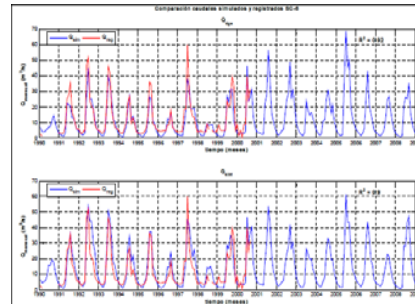
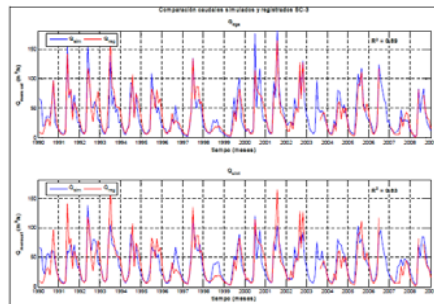
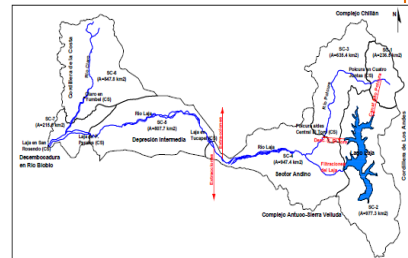
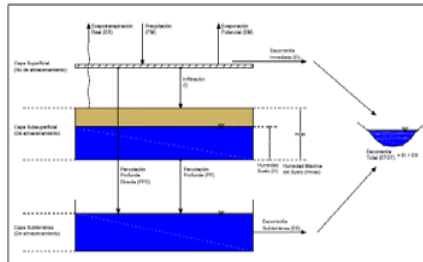


# Modelo Hidrológico Mensual (MHM)

Muñoz, 2010



[www.cazalac.org](http://www.cazalac.org)  
[www.udec.cl](http://www.udec.cl)

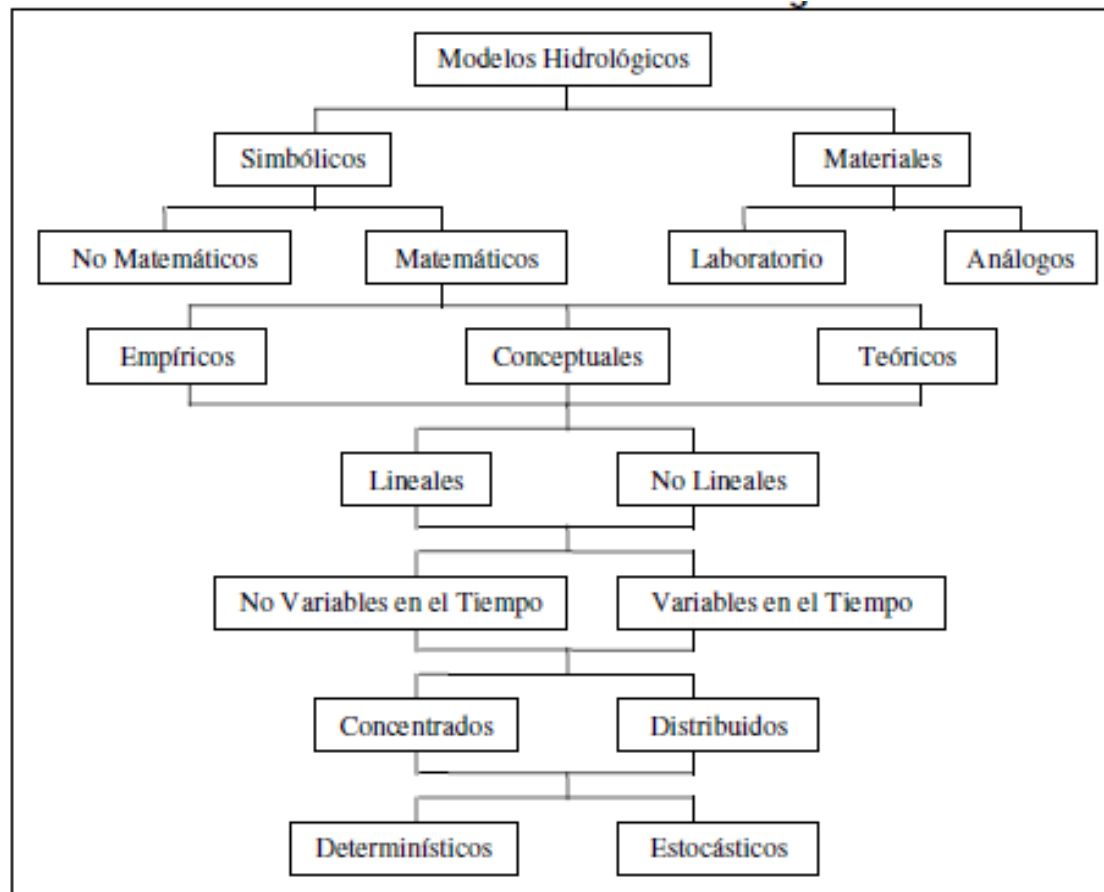
Jorge Nuñez C.  
CAZALAC  
Programa Doctorado UDEC  
[jnunez@cazalac.org](mailto:jnunez@cazalac.org)

Enrique Muñoz  
Programa Doctorado UDEC  
**Julio, 2011**

## **CONTEXTO**

**Un modelo intenta reproducir bajo diferentes formas y procesos un fenómeno físico que ocurre sobre un objeto o territorio. Por lo tanto, en hidrología, un modelo busca representar un territorio delimitado por una divisoria de aguas (cuenca), y los fenómenos de transferencia de lluvia a caudal y de agua en el interior de esta. El objeto de reproducir dichos procesos es el poder simular y predecir condiciones futuras con el fin de actuar desde un punto de vista socioeconómico y de gestión, administración y optimización de los usos del agua.**

# Tipología de modelos en simulación hidrológica



Fuente: Xu (2002).

