



---

## Modelización de los caudales medios mensuales en la cuenca del río Ramis

### Monthly means flow modeling into Ramis basin

HÉCTOR VERA ARÉVALO<sup>1\*</sup> & OSCAR FELIPE OBANDO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Lima, Perú.

\*[hvera@senamhi.gob.pe](mailto:hvera@senamhi.gob.pe)

---

#### RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la cuenca del río Ramis (CR) localizado en la vertiente del lago Titicaca (VT), y tiene como objetivo principal calibrar y validar un modelo hidrológico a través de variables climáticas (precipitación y temperatura).

En la literatura existe una gama de modelos hidrológicos que van desde una modelización a escala horaria, diaria y mensual. Debido a un número reducido de parámetros, que además permite el cálculo continuo sobre períodos largos, para el estudio se eligió el modelo GR2m (Génie Rural, Ingeniería Rural por sus siglas en francés) el mismo que se ha calibrado y validado a escala mensual y también se evaluó su eficiencia y representatividad estacional de las series generadas.

La calibración del modelo periodo 1969-1995 (26 años) indica una eficiencia de Nash de 88,5%; en cambio los resultados de la validación periodo 1996-2010 (14 años) muestra una performance de 82,5%; asimismo los coeficientes de correlación (calibración y validación) son de 84%. En el análisis estacional (avenidas y estiaje) el modelo subestima los valores generados, lo cual se hace más notorio en el estiaje que en promedio alcanza el 63% (calibración y validación). Sin embargo, en ambas fases el modelo responde con una alta eficiencia (superior al 80%) lo cual indica que este modelo se encuentra en condiciones de ser utilizado para pronosticar los caudales mensuales en la cuenca del río Ramis.

**Palabras claves:** Métodos de simulación, balance hídrico, modelo hidrológico, calibración, validación, caudales probabilísticos.

#### ABSTRACT

This work is developed in the Ramis river basin (RB), situated in the Titicaca Lake watershed (TW) and its main objective is to calibrate and validate of hydrological discharge model through climatic variables (precipitation and temperature).

In the literature there is a range of hydrological models ranging from modeling at hourly, daily and monthly level. Due to its small number of parameters, it also allows the continuous calculation over long period. For the study, the GR2m model was chosen, it has also been calibrated and validated at monthly level, we also evaluated the efficiency and seasonal representativeness of the generated series.

The model calibration, period 1969-1995 (26 years), indicates a NASH efficiency of 88.5%, but the results of the validation period 1996-2010 (14 years) shows a performance of 82.5%; also the coefficients of correlation (calibration and validation) are 84%. But in the seasonal analysis (floods and drought) the model underestimates the generated values, which is most noticeable in the dry season that on average reaches 63% (calibration and validation).

However, in both phases the model responds with a high efficiency (above 80%) indicating that this model is able to be used to forecast monthly discharges in the Ramis river basin.

**Keywords:** Simulation methods, water balance, hydrological model calibration, validation, probabilistic discharge.

## INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Ramis ubicada al norte de la VT ocupa 15 541 km<sup>2</sup> (32% de área total de la VT de la parte peruana) y tiene un caudal medio anual de 75,7 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Vera 2009). Esta cuenca ha sido afectada por una mayor recurrencia de eventos extremos (sequías, inundaciones, etc.), que ha perjudicado las actividades socioeconómicas de la región; además posee características hidrológicas, geomorfológicas y climatológicas complejas.

Dadas estas condiciones y por la limitada información de las variables hidrológicas en tiempo real, así como al interés en mejorar el conocimiento del régimen hidrológico de los ríos de la VT se propone desarrollar metodologías apropiadas para estimar las variables hidrológicas usando el modelo GR2m al paso de tiempo mensual, como aporte en la planificación y gestión del recurso hídrico.

En las últimas décadas se han desarrollado un gran número de modelos para la simulación de caudales, a partir de las variables hidrológicas: precipitación y evapotranspiración. La modelización de la relación lluvia-escurrimiento adquiere diferentes concepciones en su formulación para explicar los procesos físicos que ocurren en la cuenca. Las relaciones lluvia-escurrimiento se utilizan principalmente para el diseño, pronóstico y evaluación; si los datos de escurrimiento no están disponibles o son insuficientes, las relaciones lluvia-escurrimiento pueden ser muy útiles para obtener el escurrimiento a partir de la precipitación (Intendencia de Recursos Hídricos 2008).

