuador y en casi en toda Latinoamérica, considera como caudal mínimo ecológico  $Q_e$  al 10% del caudal medio  $Q_m$ , fundamentado en el hecho de que ese valor asegura un 60% de los parámetros hidráulicos del cauce, tales como el área, perímetro mojado y tirante de agua. (Tennant, 1976, Richter et al., 1997, Smakhtin, 2001).

$$Q_e = 0,1Q_m \quad (1)$$

Estudios adicionales (Alcázar, 2007, Hill et al, 1991, Jowett, 1997, Acreman y Dunbar, 2004) establecen que el caudal ecológico se compone de un caudal base  $Q_B$  correspondiente al 20% del caudal medio, es decir  $Q_B = 0,2 Q_m$ , más un caudal de acondicionamiento  $Q_A$  el cual se toma el 10% del caudal medio, es decir  $Q_A = 0,1 Q_{Bm}$  que sumados se obtiene el caudal ecológico  $Q_v = Q_B + Q_A$  que permite conservar las condiciones de mantenimiento para la flora y la fauna del cauce, de donde:

$$Q_e = 0,3Q_m \quad (2)$$

De acuerdo a la (Norma N° 314 2007) del Ministerio de Recursos Naturales de la Federación Rusa, el caudal ecológico se toma en función de los caudales medios para el período de escorrentía mínima, según las siguientes relaciones:

$$Q_{e1} \geq 0,7Q_{50\%} \quad (3)$$

$$Q_{e2} \geq 0,8Q_{75\%} \quad (4)$$

$$Q_{e3} \geq 0,9Q_{95\%} \quad (5)$$

Siendo el  $Q_{e1}$  el caudal recomendado para mantener las condiciones más adecuada del cauce, el  $Q_{e2}$  caudal para asegurar las condiciones básicas de vida del cauce y  $Q_{e3}$  el caudal mínimo para que el cauce supere las condiciones de extrema sequía. (Richter et al., 1997; 2003; Tharme, 2003).  $Q_{50\%}$ ,  $Q_{75\%}$  y  $Q_{90\%}$  son los caudales correspondientes a los porcentajes indicados de la curva de Duración de caudales.

La Norma Mexicana (NMX-AA-159 SCFI-2012 2012) define que los caudales ecológicos van desde el 5% al 40% para las corrientes permanentes en base a la oferta y demanda de agua.

García et al. (1997) recomienda determinar los caudales ecológicos con las siguientes fórmulas, la primera no es aplicable a caudales pequeños.

$$Q_e = 15 \frac{Q_{95\%}}{(\ln Q_{95\%})^2} \quad (6)$$

$$Q_e = 0,25(Q_{95\%} + 0,075) \quad (7)$$

Para determinar los caudales ecológico por el método MPCM de acuerdo con (Sandoval et al. 2016) los caudales medios mensuales se debe ordenar del valor mayor al menor. Sean los caudales medios mensuales los valores  $Q_1, Q_2, \dots, Q_{12}$  y el caudal medio anual  $Q_m$ . Al ordenarles del mayor al menor se normaliza el carácter ascendente y descendente de los caudales en la cuenca.

La variación de los incrementos o decrementos de los caudales mensuales con respecto al caudal medio anual, gráficamente corresponde a la curva de masas, (Fig. 2): analíticamente esta dada por la siguiente relación:

$$\frac{Q_i - Q_m}{Q_m} = \frac{Q_i}{Q_m} - 1 = k_i - 1 \quad (8)$$

Sea la ecuación  $y = f(k_i - 1)$

Su diferencial  $dy = f'(k_i - 1) dk$

La pendiente  $m$  de la curva en cada punto es,  $\frac{dy}{dk} = m = k_i - 1$

Esta pendiente  $m$  se determina en forma gráfica, que corresponde al gradiente de cada mes (Fig. 3)