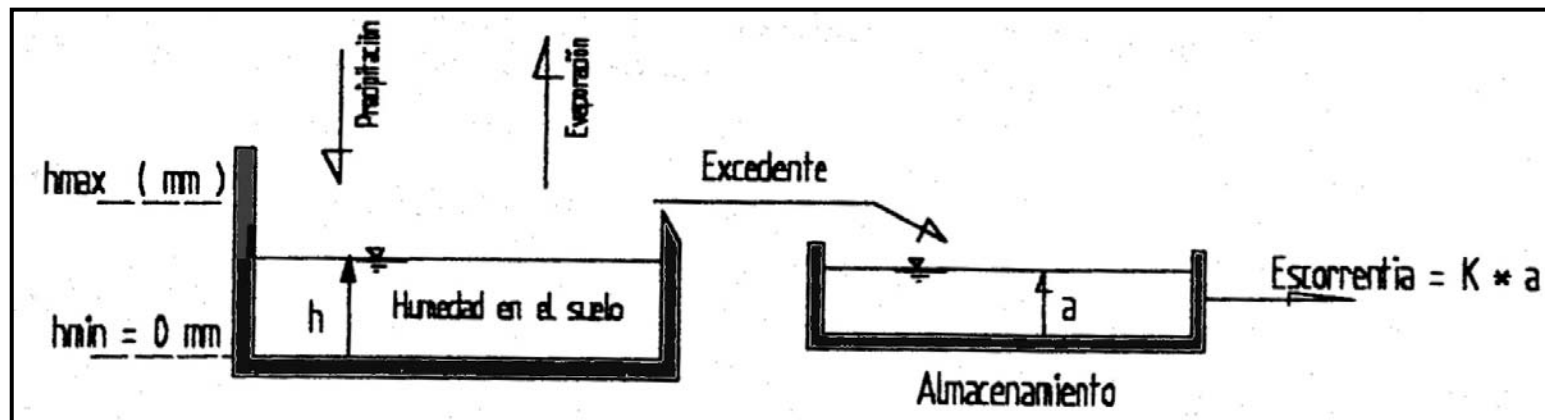


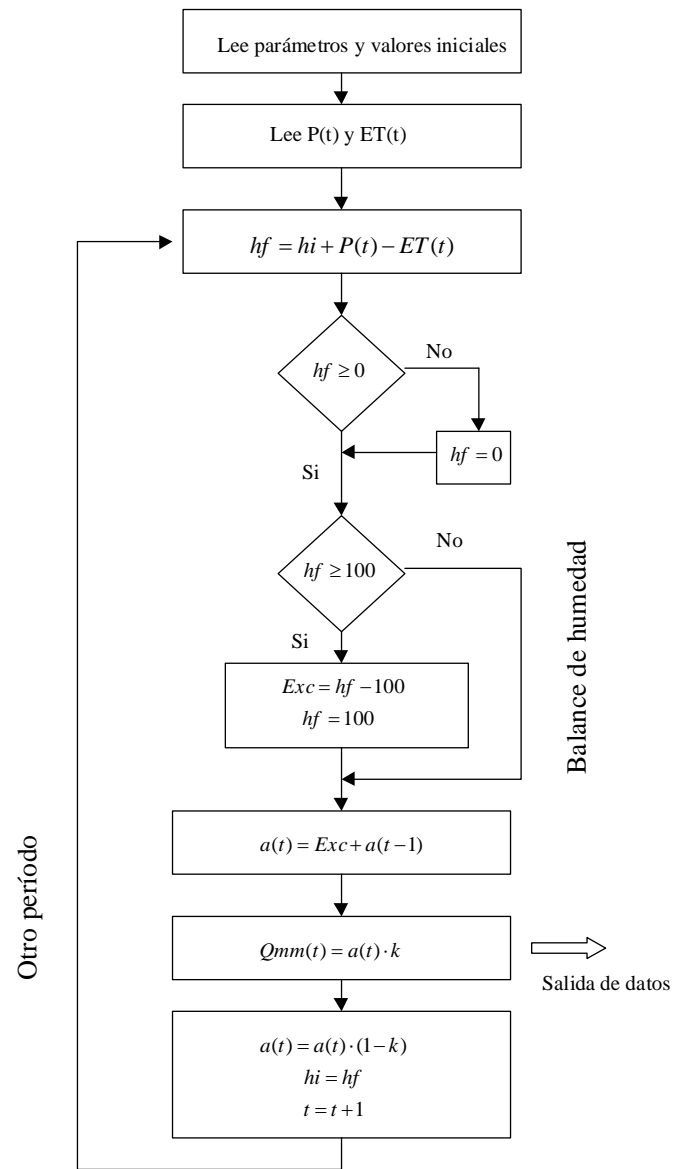
---

# 1. El modelo de Thorthwaite: Ejemplo básico de modelación en hidrología



Este método fue creado en la década del 30 para estimar caudales medios mensuales. Consiste en simular en forma simplificada el proceso precipitación-escorrentía. La simplificación consiste en suponer que el sistema está compuesto por dos estanques. En el primero de ellos se realiza un balance de humedad,





