



INFORME EJECUTIVO

Hábitats Viables para determinar Caudales Ecológicos y posibles respuestas a Escenarios de Cambio Climático, en tramos de ríos de las unidades hídricas Pita y Papallacta



INFORME EJECUTIVO

Hábitats Viables para determinar Caudales Ecológicos y posibles respuestas a Escenarios de Cambio Climático, en tramos de ríos de las unidades hídricas Pita y Papallacta





INFORME EJECUTIVO

Hábitats Viables para determinar Caudales Ecológicos y posibles respuestas a Escenarios de Cambio Climático, en tramos de ríos de las unidades hídricas Pita y Papallacta

Fondo para la Protección del Agua–FONAG, 2014

Autores

Daniela Rosero López

Jacqueline Cisneros - Programa Gestión del Agua - FONAG

Edición

Jacqueline Cisneros-FONAG

Fotos

Andrea Vera-FONAG

ISBN: 978-9942-9983-4-7









Línea editorial: graphus® 290 2760

Diseño de esta cartilla: graphus® 322 7507

Impresión: creative@graphusecuador.com

Impreso en Quito-Ecuador

Contenido

-  4 Presentación
-  5 Caudales Ecológicos
-  7 Área de Estudio
-  9 Modelo de Hábitats Viables y Métodos
-  11 Hábitats Viables y Caudales
-  15 Escenario Actual para Caudales Ecológicos
-  16 Escenarios de Cambio Climático para Caudales Ecológicos
-  19 Bibliografía



Presentación |

Los caudales ecológicos pueden considerarse como medida de manejo para la mitigación de los impactos de las captaciones de agua en los ecosistemas acuáticos. En varios países de América Latina la investigación se enfoca en aspectos de índole legal e institucional; sin embargo, en el Ecuador se suman esfuerzos para profundizar la definición de caudales ecológicos mediante la simulación de hábitats viables, a pesar de las limitaciones de información hidrológica histórica detallada, metodología considerada como una de las más completas ya que integra los ejes ecológico, hidráulico e hidrológico.

La inclusión de caudales ecológicos permite implementar una verdadera gestión integrada de los recursos hídricos, por lo que el Fondo para la Protección del Agua - FONAG lidera el desarrollo de investigaciones aplicadas para evaluar el impacto de las captaciones en el estado de conservación de los ecosistemas acuáticos de alta montaña, en especial de aquellos ríos que constituyen importantes fuentes proveedoras de agua para consumo humano y generación de hidroelectricidad del Distrito Metropolitano de Quito.

El FONAG a través de su Programa Gestión del Agua, desde el 2006, mediante cooperaciones técnicas nacionales e internacionales, impulsa la ejecución progresiva y sostenida de estudios de caudales ecológicos en tramos de ríos de las unidades hídricas de Pita, San Pedro y Papallacta. Las metodologías, modelos e información generada pueden ser consultadas en el Sistema de Información y Monitoreo de recursos hídricos de la cuenca alta del río Guayllabamba: www.infoagua-guayllabamba.ec



Hábitats Viables para determinar Caudales Ecológicos y posibles respuestas a Escenarios de Cambio Climático, en tramos de ríos de las unidades hídricas Pita y Papallacta



Caudales Ecológicos

La capacidad de los ecosistemas acuáticos para resistir y mantenerse frente a los cambios naturales es una característica que les permite enfrentar alteraciones antropogénicas. Los procesos clave de un ecosistema acuático pueden mantenerlo resiliente a la operación, tanto antes como después, de las estructuras de captación para distintos usos. El enfoque de mitigación depende del tipo de actividades que se ejecuten sobre los ríos y la medida en que éstas afecten al funcionamiento de los mismos (Petts y Bickerton, 1994; Poff *et al.* 1997).

Entre las principales medidas de mitigación para las estructuras de captación se considera el flujo de agua que restaure la conexión del ecosistema, conocido como régimen de caudales ecológicos o caudal ecológico. El trabajo a nivel mundial en este campo prueba que los caudales ecológicos actúan como una herramienta para la recuperación y restauración del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y la reducción de los conflictos entre el abastecimiento y la conservación del recurso (Poff *et al.* 2003). La creación de herramientas de mitigación que incluyan un nuevo acercamiento entre la ecología, la hidrología y la ingeniería de la operación de las estructuras de captación ayudarían a reducir el impacto de las intervenciones sobre los ecosistemas acuáticos lo que significaría disminuir su pérdida y con ello el agua que proveen.

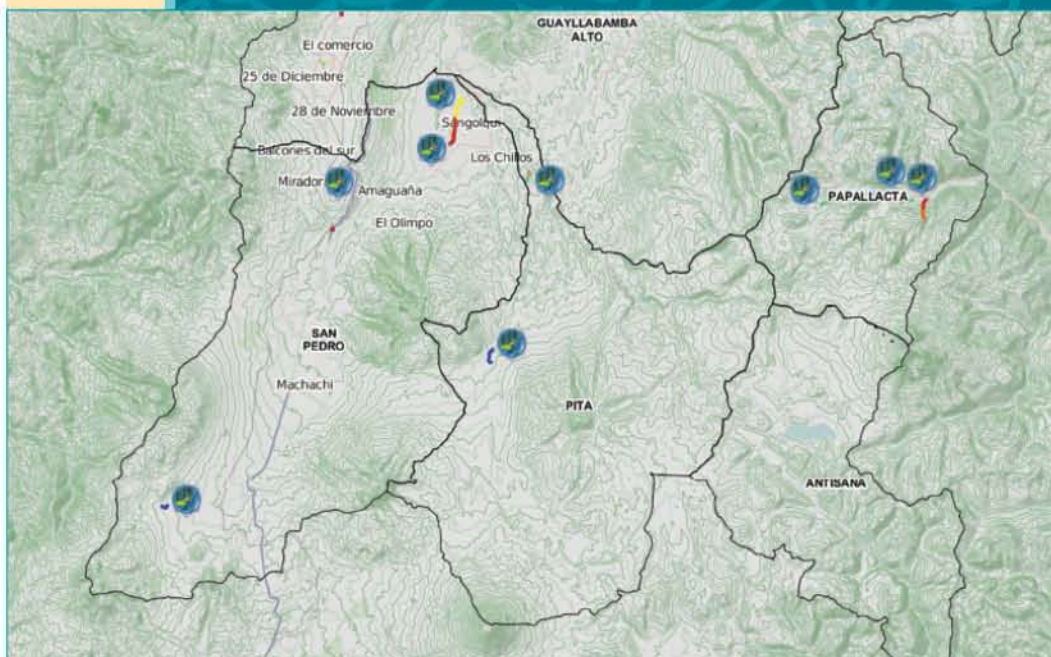
La investigación sobre el régimen de caudales ecológicos evoluciona con mayor fuerza en países templados del norte y del sur que en el trópico. Estados Unidos, España, Nueva Zelanda y Australia se consideran países pioneros en la investigación e implementación de resultados (Dyson *et al.* 2003; Tharme, 2003). Sin embargo, Sudáfrica fue uno de los




