

UTILIDAD DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL: EL CASO DE LA CUENCA DEL RÍO CHILLÁN

P. Debels, W. Brevis, O. Link, J. Vargas

Centro EULA, Universidad de Concepción, Chile

VVOB, Asociación Flamenca para la Cooperación al Desarrollo y Apoyo Técnico, Bélgica

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile



INTRODUCCION:

el estudio de la calidad ambiental

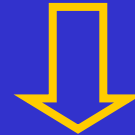
Monitoreo Ambiental
toma y análisis de
muestras



¿como es la calidad?

- ↪ ahora
- ↪ en este punto

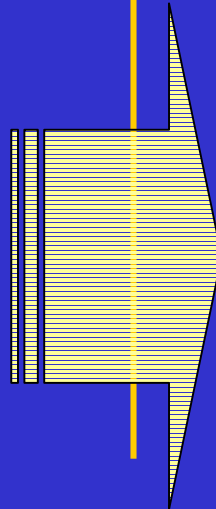
Construcción de
modelos matemáticos



¿como será la calidad?

- ↪ en otros puntos
- ↪ en otros momentos

¿porqué será así?



INTRODUCCION:

el estudio de la calidad ambiental

¿como será la calidad?

↗ en otros puntos

↗ en otros momentos

¿porqué será así?

obtener una
idea aproximada

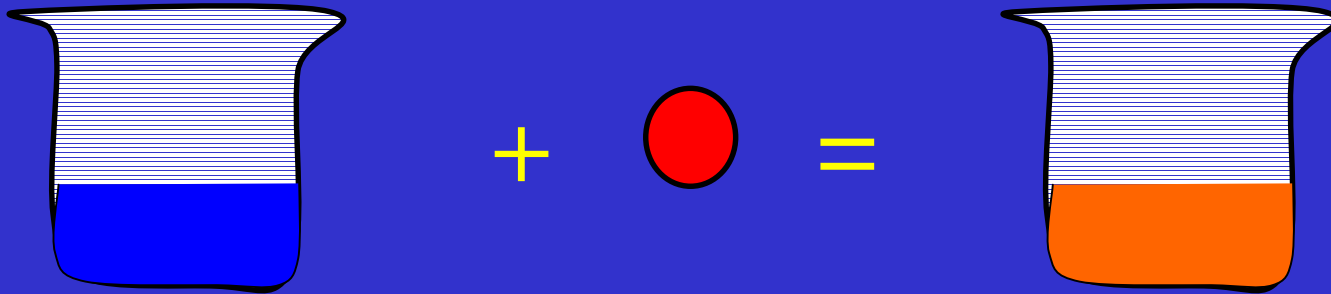
obtener valores
cercanos a la realidad

¡Se requiere de un muy buen conocimiento de la cuenca!

¡¡BASE DE DATOS AMBIENTALES!!

INTRODUCCIÓN:

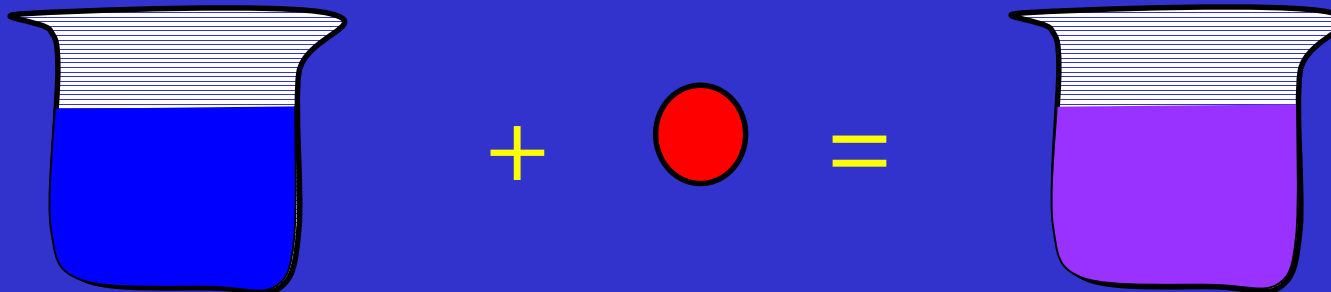
...2 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA



CALIDAD DEL AGUA =

f (características_DESCARGA)

f (características_CUERPO RECEPTOR)



...EL ASPECTO TIEMPO:

□ CARACTERISTICAS DESCARGAS:

...algunas descargas = \pm constante en el tiempo

....otras descargas = altamente variables ($f[\text{tiempo}]$)

□ CARACTERISTICAS CUERPO RECEPTOR:

....durante algunos momentos del año = \pm constante en el tiempo

...durante otros momentos = altamente variables ($f[\text{tiempo}]$)

...LA CONTAMINACIÓN:

□ FUENTES PUNTUALES

- continuas / c. características constantes
- continuas / c. características variables
- instantáneas / discontinuas

□ FUENTES DIFUSAS

- altamente variables en el espacio
- altamente variables en el tiempo

CONSECUENCIAS:
IMPORTANCIA DE LA CONTAMINACIÓN
EN EL CASO DE
LA CUENCA DEL RÍO CHILLÁN

❑ Verano (caudales bajo):

→ contaminación por fuentes puntuales

❑ Invierno (caudales altos – escorrentía superficial):

→ contaminación por fuentes difusas

✓ fuentes rurales

✓ fuentes urbanas

❑ Cualquier momento del año después de evento de lluvia:

→ ¿fuentes puntuales y difusas?

...EN EL PRESENTE PROYECTO:

- ❑ Estudio del tiempo de viaje y de la dispersión longitudinal en diferentes tramos del Río Chillán, bajo diferentes condiciones de caudal**
- ❑ Modelación de la calidad del agua en el Río Chillán aguas abajo de la descarga de aguas servidas urbanas (DBO y OD)**
- ❑ Modelación del fenómeno de precipitación-escorrentía en la Cuenca del Estero Quilmo, como base para la modelación de la contaminación difusa**

LA DISPERSIÓN LONGITUDINAL EN DIFERENTES TRAMOS DEL RÍO CHILLÁN BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CAUDAL

Patrick Debels^{1,3}, Oscar Link², Wernher Brevis², Jose Vargas²

¹Centro EULA, Universidad de Concepción, Chile

²Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile

³VVOB, Asociación Flamenca para la Cooperación al Desarrollo y Apoyo Técnico, Bélgica



CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN HIDRÁULICA

¿Qué influye en las características hidráulicas de un río?

- pendiente del eje longitudinal**
- rugosidad del lecho**
- la geomorfología**
- el caudal**

Ecuación de Manning:

$$v = (1/n) \cdot S^{0.5} \cdot (A/P)^{2/3}$$

v = velocidad del agua [m/s]

S = pendiente del eje del río [m/m]

A = area transversal [m²]

P = perímetro mojado [m]

Ecuación General de un modelo de Calidad de Aguas

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla(D_L \nabla(C)) - \nabla * (C \vec{V}) \pm R$$

Término Dispersivo

Término Advectivo

R: Reacciones Internas o Fuentes y Demandas externas

Análisis de sensibilidad de la ecuación de Manning:

La ecuación de Manning parece ser muy sensible a:

- 1./ El coeficiente de Manning**
- 2./ El nivel del agua**
- 3./ La pendiente del eje del río**

La ecuación de Manning parece ser poco sensible al ancho del río, cuando éste es mucho mayor a la profundidad (sección rectangular)

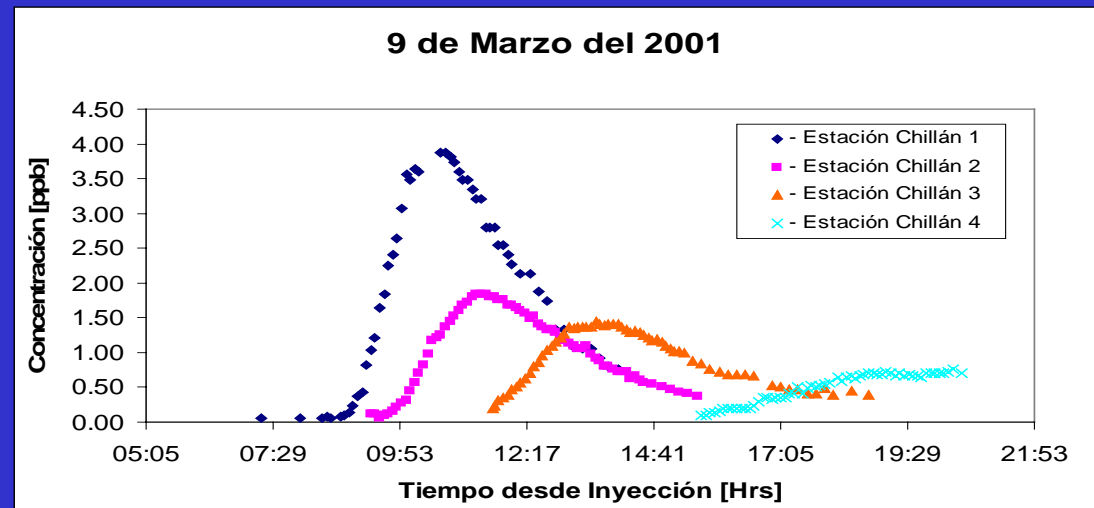
CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN HIDRÁULICA