$$k_i = m + 1 = \frac{Q_i}{Q_m} \quad (9)$$

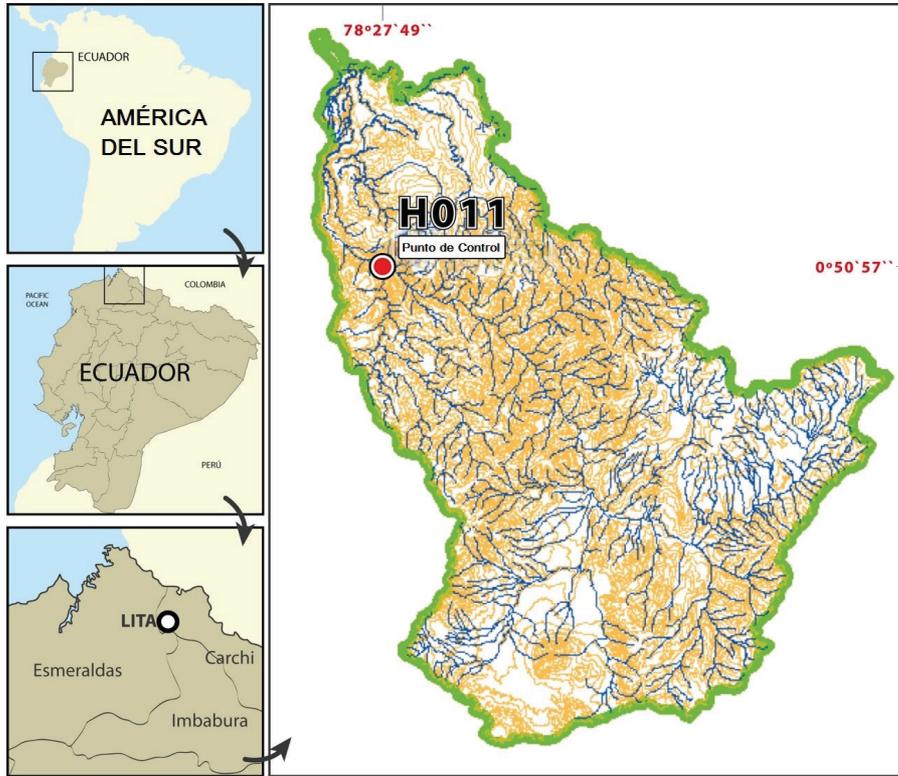
Aquí,  $Q_i$  es el valor que requiere la cuenca para sobreponerse al gradiente negativo del caudal de la serie de datos, al cual le llamaremos caudal ecológico  $Q_e$ .

$$Q_e = Q_m (1 + m) \quad (10)$$

Para determinar los caudales ecológicos utilizamos los datos hidrométricos de varias series multianuales disponibles en (INAMHI, 2014). Los resultados obtenidos permiten conocer la disponibilidad ecológica mínima de agua de las zonas geográficas del Ecuador y serán de beneficio para todos los profesionales que de alguna manera participan en proyectos de uso y manejo de los recursos hídricos. La metodología utilizada se explica a detalle con los datos de la cuenca del Río Mira y se presentan los resultados para otras cuencas del Ecuador (Tabla 1-5).

Como propuesta metodológica para la determinación de los caudales ecológicos se presenta el estudio hidrológico para la cuenca del río Mira, con datos de la estación hidrometeorológica de la Parroquia Lita (Fig. 1). El río Mira que está constituido por los ríos Apaquí, Mataquí, Ambi, Chota se encuentra ubicada al extremo norte del país forma parte del gran valle interandino ecuatoriano conocido como Chota-Mira.

La cuenca del río Mira está conformada por diez subcuencas (Tabla 1).