En muchas regiones es usual que los registros de precipitación son más abundantes que los registros de caudal, por lo tanto, evaluar los caudales de los ríos a partir de la precipitación ha sido un importante tema de investigación (Xu & Singh 1998 a).

El modelo GR2m fue desarrollado por CEMAGREF (Centro de Investigación Agrícola e Ingeniería Ambiental de Francia), y difundido y aplicado por investigadores de ORSTOM en el “Estudio Hidrológico-Meteorológico en la vertiente del Pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del fenómeno El Niño para prevención y mitigación de desastres” (ORSTOM 1999).

Los resultados obtenidos nos permitirán contar con un modelo hidrológico operativo y eficiente para realizar una mejor estimación espacio-temporal de la oferta del recurso hídrico en la cuenca del río Ramis (CR) o VT y podrá ser utilizado asimismo si se dan las condiciones para la estimación y previsión de caudales.

## ÁREA DE ESTUDIO

La CR se ubica al norte de la región del Titicaca (Figura 1), políticamente en el departamento de Puno y se extiende por las provincias de Sandía, San Antonio de Putina, Carabaya, Melgar, Azángaro, Lampa y Huancané; abarca una superficie de 15 541 km<sup>2</sup>. Su altitud máxima es de 5828 msnm (nevado de Ananea) y la mínima 3850 msnm en la estación hidrométrica Puente Carretera Ramis.

El principal río que drena a la CR es el Crucero. Este río nace en las cercanías del nevado de Ananea Grande y la laguna Rinconada; en su recorrido toma las denominaciones de río Grande y en la parte baja río Crucero, su orientación es de oeste a este y cerca a localidad de Antauta cambia de curso norte sur.

En las cercanías de la población de Progreso, a 178 km de su origen, confluye con el río Quenamari-Grande (125 km de longitud). La unión de ambos constituye el río Azángaro y a los 255 km de su recorrido, cerca de la población de Achaya, recibe las aguas de los ríos Santa Rosa, Ayaviri y Pucará.

El río Pucará formador por la margen derecha del río Ramis nace en las faldas del nevado Cunurrane en un lugar denominado La Raya, en la divisoria con las nacientes del río Urubamba; a una altitud de 3895 msnm se une al río Azángaro, para formar el Ramis, en la cota 3845 msnm después de discurrir una longitud de 229 km; es el más caudaloso y extenso de la VT, recorre la zona de mayor precipitación y de gran riqueza en glaciares y lagunas.

