



## INFORME EJECUTIVO

Disponibilidad de agua en la cuenca alta del río Guayllabamba y unidades hídricas orientales aportantes de agua para Quito: Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana



## INFORME EJECUTIVO

Disponibilidad de agua en la cuenca alta del río Guayllabamba y unidades hídricas orientales aportantes de agua para Quito: Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana





## **INFORME EJECUTIVO**

### **Disponibilidad de agua en la cuenca alta del río Guayllabamba y unidades hídricas orientales aportantes de agua para Quito: Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana**

## **Fondo para la Protección del Agua – FONAG, 2014**

### **Autores**

Ángel G. Muñoz S. y William Torres - Centro de Modelado Científico - CMC, Universidad del Zulia – Venezuela  
Jacqueline Cisneros - Programa Gestión del Agua - FONAG

### **Edición**

Jacqueline Cisneros y Andrea Vera - Programa Gestión del Agua - FONAG

### **Fotos e Imágenes**

Programa Gestión del Agua - FONAG

**ISBN:** 978-9942-9983-5-4

**Línea editorial:** graphus® 290 2760

**Diseño de esta cartilla:** graphus® 322 7507

**Impresión:** creative@graphusecuador.com

Impreso en Quito-Ecuador

# Contenido

-  **4**    Presentación
-  **5**    Cambio y Variabilidad Climática en Ecuador
-  **10**    Modelo Hidrológico FONAG - CMC
-  **11**    Procesamiento de Datos
-  **15**    Automatización del Modelo Hidrológico
-  **16**    Disponibilidad de Agua y Estrés Hídrico
-  **20**    Bibliografía



## Presentación |

El desarrollo del modelo de simulación hidrológica FONAG – CMC, como herramienta informática para evaluar la disponibilidad de agua y la evolución de los impactos asociados al cambio climático en la cuenca alta del río Guayllabamba y unidades hídricas orientales aportantes de agua para Quito: Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana, para el presente y distintas condiciones probables del futuro cercano, considera tanto la oferta natural como la demanda existente en la zona de estudio, ofreciendo un abanico de posibles combinaciones para estimar la disponibilidad futura (10-20 años), que involucra casos de ocurrencia de rangos de precipitación igual al presente y rangos de variación de precipitación con respecto a la tendencia actual, y demanda igual a la del presente y de demanda incrementada. Uno de los resultados de mayor utilidad con enfoque de gestión y manejo integrado es el de *estrés hídrico*, que es un índice construido especialmente para estimar si los requerimientos hídricos en un sector determinado son satisfechos o no, y en qué medida.

La innovación tecnológica, impulsada por el Programa Gestión del Agua – FONAG a partir del 2007, permite contar con herramientas efectivas que buscan apoyar la toma de decisiones en favor de una correcta planificación y manejo integrado de los recursos hídricos, en la cuenca alta del río Guayllabamba y unidades hídricas orientales de Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana. Los estudios de planificación, aplicación de modelos y resultados pueden consultarse a través del Sistema de Información y Monitoreo de recursos hídricos de la cuenca alta del río Guayllabamba: [www.infoagua-guayllabamba.ec](http://www.infoagua-guayllabamba.ec)



## Disponibilidad de agua en la cuenca alta del río Guayllabamba y unidades hídricas orientales aportantes de agua para Quito: Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana



### Cambio y Variabilidad Climática en Ecuador

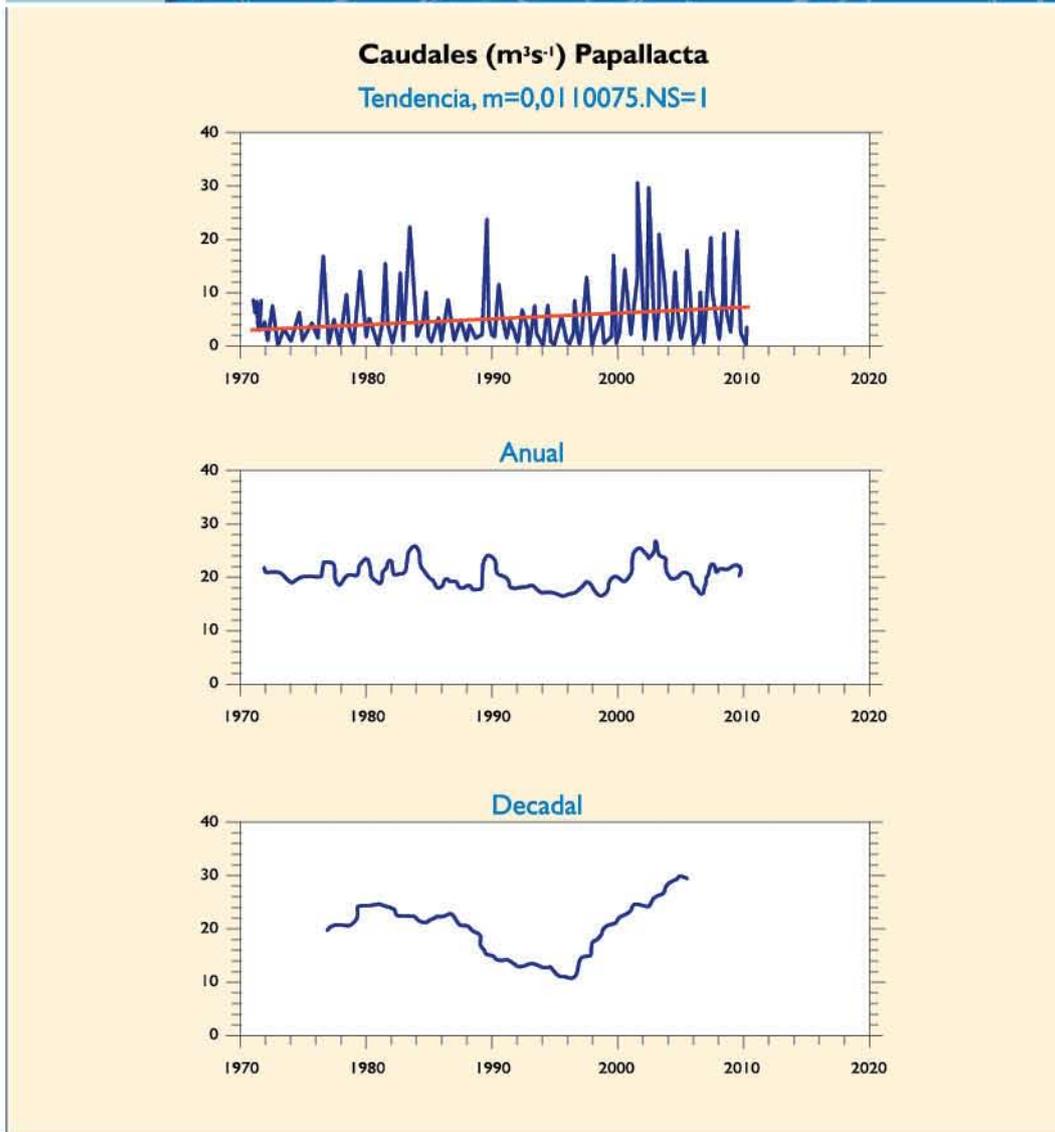
La oferta natural de los recursos hídricos en Ecuador depende de una compleja relación entre múltiples agentes climáticos provenientes de los cuatro puntos cardinales, así como de las peculiaridades locales, especialmente los relacionados con la existencia de la Cordillera Andina. La combinación de factores, entre estos la ubicación geográfica y la época del año dan origen a un clima característico. Discernir el efecto particular de cada uno de ellos no es una tarea sencilla y, es necesario analizar la evolución espacio-temporal del observable físico de interés.