**Figura 1.** Cuenca Mira en Lita con sus ríos y curvas de nivel.

**Tabla 1.** Parámetros Morfométricos de las Subcuencas del Mira. Donde: P = Perímetro;  $\Delta H$  = Diferencia altimétrica de la Cuenca; Fj = Factor de Forma; Ip = Índice de Pendiente; Lr = Longitud del río principal; Hm = Altura media; J = Pendiente del Cauce

Estación	P	Fj	Lr	Hm	$\Delta H$	Ip	Im	J
	[Km]	[-]	[Km]	msnm	[M]	[%]	[%]	[%]
Apaqui D.J. Minas	77,3	1,29	30,3	2265	771	17,48	3,3	1,32
Apaqui en Gruta La Paz	103	1,32	40,2	2365	851	5,92	2,98	1,47
Apaqui A.J. Chota	122	1,26	43,3	1715	1155	19,39	4,82	2,58
Chota en Pte. Carretero	217	1,41	86,2	1515	1890	16,62	3,11	2,18
Jutanyacu A.J. Blanco	63	1,12	17,2	2470	1275	30,55	11,2	0,85
Ambi D.J. Cariyacu	123	1,26	43,1	2015	1580	22,46	6,00	1,3
Mira en Carchi	291	1,24	110	1250	1975	15,73	3,04	1,99
Blanco A.J. Mira	57	1,29	21,2	890	2085	34,92	12,8	8,8
Lita A.J. Mira	107	1,39	41,7	550	2630	27,77	7,32	5,63
Mira en Lita	350	1,38	136,7	530	2575	15,8	2,98	1,72

## RESULTADOS

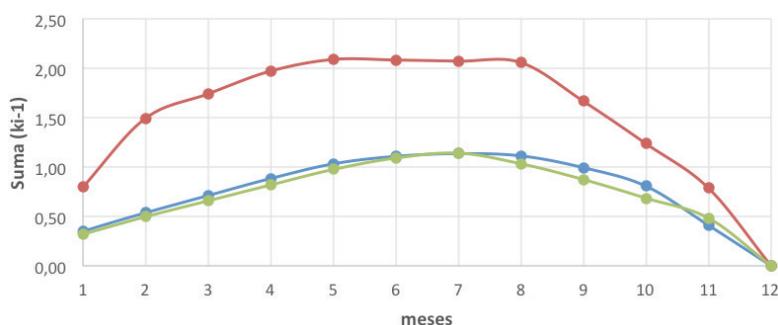
Con los datos de las series de caudales y valores medios mensuales se establece la curva integral de masas elaborada para caudales mínimos, medios y máximo (tabla 2).

**Tabla 2.** Caudales medios, mínimos y máximos mensuales Cuenca Mira en Lita

Mes	Q Medio	Q Mínimo	Q Máximo
	(m <sup>3</sup> /s)		
ENE	171,455	15,733	335,610
FEB	175,364	81,773	294,156
MAR	175,019	91,320	295,248
APR	202,018	132,030	295,223
MAY	176,686	123,515	266,909
JUN	145,848	90,061	213,786
JUL	121,239	72,741	227,104
AUG	88,167	40,149	131,734
SEP	90,142	41,764	202,816
OCT	131,514	72,335	206,284
NOV	153,386	72,129	299,449
DEC	160,724	44,494	283,775

Ordenamos del mayor al menor los datos y calculamos la curva integral de masas para las tres series. Los resultados se muestran en la Fig. 2.

La curva integral de masas de color verde representa al caudal máximo, la de color azul al caudal medio y la de color rojo al caudal mínimo.



**Figura 2.** Curvas integrales de masas

Después de lo cual se determinan las pendientes de las curvas en su etapa de descenso, con el apoyo del programa Excel, como se muestran en la Fig. 3. Matemáticamente depende de la tendencia de la curva integral, por lo que, para obtener el valor de la pendiente de la ecuación  $y=mx+b$ , se requiere, por lo menos, de los dos últimos meses. Para la serie de

caudales mínimos es de -0,6181, la cual remplazaremos en la ecuación (9) para el cálculo factor y posteriormente obtener el caudal mínimo que necesita la cuenca para conservar su ecosistema.