Método alternativo: uso de trazadores:

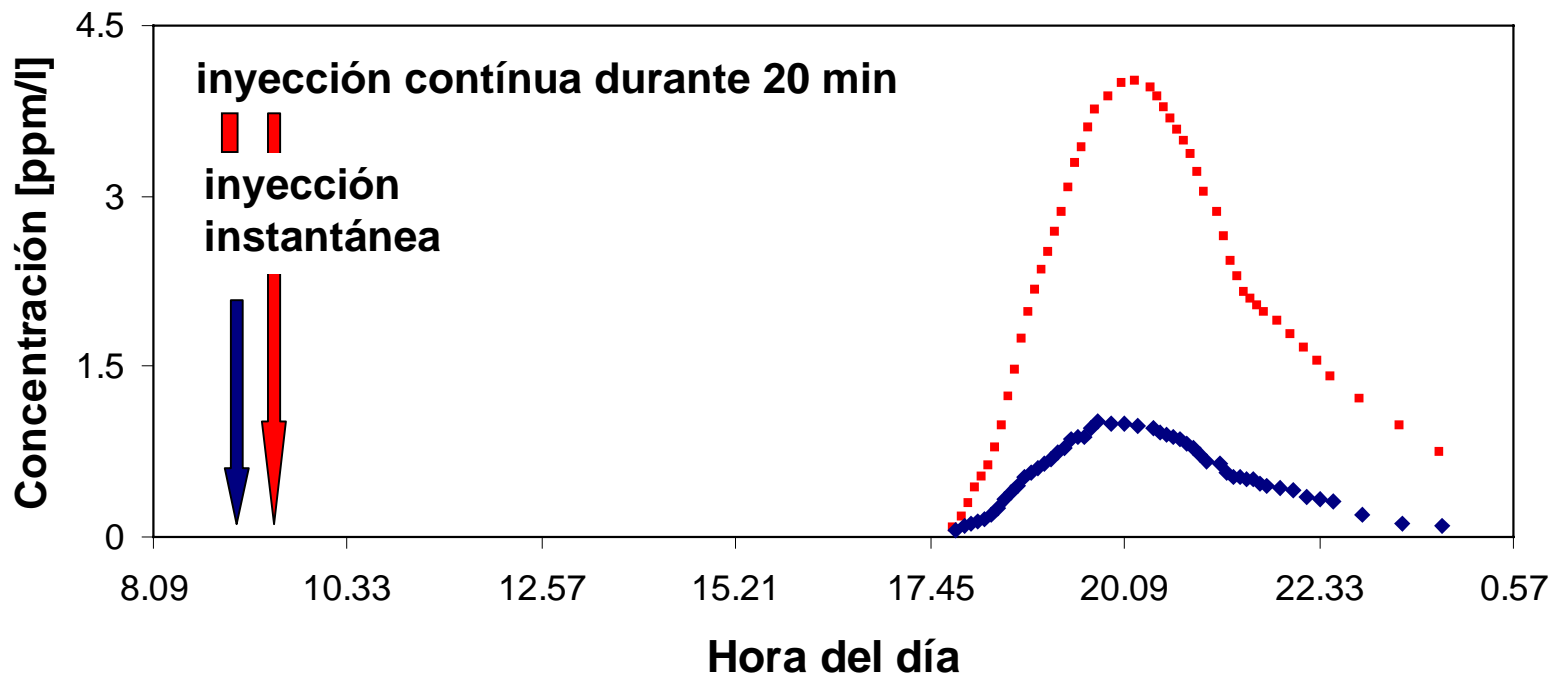
- ✓ Determinación de velocidad
- ✓ Determinación de dispersión
- ✓ Determinación de almacenamiento transitorio

CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN HIDRÁULICA

Método alternativo: uso de trazadores:



Comparación del efecto de una descarga instantánea de 20 kg y de una descarga de 4 kg/min durante 20 min (total 80 kg)



Demostración del principio de la sobreposición para la simulación del efecto de descargas semi-contínuas en base a los resultados de experimentos con Rhodamina WT

LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO CHILLÁN AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA DE AGUAS SERVIDAS URBANAS

Patrick Debels^{1,3}, Oscar Link², Wernher Brevis¹

¹Centro EULA, Universidad de Concepción, Chile

²Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile

³VVOB, Asociación Flamenca para la Cooperación al Desarrollo y Apoyo Técnico, Bélgica



MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

caracterización de los procesos físico-químicos y biológicos que influyen en la calidad del agua

- determinar los parametros a modelar
- definir red de muestreo
- medir la calidad del agua en los diferentes puntos ($\int f(T)$?)
- estimar/medir coeficientes de reacción
- calibrar/validar el modelo

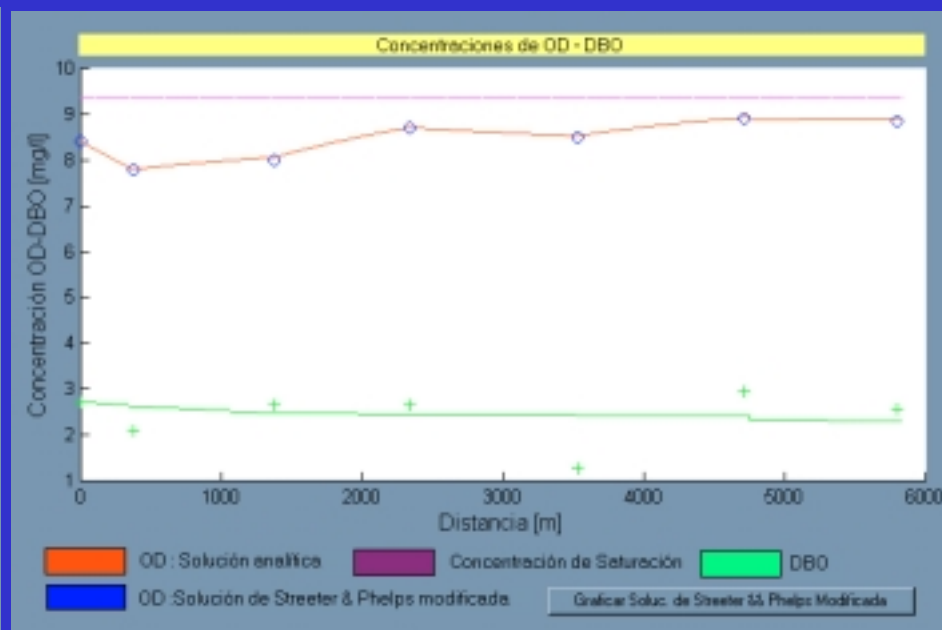
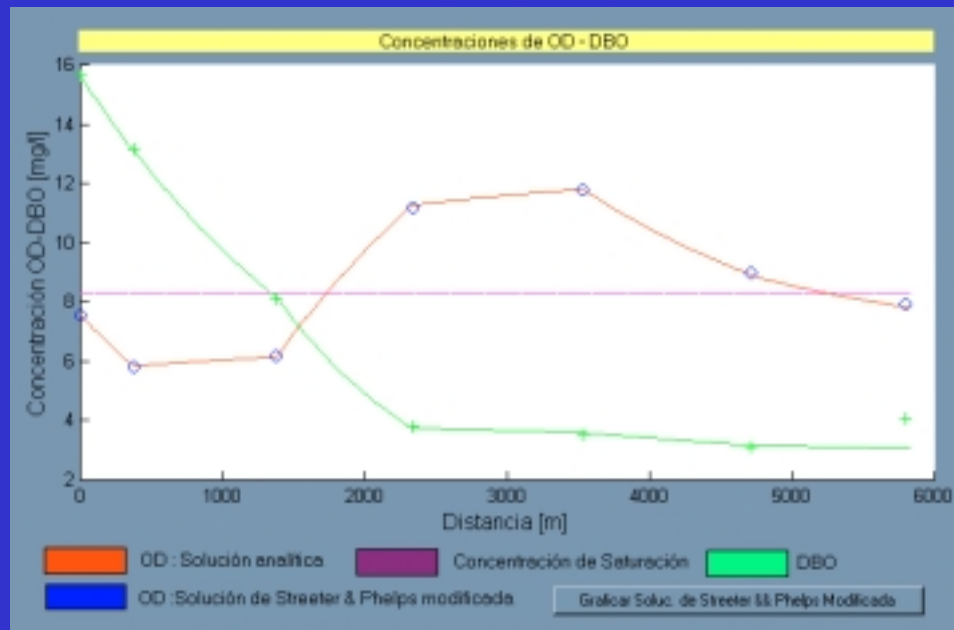
COMBINACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO CON UN SIG:

VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS



...ALGUNAS CONCLUSIONES:

...el efecto de la planta de tratamiento de aguas servidas
sobre la calidad del agua...