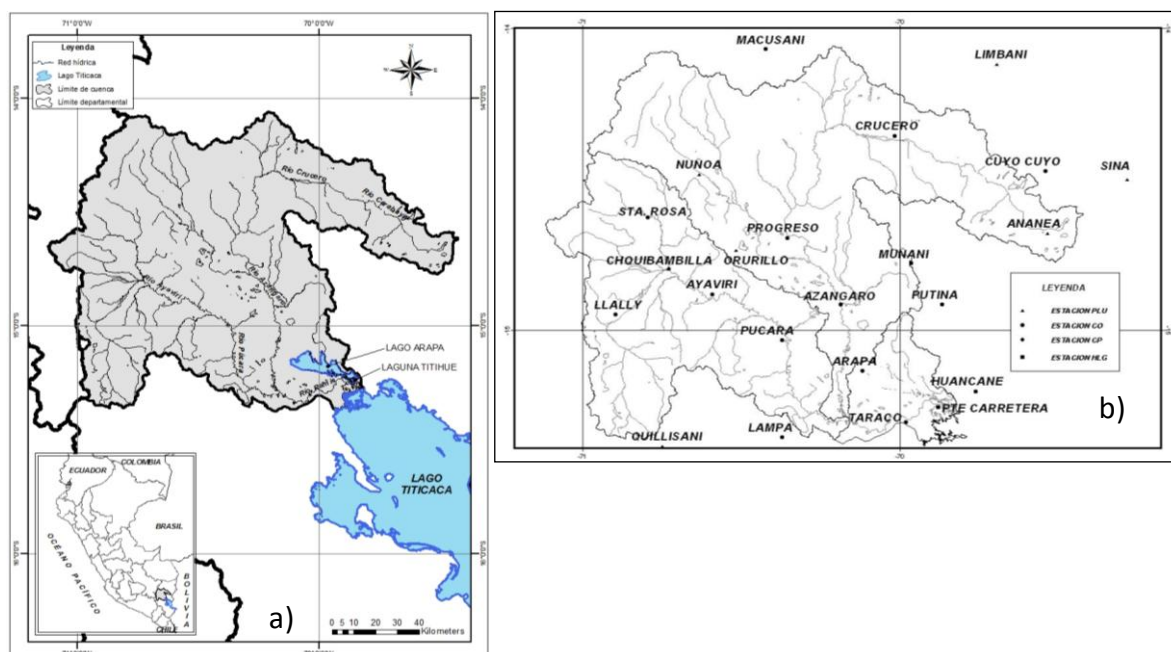


Fig. 1. a) Ubicación de la cuenca del río Ramis. b) Distribución espacial de la red hidrometeorológica.

### METODOLOGÍA

Para el análisis se utilizó información mensual del periodo 1969-2010 de las variables de precipitación (22 estaciones) y temperaturas mínima, media y máxima (16 estaciones). Además de la información de caudales de la estación Puente Carretera. La Figura 1b muestra esta distribución de estaciones.

El modelo hidrológico GR2m requiere información procesada de las variables climáticas a escala de la cuenca de drenaje hasta la estación Puente Carretera; con el módulo espacial de Hydraccess (Vouchel 2006) se determinó los valores areales de la precipitación y evapotranspiración mensuales para el periodo 1969-2010.

La variable evapotranspiración se analizó con el modelo de Hargreaves & Samani (1985), cuya ecuación es:

$$ETP = 0.0023(T_m + 17.8)(T_{\max} - T_{\min})^{0.5} * Ra$$

donde: ETP es evapotranspiración ( $\text{mm.día}^{-1}$ ),  $T_m$  es temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{\max}$  es temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{\min}$  es temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ) y  $Ra$  es Radiación extraterrestre ( $\text{mm.día}^{-1}$ ).

### Modelo GR2m

Michel (1983) propuso un modelo global lo más simple posible para reconstruir los caudales diarios a partir de la precipitación y la temperatura (para estimar la evapotranspiración). Actualmente se utilizan las versiones GR1a, GR2m, GR3j y GR4j donde el número indica la cantidad de parámetros a modelar y la última letra el paso de tiempo:  $j$  (diario),  $m$  (mensual),  $a$  (anual).

El modelo GR2m es un modelo global que funciona a paso de tiempo mensual y que depende de dos parámetros: X1 (Máxima capacidad de almacenamiento del reservorio en mm) y X2: (coeficiente de intercambio de agua subterránea, no tiene unidades). De manera general, el modelo está basado en la transformación de la precipitación-escorrentía por la aplicación de dos funciones: de producción y de transferencia. El modelo GR2m es un modelo a dos reservorios, donde la función de producción del modelo se organiza alrededor de un reservorio llamado reservorio-suelo, la función de transferencia está gobernada por el segundo reservorio llamado reservorio de agua gravitacional, donde el aporte es instantáneo al inicio del paso de tiempo, luego el reservorio se vacía gradualmente. El nivel de este reservorio determina el caudal que puede liberar, la arquitectura del modelo y las ecuaciones podemos observarlas en la Figura 3.

Los flujos entrantes (P) y salientes (ETP) del reservorio-suelo (capacidad máxima X1) son calculados en base al estado de almacenamiento (S). Una parte de la precipitación P1 corresponde a la diferencia entre P y la precipitación que ingresa en el suelo y otra parte P2 corresponde a la percolación. La suma de ambas P1 + P2 corresponden a la precipitación efectiva P3 que ingresa en el reservorio de agua gravitacional (capacidad máxima fijada en 60 mm). Un término de intercambio subterráneo es incluido dentro del modelo X2. Finalmente el reservorio de agua gravitacional se vacía siguiendo una función cuadrática, dándonos como resultado el caudal de salida.