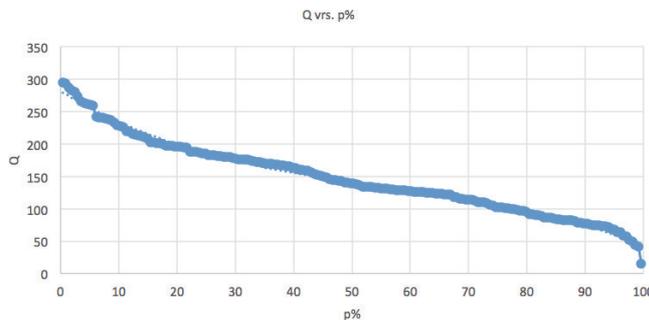
**Figura 3.** Pendiente de los caudales mínimos.

Los valores de las pendientes para cada serie colocamos en la tabla 3. y determinamos los coeficientes de reducción de caudales ki y el caudal Qe para cada columna de datos.

**Tabla 3.** Procesamiento para las curvas de masa

m	-0,403	-0,618	-0,482
ki	0,597	0,382	0,518
Qe	89,160	27,94	131,72

Para comparar los caudales ecológicos obtenidos con otras metodologías se requiere la curva de duración de caudales, que resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de los caudales medios diarios medidos en la estación hidrométrica, figura 4. En la cual, Q son los caudales medios mensuales y p% es la probabilidad de que dichos caudales puedan ser igualados o excedidos, de la muestra de 192 datos para la cuenca Mira en Lita



**Figura 4.** Curva de duración de caudales.

De la tabla 2, tenemos que el caudal medio anual de la cuenca Mira en Lita es de 149,3 m³/s y de la curva de duración de caudales se obtienen los siguientes resultados:

Q50%= 143,03 m³/s; Q75%= 113,73 m³/s y Q95%= 77,24 m³/s.

Como la metodología utilizada se fundamenta en datos hidrométricos, los resultados son solo comparables con otras metodologías hidráulicas o hidrológicas que están listadas en la tabla 4.

**Tabla 4.** Comparación de resultados con otras metodologías Metodo utilizado en Ecuador propuesto por Tennant (1976) o de Montana ; Método Europeo y Chileno según Alcázar (2007), Método Ruso de acuerdo a la norma N° 314 (2007) del Ministerio de Recursos Naturales de la Federación Rusa, Metodo Mexicano utilizando la Norma Mexicana NMX-AA-159 SCFI-2012, Método Suizo y Método de El principado de Asturias, de acuerdo a García y Paz (1997) .

Q (m <sup>3</sup> /s)	Asturias	Chile	Ecuador	España	México	Rusia	Suiza	Autores
Qe mín	19,33	29,86	14,93	29,86	7,46	69,52	61,32	27,94
Qe med				44,79	59,72	90,98		89,16
Qe máx				-	-	107,27		131,72

La tabla 5 presenta los datos morfológicos de las cuencas Ecuatorianas analizadas y los caudales medio, mínimo y máximo que se requieren para establecer la curva integral de masas. (INAMHI, 2014).

**Tabla 5.** Datos Cuencas Ecuatorianas (INAMHI, 2014). Ver texto para la explicación.

Nombre de la Cuenca	Area (Km <sup>2</sup> )	Lr (Km)	Im (%)	Hm (msnm)	Qmed	Qmín	Qmáx
					(m <sup>3</sup> /s)		
Zapotal en Lechugal	2187,39	107	4,10	40	12,24	139,32	936,91
Jubones DJ S. Francisco	3376,37	99,30	3,34	712	9,23	48,71	200,17
Esmeraldas DJ Sade	19667,81	209,02	9,10	51	423,30	888,63	1832,99
Pindo AJ Amarillo	5802,03	72,46	2,12	520	9,49	24,79	56,36
Carrizal en Calceta	551,4	52,76	6,67	47	0,54	11,78	53,12
Puyango en CPTO. Militar	2739,85	174,18	2,00	300	28,06	87,58	233,87
Coca en San Rafael	3746,45	98,58	3,29	1160	157,63	287,18	439,13
Daule en la Capilla	10481	87,20	2,45	13	21,30	273,36	1064,60
Tomebamba en Monay	1274	37,44	5,40	2353	3,61	19,49	43,49
Arenillas en Arenillas	505,85	55,84	6,82	20	0,56	7,00	30,29
Uchima AJ Chamba	48,89	10,1	6,96	1603	0,66	2,54	6,67
Cebadas AJ Guamote	706,06	59,31	2,24	2840	3,61	19,49	43,49
Toachi AJ Pilaton	1522,80	115,9	2,97	820	13,95	42,22	96,04