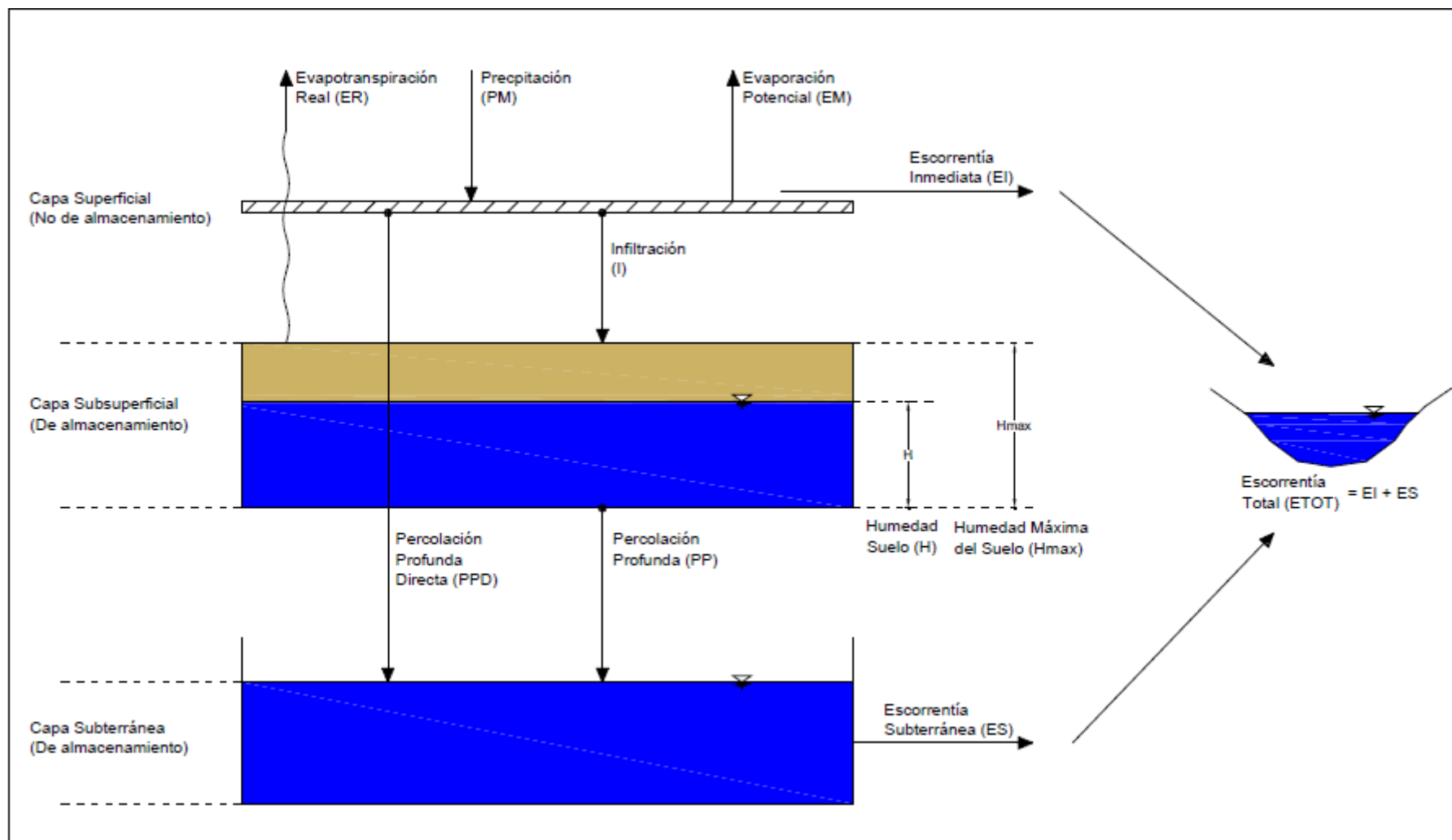




---

# 1. MHM: Esquema conceptual





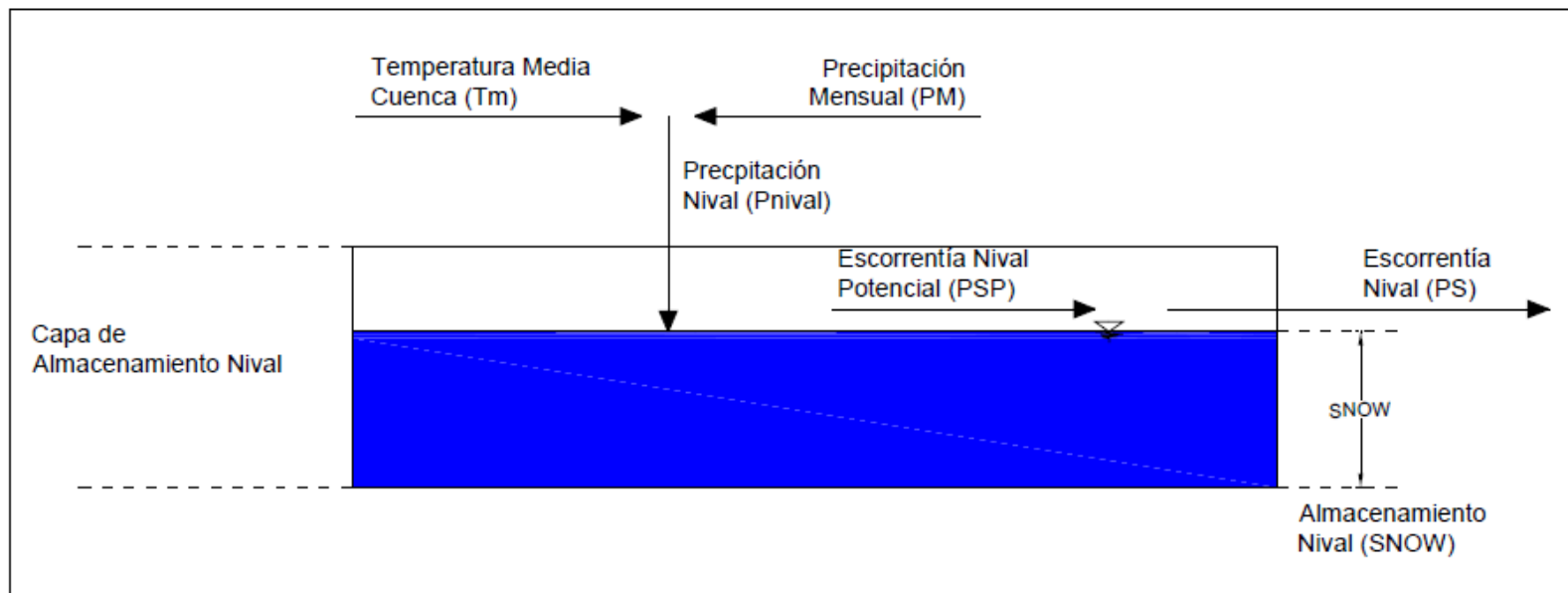
## Modelo original de Ferrer et al (1973)

El modelo MHM es una adaptación del modelo propuesto originalmente por Ferrer et al (1973). Este es un MHM de carácter pluvial que considera la cuenca como un sistema de doble almacenamiento, uno subsuperficial y uno subterráneo, donde la única entrada de agua es la precipitación y las salidas son el flujo subterráneo, el flujo producido por la escorrentía directa y la evapotranspiración. Para esta última el modelo requiere como entrada el valor de la evapotranspiración máxima de la cuenca o potencial. El modelo conceptual se presenta en la siguiente Figura

## Incorporación del componente nival

La componente nival se incorpora como un módulo externo, donde la salida es una escorrentía producida por el derretimiento de nieve, la cual se distribuye entre la Escorrentía inmediata e Infiltración.

Este módulo consiste en un sistema simple de almacenamiento, el cual supone una cuenca imaginaria igual a la cuenca pluvial y ubicada aguas arriba de esta. La entrada de agua es la precipitación nival ( $P_{nival}$ ), la cual se acumula sobre la capa de almacenamiento y posteriormente se derrite en forma de escorrentía.



## Incorporación Módulo de Extracciones y Aportes

**Este módulo tiene como finalidad incluir alteraciones sobre la cuenca y el río, que puedan modificar el régimen natural de caudales y la forma de respuesta de la cuenca. Además permite discretizarla en subcuencas, donde el caudal de salida de una subcuenca es una entrada de la subcuenca situada inmediatamente aguas abajo. Con esto se logra simular una cuenca en forma de varias subcuencas con diferentes características hidrológicas y geomorfológicas además de considerar las alteraciones sobre la cuenca o el río.**



---