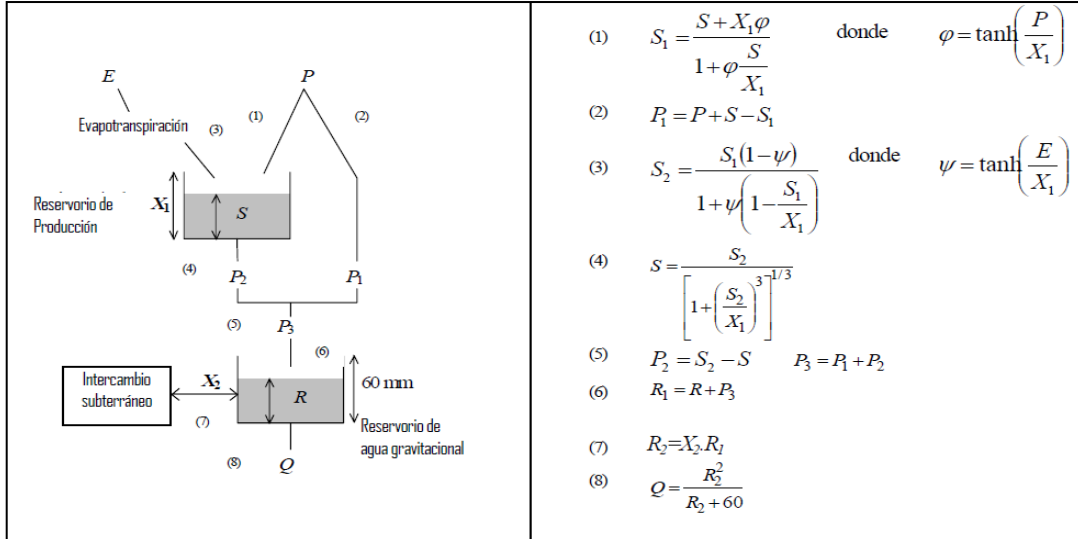


Fig. 3. Arquitectura del Modelo GR2m de Mouelhi (2003)

Fuente: CEMAGREF ([www.cenagref.fr](http://www.cenagref.fr))

Entonces los dos parámetros a optimizar son: X1, capacidad del reservorio-suelo en milímetros y X2, coeficiente de intercambios subterráneos (adimensional). La evaluación de la calidad del modelo puede realizarse de manera cuantitativa o cualitativa: la evaluación cuantitativa consiste en determinar el mayor valor óptimo de una función objetivo o función criterio por técnicas de optimización. La función objetivo o criterio de evaluación resume los resultados de comparación entre los datos calculados y los datos observados en una sola cifra y la evaluación cualitativa se basa en la comparación gráfica entre los valores calculados y los valores observados.

a) Criterio de Nash, propuesto por Nash (1969), está dado por la fórmula:

$$Nash = \left( 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{Obs,t} - Q_{Cal})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{Obs,t} - \overline{Q_{Obs,t}})^2} \right) * 100$$

donde:  $Q_{Obs,t}$  es el caudal observado;  $Q_{Cal,t}$  es el caudal calculado y  $\overline{Q_{Obs,t}}$  es el caudal observado medio

b) Criterio de balance de caudales observado/calculados

$$Balan = \left( \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{Obs,t})}{\sum_{t=1}^n (Q_{Cal,t})} \right)$$

**Curvas estacionales de caudales observados y simulados:** Con las series de caudal, observadas y simuladas con el modelo hidrológico (GR2m) se construyeron las curvas de duración mensual con la metodología de Weibull, a partir de las cuales se derivan los caudales medios mensuales a diferente nivel de persistencia (caudales probabilísticos). Estas curvas se construyeron con fines

comparativos para evaluar qué tan representativos son los caudales generados para aguas altas (menor probabilidad de ocurrencia) y aguas bajas (mayor probabilidad de ocurrencia). Las curvas de duración indican el porcentaje de tiempo que los caudales son igualados o superados.

La aplicación del modelo GR2m se realizó siguiendo los siguientes pasos:

Datos de Ingreso: Precipitación mensual (1969-2010), evapotranspiración media mensual y los caudales medios mensuales (1969-2010).

Inicialización del modelo: en la calibración y validación, un año completo de información es tomada para la inicialización del modelo, que permite atenuar totalmente los efectos de los primeros cálculos. Esto permite al modelo tomar su funcionamiento normal en el curso de este año. Durante este año los resultados del modelo no son tomados en cuenta para el cálculo de la función objetivo y los criterios de calidad.

Optimización del modelo: para optimizar los parámetros  $X_1$  y  $X_2$  se usó la herramienta SOLVER de Excel, y como criterio de evaluación para la optimización, el criterio de Nash; adicionalmente con el balance de caudales observado-simulados se afinó los resultados de la optimización.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la calibración del modelo GR2m se consideró el periodo de referencia 1969-1995. Las variables de entrada al modelo fueron los valores medios areales mensuales de la precipitación, la evapotranspiración potencial y caudales en lámina. Se utilizó el modelo en hoja de cálculo de Excel.