A continuación en la tabla 6 se presenta los valores de los caudales ecológicos de base, mantenimiento y máximo para cada una de las cuencas obtenidos con el Método de la Pendiente de la Curva de Masas comparadas con otras normativas ya indicadas. Algunas de la metodologías no se enumeran en la tabla 6 porque consideran un solo valor como caudal ecológico, lo que no permite una comparación completa con la metodología propuesta. Se incluye el valor de referencia utilizado en el Ecuador.

**Tabla 6.** Comparación de resultados según la metodología de algunos países seleccionados

Nombre de la Cuenca	Q (m <sup>3</sup> /s)	Ecuador	España	México	Rusia	Autores
Zapotal en Lechugal	Qe min	13,93	27,86	6,97	29,31	4,50
	Qe avg		41,8	55,73	36,03	31,68
	Qe máx		-	-	46,48	125,19
Jubones DJ S. Francisco	Qe min	4,87	9,74	2,44	9,52	4,06
	Qe avg		14,61	19,48	16,94	24,12
	Qe máx		-	-	27,16	80,41
Esmeraldas DJ Sade	Qe min	88,86	177,73	44,43	155,25	156,03
	Qe avg		266,59	355,45	265,24	368,87
	Qe máx		-	-	435,83	741,44
Pindo AJ Amarillo	Qe min	2,48	4,96	1,24	4,36	2,99
	Qe avg		7,44	9,92	5,84	7,37
	Qe máx		-	-	15,54	16,43
Carrizal en Calceta	Qe min	1,18	2,36	0,59	0,79	0,18
	Qe avg		3,53	4,71	1,07	3,77
	Qe máx		-	-	2,44	22,7
Puyango en CPTO. Militar	Qe min	8,76	17,52	4,38	13,61	10,42
	Qe avg		26,27	35,03	16,38	21,74
	Qe máx		-	-	35,39	40,9
Coca en San Rafael	Qe min	28,72	57,44	14,36	91,9	80,06
	Qe avg		86,15	114,87	159,61	212,66
	Qe máx		-	-	203,5	377,57
Daule en la Capilla	Qe min	27,34	54,67	13,67	9,93	5,5
	Qe avg		82,01	109,34	50,86	90,89
	Qe máx		-	-	96,93	515,58
Tomebamba en Monay	Qe min	1,95	3,9	0,97	3,34	0,26
	Qe avg		3,9	7,8	7,93	12,95
	Qe máx		-	-	12,17	28,1
Arenillas en Arenillas	Qe min	0,7	1,4	0,35	1,06	0,23
	Qe avg		2,1	2,8	1,95	3,55
	Qe máx		-	-	2,92	11,2
Uchima AJ Chamba	Qe min	0,25	0,51	0,13	1,16	0,17
	Qe avg		0,76	1,02	1,51	1,68
	Qe máx		-	-	1,89	4,32
Cebadas AJ Guamote	Qe min	2,06	4,12	1,03	7,15	2,91
	Qe avg		6,18	8,24	9,89	9,93
	Qe máx		-	-	13,57	25,26
Toachi AJ Pilaton	Qe min	4,22	8,44	2,11	11,96	10,68
	Qe avg		12,67	16,89	15,12	20,91
	Qe máx		-	-	23,24	33,26