## 2. Representación matemática



## Los procesos hidroógicos son representados matemáticamente en términos de ecuaciones

El proceso matemático se describe según la siguiente secuencia.

- Las variables de entrada PM y EM se multiplican por dos parámetros A y B respectivamente. Estos parámetros permiten modificar las variables de entrada, y su uso se justifica en casos donde se sabe que la PM y EM no son representativos de la cuenca, de lo contrario su valor debería ser la unidad.

$$P_{pluvial}(t) = A \cdot PM(t) \quad [3.1]$$

$$ETP(t) = B \cdot EM(t) \quad [3.2]$$

Donde  $P_{pluvial}$  y ETP son la precipitación pluvial y evapotranspiración potencial dependientes del mes (t) respectivamente.

- Conocida la precipitación, el modelo calcula la EI, la cual se determina multiplicando  $P_{pluvial}$  por un coeficiente de escorrentía (C), el cual es una proporción del coeficiente de escorrentía máximo ( $C_{max}$ , parámetro del modelo) que se tiene cuando la capa subsuperficial se encuentra saturada. Dicha proporción se determina como la razón entre la humedad media del suelo entre el mes  $t$  y el mes  $t-1$ , y la máxima capacidad de retención de agua del suelo ( $H_{max}$ ).

$$EI(t) = C(t) \cdot P_{pluvial}(t) \quad [3.3]$$

$$C(t) = C_{max} \cdot \frac{H_{aux}(t) + H(t-1)}{2 \cdot H_{max}} \quad [3.4]$$

A continuación se describe el proceso matemático del módulo.