primeros países en incorporar este tema en su legislación y aplicarla a nivel nacional. En América Latina los esfuerzos para definir y proponer caudales ecológicos son aislados y se limitan al nivel normativo, como en el caso de Brasil (Benetti *et al.* 2004). La mayoría de intentos realizados para establecer metodologías de fácil uso, que arrojen resultados prácticos, tiene éxito desde el punto de vista hidrológico pero fracasan en los aspectos ecológico y social.

En el Ecuador existen algunos avances por conservar los ecosistemas acuáticos luego de las intervenciones por captaciones para diferentes usos. Así, en la cuenca alta del río Guayllabamba, a partir del año 2005 el FONAG impulsó la preparación de una metodología basada en la presencia de invertebrados acuáticos en determinados rangos de velocidad del flujo (Rosero, 2005), con el objeto de mantener caudales ecológicos en los tramos de ríos captados para la generación de hidroelectricidad, localizados en San Rafael y Molinuco, en la unidad hídrica San Pedro. Mientras que en el 2011, bajo el marco del convenio MAE/PRAA-FONAG, en los ríos del Sistema Papallacta se propuso una metodología para definir hábitats viables para invertebrados acuáticos y sugerir un régimen en el río que responda a las condiciones ecológicas e hidrológicas antes de ser intervenido (Rosero *et al.*, 2011).

FIGURA 1: Unidades hídras estudiadas con enfoque de caudales ecológicos



Fuente: Programa Gestión del Agua-FONAG



La principal limitación para proponer el diseño de modelos y estimar regímenes de caudales ecológicos como medida de mitigación ambiental y conservación de los ecosistemas acuáticos, en países como el Ecuador, es la ausencia de información hidrológica histórica, diaria y continua. Su segmentación conlleva a realizar únicamente acercamientos temporales o estacionales (Poff et al., 2005). Para enriquecer la propuesta, se requiere además de información ecológica asociada, que por lo general también es escasa o ausente, y demanda significativa atención.

Pese a las limitaciones mencionadas, éstas no fueron obstáculo para caracterizar los ecosistemas acuáticos, en la provisión de agua para la población. A través de la ecohidráulica y la evaluación de los hábitats viables en relación a los caudales estacionales disponibles, se da paso a la simulación del impacto ambiental provocado por una captación para escenarios actuales y futuros asociados a la variabilidad climática y cambio climático, ofreciendo además probables medidas de mitigación y conservación de los ecosistemas, que contribuyan a incrementar la resiliencia de los hábitats de los ríos bajo diferentes condiciones.



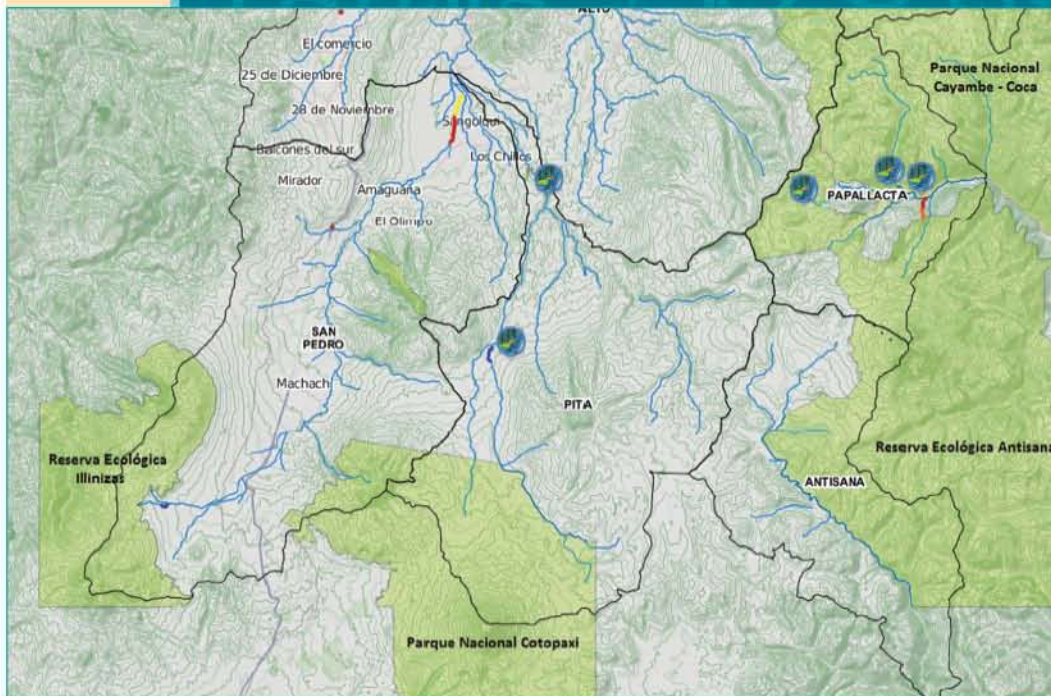
Área de Estudio

El área de estudio corresponde a la unidad hídrica del río Pita, localizada en la cuenca alta del río Guayllabamba, y la unidad hídrica del río Papallacta. En estas unidades se seleccionó tramos de los ríos Pita y Papallacta, con características ecológicas similares. Los sitios de interés para la investigación forman parte de los sistemas de agua potable que abastecen al Distrito Metropolitano de Quito.

Las captaciones de agua potable se ubican en los ríos Pita y Papallacta, en una altitud promedio de ≈ 3200 msnm, en donde la vegetación dominante son arbustos y pasto. Las captaciones son alimentadas por zonas de recarga hídrica localizadas en áreas protegidas, que por su declaratoria, aún presentan un estado de conservación importante que favorece el estado de conservación de los ecosistemas acuáticos en cada unidad hídrica. La captación en el río Pita se ubica en el sector del Pedregal, en la zona de influencia del Parque Nacional Cotopaxi y abastece al Sistema Pita – Tambo, mientras que la captación en el río Papallacta se ubica en el Parque Nacional Cayambe – Coca y abastece al Sistema Papallacta.