## DISCUSIÓN

El cuarenta por ciento de las metodologías utilizadas en todas las regiones del mundo en las últimas décadas corresponden a las hidrológicas e hidráulicas, entre todas las existentes se destaca el Método de Tenant 1976 aplicada principalmente en los países desarrollados del hemisferio norte y en la mayoría de países de Latinoamérica (Tenant, 1976, Tharme, 2003). Las metodologías de simulación de hábitat son las segundas más usadas con un 28% del total entre las cuales se tiene el método de Idaho (White, 1976, citado en Stalnaker y Arnette, 1976) utilizado en Estados Unidos, el simulador del sistema fluvial noruego (RSS), que comprende modelos hidrológicos, hidráulicos y de simulación del hábitat para aplicaciones en ríos regulados por sistemas hidroeléctricos (Alfredsen, 1998) y el método francés de evaluación del hábitat (Ginot, 1995, citado en Dunbar et al., 1998) utilizados en algunos países europeos, las metodologías holísticas basada en vínculos explícitos entre los cambios en el régimen de flujo y las consecuencias para el ambiente biofísico representan el 10% del total en esta se destaca el método de bloques de construcción (King y Tharme, 1994, Tharme y King, 1999, King y Louw, 1998) utilizados en Sudáfrica, Australia y Swazilandia.

Con los datos de los caudales ecológicos obtenidos, para la facilidad del manejo de los resultados, se elaboró un mapa que muestra los caudales mínimos permisibles en las estaciones analizadas (Fig. 5). El caudal calculado con la serie de caudales mínimos mensuales  $Q_e \text{ mín}$ , se debe considerar como el mínimo aceptable para el ecosistema del cauce. El calculado con la serie de datos de caudales medios  $Q_e \text{ med}$  corresponde a las condiciones óptimas para el ecosistema. El caudal  $Q_e \text{ máx}$  a las condiciones excelentes y óptimas de regeneración de las zonas altas del cauce.



**Figura 5.** Mapa de caudales ecológicos en las Estaciones Hidrometeorológicas Ecuador

Los rangos de variación de resultados obtenidos aplicando la metodología MPCM y los desarrollados en otros países son los siguientes:

Para el caudal mínimo ecológico (caudal base) existe un rango de variación de 85% a 0,5% entre las diferentes metodologías

Para el caudal medio ecológico (caudal de mantenimiento) es del orden del 72% al 0,4%.

De esto se desprende que, entre las metodologías más conocidas para el cálculo de los caudales ecológicos pueden existir una marcada diferencia en los resultados y que su aplicación requiere un análisis muy profundo y no solo de limitarse a la aplicación de una fórmula.

Las metodologías desarrolladas por España, Rusia y la del MPCM dan mayores valores de caudal ecológico que las otras, lo que, de alguna manera puede garantizar la suficiente cantidad de agua para la preservación del ecosistema de la zona.

Los valores de caudales ecológicos determinados con esta metodología pueden ser trasladados proporcionalmente a otros puntos de la cuenca en relación a su área, siempre y cuando se consideren las condiciones particulares de cada subcuenca.

Para caudales ecológicos de otras cuencas en las que no se disponga de la información hidrométrica se recomienda utilizar una cuenca del mismo régimen, pacífico o atlántico.

## CONCLUSIONES

El régimen de caudales es un dato básico, indispensable, para los todos los diseños hidráulicos y para muchas obras civiles en los que es fundamental calcular la demanda crítica de agua (caudal ecológico) para preservar los ecosistemas del cauce.

La metodología propuesta en base a datos hidrométricos puede ser utilizada para determinar el valor de las descargas de caudales ecológicos en cualquier cuenca.

En ninguno de los casos el caudal ecológico debe ser menor a los caudales mínimos mensuales del cauce para los meses de estiaje.

Los resultados obtenidos por el MPCM son únicamente comparables con las metodologías hidráulicas e hidrológicas.

El método propuesto permite obtener el caudal ecológico de manera rápida, pero su grado de aplicación, está limitado a los datos hidrológicos disponibles. El uso de cualquier otro método más complejo depende de la finalidad e importancia del proyecto.