Naturalmente, el comportamiento de las variables climáticas es distinto para distintas escalas de tiempo. Si bien es fundamental entender el papel que el Cambio Climático ejerce en determinadas variables [IPCC, 2007], especialmente las hidrológicas, lo es también el comprender cuál es la variabilidad natural propia y, cómo ambos aspectos interactúan entre sí para explicar el comportamiento observado de, por ejemplo, los caudales.

Dado que si sólo se consideran los efectos (normalmente analizados en términos de tendencias lineales de incremento o decremento a largo plazo de una variable en particular) asociados al Cambio Climático, y se obvia el papel de la Variabilidad Climática como moduladora (amplificadora, atenuadora) de los efectos de aquél, podrían establecerse medidas inadecuadas de adaptación para un período de tiempo determinado y para una región en particular [Muñoz, 2010b].

Para el caso de las unidades hídricas de Guayllabamba y Papallacta, tras calibrar un modelo hidrológico con la data disponible de la zona, se observa para Papallacta, Figura 1, la tendencia lineal de incremento ronda los  $0.1100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mientras que es ligeramente menor ( $0.0868 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) para Guayllabamba. En las series de tiempo

**FIGURA 1:** Tendencia lineal, variabilidad interdecadal e interanual para caudales ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) de la unidad hidrica de Papallacta, en Ecuador



Fuente: Muñoz, Macías y García, 2009.



interdecadal de ambas unidades hídricas se aprecian claramente dos períodos sobre la normal (1976-1987 y 1998-2004) y uno bajo ella (1987-1998), alternantes, de típicamente 11 años de cuasi-periodicidad. La conjunción de una señal interdecadal bajo la normal en la mayor parte de los años 90, en conjunto con la señal interanual bajo la normal para similar período dio lugar a los bajos caudales evidentes entre 1991 y 1998 en la serie de tiempo trimestral. Algo similar, aunque opuesto en signo de anomalías, ocurre, por ejemplo, para el período 2001-2004, en el que se aprecian los mayores picos de toda la serie. Los rangos estadísticos en los períodos interdecadales oscilan entre 1 y 2  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  para las anomalías positivas, mientras se ubica en 2  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  para el período 1987-1998 [Muñoz, 2010b].

Las implicaciones son obvias para la toma de decisión: no basta -por ejemplo para agricultura, agua potable y aplicaciones ecológicas- con considerar el caudal medio anual y asumirlo constante o incluso únicamente extrapolar su tendencia hacia el futuro, sino que es crucial considerar las variabilidades e interacciones entre las mismas a distintas escalas de tiempo y las señales de fondo (tendencias lineales). Caracterizar las cuencas desde este punto de vista es clave para comprender mejor lo que ha ocurrido, y para tener una idea -mientras se desarrollan metodologías de pronóstico más efectivas- de qué pudiera ocurrir en el futuro cercano. Estas simples herramientas, una vez conocidas por los tomadores de decisión, pueden servir de apoyo para una mejor gestión de los recursos hídricos.

Además, en el Ecuador se disponen de 3 modelos de escenarios de cambio climático [Muñoz *et al.*, 2010]: ETA, PRECIS y TL959. La Tabla 1 lista las características básicas de los mismos.

**TABLA 1**

**Modelos y períodos escogidos para precipitación y temperatura**

Modelo	Presente	Futuro	Escenario(s)	Resolución (km)
TL959	1979-2000	2015-2039	A1B	20
ETA (CCS)	1960-1990	2071-2099	A2, B2	56
PRECIS	1961-1990	2071-2099	A2, B2	25

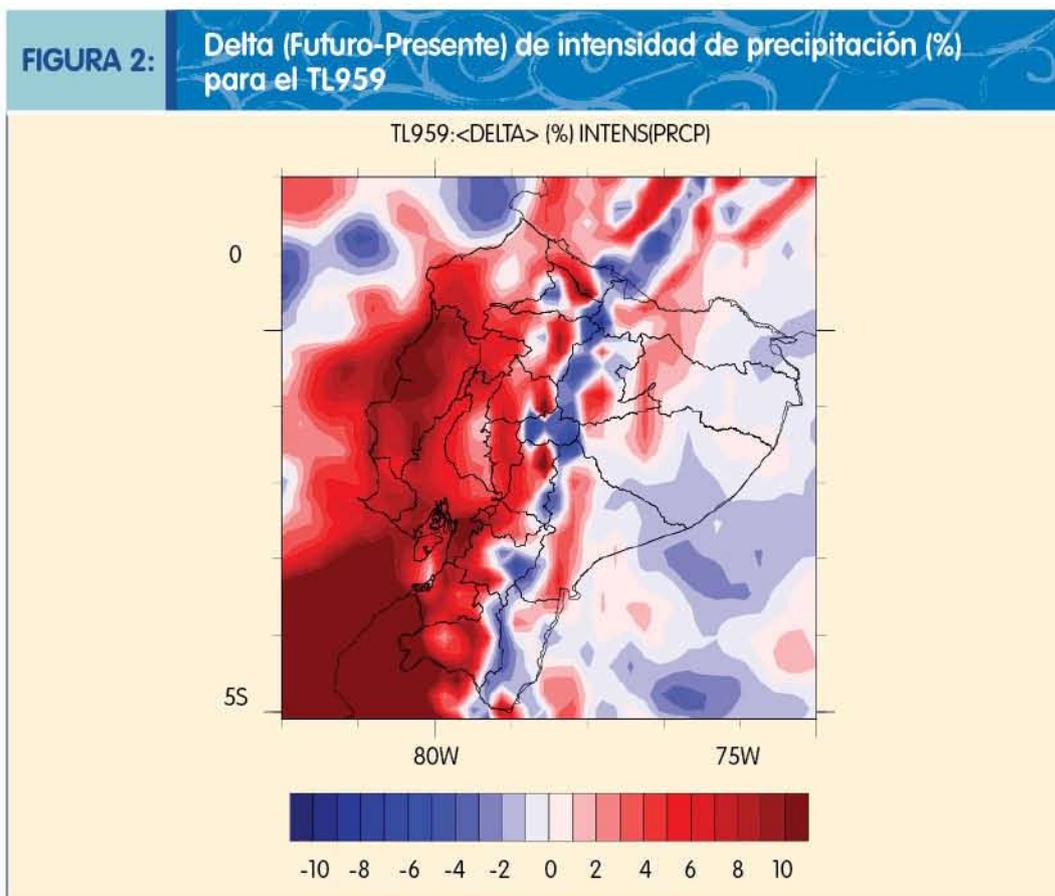
**Nota:** El período señalado como "Presente" corresponde al escogido para la validación.