FIGURA 2: Tramos de ríos de las unidades hídricas Pita y Papallacta analizados con enfoque de caudales ecológicos



Fuente: Programa Gestión del Agua-FONAG

Las condiciones climáticas de las unidades hídricas son muy particulares, la unidad hídrica de Pita se encuentra en la vertiente del Pacífico y la de Papallacta en la vertiente del Atlántico, en el flanco occidental y oriental de la Cordillera de los Andes respectivamente. La altitud, la vegetación natural local y la capa orgánica de esta cadena montañosa favorecen la retención de agua proveniente de la precipitación y la humedad características del ecosistema de páramo (Buytaert *et al*, 2006). Estas condiciones benefician la recarga natural en todos los niveles, a pesar de estar en zonas de cabecera estos ríos son alimentados por el escurrimiento superficial y subterráneo, lo que los mantiene caudalosos durante la época de invierno y con un caudal permanente durante todo el año.

Además, por lo general, el área de influencia directa a cada una de las captaciones de agua está sometida únicamente a caminos de paso de ganado proveniente de las poblaciones cercanas.



Modelo de Hábitats Viables y Métodos

Los modelos de hábitats viables son el resultado de integrar las preferencias hidráulicas de las especies para obtener una distribución que responde a la interacción de todas las variables de forma simultánea (Jowett, 2003, Jowett, 1997, Jowett *et al.*, 1991). Estos modelos son aproximaciones matemáticas que al ser una representación de lo que ocurre en el río permiten seleccionar las variables que mejor describen el fenómeno de preferencia de las especies, relacionando ecología e hidrología con las variables hidráulicas del tramo del río en estudio.

En la definición de hábitats viables para invertebrados del bentos, representativos de cada río, se aplicó el protocolo ecohidráulico diseñado para ríos de páramo, propuesto en Rosero *et al.* 2011; la colección de muestras de los bentos, la medición de parámetros hidráulicos (velocidad, profundidad y tipo de sustrato), el levantamiento topográfico de las secciones del cauce que hacen al tramo del río un tramo representativo, permitió validar el modelo en el periodo estacional húmedo para el río Papallacta y con información multianual para el río Pita.

Durante el muestreo realizado en julio de 2011, las condiciones básicas de la integridad del ecosistema fueron evaluadas con registro de parámetros químicos y físicos del agua. En la Tabla 1 se resume los resultados del análisis en laboratorio de los parámetros: nitritos, nitratos, fosfatos, sulfatos, cloruros, hierro y sílice, y las condiciones In Situ como: pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto. El análisis de bentos se realizó mediante la separación de los invertebrados en los grupos representativos identificados en Rosero *et al.* (2011), Tabla 2; y la identificación taxonómica hasta el nivel de género (Domínguez y Fernández, 2009).

Las condiciones ecológicas de los ríos Pita y Papallacta demuestran en el aspecto químico, la presencia de altas concentraciones de oxígeno disuelto y bajas temperaturas; la conductividad varía entre ríos, siendo superior en el río Pita, Tabla 1. Las características físicas de la morfología de los cauces demuestran condiciones similares que difieren únicamente en la composición del sustrato, mientras que en el río Pita existe roca madre de la formación volcánica de lahares, en el río Papallacta existen bloques de origen aluvial.



TABLA 1

Variables químicas para los ríos Pita y Papallacta que demuestran condiciones ecológicas para ecosistemas acuáticos de cabeceras de cuencas

Variables químicas	Pita	Papallacta
pH	7.62	7.21
Conductividad (uS/cm)	65.6	25.7
Temperatura (°C)	9.1	8.9
Oxígeno disuelto (mg.l ⁻¹)	7.2	6.7
Saturación de Oxígeno (%)	65	63
Nitratos (mg.l ⁻¹)	35	35
Nitritos (mg.l ⁻¹)	0.02	0.01
Cloruros (mg.l ⁻¹)	2.16	3.42
Amoniaco (mg.l ⁻¹)	0.1	0.14
Fosfatos (mg.l ⁻¹)	0.2	0.3
Sulfatos (mg.l ⁻¹)	8.9	6.8

TABLA 2

Invertebrados representativos y comunes entre ríos de diferentes microcuencas, expresados por el porcentaje de presencia, la densidad y el correspondiente error estándar

Taxa	Pita			Papallacta		
	%	Ind·m ⁻²	±SE	%	Ind·m ⁻²	±SE
<i>Andesiops ardua</i>	93	567	70	65	132	12
<i>Austrelmis sp.</i>	83	313	33	47	99	8
<i>Hydroptilidae sp.1</i>	33	83	5	13	66	3
<i>Limonicola sp.</i>	79	300	32	86	461	61
<i>Simuliidae sp.1</i>	45	150	15	37	88	7

Toda la información de abundancia se transformó a densidad y se relacionaron con las variables hidráulicas de forma individual e integrada, mediante la herramienta TRENDS (Jowett, 1997). A éstos fueron incorporados los datos de topografía y la hidráulica del cauce, en el programa RHYHABSIM (Jowett y Davey, 2007), finalmente se ingresó los caudales disponibles para cada río y se corrieron las simulaciones para los caudales esperados.

En el caso de escenarios futuros se utilizó la tendencia de precipitación de acuerdo a los resultados del análisis de variabilidad climática y cambio climático del área de estudio, y se consideró como eje del análisis a los caudales, debido al menor grado de incertidumbre que tiene dentro del rango de información (Muñoz, 2011).