15 de febrero del 2001

21 de marzo del 2001

...ALGUNAS CONCLUSIONES:

Ya que la extensión del sector del Río Chillán donde se registró la contaminación orgánica más fuerte (durante estiaje) fue muy limitado, el modelo de calidad del agua fue sólo aplicado a este sector y no a tramos más largos

...ALGUNAS CONCLUSIONES:

En el caso de estudio, se notó una importante variabilidad temporal en las características de la descarga de aguas servidas, principal fuente de contaminantes ⇔ el modelo utilizado = de régimen permanente

Bajo estas condiciones, no fue posible obtener suficientes sets de datos para calibrar y validar el modelo

Además, el alto grado de intervención en la morfología del río hace muy difícil la caracterización hidrodinámica ⇔ se requiere de mayor investigación del efecto (en periodo de estiaje) de la construcción temporal de las barreras para embalsar y desviar agua para riego, la extracción de áridos etc.

...ALGUNAS CONCLUSIONES:

Los modelos clásicos de calidad del agua no consideran el 'almacenamiento transitorio' (intercambio de agua entre, por ejemplo, el canal principal y las zonas muertas o los remolinos)

Sin embargo, los experimentos realizados en la cuenca parecen indicar que los efectos del 'almacenamiento transitorio' sobre la calidad del agua pueden ser significativos, sobre todo en período de estiaje

Se estima que esto es válido no sólo para el Río Chillán pero para muchos ríos Chilenos, debido a sus características geomorfológicas

...ALGUNAS CONCLUSIONES:

Una investigación más detallada de estos efectos puede ser de alta relevancia para la modelación de la calidad del agua en Chile

El nivel relativamente elevado del ‘almacenamiento transitorio’ es resultado de la alta heterogeneidad geomorfológica de los ríos naturales, generando así secuencias de pequeños bio-reactores

Esta heterogeneidad morfológica se pierde en ríos canalizados

OBSERVACIÓN IMPORTANTE:

METODO SIMPLE Y APROXIMADO PARA ESTIMAR IMPACTO DE UNA DESCARGA: BALANCE DE MASA CONSERVATIVO

- ❑ Río A con caudal Q_A y concentración C_A de un determinado contaminante
- ❑ Descarga (o tributatio) B con caudal Q_B y concentración C_B del mismo contaminante
- ☞ Simple balance de masa: concentración en el río A después de la descarga (mezcla completa):

$$C_{A,\text{después}} = (Q_A * C_A + Q_B * C_B) / (Q_A + Q_B)$$

UN MODELO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA PARA UNA CUENCA HÍDRICA DE LA ZONA CENTRO-SUR CHILENA CON USO DE SUELO AGRÍCOLA Y FORESTAL

Patrick Debels^{1,3}, Oscar Link², Wernher Brevis¹

¹Centro EULA, Universidad de Concepción, Chile

²Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile

³VVOB, Asociación Flamenca para la Cooperación al Desarrollo y Apoyo Técnico, Bélgica



ÁREA DE ESTUDIO

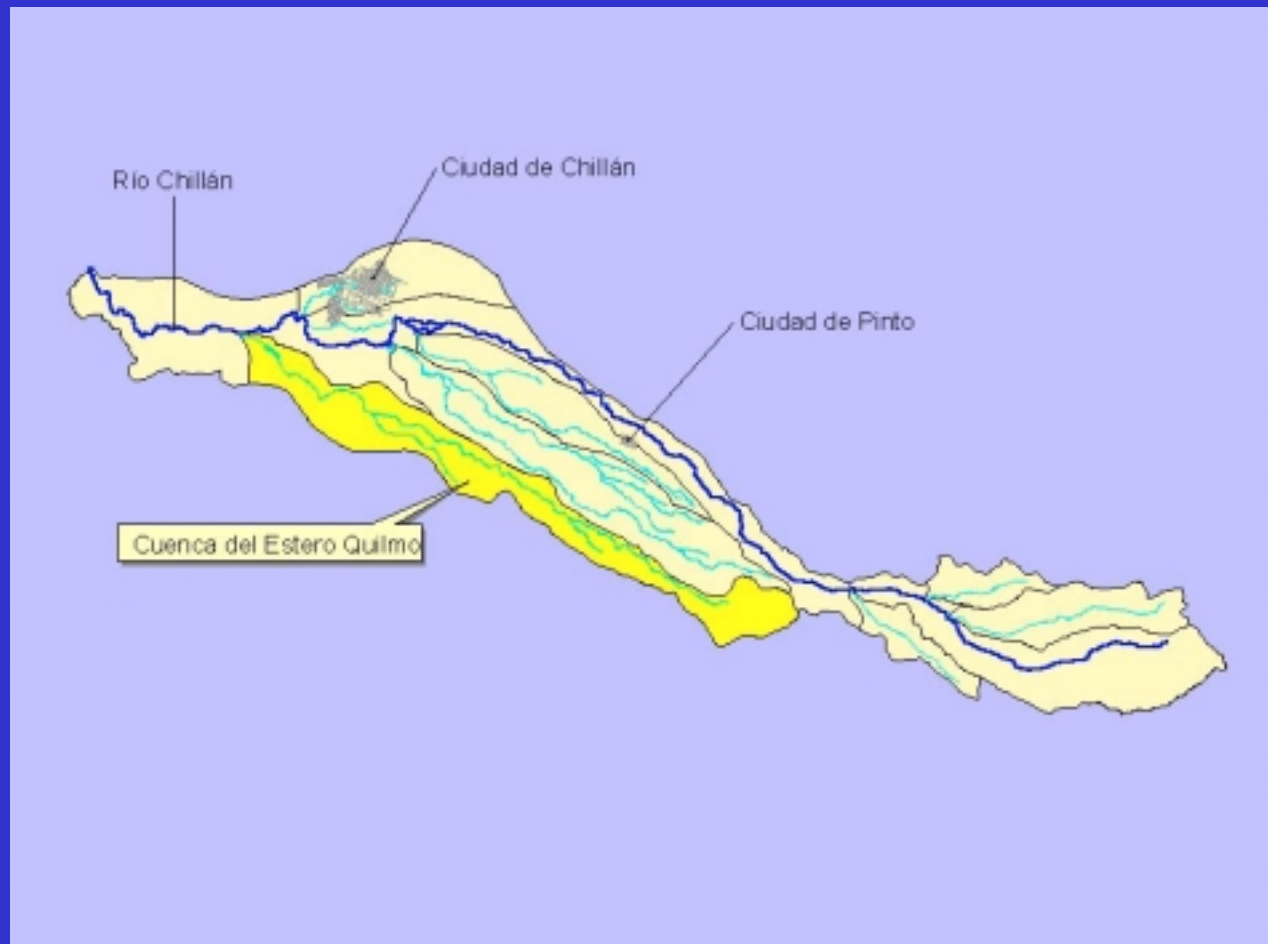


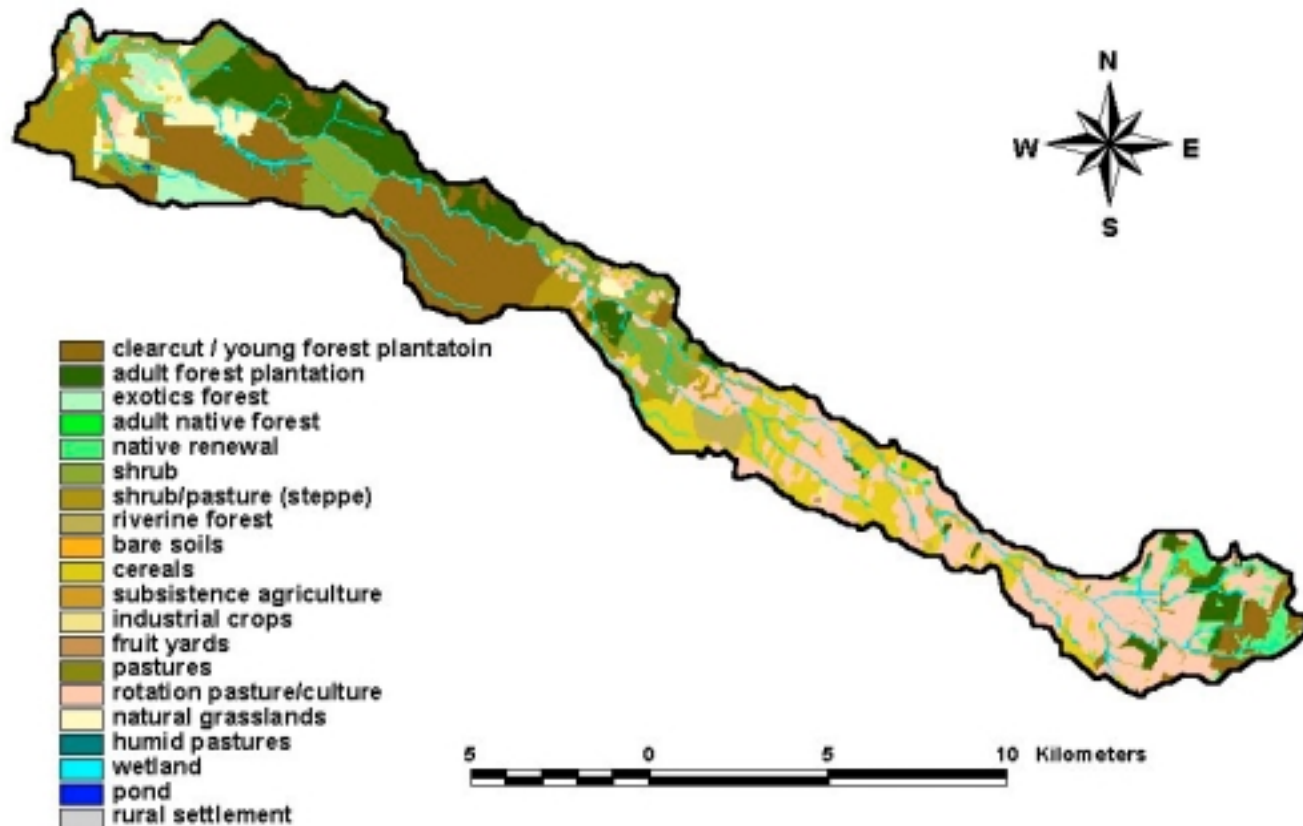
Figura: Ubicación de la Cuenca del Estero Quilmo dentro de la Cuenca del Río Chillán