**Fuente:** Muñoz *et al.*, 2010



La validación de los modelos muestra que el ETA posee las mejores correlaciones para precipitación en la Sierra. El TL959 posee buenas correlaciones pero tiende a sobreestimar la precipitación en la mayor parte de la Costa y en la vertiente amazónica. Mientras que las correlaciones con el PRECIS son menores que los otros dos casos.

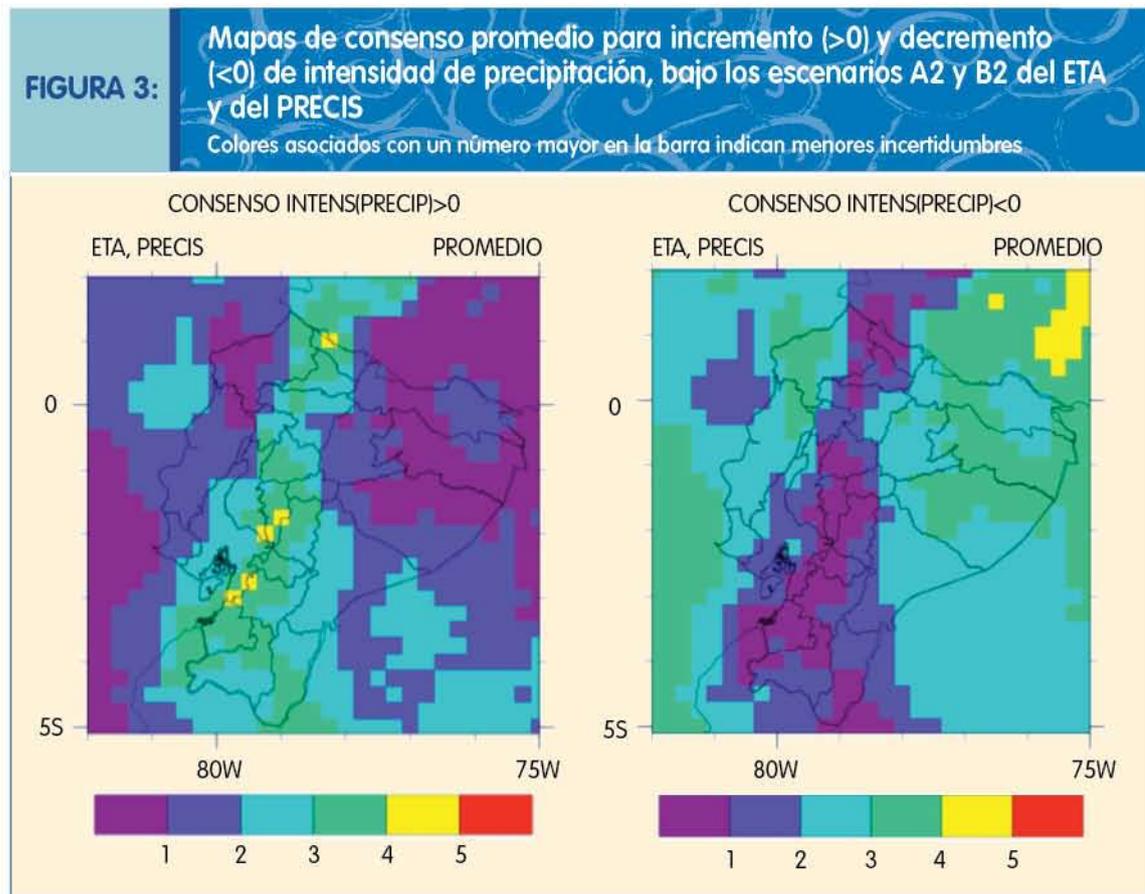
A pesar de no existir aún consenso en la comunidad científica sobre cómo proceder al respecto, una vía que parece cada vez más plausible es la identificación, mediante filtros matemáticos, de las señales climáticas a distintas escalas. De este modo la información disponible sugiere: para el largo plazo (2071-2099), un aumento en la intensidad de las precipitaciones para casi toda la Región Interandina; y para el corto plazo (2015-2039) el modelo TL959 prevé para la Región Interandina tanto incrementos como decrementos de intensidad de precipitación, dependiendo de la ubicación, ver Figura 2 [Kusunoki *et al.*, 2008; Muñoz, 2010; Chimborazo, Guitarra y Muñoz, 2010].



Fuente: Muñoz, 2011



En la Figura 3 se tienen los mapas de consenso promedio tanto para incremento como para decremento en la intensidad de pluviosidad, y se observa un acuerdo en los productos (valores mayores) en un aumento en la intensidad de las precipitaciones para básicamente la Sierra, mientras que un decremento de las mismas para la Amazonía [Muñoz, Macías y García, 2009].



Fuente: Muñoz, 2010

En virtud de lo discutido y con base en las salidas del modelo TL959 y en la descomposición de las señales de variabilidad, en términos de precipitación para el corto plazo 2015-2039, se podrían esperar rangos de variación para la intensidad de precipitación de entre -10% y +10% con respecto al presente (ver Figura 2). Debido a las incertidumbres asociadas, es preferible trabajar con estos límites e investigar qué ocurriría en tales casos extremos antes de sugerir valores específicos para una determinada región o período.



## Modelo Hidrológico FONAG – CMC

El modelo de simulación hidrológica denominado FONAG-CMC es una representación simplificada de los procesos físicos naturales existentes en la hidrología y su interacción con las necesidades de consumo de agua en las unidades de respuesta hidrológica identificadas en la cuenca alta del río Guayllabamba y las unidades hídricas orientales aportantes de agua para Quito: Oyacachi, Chalpi Grade, Papallacta y Antisana.

En el año 2008, el FONAG a través del Programa Gestión del Agua, con el apoyo técnico de varios especialistas nacionales e internacionales, inicia el desarrollo del modelo de simulación hidrológica mensual de tipo conceptual, semi-distribuido y determinístico, con base en información disponible de oferta y demanda de agua en la cuenca alta del río Guayllabamba [De Bievre y Coello, 2008]. El modelo estima los caudales naturales medios mensuales y con un 80% de excedencia en el tiempo ( $Q_{\text{medio}}$  y  $Q_{80}$  respectivamente), para cuantificar la disponibilidad de agua natural en tiempo presente en cualquier punto de la red hidrográfica del área de estudio y, los distintos niveles de *estrés hídrico* de la dinámica oferta y demanda de agua que ocurre en la zona.

