

UCH-FC
B. Ambiental
V722
C.1



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA

Comportamiento Hidrológico de la microcuenca Los Almendros, Reserva Nacional Río Clarillo, Región Metropolitana: aplicación del modelo Sistema Hidrológico Europeo (*SHETRAN*)

SEMINARIO DE TÍTULO BIOLOGÍA AMBIENTAL, 2005

ARIEL VILLARROEL PARRA



Director de tesis:
Italo Serey Estay, Biólogo, Dr.

Co-director de tesis:
Wilfredo Alfaro Catalán, Ing. For., MSc

Santiago, Julio 2005



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, que el Seminario de Título presentado por el candidato:

ARIEL JOSÉ VILLARROEL PARRA

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación del Seminario de Título, como requisito parcial para optar al Título de Biólogo con Mención en Medio Ambiente, en el Examen de defensa privado, rendido el día Lunes 11 de Julio de 2005.

Dr. Italo Serey Estay
Director Seminario de Título

MSc-Ing. Forestal Sr. Wilfredo Alfaro Catalán
Co-Director Seminario de Título

Comisión Evaluadora

Prof. Irma Vila Pinto
Presidente Comisión

Prof. Luisa Delgado Isasi
Profesor corrector

I. Serey E.
Wilfredo Alfaro Catalán
Irma Vila Pinto
Luisa Delgado Isasi



La Comisión ha calificado el Seminario de Título con la nota

7 (siete)

OBSERVACIONES:

El trabajo realizado es de excelencia.

SANTIAGO 11 DE JULIO DE 2005

LAS PALMERAS N° 3425-ÑUÑO A-FONO 6787212 - FAX 2760906 - E-mail: scienci@uchile.cl

*A mis Padres...
Adela y José*



Agradecimientos

Quisiera agradecer a las dos personas, que sin su valiosa colaboración, este trabajo no se hubiese llevado a cabo. Al Sr. Wilfredo Alfaro C., quien me ha apoyado desde el comienzo de mi tesis, transmitiéndome todos sus conocimientos académicos y profesionales, así como la constante dedicación para concluir con éxito este trabajo. A Italo Serey, quiero agradecer no sólo la permanente ayuda y colaboración a mi tesis, sino además resaltar su vocación académica y su paciencia para apoyarme en interpretar los distintos aspectos descritos en el presente estudio y en el período de desarrollo académico en la Facultad de Ciencias.

Además, quiero agradecer en forma especial, la apreciada colaboración de colegas y amigos, especialmente a los Sres. Mario Pinto Q., Bernardo Miranda, Samuel Francke C., Lorena Pavez, Angela Riquelme, Sandra Farías y Roberto Yoma.

Un especial agradecimiento merece la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y su Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF), al Sr. Gerente Juan Claudio Rodríguez, junto con el Departamento de Manejo y Desarrollo Forestal (MADEFOR), al Sr. Fernando Bascuñan P., Jefe de Departamento, por las facilidades dadas para realizar con éxito este trabajo.



INDICE

RESUMEN.....	6
SUMMARY.....	6
1.INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Impactos Ambientales Potenciales.....	8
1.2 El Ciclo Hidrológico.....	10
1.3 Modelos de Simulación Hidrológicos.....	15
1.4 Modelo Hidrológico SHETRAN.....	17
1.4.1 Los Componentes del modelo SHETRAN y entradas.....	19
A. Componentes Base de la Cuenca (FRD).....	19
B. Componentes de intercepción y evapotranspiración (ETD).....	19
C. Módulo de flujo en canales y flujo de escorrentía (OCD).....	20
D. Componentes de la zona saturada (SZD).....	22
E. Componentes de la zona no saturada (UZD).....	22
1.4.2 Salidas del modelo SHETRAN.....	23
1.5 Planteamiento del Problema.....	25
1.6 Modelo conceptual.....	26
2.MATERIALES Y MÉTODO.....	26
2.1 Materiales.....	26
2.1.1 Antecedentes de Área de estudio.....	26
2.1.1.1 Localización.....	26
2.1.1.2 Gestión.....	27
2.1.1.3 Clima.....	27
2.1.1.4 Geología y Morfología.....	28
2.1.1.5 Suelos.....	28
2.1.1.6 Hidrografía.....	28
2.1.1.7 Vegetación.....	29
2.1.1.8 Topografía.....	29
2.1.1.9 Caracterización de variables Hidrológicas y Morfométricas.....	30
2.1.2 Descripción de Estaciones Automáticas de Monitoreo.....	31
2.1.2.1 Estación Meteorológica.....	31
2.1.2.2 Estación Limnigráfica.....	32
2.2 Método.....	32
2.2.1 Revisión de datos.....	32
2.2.2 Disposición de archivos de entrada (Input).....	32
2.2.3 Escenarios de cambio de cobertura vegetal o uso de la tierra.....	33
2.2.4 Flujo de Descarga manual.....	34
3. RESULTADOS.....	35
3.1 Caracterización Morfométrica de la cuenca.....	35
3.2 Precipitaciones y Temperaturas.....	36
3.3 Flujo de Descarga manual.....	38
3.4 Análisis Hidrológico.....	38
3.4.1 Condiciones actuales.....	38
3.5 Calibración del modelo.....	40
3.6 Recomendaciones Ambientales.....	43
4. DISCUSIÓN.....	47
5. CONCLUSIÓN.....	48
6. REFERENCIAS.....	49
ANEXOS.....	52