LA CUENCA DEL ESTERO QUILMO

- ➔ Superficie total: aprox. 114 km²
- ➔ Elevaciones: desde 87 a 725 m s.n.m.
- ➔ Lomajes suaves
- ➔ Clima mediterránea
- ➔ Precipitación anual (salida): 1076 mm
- ➔ Uso del suelo: agricultura y plantaciones forestales
- ➔ $Q_{\text{mean,annual}} = 2,24 \text{ m}^3/\text{s}$
- ➔ $Q_{\text{min,daily}} = 0,012 \text{ m}^3/\text{s}$
- ➔ $Q_{\text{max,daily}} = 48,30 \text{ m}^3/\text{s}$

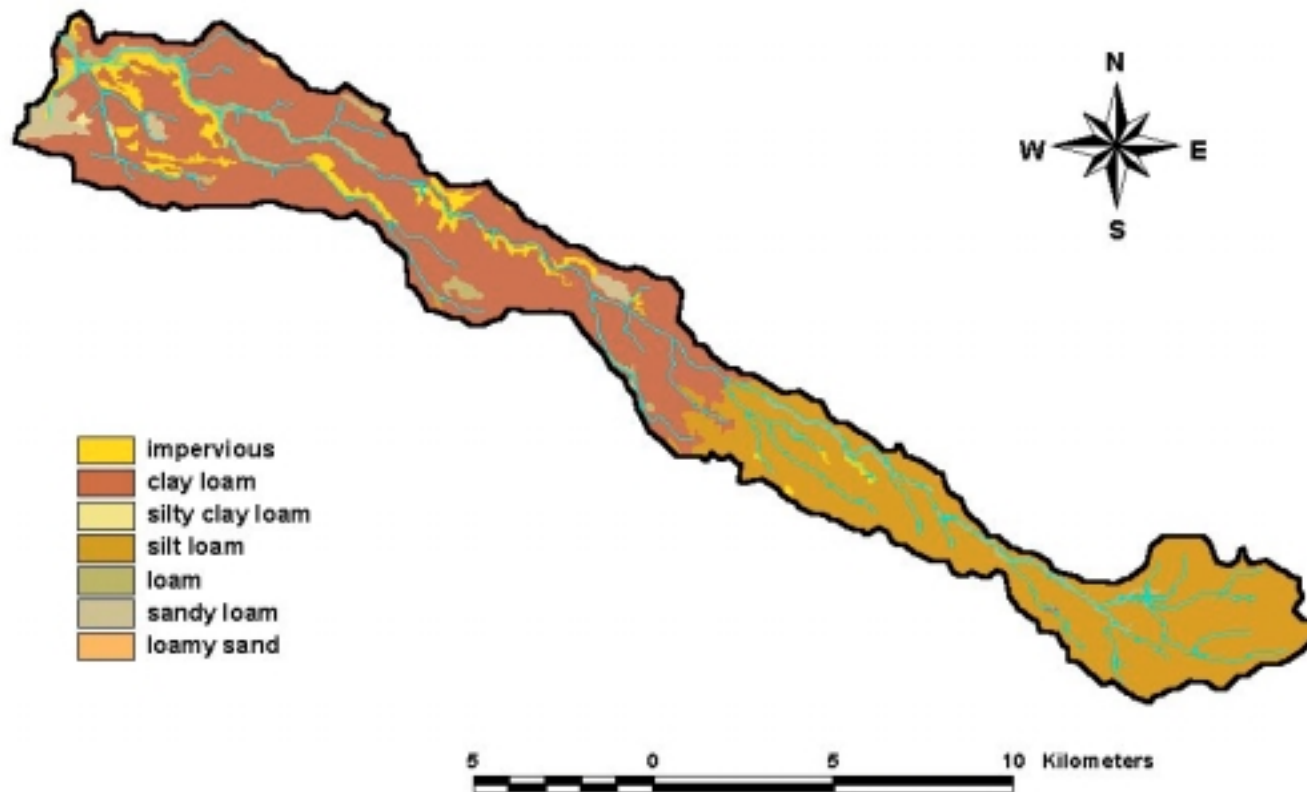
USO DEL SUELO

Land Use in the Quilmo Watershed

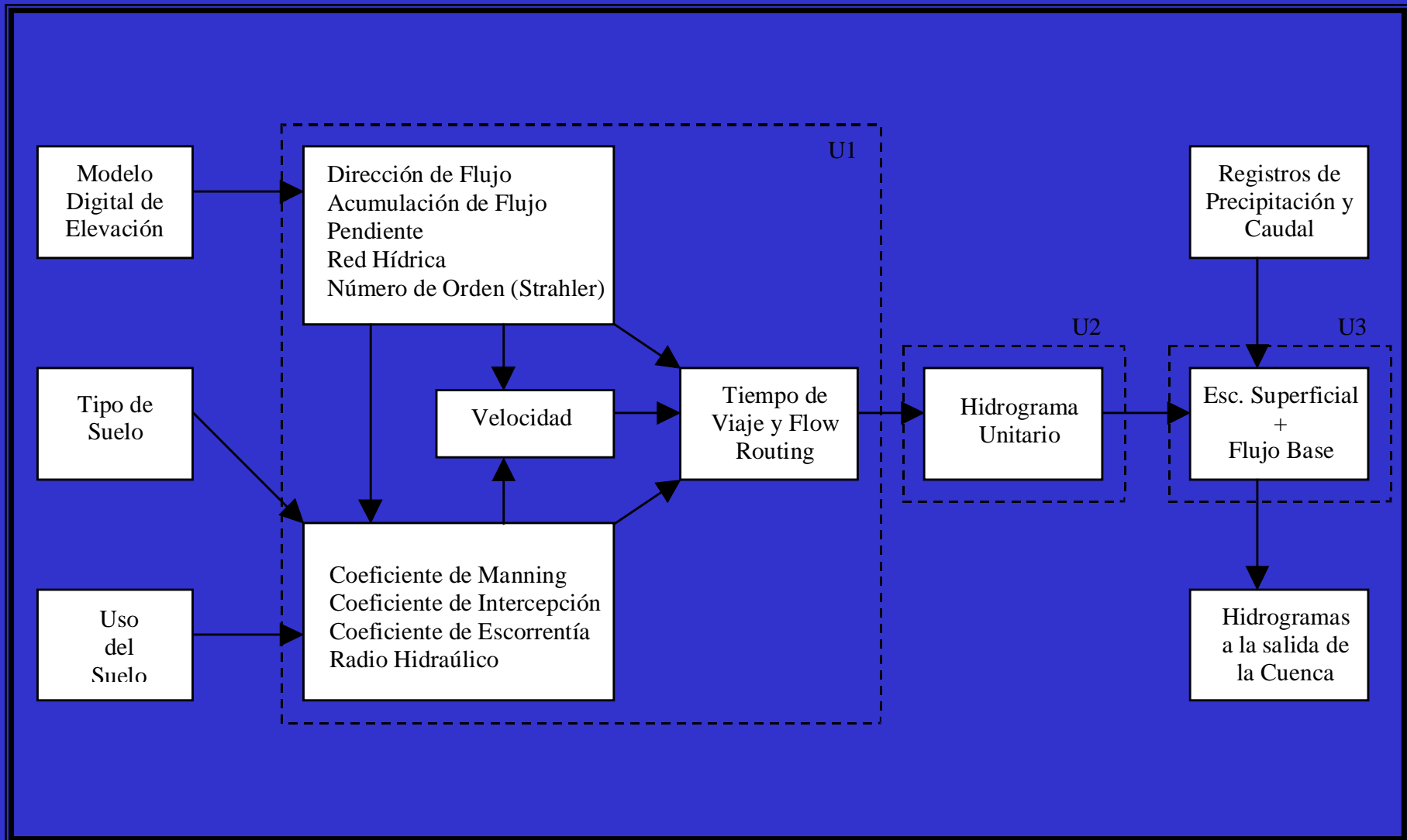


SERIES DE SUELO

Soil Types in the Quilmo Watershed



METODOLOGÍA



METODOLOGÍA

Ecuaciones:

Diffusive wave aproximation

(De Smedt et al., 2000)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} - c \frac{\partial Q}{\partial x}$$