La primera actualización del modelo en el año 2012 incorpora al área de estudio las unidades hídricas orientales Papallacta y Antisana. Con información actualizada tanto del ciclo hidrológico como de la realidad socioeconómica, bajo el mismo esquema de programación se añade al cálculo de disponibilidad natural del recurso y los niveles de estrés hídrico presentes, el análisis de la dinámica oferta–demanda para el presente y el futuro cercano de 10 y 20 años [Muñoz y Torres, 2012] asociada a las señales de variabilidad climática y efectos de cambio climático en la oferta natural de agua y variabilidad espacio–temporal en la demanda de agua.

De la experiencia desarrollada, en el año 2013 a través de innovación tecnológica se actualizó y automatizó el modelo de simulación hidrológica ya probado, optimizando los procesos de ingreso y actualización de datos, procesamiento y salida de resultados, y cubriendo en esta ocasión la totalidad del ámbito de trabajo del FONAG (cuenca alta del río Guayllabamba y unidades hídricas orientales aportantes de agua para Quito: Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana). Una de las mejoras implementadas en el modelo es la incorporación de la variación de la demanda de agua por cada unidad hídrica en los escenarios presente y futuro cercano. Así, en la actualidad, es posible evaluar la disponibilidad del recurso hídrico presente y para el futuro cercano (10-20 años), asociada a la variabilidad y cambio climático (bajo 10 escenarios<sup>1</sup> posibles), considerando especialmente la posibilidad de ocurrencia de estrés hídrico en el ámbito de trabajo del FONAG [Muñoz y Torres, 2013].

<sup>1</sup> Estos escenarios no hacen referencia a los escenarios definidos por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, sino a posibles proyecciones futuras basadas en información climática y socio-económica local.



## Procesamiento de Datos

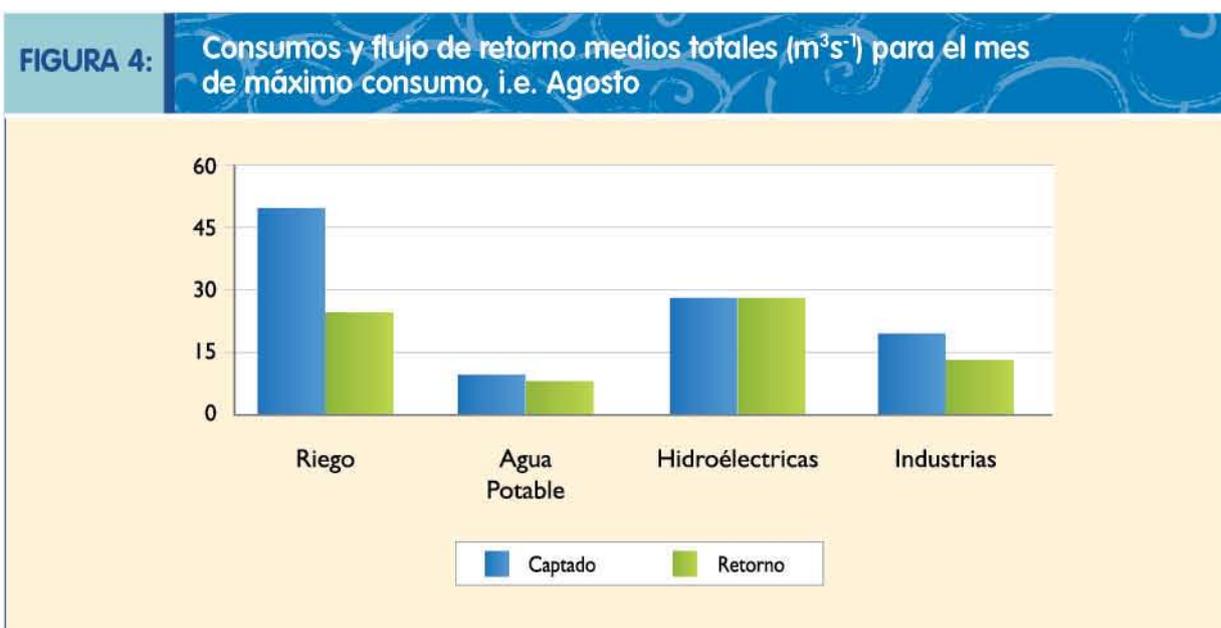
La primera versión del modelo [De Bievre y Coello, 2008] considera tanto la oferta natural como la demanda neta presente en la zona de estudio. El caudal neto disponible (la oferta-demanda) se calcula mediante el balance hídrico asociado a los caudales natural, captado y de retorno. Las actualizaciones del año 2012 y 2013 [Muñoz y Torres, 2012; 2013] consideran además del estado presente de la disponibilidad de agua, los casos *perturbados* del presente como futuros probables.

Para el período presente, el caudal natural se calcula una vez identificadas las regiones hidrográficamente homogéneas (en adelante llamadas *hidrozonas*), a partir de una reclasificación de tipos de uso y cobertura vegetal; se procede luego a construir el hidrograma unitario para cada una de ellas. Mediante el empleo de datos hidroclimáticos mensuales previamente homogeneizados de 77 estaciones (65 meteorológicas y 12 hidrológicas), seleccionadas por contar con un mínimo de 20 años, como umbral, para obtener una adecuada relación señal-ruido en las series de tiempo y que garanticen de entrada resultados robustos a la hora de representar el presente y que sirvan de punto de partida para la generación de proyecciones futuras. Del mismo modo, la calibración del modelo, proceso mediante el cual se determina los coeficientes mensuales de escorrentía para cada hidrozona, hace uso de observaciones de precipitación y caudales mensuales actualizadas y con control de calidad y homogeneización [Muñoz, 2012].

A partir de la información de la dirección de flujo derivada del modelo digital del terreno y red de drenaje, el modelo provee salidas geo-referenciadas, con 25 metros de resolución espacial, en donde es posible visualizar en espacio y tiempo la escorrentía (mm, incluyendo la escorrentía proveniente de glaciares), y los caudales  $Q_{\text{medio}}$  y  $Q_{80}$  ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) presentes. Estos cálculos parten del concepto de que el caudal en un punto de la red hidrográfica para un mes dado es conformado por los aportes de las precipitaciones del mes en cuestión, es decir precipitación "inmediata", y por los aportes de los tres meses anteriores, modulados en diferente medida dependiendo de la hidrozona y sus correspondientes coeficientes mensuales.

En el caso de la demanda, el análisis se realiza con base a los reportes de concesiones otorgados por la Secretaría del Agua SENAGUA [2013], para las captaciones y retornos asociados a los cuatro principales consumos presentes en el ámbito de trabajo: agua potable, riego, industria e hidroelectricidad (Figura 4 y Tabla 2) aunque esta última

actividad retorna el 100% del recurso empleado. En el cálculo se asume que la demanda presente de agua por los distintos sectores de consumo es constante, sin embargo la demanda en el sector de riego es variable en función de los requerimientos de agua en los distintos meses del año y en cada unidad hídrica.