- Se conoce la temperatura media de la cuenca, la cual se asume representativa en el centro de gravedad de la misma, luego, a partir de la base física se puede determinar la altura del centro de gravedad ( $hcg$ ). Estos dos datos juntos con el gradiente térmico de la zona ( $gT$ ), a través de la ec.3.19 permiten determinar la altura de la isoterma del punto de congelamiento ( $ht0$ ). Esta isoterma se asume como el límite entre la  $P_{pluvial}$  y  $P_{nival}$ .

$$ht0(t) = hcg - \frac{Tm(t)}{FgT \cdot gT(t)} \quad [3.19]$$

Dónde  $FgT$  es un factor que permite modificar el gradiente térmico (parámetro del modelo) y se utiliza para permitir el uso de valores sintéticos de temperatura, los cuales normalmente reducen la variabilidad de la información y por lo tanto se subestima el valor del gradiente térmico. En caso que el gradiente térmico se obtenga en base a mediciones en terreno de temperatura, este factor debería ser igual a uno.

- Con  $ht0$  conocida y con la curva hipsométrica (obtenida a partir de la base física de la cuenca), se determina el área por sobre y bajo la isoterma cero ( $A_{nival}$  y  $A_{pluvial}$  respectivamente) y posteriormente la  $P_{pluvial}$  y  $P_{nival}$ .