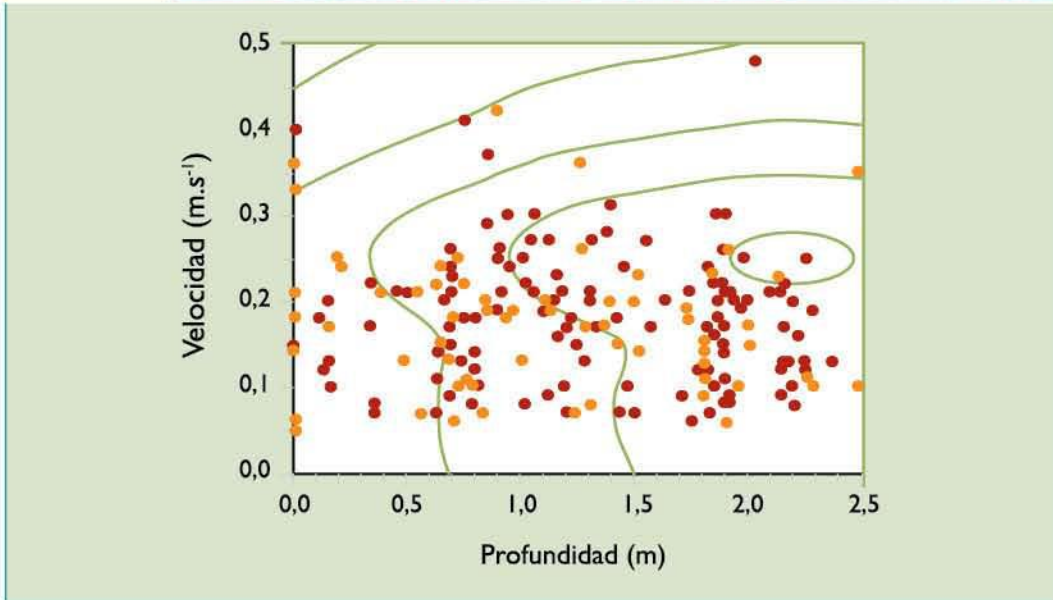
Hábitats Viables y Caudales

En el 2011, con los caudales observados se modelaron los hábitats viables, para invertebrados representativos y comunes de los ríos Pita y Papallacta, y se encontró que el rango de velocidad de los caudales ecológicos para el incremento de la densidad de invertebrados en sus hábitats fluctúa entre 0.4 – 0.6 m.s-1. A partir de estos resultados se utilizaron las velocidades de los caudales observados y las series de estos datos históricos - mensuales para evaluar las respuestas de los hábitats viables si ocurriera un incremento y/o decremento de un 10% del caudal a lo largo de la serie histórica disponible. Los escenarios demostraron que al disminuir los caudales los hábitats viables se verían reducidos y con ello la densidad de los invertebrados representativos, por otro lado con el aumento del caudal las superficies de hábitats aumentarían y favorecerían la presencia de mayores densidades. El que existan suficientes hábitats viables significa mejores condiciones para el funcionamiento del bento en los ecosistemas acuáticos al mantenerse poblaciones dinámicas dentro de la comunidad.

Los resultados para los invertebrados seleccionados demuestran que las cinco taxa comunes entre ríos tienen una distribución de la densidad, muy similar entre sí cuando se analiza el tipo de sustrato: bloque. En la Figura 3, se observa los hábitats viables que comparten la mayoría de invertebrados en estos ríos. Los hábitats viables integrados al caudal presentan una respuesta positiva con el incremento del rango de caudales registrados, Figura 4. En la Figura 5, de la modelación propuesta se observa que la distribución de hábitats en el tramo "Pedregal" antes de la captación en el río Pita se incrementa a medida que aumenta el caudal.

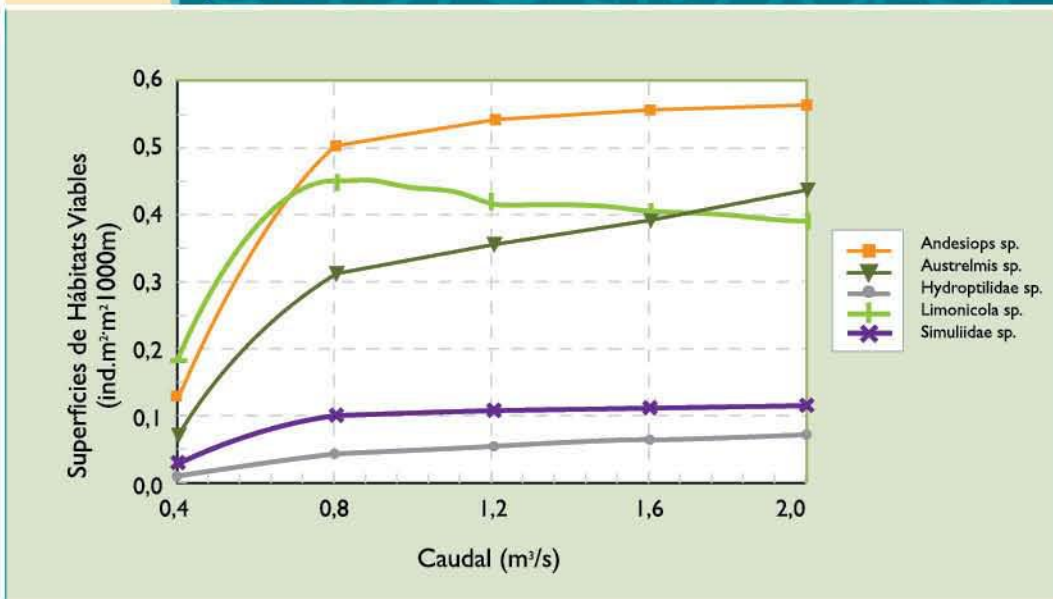


FIGURA 3: Modelo de hábitats viables para invertebrados de los ríos Pita y Papallacta para sustratos tipo "Bloque"