D = wave damping coefficient

C = wave celerity

$$D = \frac{vR}{2s} \quad c = \frac{5}{3} v$$

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{s}$$

Response function (hydrograph)

$$Q(t) = V \frac{(1/2 + t_0 / t)}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[- \frac{(t - t_0)^2}{2\sigma^2} \right]$$

$$t_0 = \int \frac{dx}{c}$$

$$\sigma = \sqrt{\int \frac{2D}{c^2} dt} \approx \sqrt{\int \frac{2D}{c^3} dx}$$

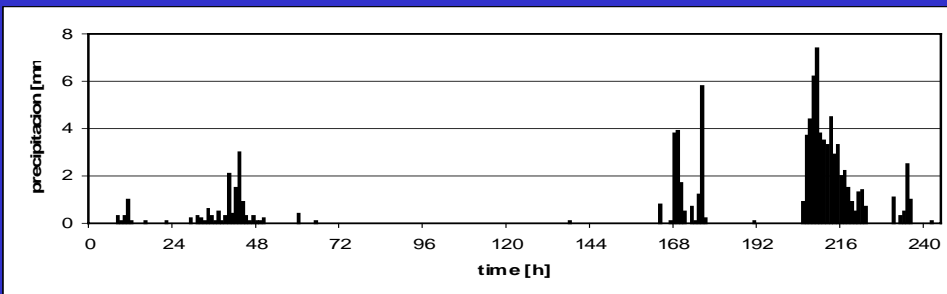
$$Q_i = \int_0^t A_i R_i(\tau) q_i(t - \tau) d\tau$$

$$Q_{total} = \sum_{i=1}^n [Q_i(t)]$$

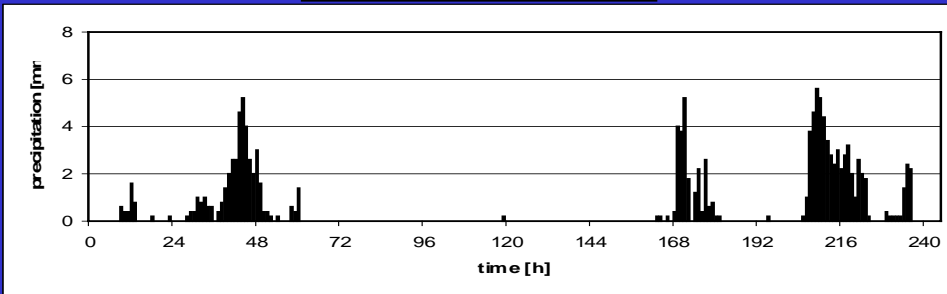
METODOLOGÍA

Instrumentación de la cuenca:

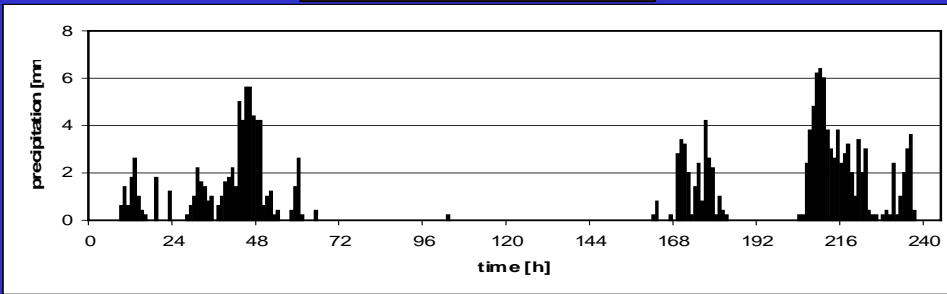
- *Limnómetro: ¿cantidad y ubicación? – ¿es suficiente con 1?*
- *Pluviómetro: ¿cantidad y ubicación? -¿es suficiente con 1?*
- *¿Otros datos meteorológicos?*



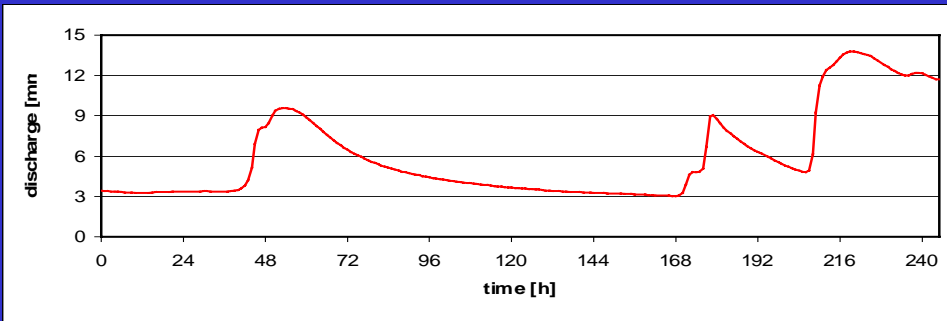
Quilmo Station



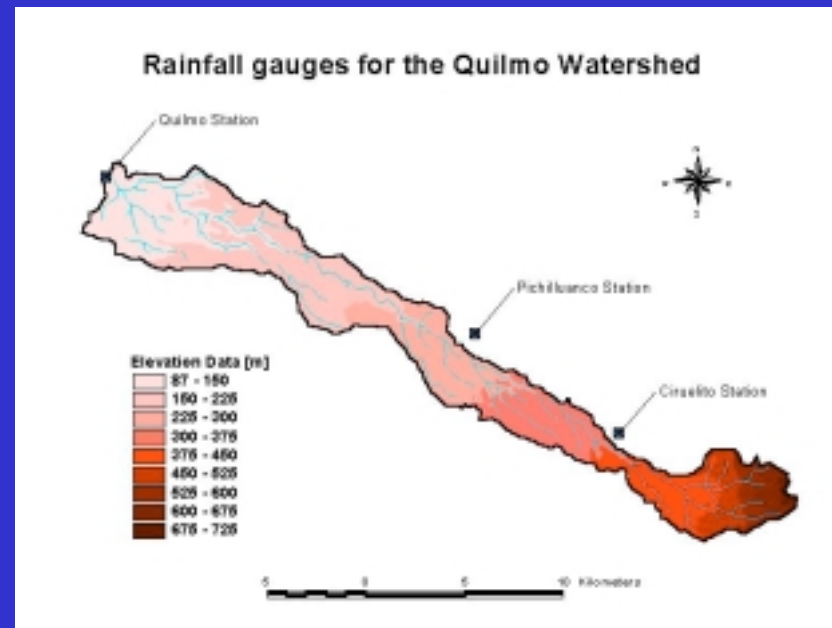
Pichilluanco Station



Ciruelito Station



Quilmo Limnigraph



04/06/01-14/06/01			
STATION	TOTAL_P [mm]	%DIFF	MAX [mm]
Quilmo (REF)	93.1	0.0	7.4
Pichilluanco	131.4	41.1	5.6
Ciruelito	176.2	89.3	6.4

23/05/01-05/07/01			
STATION	TOTAL_P [mm]	%DIFF	MAX [mm]
Quilmo (REF)	450.0	0.0	10
Pichilluanco	638.6	41.9	13.8
Ciruelito	786.0	74.7	14.8