Los parámetros del modelo  $X_1$  y  $X_2$  se obtuvieron por optimización, para la primera corrida  $X_1=6$  y  $X_2=1$ . Los resultados en la etapa de calibración se sintetizan en la Tabla 1, donde se observa los valores optimizados para los parámetros mencionados, así como los mejores valores encontrados para el criterio de Nash y de Balance de caudales observados/simulados.

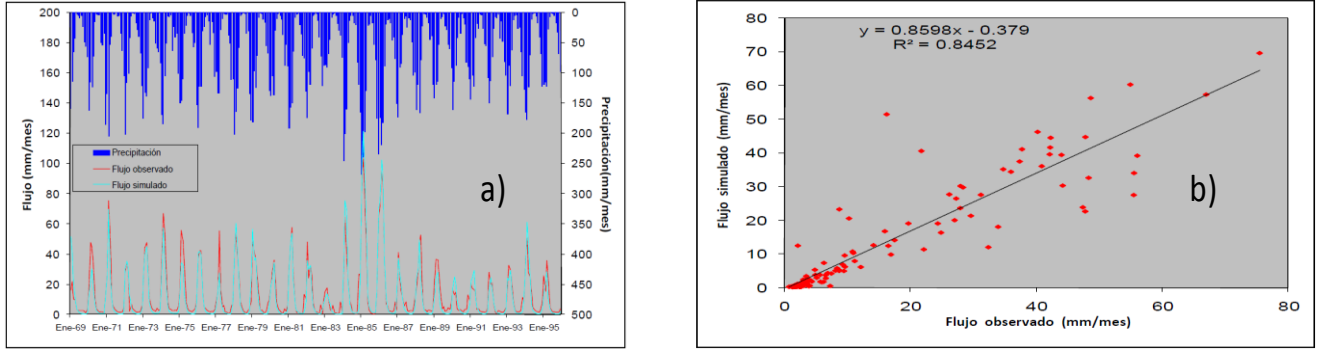
El modelo GR2m se encuentra dentro de la categoría de modelos empíricos: a priori no usa ecuaciones físicas, por lo cual se debe tener cuidado en la interpretación de los parámetros optimizados.

**Tabla 1.** Resumen de la calibración 1969-1995

PARAMETROS DEL MODELO	TRANSFORM	REAL
X1: Capacidad de almacenamiento (mm)	5.89	362.81
x2: Coeficiente de intercambio de agua (mm)	0.81	0.81
<b>VALORES INICIALES</b>		
Nivel inicial en reservorio de producción (max: x1mm)		181.41
Nivel inicial en reservorio de transferencia (max:60 mm)		30
<b>PERIODO</b>		
Longitud del periodo (meses)		12
Longitud del periodo de prueba (meses)		311
Fecha de inicio		01/01/1970
Fecha final		01/12/1995
<b>VALORES OBTENIDOS</b>		
Precipitación media observada (mm/mes)		66.5
Precipitación efectiva observada (mm/mes)		100.8
Flujo medio observado (mm/mes)		14.1
Raíz cuadrada media del flujo transformado		3.1
Logaritmo medio del flujo transformado		1.9
<b>CRITERIOS DE EFICIENCIA (%)</b>		
Nash (Q)		88.5
Nash (VQ)		84.7
Nash (ln(Q))		62.1
Balance (Caudal observado/caudal simulado)		87.9

Con el criterio de Nash se obtuvo 88,5%, el cual es un valor muy bueno (Nash máximo igual a 100%) y con el criterio del balance (caudal observado/caudal simulado) se obtuvo 87,9%, valor que indica que el modelo representó adecuadamente los caudales de esta cuenca. Como podemos observar en la Figura 4a, el modelo simula adecuadamente los caudales en este período; además en la Figura 4b, se aprecia una alta correlación ( $R^2 = 0,845$ ) entre los caudales observados con los simulados.

Asimismo en la Tabla 2 se presenta los parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales (generados por el modelo GR2m) y de los caudales observados.

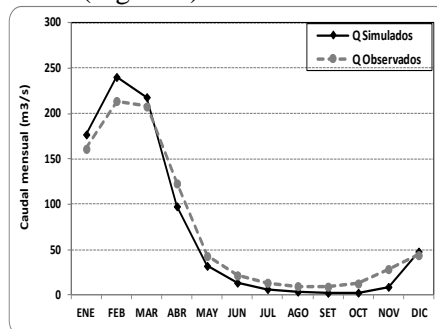


**Fig. 4.** a) Caudales medios mensuales generados por el modelo comparado con los caudales de la estación Puente Carretera (Ramis). b) Correlación entre los caudales observados y los caudales generados por el modelo. Estación Puente Carretera (Ramis).