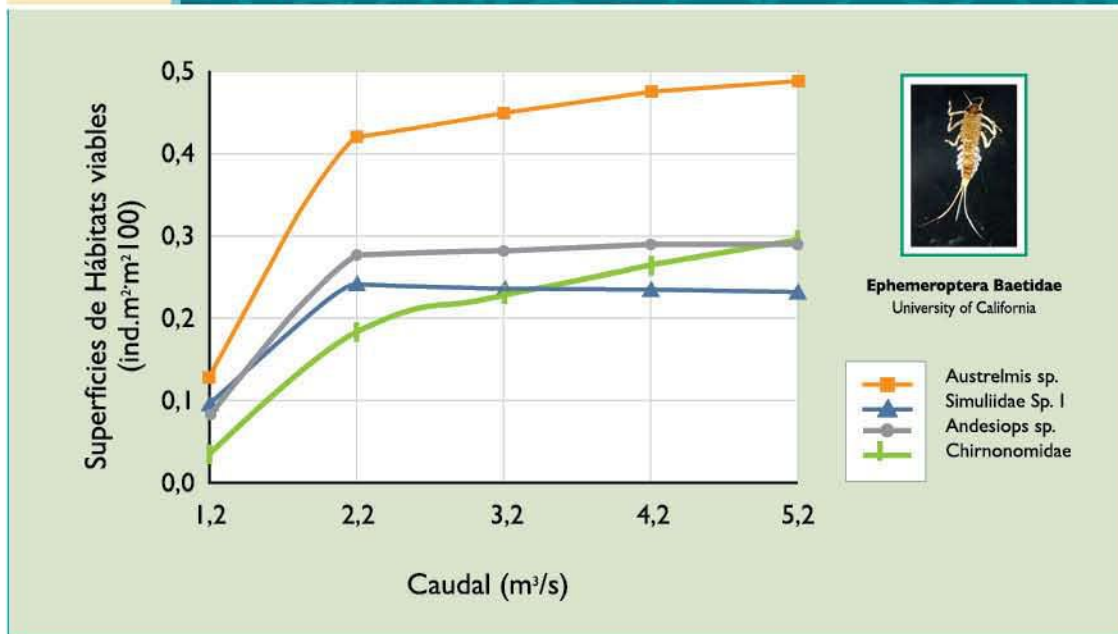
Fuente: Daniela Rosero López - FONAG

FIGURA 4: Densidad de invertebrados según el modelo de superficies de hábitats viables para los caudales registrados en los ríos Pita y Papallacta



Fuente: Daniela Rosero López - FONAG

FIGURA 5: Distribución de los hábitats en el tramo "Pedregal" antes de la captación en el río Pita



Fuente: Daniela Rosero López - FONAG

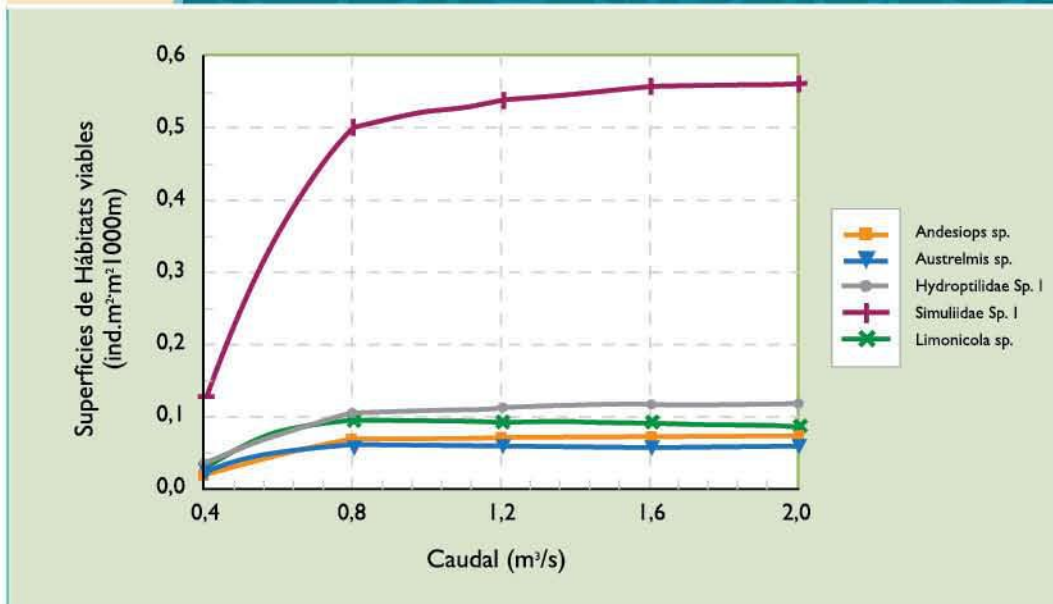
En el análisis de la variabilidad climática actual y escenarios de cambio climático para el Ecuador (Muñoz, 2011), se sugiere considerar el incremento o decremento de un 10% del caudal disponible en la serie de datos histórica, como un referente de escenarios estimables, que pueden aplicarse para los modelos con información hidrológica interanual e interdecadal. Las corridas de los modelos arrojaron resultados esperados aunque no probados, para el incremento y decremento de caudales; las superficies de hábitats viables se reducen con la disminución del caudal, lo que demuestra la disminución de las densidades previstas en los modelos, Figura 6. La densidad de los invertebrados en sus hábitats viables aumenta en el escenario de incremento del 10% del caudal, Figura 7.

Los modelos de caudales ecológicos requieren información hidrológica a nivel diario; todos los ríos de interés en las unidades hídricas de estudio están limitados en este aspecto a los promedios mensuales, por lo que los resultados de los modelos deben interpretarse como rangos de caudal ecológico, definidos por los caudales observados.



FIGURA 6:

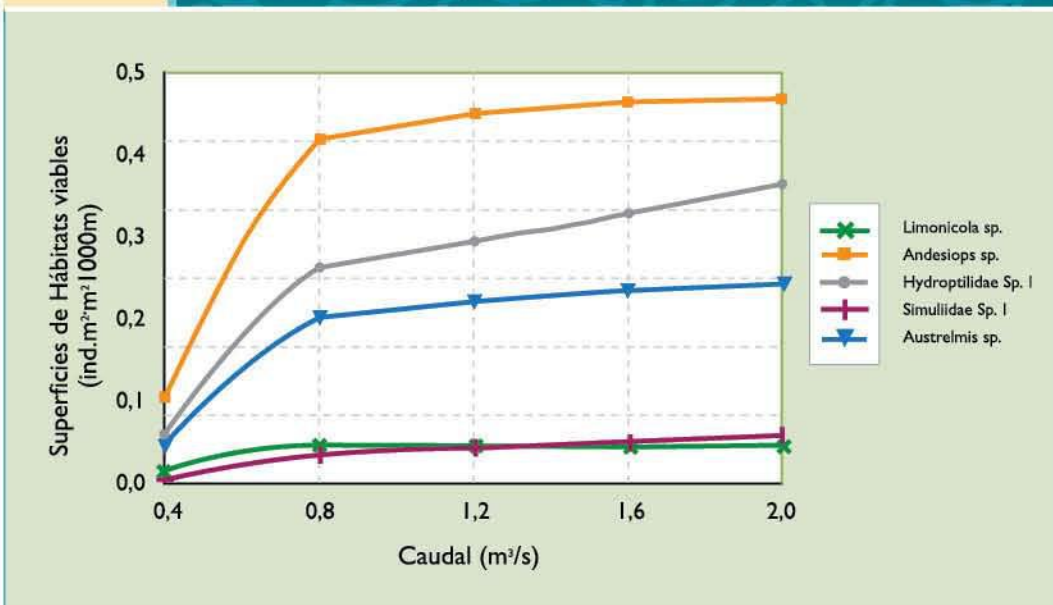
Densidad de invertebrados según el modelo de superficies de hábitats viables para el escenario de decremento de los caudales en los ríos Pita y Papallacta