Fuente: Muñoz y Torres, 2013

**TABLA 2**

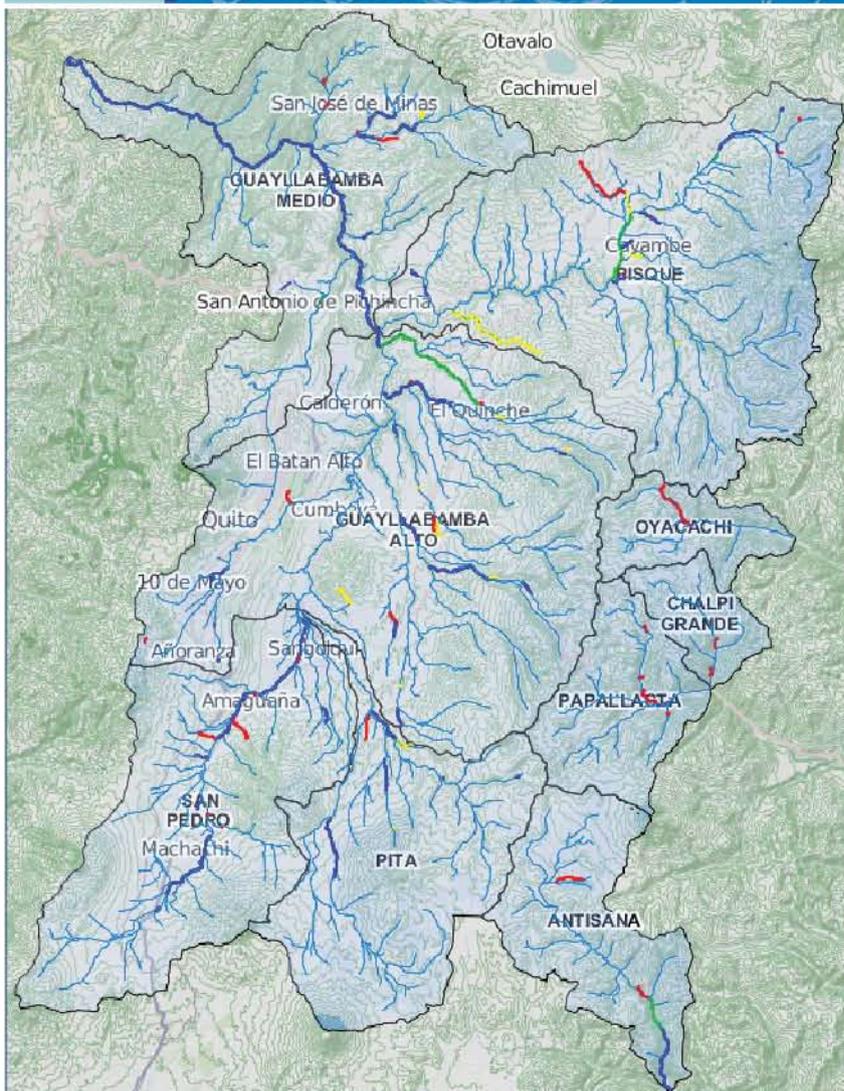
**Desglose de la demanda presente por actividad y por unidad hídrica**

Actividad	Pita	San Pedro	Guayllabamba Alto	Pisque	Guayllabamba Medio	Oyacachi	Chalpi Grande	Papallacta	Antisana
Riego	46.84%	31.19%	20.87%	71.58%	56.87%	54.73%	0.00%	2.29%	0.00%
Industria	2.00%	9.28%	0.13%	0.46%	2.07%	0.00%	0.00%	13.20%	0.00%
Hidro-electricidad	0.00%	52.50%	78.08%	25.11%	35.95%	0.00%	56.99%	28.15%	0.00%
Agua Potable	51.15%	7.04%	0.92%	2.86%	5.11%	45.27%	43.01%	56.36%	100.00%

Fuente: Muñoz y Torres, 2013

A partir de la contrastación del caudal natural y la demanda se obtiene la disponibilidad hídrica neta, y determinar el valor del índice de *estrés hídrico*, índice calculado con la ecuación de balance por medio de la comparación oferta-demanda tanto para el  $Q_{medio}$  y  $Q_{80}$  definido y categorizado por De Bievre y Coello [2008], como sigue:

**FIGURA 5:** Disponibilidad del recurso hídrico y Estrés hídrico presente



Fuente: <http://infoagua-guayllabamba.ec/visor/index.html>

**Sin estrés hídrico:** durante todo el año tanto el caudal medio como el caudal  $Q_{80}$  son mayores a la demanda.

**Estrés hídrico ligero:** durante todo el año el caudal medio es mayor que la demanda pero durante 1 a 3 meses la demanda es mayor al  $Q_{80}$ .

**Estrés hídrico moderado:** durante 0 a 2 meses la demanda es mayor al caudal medio y durante 4 a 5 meses la demanda es mayor al  $Q_{80}$ .

**Estrés hídrico alto:** durante 3 a 5 meses la demanda es mayor al caudal medio y durante 4 a 5 meses la demanda es mayor al  $Q_{80}$ .

**Estrés hídrico severo:** durante 3 o más meses la demanda es mayor al caudal medio y durante 6 meses o más la demanda es mayor al  $Q_{80}$ .



Las proyecciones del futuro se construyen en términos de variaciones del campo de precipitaciones y de demandas del presente, a saber: sin cambios con respecto al período presente, casos con incrementos y casos con decrementos. Para la precipitación, a partir de un análisis de variabilidad climática y su interacción con la señal de cambio climático, se escogió las magnitudes de incremento y decremento del  $\pm 10\%$  y  $\pm 20\%$ , en cada caso. La cota de 20% es considerado como estado "extremo" con respecto al presente que incluye las señales asociadas a variabilidad climática natural y un incremento de éstas por cambio climático antropogénico; la cota de  $\pm 10\%$  corresponde a una variación similar a las observadas en las series de tiempo históricas, y se considera como un estado entre las condiciones normales del presente y las amplitudes máximas de variabilidad de precipitación en la zona de estudio, sin necesariamente considerar una señal pronunciada asociada al cambio climático [Muñoz y Torres, 2013]. Para la demanda, luego de revisar los resultados de Cisneros y Burneo [2008] y los datos de los últimos censos de población en Ecuador, se seleccionaron sólo los casos con demanda actual o incrementada, en la que el incremento se hace de modo espacialmente homogéneo en la demanda total de cada unidad hídrica, pero el valor del aumento depende de las actividades y población presentes, oscilando entre 8% y 14%. Como resultado de la interacción entre oferta y demanda se obtienen 10 distintos casos posibles para el futuro, Tabla 3, uno de ellos es idéntico al presente, precipitación actual con demanda actual [Muñoz y Torres, 2013].