**Tabla 2.** Valores estadísticos de las series observadas y simuladas 1969-1995.

CAUDALES OBSERVADOS													
PARAMET	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PROMEDIO	161.1	213.8	207.8	123.0	42.8	21.5	13.4	9.6	9.1	12.6	28.5	43.8	73.9
MINIMO	49.2	73.0	58.2	11.6	10.4	4.2	5.4	3.1	1.0	0.9	2.5	9.4	32.4
MAXIMO	311.4	432.0	383.3	300.3	83.7	47.9	30.6	14.4	18.5	37.2	153.3	148.6	116.1
DESVEST	68.8	99.9	85.7	67.8	21.0	9.1	5.1	3.2	4.3	7.7	32.7	30.1	22.4
CV	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.5	0.6	1.1	0.7	0.3
CAUDALES SIMULADOS													
PROMEDIO	177.0	240.4	218.1	97.7	32.0	13.4	6.4	3.6	2.3	2.5	8.9	47.8	70.8
MINIMO	28.9	78.1	63.9	36.8	15.5	7.3	3.8	2.1	1.2	0.8	0.8	2.4	22.8
MAXIMO	576.1	696.5	561.5	306.7	75.2	30.0	12.8	6.6	5.2	8.3	82.7	403.7	230.4
DESVEST	120.4	149.4	114.3	57.5	13.3	4.7	1.9	1.0	0.9	1.5	15.8	78.6	42.1
CV	0.7	0.6	0.5	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.6	1.8	1.6	0.6

El análisis estacional de las series simuladas indica que el modelo tiende a subestimar los caudales históricos en el periodo de avenidas (diciembre a abril) presentando en promedio una anomalía de -4% en relación a los caudales observados. En el periodo de estiaje (junio a septiembre), indica subestimación de los caudales hasta de -62%. Finalmente, los caudales anuales son subestimados en 10% respecto al caudal observado (Figura 5).



**Fig. 5.** Caudales observados y caudales generados en la calibración.

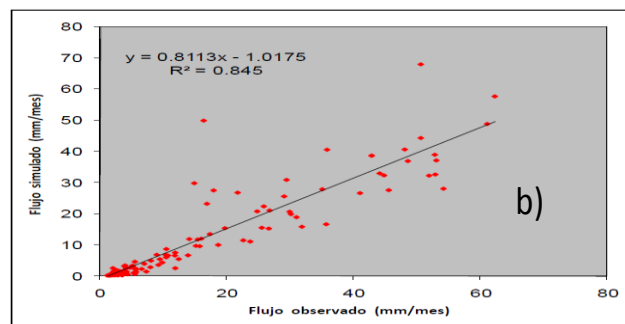
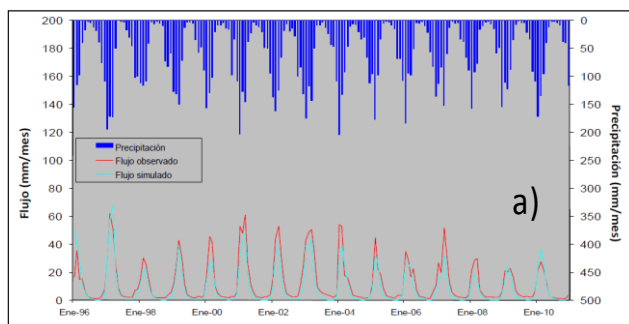
Para la validación del modelo se consideró el periodo de referencia 1996-2010. Para esta etapa, el modelo se corrió con los parámetros  $X_1$  y  $X_2$  obtenidos en la calibración (Tabla 3).

En la validación se obtuvo 82,5% para el criterio de Nash y para el Balance 71,2%, asimismo en la Figura 6a se presenta las series de caudales observados y simulados, también en la Figura 6b se aprecia el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) es 0,85; todos estos valores son muy buenos e indican que el modelo logra representar muy bien los caudales escurridos en la cuenca.

En la Tabla 4 se presenta los parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales generados por el modelo GR2m y las estadísticas de los caudales observados.