Fuente: Daniela Rosero López - FONAG

FIGURA 7:

Densidad de invertebrados según el modelo de superficies de hábitats viables para el escenario de incremento de los caudales en los ríos Pita y Papallacta



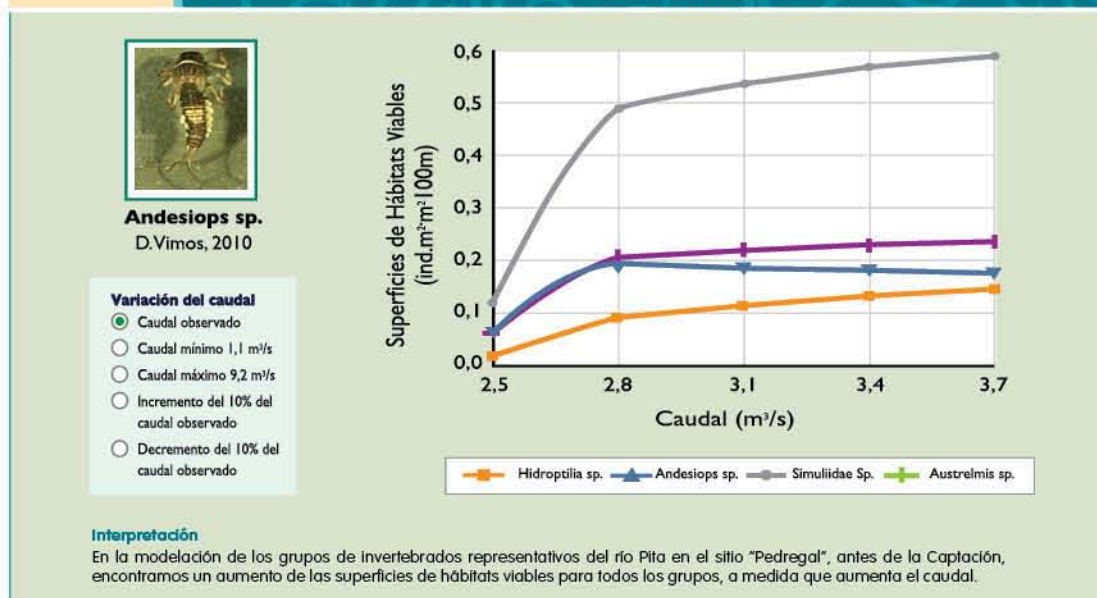
Fuente: Daniela Rosero López - FONAG



Escenario Actual para Caudales Ecológicos

Los resultados del modelo de hábitats viables demuestran que de acuerdo al rango de caudales registrados en estos ríos, la densidad de la mayoría de invertebrados aumenta, ya que aumenta la superficie en donde ellos viven. De los grupos analizados se observa que *Limonicola* sp., *Andesiops* sp. y *Austrelmis* sp. son muy buenos indicadores de los efectos del caudal en el hábitat de organismos que toleran y prefieren velocidades superiores a $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, además de que son indicadores de la buena calidad del agua, lo que refuerza su consideración como elementos idóneos del análisis de caudales ecológicos. En el escenario actual, Figura 8 y Figura 9, el caudal ecológico en los ríos Pita y Papallacta puede considerarse como el rango con el que las curvas de hábitats viables inician su incremento, esto significa que el caudal base o de inicio y el caudal con el que llegan al punto más elevado de la ocupación de las superficies de hábitats, corresponde al caudal ecológico observado. Los caudales simulados permiten visualizar la dirección de las curvas de hábitats viables que aumenten, se mantengan o disminuyan de acuerdo a las preferencias hidráulicas de los invertebrados en el río. La posibilidad de ofrecer un régimen de caudales ecológicos acertado depende del rango de información hidrológica con la que se pueda extrapolar las condiciones hidráulicas registradas y modelar la respuesta de los invertebrados para cada caudal posible en el río.

FIGURA 8: Simulación de hábitats viables para el escenario actual del caudal en río Pita antes de la captación "Pedregal"

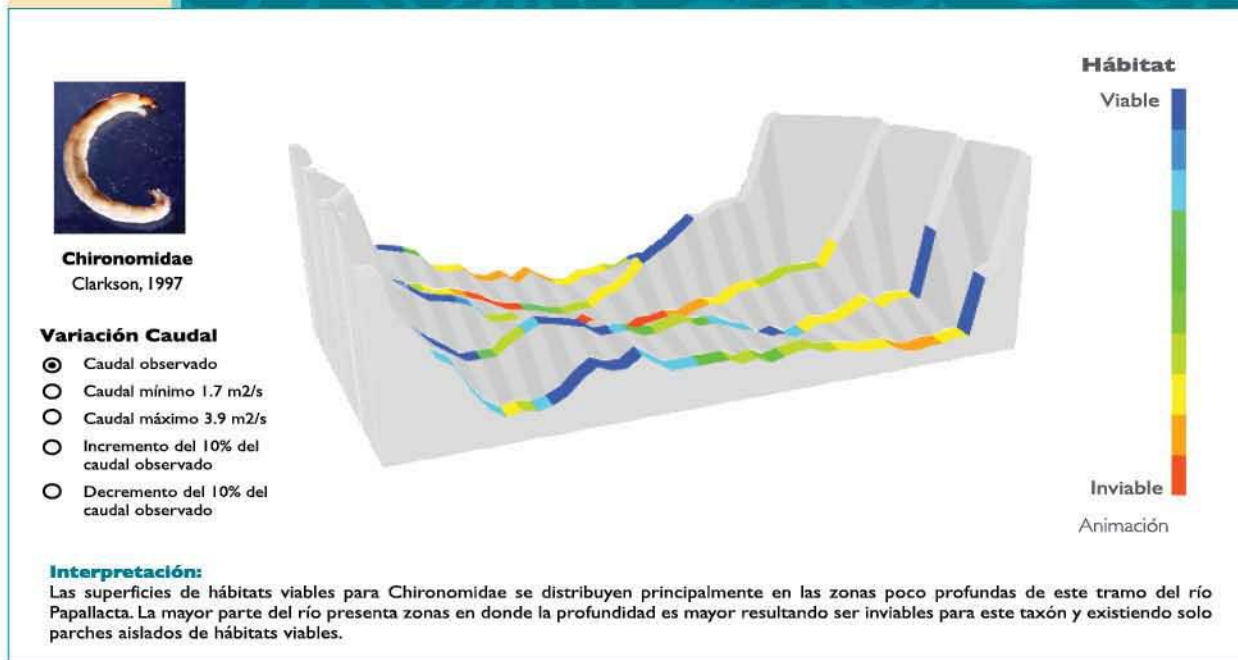


Fuente: Daniela Rosero López - FONAG



FIGURA 9:

Simulación de hábitats viables para el escenario actual del caudal en río Papallacta antes de la captación "Papallacta"



Fuente: Daniela Rosero López - FONAG



Escenarios de Cambio Climático para Caudales Ecológicos

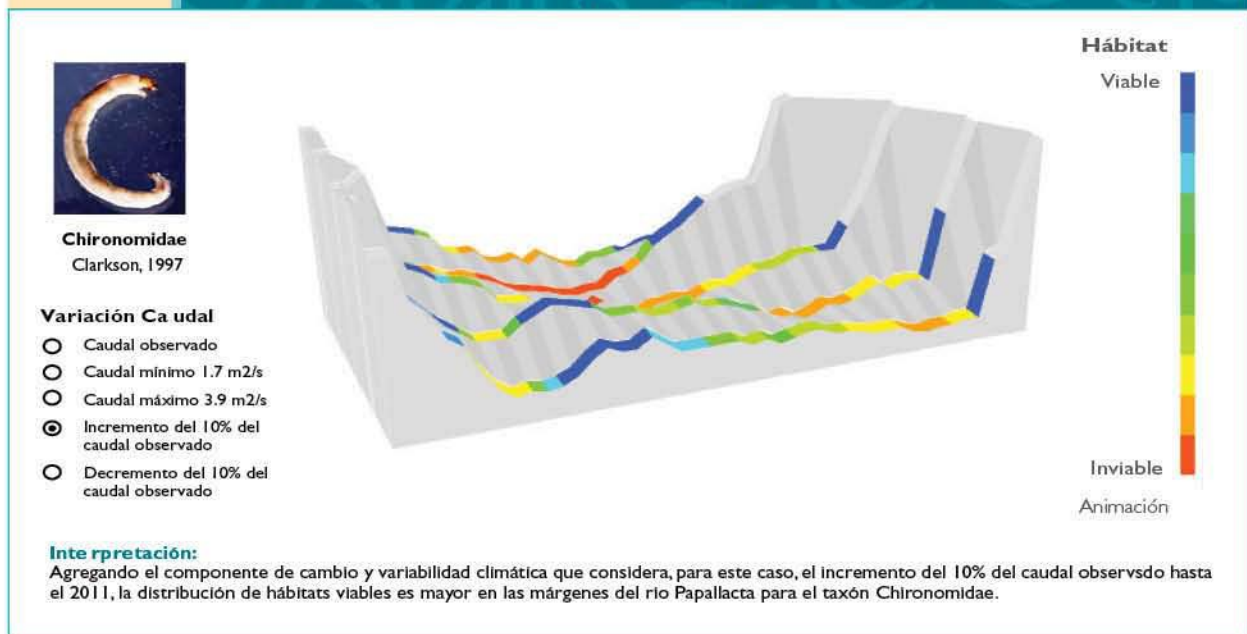
Los caudales ecológicos ayudan a mantener la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos, e incorporan al balance hídrico, la posibilidad de incrementar la evapotranspiración, infiltración y escurrimiento local y mantener la precipitación circulante. Los cambios en la precipitación tienen efectos en los caudales de los ríos que pueden favorecer o no, actividades antropogénicas como la captación de agua disponible. En caso de que se implementen caudales ecológicos, la respuesta a los cambios de la precipitación podría semejarse a un sistema de amortiguamiento de las crecidas o sequías que tengan lugar de forma natural. Los caudales ecológicos

se pueden implementar como medidas de mitigación del impacto de las captaciones de agua potable o hidroelectricidad (Rosero et al., 2011; 2005) o como una medida de adaptación al cambio climático, que por las razones explicadas anteriormente, ayudan a guardar el equilibrio en el balance hídrico. Los escenarios de cambio climático y la variabilidad climática sugieren considerar a los caudales como un elemento de análisis válido para el diseño de medidas o políticas de manejo (Muñoz, 2011).

En el caso de los caudales ecológicos, los escenarios de cambio climático fueron analizados tomando en cuenta el supuesto de su implementación. El incremento o decremento en un 10% de los caudales observados en las unidades hídricas de estudio, demuestran que los hábitats viables son afectados negativamente con la disminución del caudal y positivamente con el incremento del caudal.

FIGURA 10:

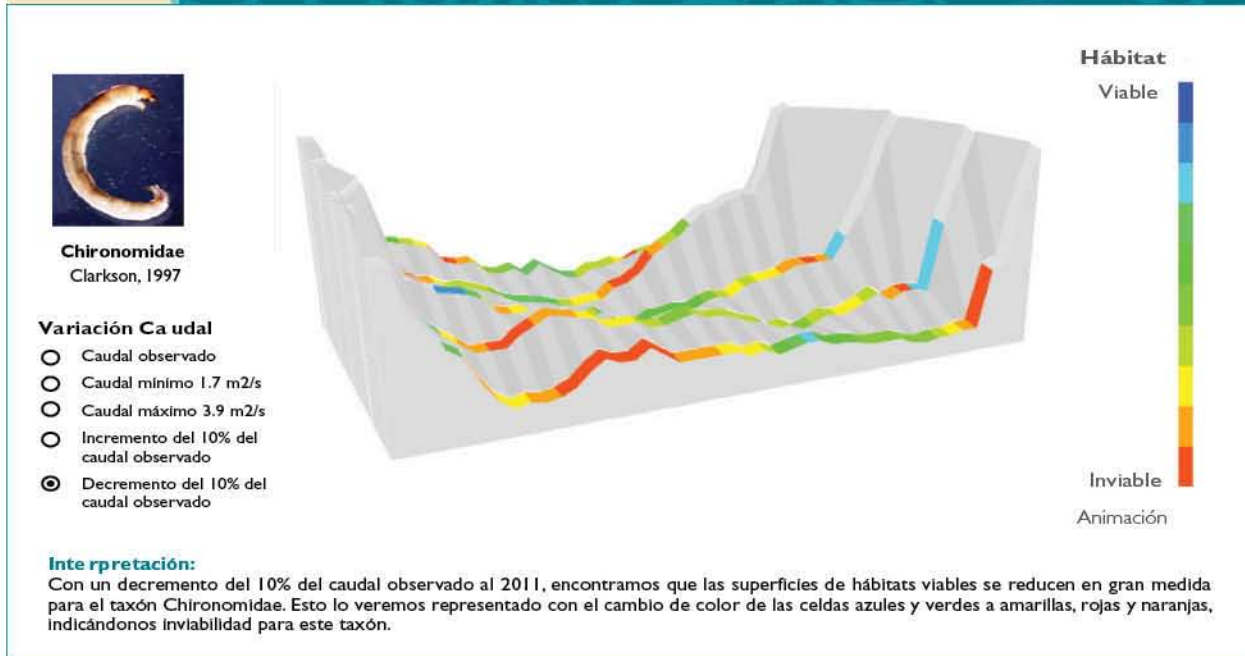
Simulación de hábitats viables para el escenario + 10% del caudal en río Papallacta antes de la captación "Papallacta"