**TABLA 3**

**Casos futuros como posibles estados perturbados del presente**

P: precipitación, D: demanda, +: incremento, 0: actual, -: decremento, P+: incremento del 10%, P++: incremento del 20%, P-: decremento del 10%, P--: decremento del 20%

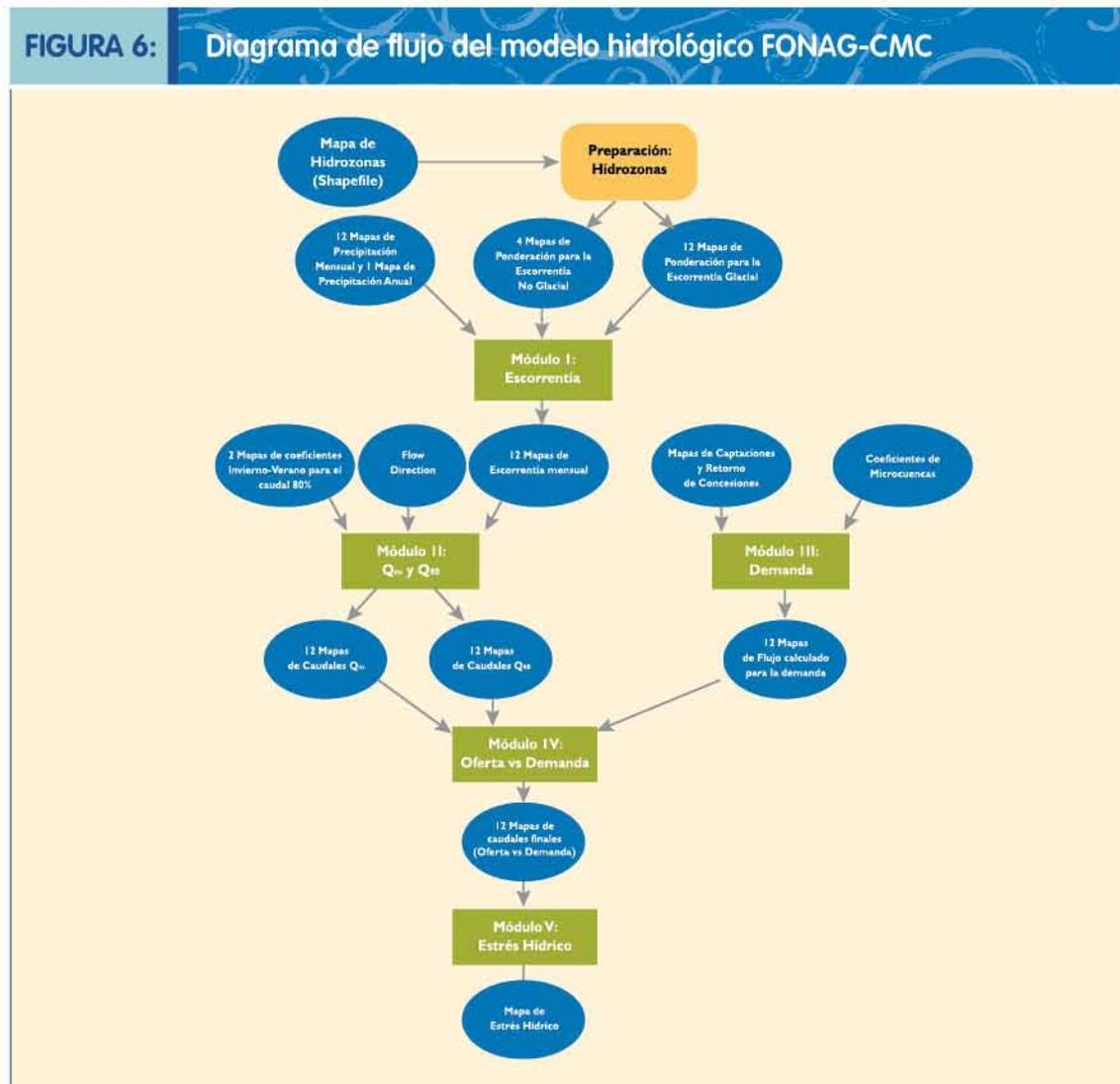
Modelo		Demanda Actual D <sup>0</sup>	Más Demanda D <sup>+</sup>
Similar al presente	P <sup>0</sup>	P <sup>0</sup> D <sup>0</sup> (igual al presente)	P <sup>0</sup> D <sup>+</sup>
Más Precipitación	P <sup>+</sup>	P <sup>+</sup> D <sup>0</sup>	P <sup>+</sup> D <sup>+</sup>
Mucha Más Precipitación	P <sup>++</sup>	P <sup>++</sup> D <sup>0</sup> (más optimista)	P <sup>++</sup> D <sup>+</sup>
Menos Precipitación	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup> D <sup>0</sup>	P <sup>-</sup> D <sup>+</sup>
Mucho Menos Precipitación	P <sup>--</sup>	P <sup>--</sup> D <sup>0</sup>	P <sup>--</sup> D <sup>+</sup> (menos optimista)

Fuente: Muñoz y Torres, 2013



## Automatización del Modelo Hidrológico

La automatización del modelo, Torres y Muñoz [2013], facilita: (i) la actualización de todos los conjuntos de datos de entrada del modelo, tanto en oferta y demanda; (ii) la incorporación de mejoras informáticas para futuras modificaciones de la física del modelo y su actual ejecución en modo secuencial; y, (iii) el contar con salidas para el escenario presente y escenarios futuros (o pasados), por medio de una perturbación de las condiciones climáticas y socio-económicas actuales. En la actualidad el modelo cuenta con 5 módulos, Figura 6, cada uno con sus respectivas entradas y salidas.



Fuente: Muñoz y Torres, 2013

**Módulo I: Escorrentía.** En éste se calcula las escorrentías glaciales y no glaciales por separado, que luego se unen para dar como resultado 12 mapas raster de escorrentía mensual.

**Módulo II:  $Q_m$  y  $Q_{80}$ .** Calcula la acumulación de flujo y los coeficientes de invierno y verano, tanto para  $Q_m$  y  $Q_{80}$ , que luego es contrastada con los mapas de escorrentía producto de la oferta natural.

**Módulo III: Demanda.** Calcula los mapas de captaciones y retorno para los cuatro principales usos de agua, consumo humano, riego, industria e hidroelectricidad.

**Módulo IV: Oferta vs Demanda.** Implica la substracción al caudal de oferta hídrica, tanto  $Q_m$  como el  $Q_{80}$ , por parte de la demanda, para obtener los caudales disponibles. En ciertos casos cuando la demanda supera la oferta, los caudales resultan negativos; este evento es crítico para identificar tramos con estrés hídrico.

**Módulo V: Estrés hídrico.** Se reclasifican los raster de caudales resultantes de Oferta vs Demanda, verificando en cada punto los meses en donde la demanda supera la oferta, contrastando  $Q_m$  y  $Q_{80}$ , y clasificando el estrés en 5 niveles: sin estrés, ligero, moderado, alto y severo.