**Tabla 3.** Resumen de la validación 1996-2010.

PARAMETROS DEL MODELO	TRANSFORM	REAL
X1: Capacidad de almacenamiento (mm)	5.89	362.81
x2: Coeficiente de intercambio de agua (mm)	0.81	0.81
<b>VALORES INICIALES</b>		
Nivel inicial en reservorio de producción (max: x1mm)		181.41
Nivel inicial en reservorio de transferencia (max:60 mm)		30
<b>PERIODO</b>		
Longitud del periodo (meses)		12
Longitud del periodo de prueba (meses)		167
Fecha de inicio		01/01/1997
Fecha final		01/12/2010
Precipitación media observada (mm/mes)		59.2
Precipitación efectiva observada (mm/mes)		103.9
Flujo medio observado (mm/mes)		12.9
Raíz cuadrada media del flujo transformado		3.0
Logaritmo medio del flujo transformado		2.0
<b>CRITERIOS DE EFICIENCIA (%)</b>		
Nash (Q)		82.5
Nash (VQ)		78.8
Nash (ln(Q))		37.7
Balance (Caudal observado/caudal simulado)		71.2

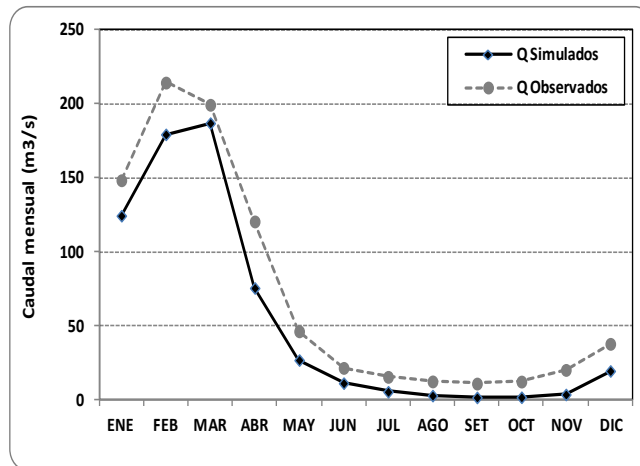


**Fig. 6.** a) Caudales medios mensuales generados por el modelo comparado con los caudales de la estación Puente Carretera, Ramis (Validación). b) Correlación entre los caudales observados y los caudales generados por el modelo (Estación Puente Carretera, Ramis).

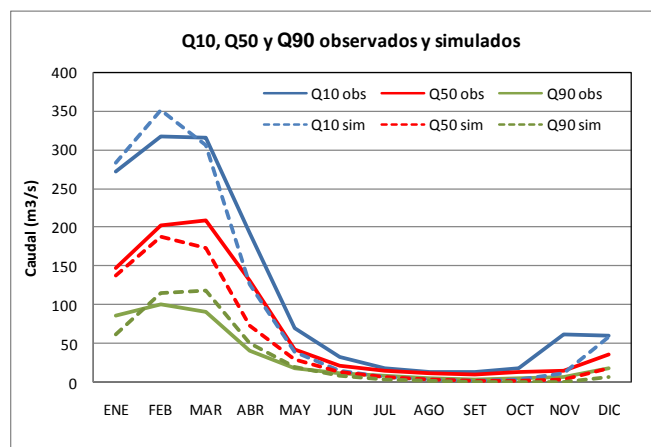
**Tabla 4.** Valores estadísticos de las series observadas y simuladas 1996-2010.

CAUDALES OBSERVADOS													
PARAMET	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PROMEDIO	148.6	214.5	199.5	120.7	46.5	21.8	15.7	12.7	11.2	12.6	20.4	38.0	71.9
MINIMO	59.5	112.8	85.1	40.3	20.9	12.2	8.9	7.1	6.7	6.3	5.5	11.7	47.7
MAXIMO	310.1	356.4	349.5	204.2	79.5	37.6	30.6	25.0	20.3	19.8	68.0	135.6	104.5
DESVEST	81.5	73.7	90.6	49.4	18.8	7.8	5.0	4.1	3.6	4.2	16.0	29.9	20.7
CV	0.5	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.8	0.8	0.3
CAUDALES SIMULADOS													
PROMEDIO	124.6	179.5	187.1	75.8	27.1	11.5	5.7	3.1	1.8	2.0	3.8	19.7	53.5
MINIMO	39.3	88.6	87.3	32.6	14.0	6.6	3.5	1.9	1.1	1.0	0.9	7.7	30.6
MAXIMO	286.7	331.3	390.4	121.3	39.6	16.2	8.0	4.3	2.8	6.4	14.9	63.9	94.2
DESVEST	72.9	64.1	76.4	26.9	8.1	2.9	1.3	0.7	0.5	1.4	3.6	15.3	17.3
CV	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.7	0.9	0.8	0.3

En la Figura 7 se observa que el modelo en la validación mantiene una tendencia a subestimar los caudales; en el periodo de avenidas la subestimación es  $-19\%$ , mientras que en el estiaje la subestimación es del orden de  $-64\%$ .