Comportamiento Hidrológico de la microcuenca Los Almendros, Reserva Nacional Río Clarillo, Región Metropolitana: aplicación del modelo Sistema Hidrológico Europeo (SHETRAN)

Ariel Villarroel Parra*

* Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile

SHETRAN, es un modelo hidrológico con base física espacialmente distribuido. Se presenta una aplicación para modelar los impactos ambientales resultantes de cambios de uso de la tierra en una microcuenca desertificada de la Zona Central de Chile. Primeramente, se construyó un modelo de la microcuenca Los Almendros, Reserva Nacional Río Clarillo, Región Metropolitana, representando parámetros de topografía, vegetación y suelos. Los datos de entrada para el modelo fueron obtenidos desde estaciones automáticas meteorológicas y limnigráficas ubicadas en la cuenca experimental, durante el período 1998-2002.

Así, se examinaron diferentes escenarios de ordenación territorial, tales como cobertura vegetal completa, manejo de la cobertura y eliminación de la vegetación. Por lo tanto, los parámetros del modelo más sensible fueron cambiados para construir los diversos escenarios de uso de la tierra, tales como porcentaje de cobertura de vegetación (PLAI), coeficiente de rugosidad de canales (STRXY), y conductividad vertical saturada (KSAT).

Como resultado de las simulaciones, se obtuvieron valores con diferencias significativas en la descarga de flujos hídricos para las clases de uso de la tierra correspondientes a cobertura vegetal completa y cobertura sin vegetación; así como la escorrentía actual.

Conforme a los resultados obtenidos, se recomienda la aplicación de SHETRAN, para el análisis ex-ante del comportamiento hidrológico de microcuencas de la Zona Central de Chile, resultantes de las eventuales intervenciones de manejo, aspecto que podría llevar la generación de políticas públicas orientadas a mitigar los impactos del cambio de uso de la tierra.

Palabras claves: cambio uso de la tierra, escorrentía superficial, modelo SHETRAN

SHETRAN, a physically based hydrological model. An application is presented to modelling the environmental impacts for land use changes in a desertified catchment in the Central Zone Chile. Firstly, a hypothetical catchment model was built-up of Los Almendros, National Reserve Río Clarillo, Región Metropolitana, in order to represent the topography, vegetation and soils parameters. The input data of the model were set up from an automatic meteorological station and a flume with an automatic water level recorder, based on the experimental catchments, during 1998 – 2002 period.

Thus, different scenarios were examined of territorial planning, such as full vegetation coverage, coverage management and elimination of the vegetation.

Therefore, the most sensitive model parameters were changed to built-up the different land use scenarios, such as percentage of vegetation cover (PLAI), overland roughness coefficients (STRXY) and vertical saturated conductivity (KSAT).

The simulations showed values with significant differences in flow discharge to the corresponding land use classes between full vegetation coverage and without vegetation coverage; thus as actual runoff.

In keeping with results, is highly recommended the SHETRAN application, to the analysis to hydrological behavior of catchments in Central Precordillera in Chile, resultant of the possible management interventions, aspect that will be able carry the generation of publics politics orientate to mitigate the land use change impacts.

Keywords: land use change, runoff, SHETRAN model

1- Introducción

Este estudio, principalmente se encuentra basado desde la perspectiva de análisis Hidrológico.

El agua es un componente de flujo variable en el tiempo, cuya dinámica en sistemas naturales depende fuertemente de la distribución espacial de las precipitaciones y otros factores atmosféricos, como así también de la condición de estado de los componentes suelos y vegetación.

Los sistemas de cuencas hidrográficas, corresponden al territorio donde se manifiestan los procesos de escorrentía o movimiento del agua a través del ecosistema.

El ciclo de precipitaciones es el factor activo en los procesos de escorrentía. A su vez, el suelo constituye un factor pasivo de captación de la precipitación incidente. La interacción entre los componentes ecosistémicos y los intercambios energéticos asociados, permiten la transformación de la precipitación en caudales de escorrentía que fluyen por los cauces de drenaje constitutivos de la red hídrica de una cuenca hidrográfica.