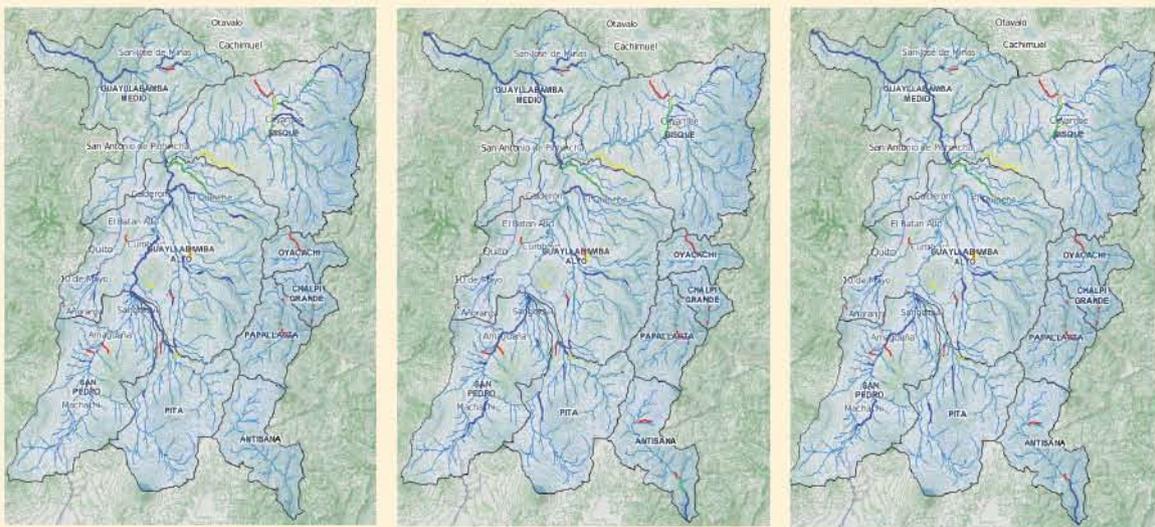


## Disponibilidad de Agua y Estrés Hídrico

Las salidas geo-referenciadas de la aplicación del Modelo Hidrológico FONAG-CMC para el presente y las proyecciones futuras de *oferta natural* (escorrentía,  $Q_m$  y  $Q_{80}$ ), *oferta-demanda* y *estrés hídrico* pueden ser visualizados y consultados en el Sistema de Información y Monitoreo de la cuenca alta del río Guayllabamba SIRH-CG, específicamente en el módulo de **Disponibilidad de Agua**. Es posible además, que el usuario a través de la opción de *consulta por puntos* visualice y compare los resultados de una variable para un punto de interés según el período de análisis (mensual, presente o futuro), simplemente haciendo clic sobre el mapa. El análisis del estrés hídrico (Figuras 7, 8 y 9) con los datos actualizados, es un producto que se considera muy útil para la toma de decisiones en apoyo a la adecuada planificación y conservación de los recursos hídricos a mediano plazo.

Para el escenario presente (Figura 7b) existen algunos tramos con estrés entre alto y severo (en amarillo y rojo) en Guayllabamba Alto que podrían afectar a Quito, La Merced, El Quinche y Pifo; en la unidad hídrica Pisque los sectores comprometidos son Cayambe, Tupigachi, Olmedo y Santa Rosa de Cuzubamba; en la unidad hídrica San Pedro: Tambillo y Uyumbicho; en la unidad hídrica Pita la parroquia de Pintag y, otros tramos de especial relevancia en las unidades hídricas orientales de Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana. Además es posible observar importantes tramos con estrés moderado (en verde) en las partes medias y bajas del Guayllabamba Alto, Antisana y Pisque. Mientras largos tramos de ríos con estrés hídrico ligero (en azul) marcan los ejes principales de las unidades hídricas San Pedro, Pita y Guayllabamba Medio, sin embargo esto no implica que la calidad del agua presente en los cauces sea la óptima. Las zonas que presentan mayor estrés responden a concesiones asociadas a industrias, riego e hidroeléctricas.