Importancia de la evapotranspiración durante los diferentes meses del año

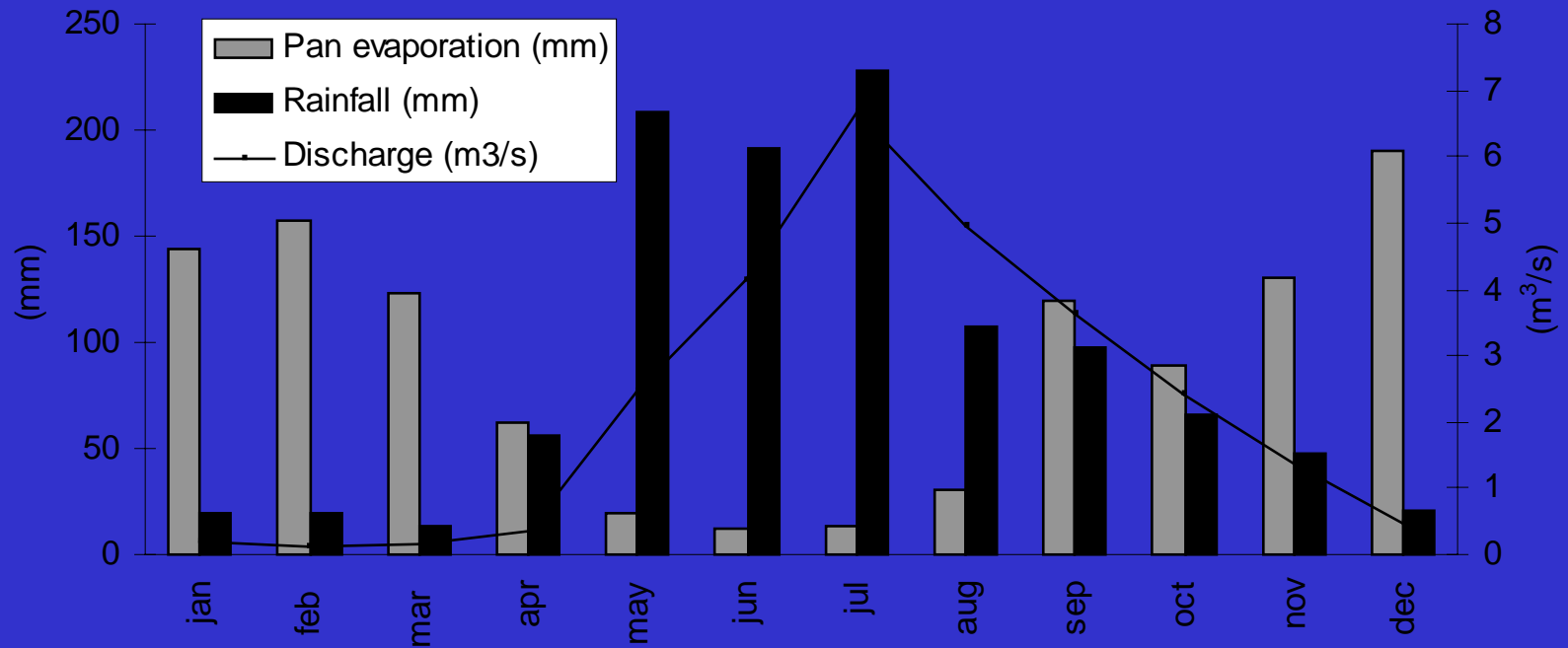


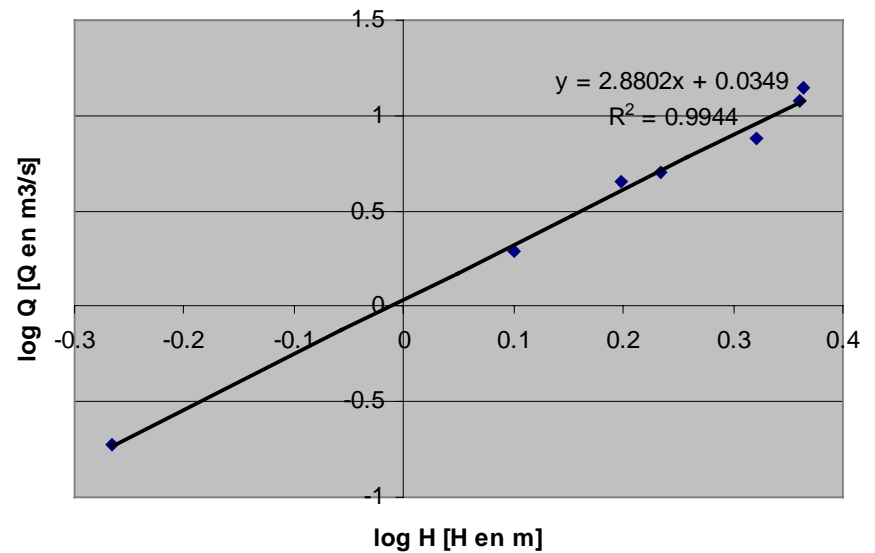
Figura: Precipitación promedio, evaporación potencial y descarga (1975-1983, DGA-MOP)

INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN LIMNIGRAFO

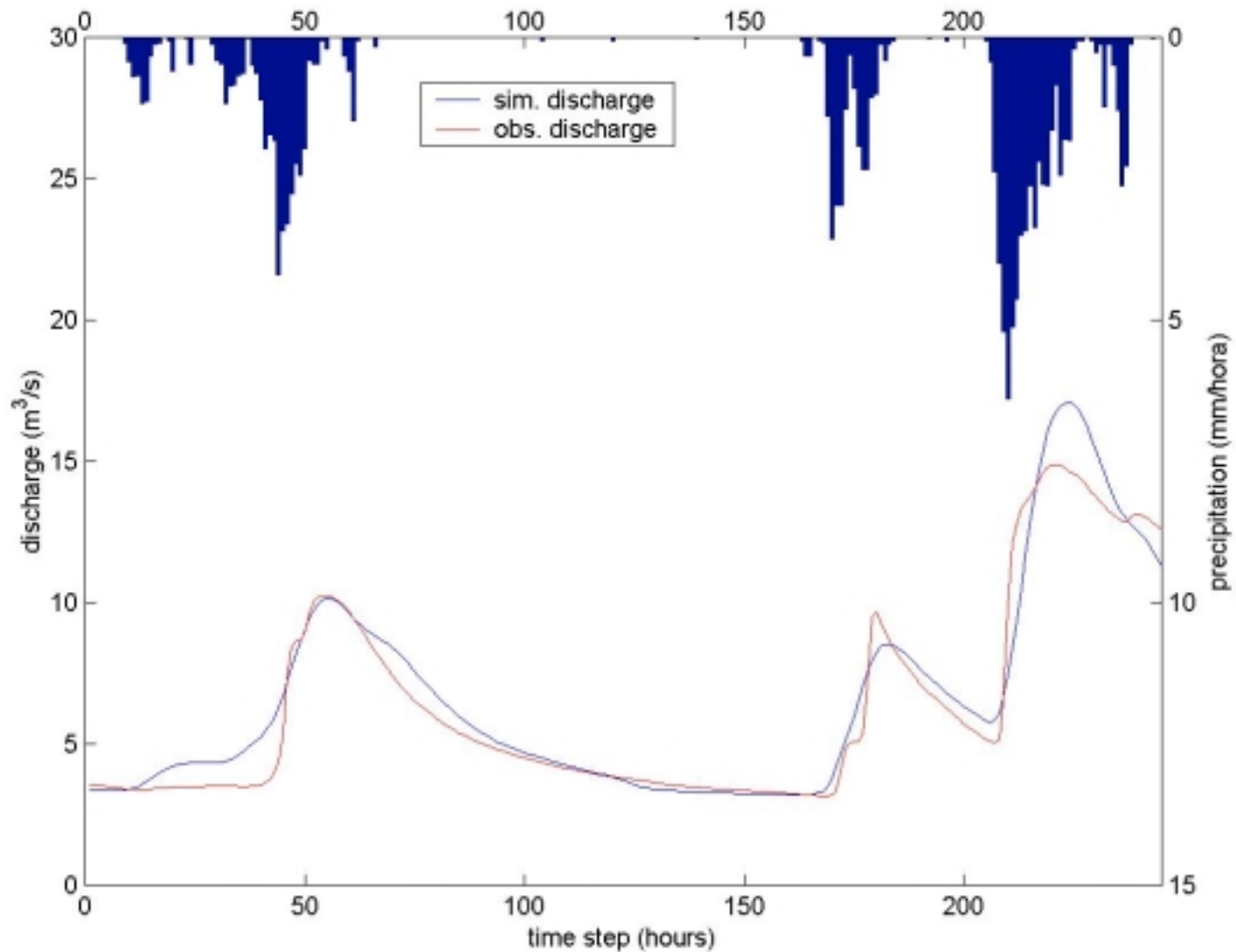


$$Q = a.H^b$$

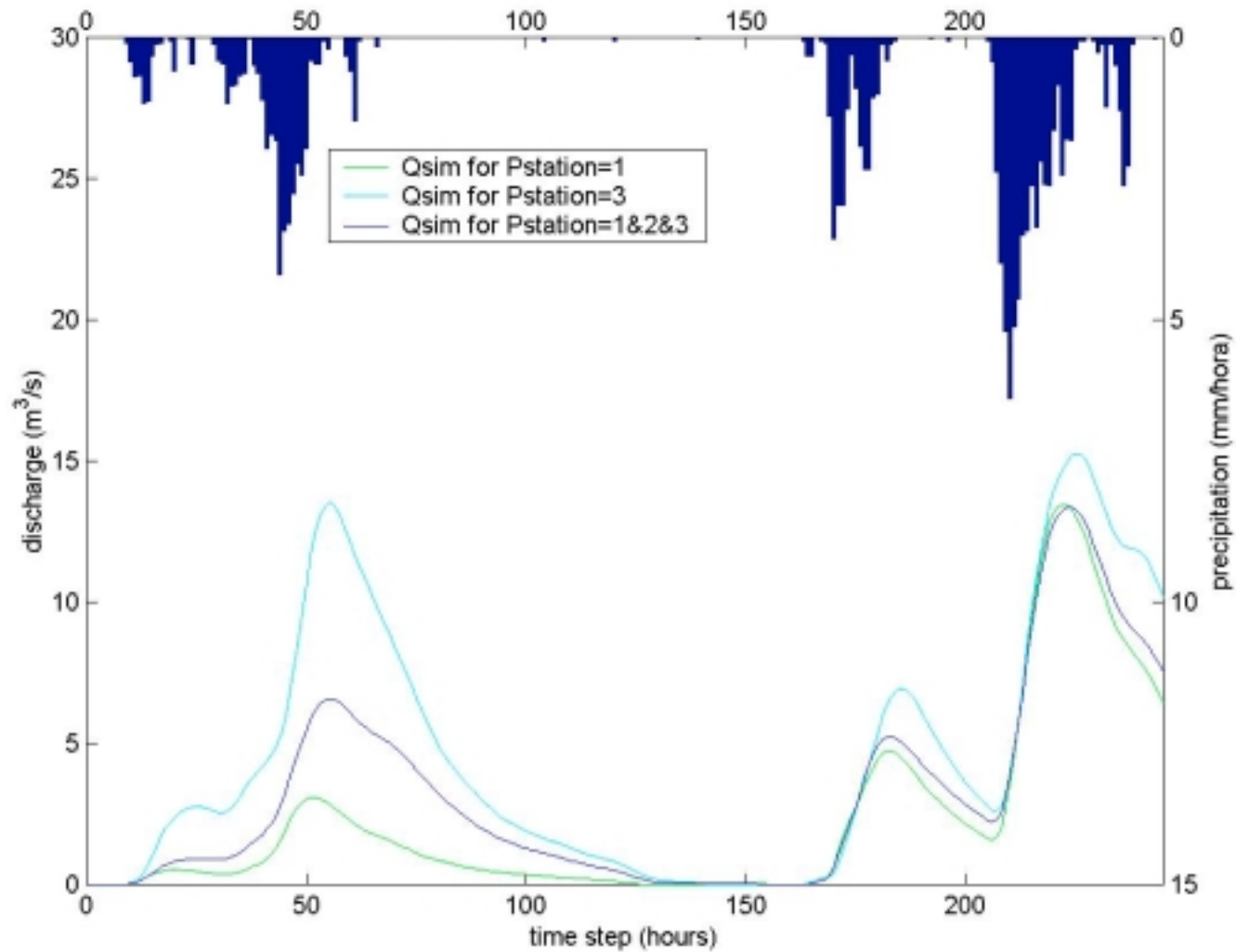
Curva de calibración del limnógrafo



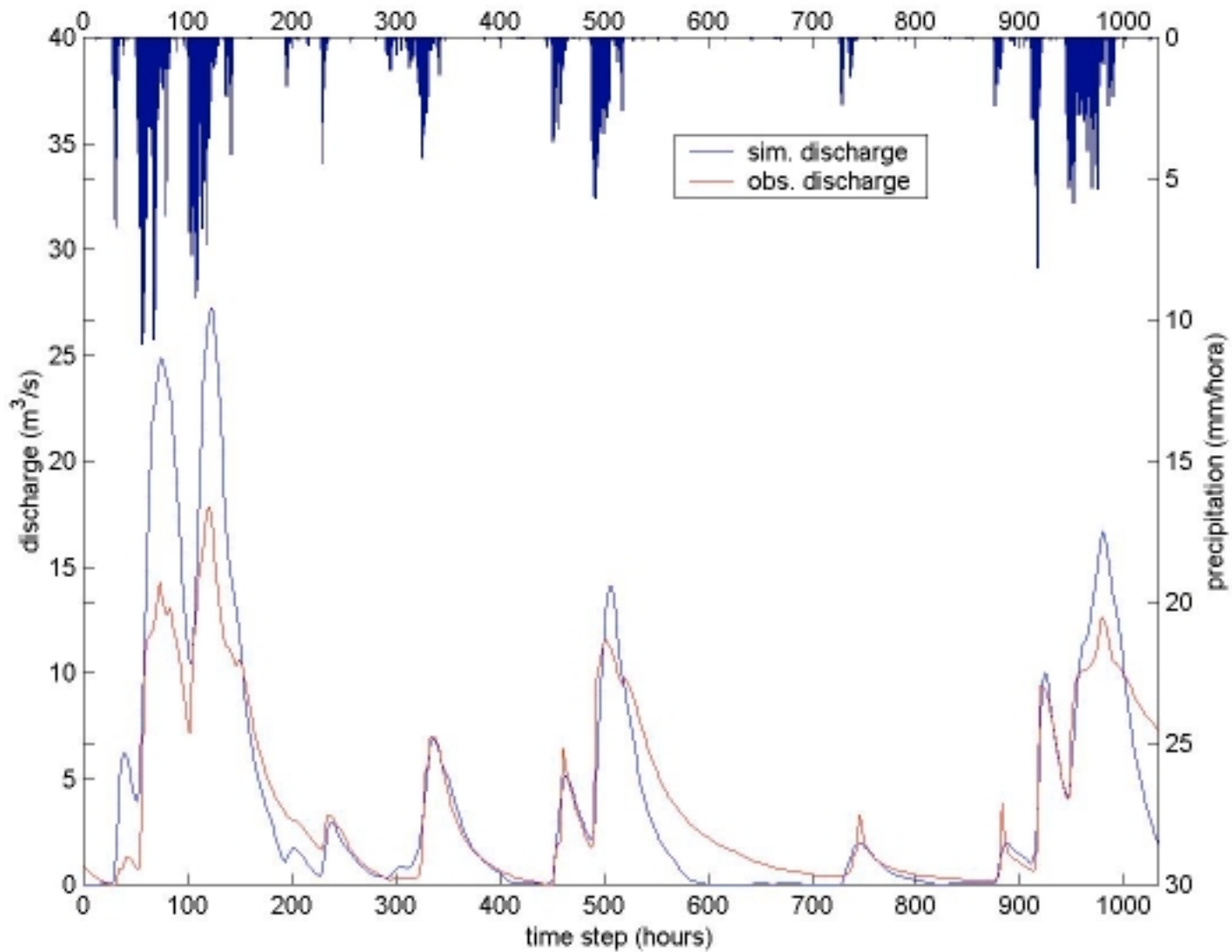
04/06/01 – 14/06/01



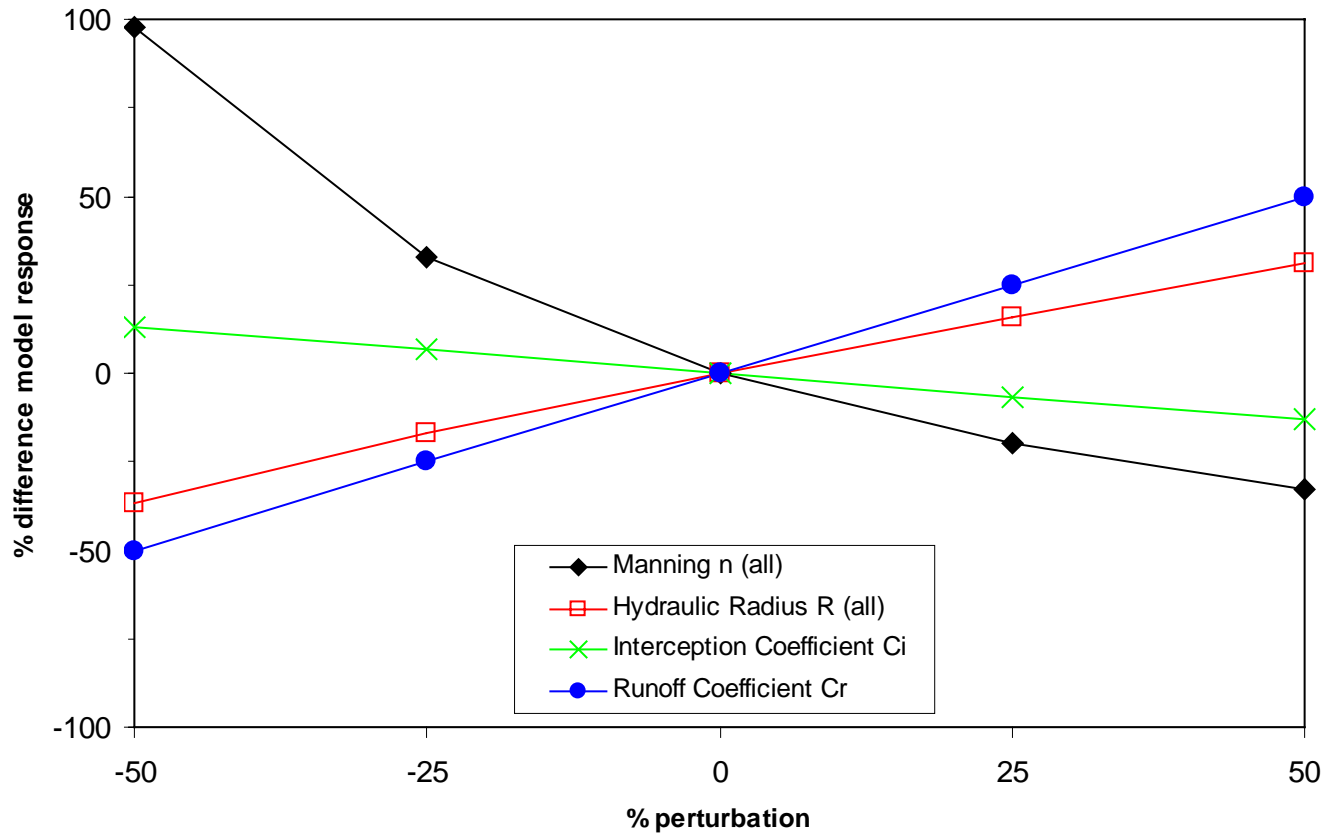
04/06/01 – 14/06/01



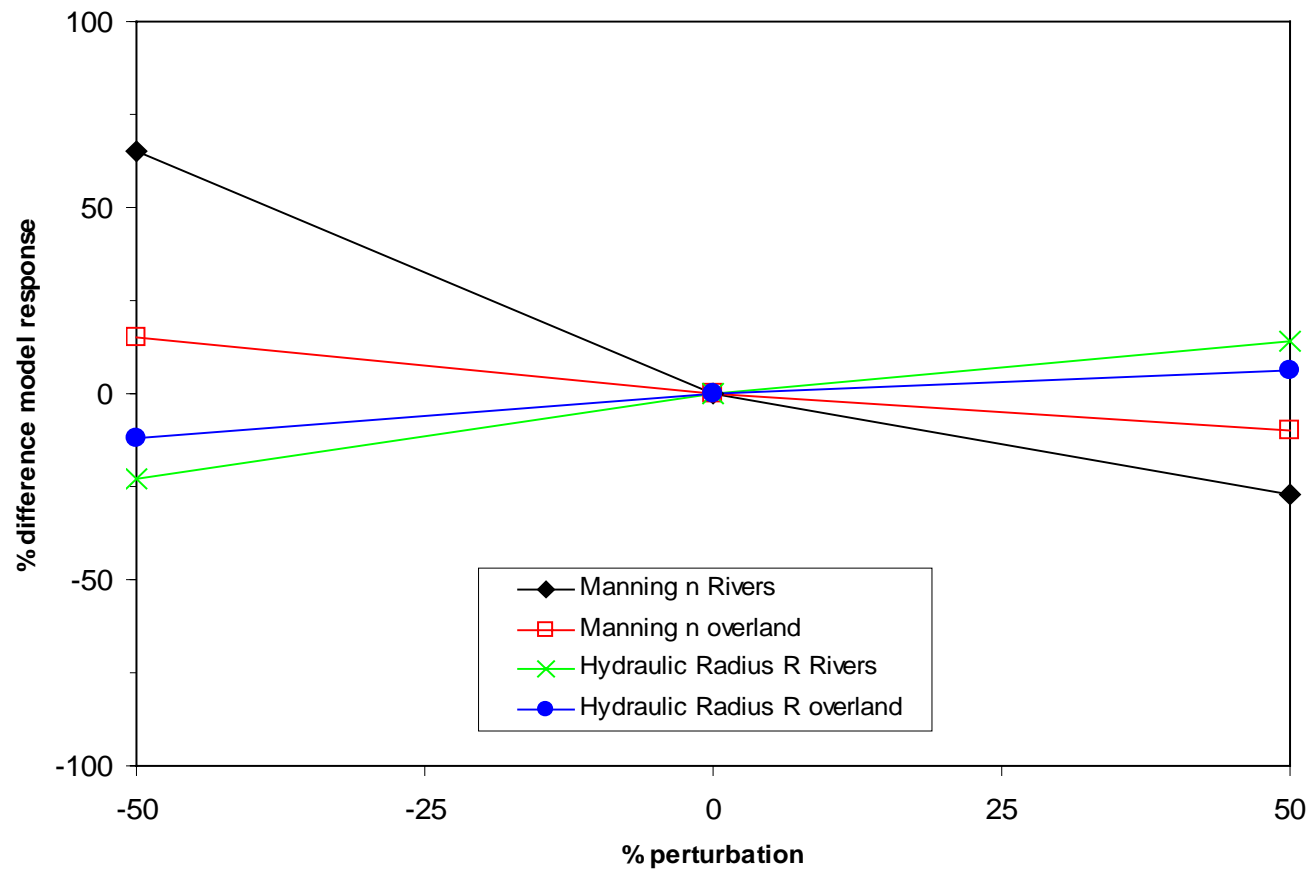
23/05/01 – 05/07/01



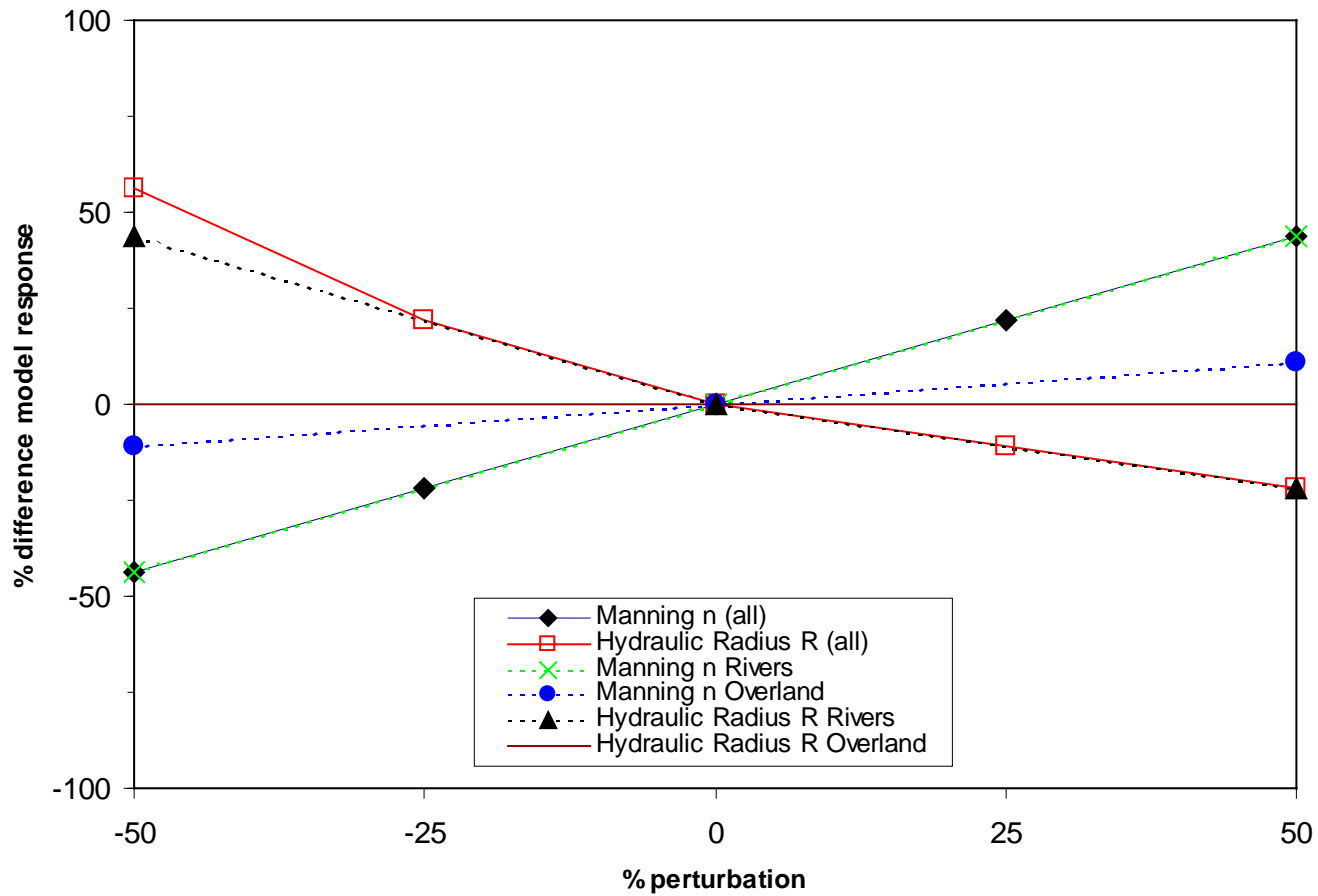
Sensibility of IUH Peak to Perturbation of Model Parameters



Sensibility of IUH Peak to Perturbation of Model Parameters



Sensibility of 'Time-to-Peak' of IUH to Perturbation of Model Parameters



CONCLUSIONES

- Modelos matemáticos basados en una descripción física de los diferentes procesos del ciclo hidrológico permiten lograr un mejor entendimiento de los diferentes procesos que ocurren en una cuena hidrográfica (*Abbott et al., 1986; Beven & Kirkby, 1979; Beven, 1991; Refsgaard & Storm, 1995*).
- Los modelos más complejos no siempre han permitido obtener mejores resultados, debido a la falta de disponibilidad de datos requeridos para su funcionamiento
- (e.g. *De Roo, 1998*) En muchos casos prácticos, se requerirá de modelos relativamente simples, ya que no se contará con los datos necesarios para los modelos más complejos