---

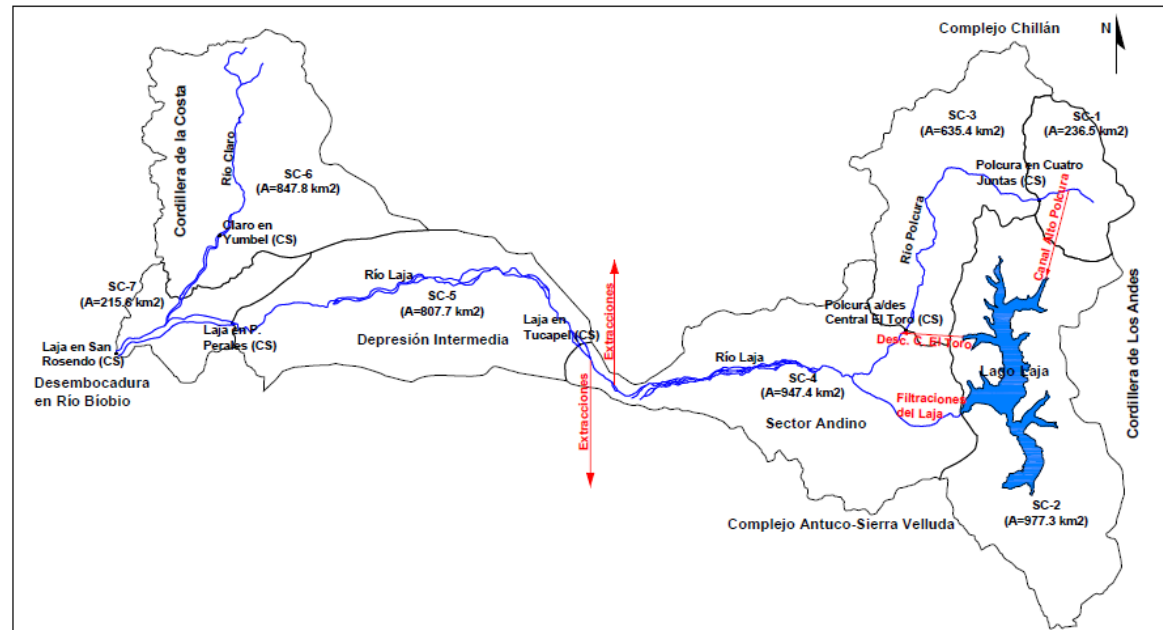
### 3. Experiencias de aplicación

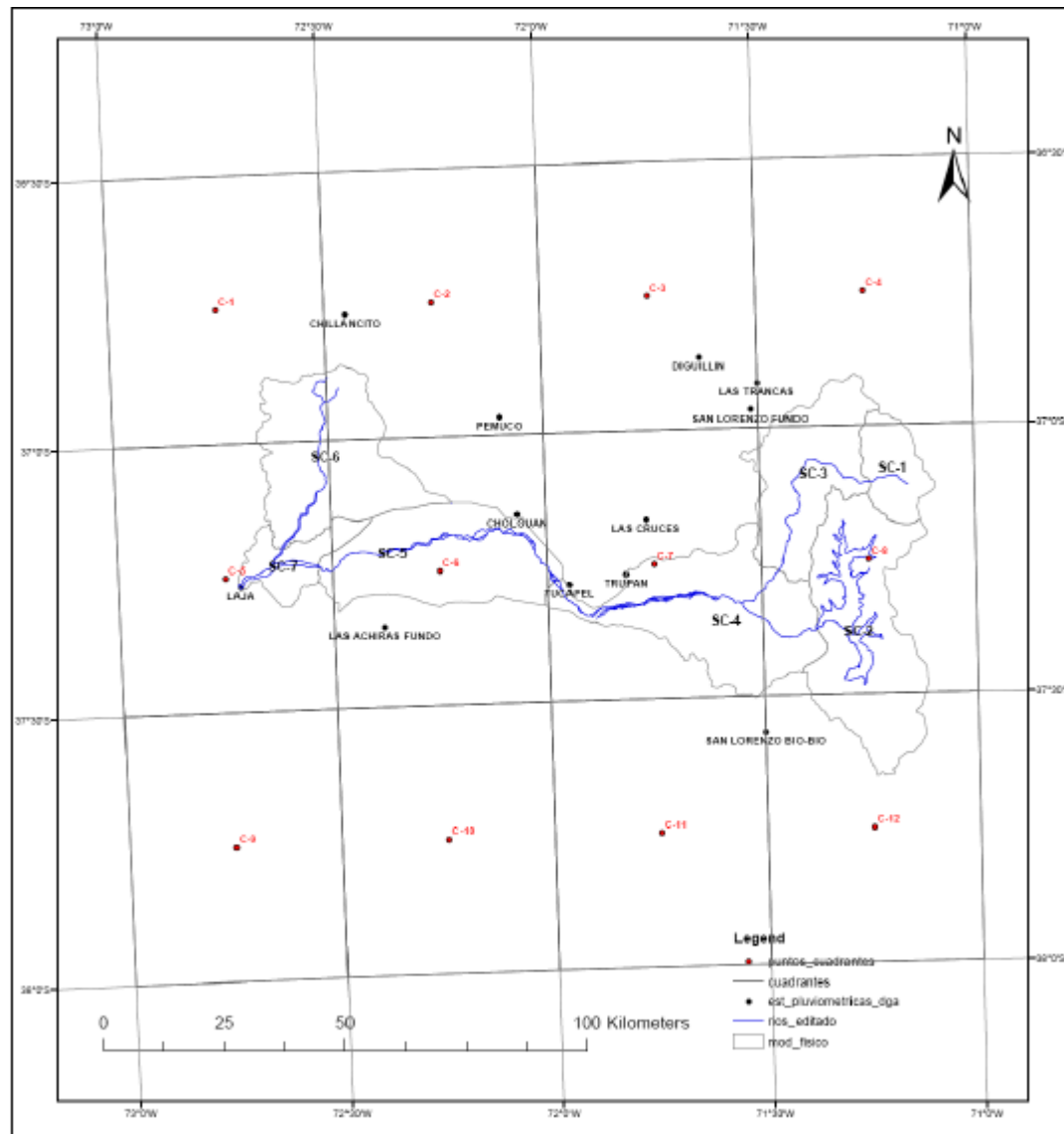


## Modelamiento de la cuenca Laja-Diguillín

El Río Laja es un río de régimen nivo-pluvial de uso múltiple donde se produce una compleja interacción entre los componentes naturales, sistemas económicos y sociales que controlan el uso y manejo de los recursos (Mardones y Vargas, 2005). Sobre este tipo de cuencas, de carácter montañoso y de abundante disponibilidad de recursos hídricos y forestales existe un especial interés ecológico y económico, siendo fundamental en la ordenación territorial y en los planes energéticos nacionales (García-Ruiz, 1990, Sala y Batalla, 1999).

Con el fin de validar el MHM descrito y de comprobar su capacidad de adaptación a una cuenca con alteraciones hidrológicas, este se aplica sobre la cuenca del Río Laja, la cual históricamente ha sido alterada en su régimen por hidroeléctricas, trasvases y extracciones por medio de canales de regadío.





## Resultados

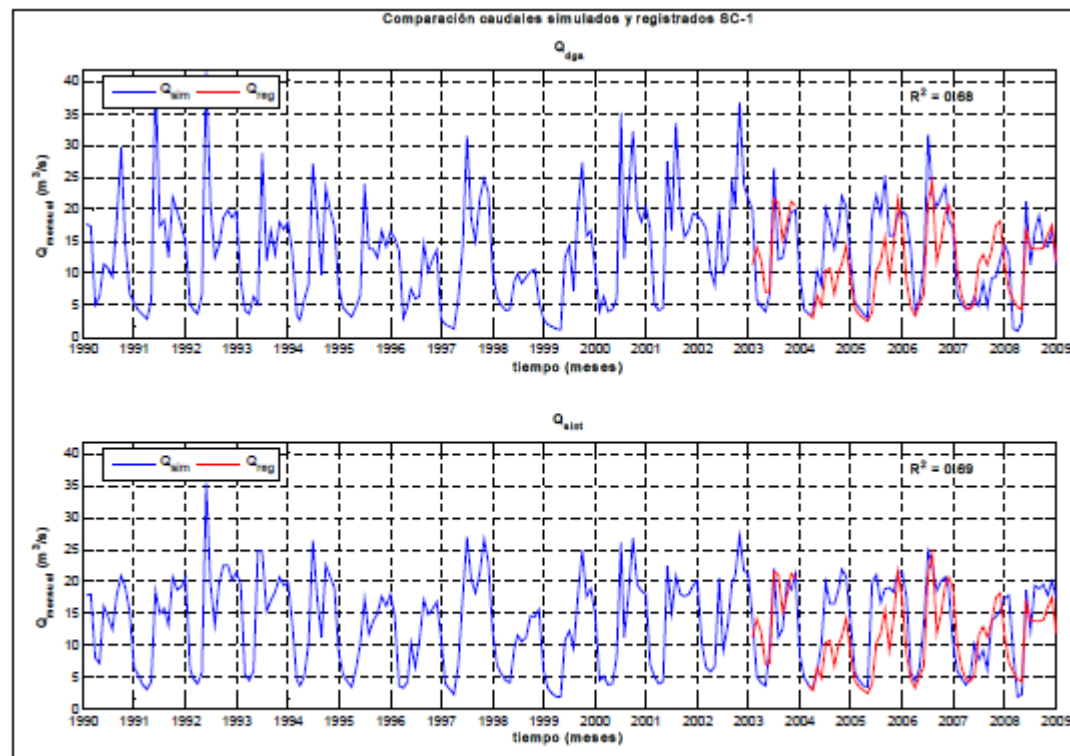


Figura 4.3: Comparación caudales simulados ( $Q_{sim}$ ) y registrados ( $Q_{reg}$ ) de SC-1. Gráfico superior *input*  $PM_{dga}$  y gráfico inferior *input*  $PM_{sintetica}$ .