**FIGURA 7:** Estrés hídrico para casos con demanda neta presente



a. Precipitación disminuida en 10%

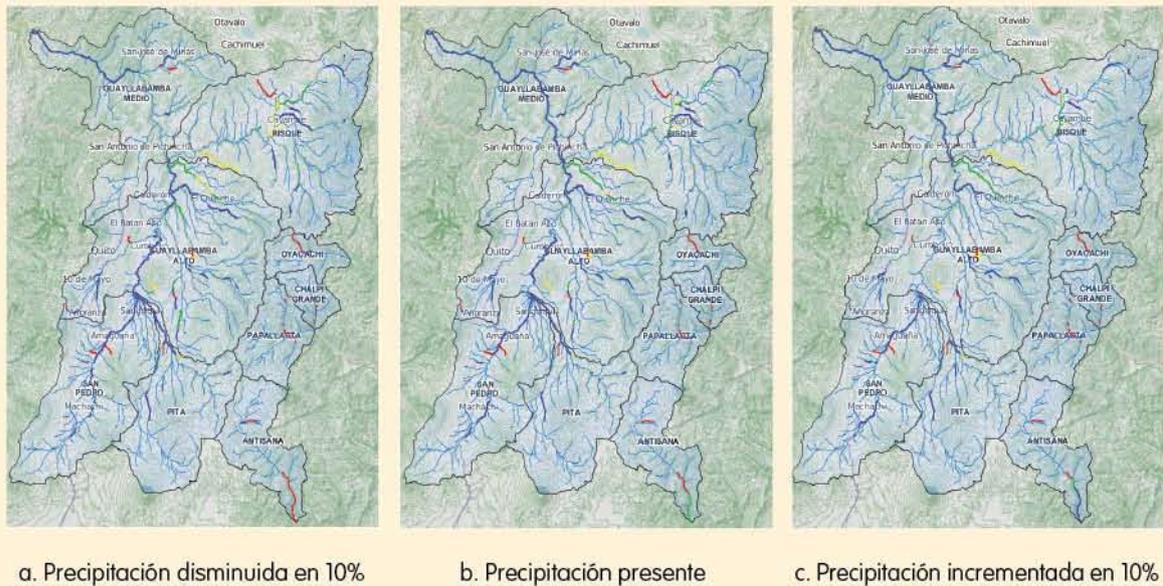
b. Precipitación presente

c. Precipitación incrementada en 10%

**Nota:** Celeste: sin estrés; Azul: estrés ligero; verde: moderado; amarillo: alto; rojo: severo

**Fuente:** <http://infoagua-guayllabamba.ec/visor/index.html>

**FIGURA 8:** Estrés hídrico para casos con demanda incrementada

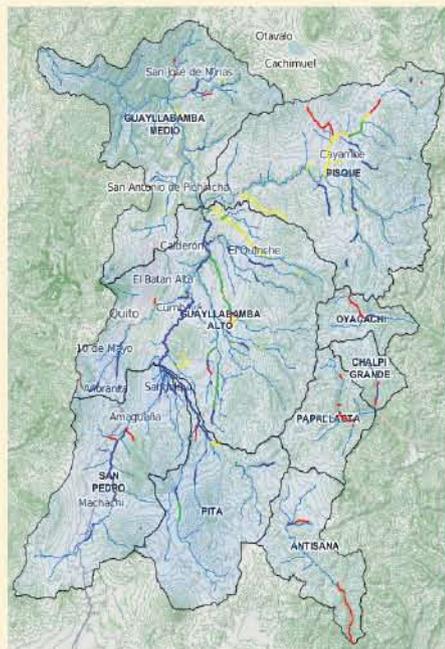


**Nota:** Celeste: sin estrés; Azul: estrés ligero; verde: moderado; amarillo: alto; rojo: severo

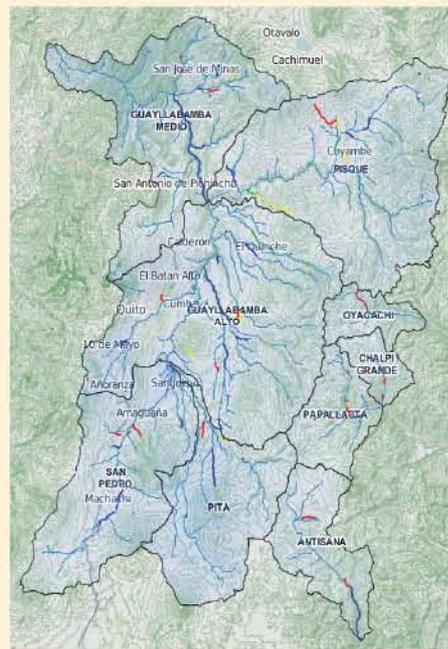
**Fuente:** <http://infoagua-guayllabamba.ec/visor/index.html>

Las proyecciones futuras del estrés hídrico pueden clasificarse en dos tipos, de demanda igual a la del presente y de demanda incrementada (Figuras 7 y 8). De las posibles proyecciones la proyección *menos optimista* de todas corresponde a un decremento del 20% de la precipitación y un incremento en la demanda (Figura 9a). En ella puede apreciarse que el estrés, generalmente, se acentúa en tramos que presentan mayor severidad o bien en tramos más largos con la misma severidad (o ambos). Sin embargo, en determinados sectores el estrés es más ligero que en el caso presente. Asimismo, en el caso *más optimista* se considera que se mantiene la demanda actual con un incremento del 20% en la precipitación (Figura 9b), cuyos resultados muestran tramos con mejoras en el estrés para Guayllabamba Alto, pero en general no presenta diferencias importantes con respecto al estrés del caso presente.

**FIGURA 9:** Proyecciones futuras menos y más optimistas de estrés hídrico



a. Precipitación disminuida en 20% con demanda incrementada



b. Precipitación incrementada en 20% con demanda actual

**Nota:** Celeste: sin estrés; Azul: estrés ligero; verde: moderado; amarillo: alto; rojo: severo

**Fuente:** <http://infoagua-guayllabamba.ec/visor/index.html>

El modelo hidrológico se basa en la información hidrometeorológica actual disponible en la cuenca alta del río Guayllabamba y las unidades hídricas orientales aportantes de agua para Quito: Papallacta, Chalpi Grande, Oyacachi y Antisana. Al ser la información hidrológica escasa y la pluviométrica de mucha mejor calidad y densidad, el modelo se adapta a la disponibilidad de información [De Bievre y Coello, 2008], asimismo se debe considerar que los resultados poseen incertidumbres asociadas a información climática, demanda y uso de suelo. Por tanto los resultados de estrés mensual que corresponden a un comportamiento medio para el período considerado (1963 – 2011), posiblemente en la época seca/húmeda del año y en determinados sectores podría ser al menos una categoría más o menos severa que la presentada en los mapas [Muñoz y Torres, 2013].

## Bibliografía

- Chimborazo, O., Guitarra, S. y Muñoz, Á.G., 2010: Informe Final Análisis de Nuevas Salidas del Modelo TL959. Proyectos MAE-INAMHI. Quito. 430 p.
- Cisneros, F. y Burneo, D., 2008: Análisis de Estrategias para la Gestión de Demanda y Oferta de los Recursos Hídricos y Evaluación de su Factibilidad Financiera-Económica en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba. Proyecto UICN-SUR-BID-FONAG. Quito. Ecuador.
- De Bievre, B. y Coello, X., 2008: Diagnóstico del balance entre oferta y demanda hídrica, Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en la Hoya de Quito. UICN-Sur, Ecuador.
- IPCC, 2007 - Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kusunoki, Sh., Yoshimura, J., Yoshimura, H., Mizuta, R., Oouchi, K. y Noda, A., 2008: Global Warming Projection by an Atmospheric Global Model with 20-km Grid, Journal ref: Journal of Disaster Research, 3 (1), p. 4-14.
- Muñoz, Á.G., 2012: Informe Final del Proceso de Homogeneización de Datos del Proyecto SGCA-MAE/PRAA-FONAG. Ecuador.
- Muñoz, Á.G., 2011: Documento del Análisis de la Variabilidad Climática Actual y Escenarios de Cambio Climático. Proyecto SGCA-MAE/PRAA-FONAG. Quito, EC. 27 p.
- Muñoz, Á.G., 2010: Validación y Análisis de Consenso de Modelos de Escenarios de Cambio Climático para Ecuador, Informe Final. Proyectos MAE-INAMHI. Quito. 131 pp.
- Muñoz, Á.G. y Torres, W., 2013: Informe Final de la Actualización y Automatización del Modelo Hidrológico FONAG para la Cuenca Alta del río Guayllabamba y Microcuencas Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana. Proyecto USAID - FONAG Quito. Ecuador.
- Muñoz, Á.G. y Torres, W., 2012: Informe Final del Módulo de Disponibilidad Hídrica del Proyecto FONAG-MAE. Quito. Ecuador.
- Muñoz, Á.G., Recalde, C., Cadema, J., Núñez, A., Díaz-Lobatón, J., 2010: Análisis Estadístico con FClimdex de índices climáticos para Ecuador. Informe Final. Proyectos MAE-INAMHI. Quito. 71pp.
- Muñoz, Á.G., Macías S, García M. 2009: Caracterización hidrológica del Ecuador. Proyecto INAMHI-MAE-SCN-PRAA-PACC.

El FONAG, consciente que la planificación de los recursos hídricos debe ejecutarse bajo un enfoque de cuencas hidrográficas con miras a lograr su sostenibilidad, desde el 2006 lidera procesos de innovación tecnológica que faciliten la toma de decisiones y el conocimiento sobre la disponibilidad de agua, presente y sus posibles variaciones asociadas al cambio climático, en la cuenca alta del río Guayllabamba y unidades hídricas orientales aportantes de agua para Quito.

[www.fonag.org.ec](http://www.fonag.org.ec)  
[www.infoagua-guayllabamba.ec](http://www.infoagua-guayllabamba.ec)