CONCLUSIONES

- Aunque relativamente simple, el modelo presentado da buenos resultados durante la estación húmeda
- Se requiere de más datos de terreno para adaptar el modelo para la estación seca
- El modelo puede servir de base para la modelación de la exportación de pesticidas y nutrientes desde predios agrícolas (faltan datos de terreno – próximo invierno)

FUTUROS PASOS EN LA MODELACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR FUENTES DIFUSAS

Patrick Debels^{1,3}

¹Centro EULA, Universidad de Concepción, Chile

³VVOB, Asociación Flamenca para la Cooperación al Desarrollo y Apoyo Técnico, Bélgica



EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE LOS SIGUIENTES MODELOS Y HERRAMIENTAS A LA REALIDAD CHILENA

- ☐ Ecuación USLE y RUSLE (USDA) para la estimación de tasas de erosión anuales y en base a un evento de lluvia, en combinación con un SIG
- ☐ Modelo SWAT (Soil & Water Assessment Tool, ARS & WDNR)
- ☐ Herramienta BASINS (US-EPA) = interfaz modificada de ArcView que viene con modelos matemáticos incorporados y una importante base de datos ambientales (datos de EE.UU.)

TASAS DE EROSION EN LA CUENCA DE LA LAGUNA CHICA, 1943