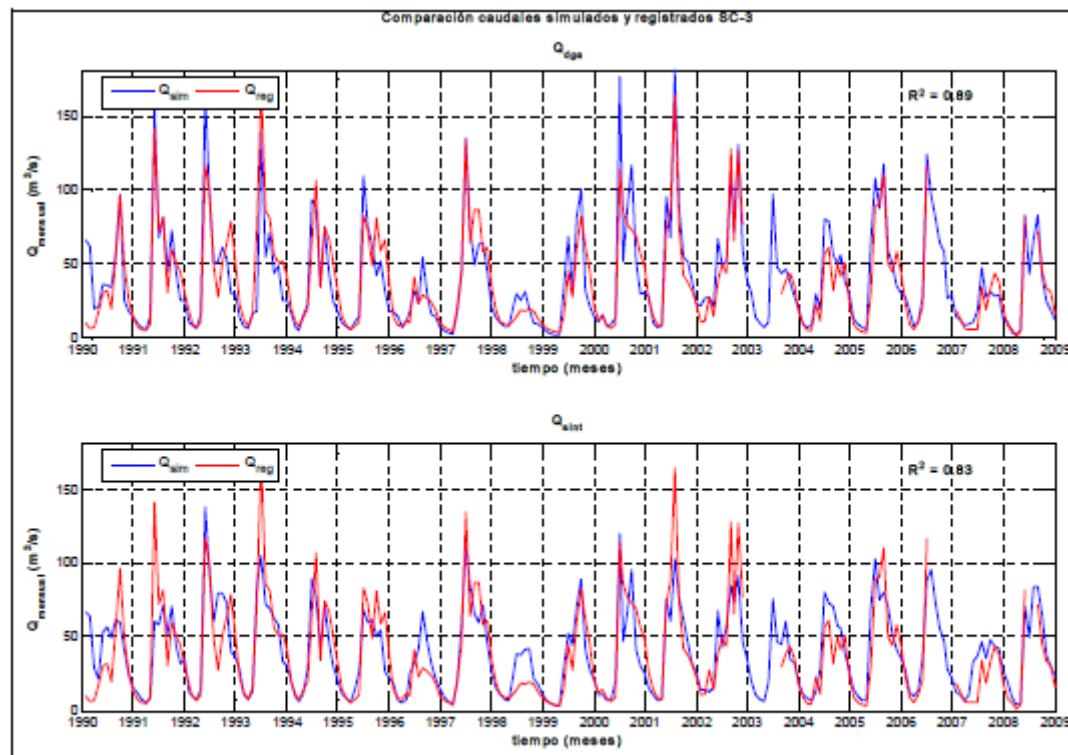


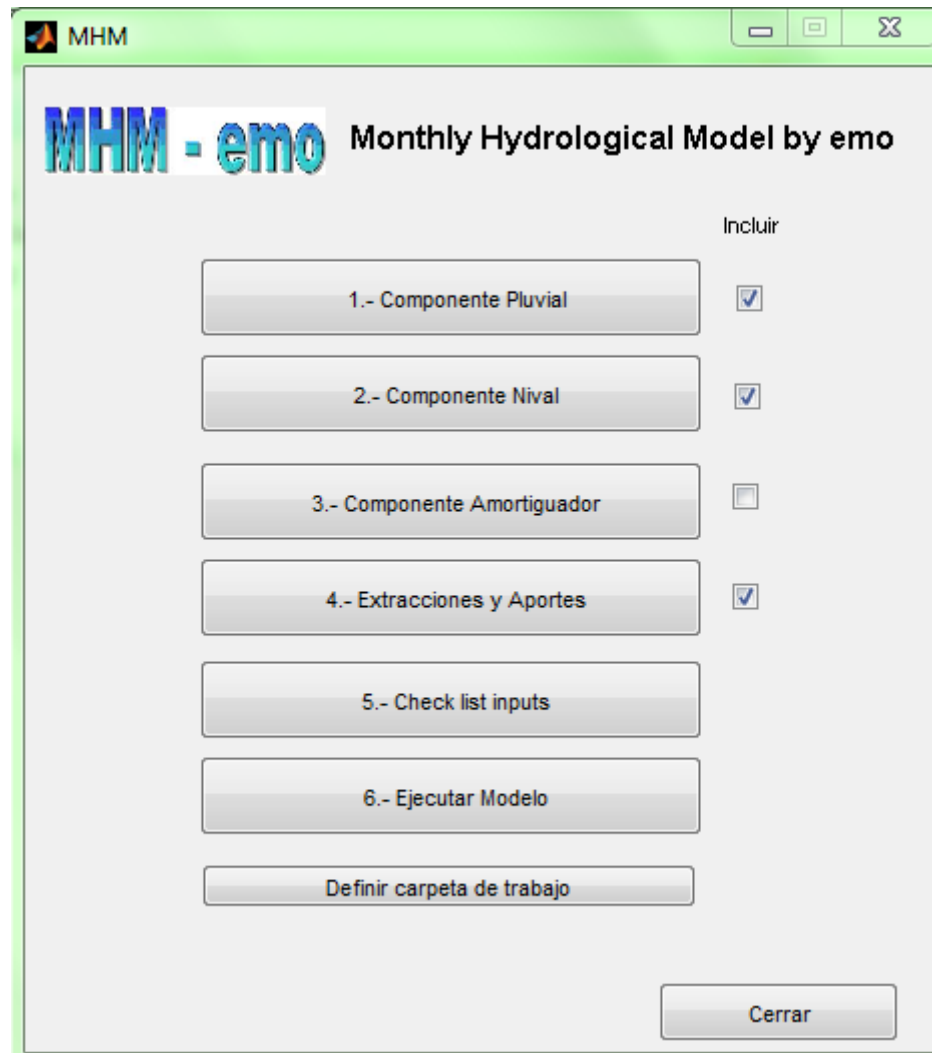
Figura 4.5: Comparación caudales simulados ( $Q_{sim}$ ) y registrados ( $Q_{reg}$ ) de SC-3. Gráfico superior *input*  $PM_{dga}$  y gráfico inferior *input*  $PM_{sintética}$ .