Estudios más específicos para determinadas especies de flora y fauna requieren de otras metodologías más completas como las de simulación del hábitat o las holísticas, que necesitan de mayor información que la hidráulica e hidrológica por la cantidad de variables que se deben tomar en cuenta.

**REFERENCIAS**

- Acreman, M. C. and Dunbar, M. J. (2004). Defining environmental river flow requirements? A review. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(5), 861-876.
- Alcazar, J. (2007). The basic flow method for determining maintenance flows. Application to the Ebro basin. Doctoral Thesis. University of Lleida, School of Agricultural Engineering, Lleida, Spain. 179pp
- Alfredsen K. (1998). Habitat modelling in Norway—an overview of projects and future developments. In *Hydroecological Modelling. Research, Practice, Legislation and Decision-making*, Blaz'kova' S', Stalnaker C, Novicky' O (eds). Report by US Geological Survey, Biological Research Division and Water Research Institute, Fort Collins, and Water Research Institute, Praha, Czech Republic. VUV: Praha; 33–35.
- Arnaud-Fassetta G., F. Bertrandb, S. Costac & R. Davidsonc. (2006). The western lagoon marshes of the Ria Formosa (Southern Portugal): Sediment-vegetation dynamics, long-term to short-term changes and perspective. *Continental Shelf Research*, 26: 363-384.
- Arthington, A. H., Bunn, S. E., Poff, N. L. and Naiman, R. J. (2006). The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, 16(4), 1311-1318.
- Arthington, A. H., Bunn, S. E., Poff, N. L. and Naiman, R. J. (2006). The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, 16(4), 1311-1318.
- Baron, J. S., Poff, N. L., Angermeier, P. L., Dahm, C. N., Gleick, P. H., Hairston, N. G., Jackson, R.B., Johnston, C.A., Richter, B.D. and Steinman, A. D. (2002). Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications*, 12(5), 1247-1260.
- Borja, Á., Galparsoro, I., Solaun, O., Muxika, I., Tello, E. M., Uriarte, A. and Valencia, V. (2006). The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1), 84-96.
- Bunn, S. E. and Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental management*, 30(4), 492-507.
- Cairns, J. and Pratt, J. R. (1993). A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*, 10, 27.
- Cui, B., Tang, N., Zhao, X. and Bai, J. (2009). A management-oriented valuation method to determine ecological water requirement for wetlands in the Yellow River Delta of China. *Journal for Nature Conservation*, 17(3), 129-141.
- Chamber of Deputies of the H. Congress of the Union., 2002. Regulation of the Law of National Waters. México: 69pp
- Davies, S. P. and Jackson, S. K. (2006). The biological condition gradient: a descriptive model for interpreting change in aquatic ecosystems. *Ecological Applications*, 16(4), 1251-1266.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.H., Soto, D., Stiassny, M.L.J. and Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, 81(2), 163-182.
- Dunbar MJ, Gustard A, Acreman MC, Elliott CRN. 1998. Review of Overseas Approaches to Setting River Flow Objectives. Environment Agency R&D Technical Report W6B(96)4. Institute of Hydrology: Wallingford, UK: 82pp