**Fig. 7.** Caudales observados y caudales generados en la validación.



**Fig. 8.** Caudales probabilísticos (Q10, Q50 y Q90) simulados e históricos.

**Caudales probabilísticos históricos y simulados**

Las series simuladas con el modelo GR2m, periodo 1969-2010, se analizaron probabilísticamente para determinar los caudales característicos a diferente nivel de persistencia; Q10, Q50 y Q90 representan las probabilidades de ocurrencia de 10%, 50% y 90%, respectivamente (Figura 8).



Los caudales probabilísticos comparados con los datos históricos muestran que las series generadas por el modelo representan mejor los caudales históricos para las persistencias extremas (Q10 y Q90). En época de avenidas los caudales simulados representan una anomalía de -3% y +4% para Q10 y Q90, respectivamente. En estiaje la subestimación es alta en los tres niveles de persistencia analizados; es decir, en Q10, Q50 y Q90 se observan anomalías de -62%, -57% y -44%, respectivamente.

## CONCLUSIONES

El modelo GR2m con los datos de precipitación, evapotranspiración y caudal de entrada logra mediante un proceso de optimización una mejor aproximación entre los caudales simulados y los observados.

El modelo GR2m evaluado con el estadístico de Nash-Sutcliffe presenta la más alta eficiencia tanto en calibración (88,5%) como en la validación (82,5%), así como valores de coeficiente de correlación de Pearson óptimos tanto en la fase de calibración como en la validación  $R=0,84$ .

En el análisis estacional de las series simuladas muestra que el modelo en general tiende a subestimar los caudales históricos. En la calibración durante el periodo de avenidas (diciembre-abril) el caudal promedio subestima en -4%, mientras que en el estiaje para el periodo (junio-setiembre) subestima en -62%. En la fase de validación se mantiene la misma tendencia a subestimar los caudales históricos, sin embargo en este caso las anomalías son del orden de -19% en el periodo avenidas y -64% en el estiaje.

En base a los resultados obtenidos en la calibración y validación, donde el modelo responde con eficiencia superior al 80% y de acuerdo a los objetivos del trabajo se puede afirmar que el modelo GR2m se puede utilizar en las diferentes actividades relacionadas a los recursos hídricos como por ejemplo el pronóstico y simulación de caudales mensuales en la cuenca del río Ramis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, M. (2006). Modelos matemáticos en Hidrología. Modelo hidrológico Lutz-Scholtz. Apuntes del I Congreso Nacional de Hidrología. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Hargreaves, G.H & Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transactions of the ASAE*, 2:96-99
- IRH-ATDRR (2008). Actualización del Balance Hídrico de la cuenca del río Ramis. Intendencia de Recursos Hídricos, Administración Técnica del Distrito de Riego Ramis. Ministerio de Agricultura del Perú, INRENA.
- Michel, C. (1983). Que peut-faire en el hidrológico avec des conceptuel modèle à un seul paramètre. *La Houille Blanche*, 1: 39-44, (<http://www.cemagref.fr/webgr>).
- Mouelhi, S. (2003). Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse de Doctorat, NGREF, Cemagref Antony, France, 323 pp.
- ORSTOM (1999). Estudio hidrológico-meteorológico en la vertiente del Pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del fenómeno el niño para prevención y mitigación de desastres, Lima-Perú 90 pp Volumen I.
- Vauchel, P. (2006). Hydraccess, software hidrológico, [http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/ha\\_sp\\_dn\\_php](http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/ha_sp_dn_php)
- Vera, H. (2009). El Niño y los caudales en la vertiente del Titicaca. *Revista Peruana Geo-Atmosférica, RPGA*, 1:35-47.
- Roldán, E. (2009). Reconstrucción histórica de los caudales mensuales a lo largo de la red de drenaje de Colombia. Tesis de Maestría de la Universidad Nacional de Colombia. Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos.
- Xu, C. Y. & Singh, P. (1998). A review on monthly water balance models for water resource investigations. *Water Resources Management*, 31:31-50