---

## 4. Interface Gráfica de Usuario





Modulo1

### MHM - Componente Pluvial

**Datos de Pm y ETPm**

Cargar Archivo de Datos

Ayuda

**Valores de Partida**

80 H(1) Humedad Inicial

70 ES(1) Esc Subt. Inicial

80 PP(1) Perc prof inicial

**Características de la Cuenca**

236.5 Area cuenca [km2]

**Variables del Modelo (Parametros Fisicos)**

0.35 Cmax Coeficiente de escorrentia maximo

150 Hmax Humedad maxima que puede retener el suelo [mm]

35 D [%] de P sobre la cual Plim se convierte en perc. prof.

50 Plim P sobre la cual se recarga el acuífero [mm]

0 PORC [%] que define Hcrit, sobre dicho valor no existe dificultad para la ET

0.2 Ck Coeficiente de escorrentia subterranea

**Parametros de Ajuste de los Inputs**

1 A Parametro de ajuste de la PP

1 B Parametro de ajuste de la ETP

<< Atras

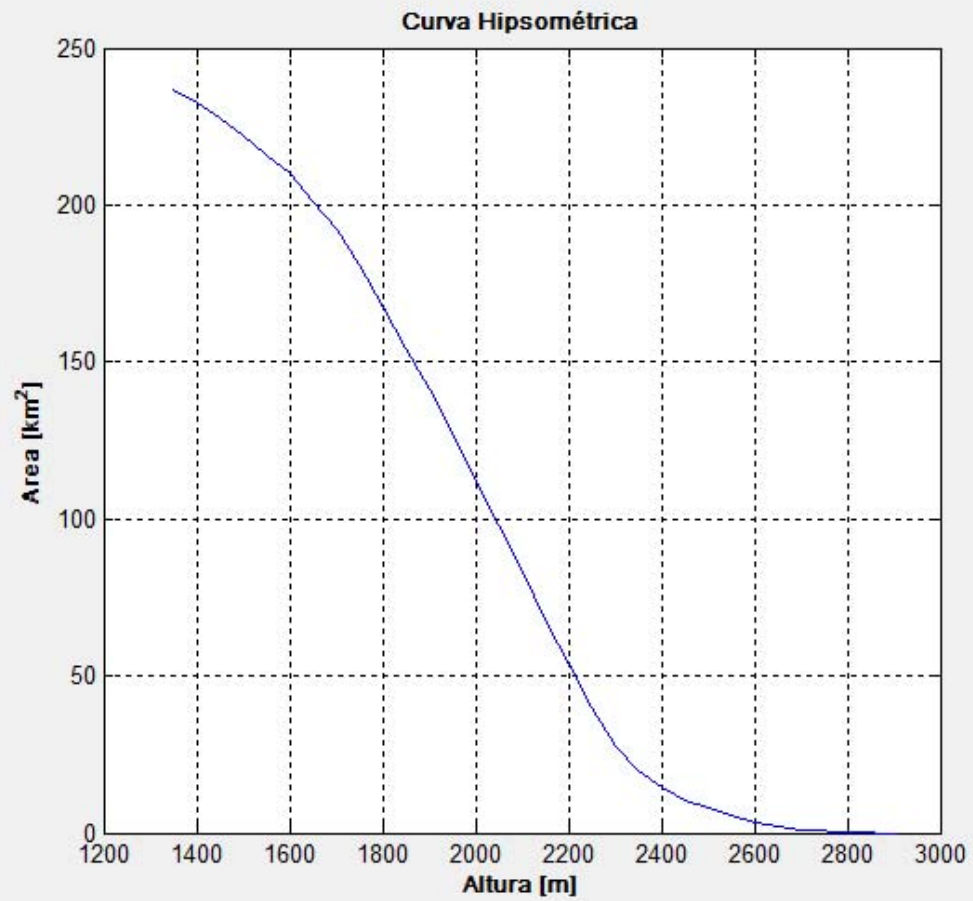
Guardar y Continuar >>

## Variables y Parametros

- 1679 hcg [m] Altura del cg de la cuenca
- 1.85 FgT Factor de modificacion del gT
- gT gT [°C/1000 m] Gradiente de temperatura
- 150 SNOW(1) [mm] Almacenamiento inicial
- 10.5 M Parametro modelo °C-dia
- 0 Tb [°C] T base de inicio del derretimiento
- 0.1 DM Coeficiente de derretimiento minimo
- 0.8 F Coef. de transf. de derretimiento a EI

## Datos de Tm

## Curva Hipsometrica





**Gracias por su  
atención!!**

[www.cazalac.org](http://www.cazalac.org)

[jnunez@cazalac.org](mailto:jnunez@cazalac.org)

**Julio, 2011**