- Energy and Fuel Ministry of the Russian Federation, 2007. Guidelines for drawing up rules for the use of water reservoirs of hydro power plants. Minener, Moscow, Russia; 78pp
- French Government, 1984. About freshwater fisheries and the management of fishery resources., French Water Law N° 84-512., France: 2039 <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000692732&categorieLien=id>
- Garcia, E. and Paz, G., 1997. Estimation of the water needs for the conservation of river ecology of rivers regulated. Mexican Federation of Sanitary Engineering and Environmental Sciences, Mexico: 8pp
- Griffin, R. C., and C. Chang, Seasonality in community water demand, *West. J. Agric. Econ.*, 16, 207-217, 1991.
- Hill, M. T., Platts, W. S. and Beschta, R. L. (1991). Ecological and geomorphological concepts for instream and out-of-channel flow requirements. *Rivers*, 2(3), 198-210.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), 2005. Estudio Hidrológico del río Mira. INAMHI, Quito, Ecuador: 55pp.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), 2014. 1963-2010 Anuarios y Documentos. Quito, Ecuador: 149pp
- Jowett, I. G. (1997). Instream flow methods: a comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research & Management*, 13(2), 115-127.
- King, J.M. and Louw, M.D., (1998). Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1: 109–124.
- King, J.M., Tharme, R.E. and Brown, C.A., (1999). Definition and Implementation of Instream Flows. Thematic Report for the World Commission on Dams. Southern Waters Ecological Research and Consulting: Cape Town, South Africa: 87pp
- King, J.M. and Tharme, R.E., 1994. Assessment of the Instream Flow Incremental Methodology and Initial Development of Alternative Instream Flow Methodologies for South Africa. Water Research Commission Report No. 295/1/94. Water Research Commission: Pretoria, South Africa: 339pp
- McCarl, B. A., Dillon, C. R., Keplinger, K. O. and Williams, R. L. (1999). Limiting pumping from the Edwards Aquifer: an economic investigation of proposals, water markets, and spring flow guarantees. *Water Resources Research*, 35(4), 1257-1268.
- Mexican Standard NMX-AA-159-SCFI-2012, 2012. Establishes the procedure for determining the ecological flow in watersheds. Mexico, 2: 123pp
- Poff, N. L. and Zimmerman, J. K. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55(1), 194-205.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Spark, R.E. and Stromberg, J. C. (1997). The natural flow regime. *BioScience*, 47(11), 769-784.
- Poff, N. L., Richter, B. D., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B., Freeman, M.C., Henriksen, J., Jacobson, R., Kennen, J.G., Merritt, D.M., O’Keeffe, J.H., Olden, J.D., Rogers, K., Tharme, R.E. and Warner, A., (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55(1), 147-170.
- Richter, B. D., Mathews, R., Harrison, D. L. and Wigington, R. (2003). Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological applications*, 13(1), 206-224.

- Richter, B., Baumgartner, J., Wigington, R. and Braun, D. (1997). How much water does a river need?. *Freshwater biology*, 37(1), 231-249.
- Richter, B., Baumgartner, J., Wigington, R. and Braun, D. (1997). How much water does a river need?. *Freshwater biology*, 37(1), 231-249.
- Sandoval Erazo, W., Carrera Villacrés, D., Masabanda Caisaguano, M., and Arce Nasimba, E., (2016). Proposed Methodology for Determining the Ecological Flow with Hydrometric Data. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, Prague, Czech Republic. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 44, No. 2, p. 022030). IOP Publishing: 11.
- Sandoval, W. and Aguilera, E., 2014. Determination of flow in basins with little information. *UNAMI Science*; 2014, Milagro, Ecuador. 7, (2): 100-110.
- SENAGUA (Secretaría del Agua del Ecuador), 2009. Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador. SENAGUA, Quito, Ecuador: 50pp
- Smakhtin, V. U. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of hydrology*, 240(3), 147-186.
- Stalnaker C.B. and Arnette, S.C., 1976. Methodologies for the Determination of Stream Resource Flow Requirements: An Assessment. US Fish and Wildlife Services, Office of Biological Services Western Water Association: 199pp
- Tennant, D. (1976). Instream Flow Regimes for Fish. *Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources*. en: *Fisheries*, 1, (4): 6-10.
- Tharme, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River research and applications*, 19(5 - 6), 397-441.
- Vaux, H. J., and R. E. Howitt, Managing water scarcity: An evaluation of interregional transfers, *Water Resour. Res.*, 20, 785-792, 1984.
- Ward, F. A., and T. P. Lynch, Is dominant use management compatible with basin-wide economic efficiency?, *Water Resour. Res.*, 33, 1165- 1170, 1997.
- Ward, J. V. and Stanford, J. A. (1995). Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research & Management*, 11(1), 105-119.
- Wiens, J. A. (1992). Ecological flows across landscape boundaries: a conceptual overview. In *Landscape boundaries* (pp. 217-235). Springer New York.