Fuente: Daniela Rosero López - FONAG

FIGURA 11:

Simulación de hábitats viables para el escenario - 10% del caudal en río Papallacta antes de la captación "Papallacta"



Fuente: Daniela Rosero López - FONAG

Los hábitats viables para invertebrados como una expresión del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos estarían en estrés con la disminución del caudal (Poff y Ward, 1991), sin embargo en caso de implementarse en los ríos Pita y Papallacta, se puede observar que el rango de caudales podría mantenerse y hacer viables nuevos hábitats a medida que se incorporan en el manejo, la operación adecuada para suministrar variabilidad hidrológica similar a las condiciones naturales de los ríos.

La investigación de caudales ecológicos debe ser entendida como un proceso dinámico de retroalimentación, como lo propone la metodología de Flujo Incremental (IFIM) (Bovee et al., 1989) y las metodologías holísticas como ELOHA (Poff et al., 2010), que ajustan los resultados a través del monitoreo y el levantamiento de información ecohidráulica y ecohidrológica en los ríos en donde se ha propuesto el rango de caudales ecológicos y se valida en nuevos ríos con características similares (Downes et al., 2002). En el caso de las áreas de interés para el análisis de los posibles impactos del cambio climático, la consideración del caudal ecológico en sistemas de dotación de agua es primordial para salvaguardar la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos y con ello el recurso del que depende el ser humano.



Bibliografía

- Benetti, A.D., A. E. Lanna y M. S. Cobalchini. 2006. Current practices for establishing Environmental flows in Brazil. *River Research and Applications*. 20: 427 – 444.
- Bovee KD. 1989. Development and Evaluation of Habitat Suitability Criteria for Use in the Instream Flow Incremental Methodology. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 86(7): 1–235.
- Buytaert W, Celleri R, De Bièvre B, Cisneros F, Wyseure G, Deckers J, Hofstede R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean Páramo. *Earth – Science Reviews* 79: 53 – 72. DOI: 10.1016/j.earscirev.2006.06.002
- Domínguez E., Fernández H.R. (eds) 2009. *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos—Sistemática y Biología* (in Spanish) Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 656 pp.
- Downes B, Barmuta LA, Fairweather PG, Faith DP, Keough MJ, Lake PS, Mapstone BD, Quinn GP. 2002. *Monitoring Ecological Impacts: concepts and practice in flowing waters*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scalon, J. 2003. Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Tr. José María Blanch. San José, CR.: UICN-Orma, 125 pp.
- Jowett I. G., y A. J. Davey. 2007. A comparison of Composite Habitat Suitability Indices and generalized Additive Models of Invertebrate Abundance and Fish presence – Habitat Availability. *Transactions of the American Fisheries Society*. 136: 428 – 444.
- Jowett I.G. 1997. Instream flow methods: a comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research and Management* 13: 115–127.
- Jowett, I.G. 2003. Hydraulic constraints on habitat suitability for benthic invertebrates in gravel-bed river. *River Research and Applications* 19: 495–507.
- Jowett, I.G., Richardson J., Biggs, B.J.F., Hickey, C.W., Quinn, J.M. 1991. Microhabitat preferences of benthic invertebrates and the development of generalised Deleatidium spp. habitat suitability curves, applied to four New Zealand rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 25: 187–199.



- Muñoz, Á.G., 2011: Análisis de la Variabilidad Climática Actual y Escenarios de Cambio Climático. Proyecto SGA-MAE-FONAG. Quito. Ecuador. 27 p.
- Petts G.E., M.A. Bickerton. 1994. Influence of water abstraction on the macroinvertebrate community gradient within a glacial stream system: La Borgne d'Arolla, Valais, Switzerland. *Freshwater Biology* 32: 375–386.
- Poff, N.L., J. D. Allan, M. A. Palmer, D.D. Hart, B.D. Richter, A. H. Arthington, K.H. Rogers, J.L. Meyer, J. A. Stanford. 2003. River flows and water wars: emerging science for environmental decision making. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 298–306.
- Poff, N.L. y J. V. Ward. 1991. Drift responses of benthic invertebrates to experimental streamflow variation in a hydrologically stable stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 1926–1936.
- Poff, L.N., Allan, D.J., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., Stromberg, J.C. 1997. The Natural Flow Regime. *BioScience* 47, 769 – 784.
- Poff, L.N., Rosero D. 2005. Propuesta metodológica para el flujo de caudales ecológicos en las Centrales Hidroeléctricas de Guangopolo y Molinuco, cuenca alta del Guayllabamba. Fondo para la Protección del Agua, FONAG. 65 pp.
- Poff, N. L., Richter, B. D., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B. Pp., Freeman, M. C., Henriksen, J., Jacobson, R. B., 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: 147–170.
- Rosero, D. 2005. Informe del estado de degradación de la cuenca y la disminución de caudales. Fondo para la Protección del Agua FONAG.
- Rosero, D. Encalada A.C. Lloret, P. 2011. Impacto de las captaciones de agua y de la regulación del flujo en la comunidad y la estructura de la población de invertebrados en ríos del páramo. Tesis de Maestría.
- 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: 397–441.

El FONAG, junto con organizaciones nacionales e internacionales, desde el 2005 impulsa la investigación aplicada sobre caudales ecológicos, que conlleve a un manejo integrado y responsable del agua en la cuenca. La evaluación de los impactos de captaciones de agua, para consumo humano e hidroelectricidad, en tramos de ríos de las unidades hídricas de San Pedro, Pita y Papallacta permite plantear medidas de mitigación que aseguren la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos que proveen de agua al Distrito Metropolitano de Quito.

www.fonag.org.ec
www.infoagua-guayllabamba.ec