Al uso de agua subsuperficial por parte de la vegetación se integra un flujo de disminución de la recarga hídrica, activado éste último por factores atmosféricos y el régimen de los vientos, los cuales constituye lo que se conoce como flujo de evaporación. Los volúmenes de agua consumida a través de procesos internos de producción biológica primaria por parte de la vegetación y los utilizados por el flujo de evaporación, constituyen en conjunto el flujo de volúmenes de evapotranspiración, el cual se encuentra afectado, mediante tasas de reducción de volúmenes de infiltración, al sistema de recarga hídrica de las cuencas hidrográficas.

Al interior de la cuenca hidrográfica, la vegetación, no sólo cumple una función de producción de bienes y servicios, sino que también, cumple una función de protección, ya sea del entorno como también de los procesos hídricos, sean éstos temporales o permanentes. Esta acción de regularización se manifiesta en el proceso de configuración del ciclo hidrológico.

Existen variadas definiciones de cuencas hidrográficas, pero la más acorde a éste estudio, es la definida por la FAO (1994), en donde la

cuenca hidrográfica tradicionalmente definida como el espacio físico-biótico bajo el concepto energético, actúa como un operador sistémico extremadamente complejo y fluctuante, en donde se genera un conjunto de fenómenos que se procesan mediante flujos energéticos y cambios de materia realizados dentro de su propio espacio.

Una nueva definición incorpora no sólo el concepto geográfico, sino que además una relación de los sistemas que interactúan internamente mediante diferentes procesos sinérgicos. De ésta forma una conceptualización de cuenca hidrográfica está referida a un espacio físico perfectamente definido por sistemas topográficos y geológicos que permiten delimitar territorialmente una superficie de drenaje común, en donde interactúan los sistemas físicos- bióticos y socioeconómicos (FAO, 1994).

Otra definición, no analizada en éste estudio, pero que adquiere gran relevancia en la toma de decisiones, es la definida por la FAO (1994), la cual plantea como el espacio de las cuencas hidrográficas, dentro del proceso de administración racional de los recursos naturales, se debe tomar como la unidad de planeamiento dentro de la cual se puede plantear la definición del uso de los recursos y determinar el efecto que tal uso origina sobre los propios recursos. Esta importancia, como unidad de planeamiento, desde la perspectiva de los recursos, que adquiere la cuenca hidrográfica se debe a las siguientes razones:

- Los componentes: agua, suelos y vegetación, sustentadores de ciclos vitales (Perspectiva Ecológica)
- La identificación y cuantificación espacial de los efectos, que sobre los procesos naturales y el sistema humano tienen las acciones de aprovechamiento de los flujos predominantes dentro de una cuenca hidrográfica (Perspectiva Económica)
- Permite lograr la definición del equilibrio de las relaciones sistema humano- medio natural (Perspectiva Social)

Teniendo en cuenta los numerosos flujos energéticos naturales que se generan e interrelacionan dentro del operador sistémico denominado cuenca hidrográfica, se hace necesario definir un factor globalizador que integre dentro de su conformación todos los flujos energéticos y participe dentro de la transformación de la materia. Este factor globalizador es la componente agua.

El componente "sistema antrópico", mediante procesos tecnológicos puede influir en los flujos de salida de este operador sistémico, mediante el mejoramiento de los flujos de salida, a través de la intervención sobre la intertemporalidad del flujo del agua (ej: caudales)

A su vez, el "sistema antrópico" dentro de sus procesos productivos económicos y en procura de servicios, altera los diferentes flujos del operador sistémico, generando un proceso de degradación de los componentes de producción biológica y de los procesos del flujo hidrológico. La degradación y alteración de éstos componentes constituyen el flujo energético de pérdida del sistema, cuya corrección obliga al sistema socioeconómico a incurrir en costos energéticos adicionales.

De ésta forma queda claro que el planteamiento de un uso ordenado y racional del flujo hídrico, orienta y direcciona la forma de utilizar los demás componentes naturales que se integran para configurar el ciclo hidrológico dentro de la cuenca hidrográfica.

Para lograr actuar sobre la problemática ambiental se hace indispensable definir una administración de los recursos naturales: racional, coherente y equilibrada entre las demandas socioeconómicas del sistema humano y la capacidad de oferta del medio natural.

Por lo tanto, se define que un plan de ordenamiento integrado del uso, conservación y protección de los recursos naturales, renovables y no renovables, en los espacios de las cuencas hidrográficas es la intervención racional, en los espacios físicos- bióticos de las cuencas, a través de programas materializados en proyectos cuyos fines fueron previamente establecidos y los cuales dentro de su diseño involucran, conceptos de uso de los recursos naturales y conceptos de conservación y protección de los mismos.

Desde el punto de vista económico las cuencas hidrográficas entregan grandes beneficios a la sociedad, que se originan en una amplia gama de bienes y servicios. En años recientes se ha dado mayor atención a la importancia económica de los beneficios sin valor de mercado. Debido a su importancia a la hora de cuantificar los impactos de los programas de manejo de cuencas hidrográficas:

- Protección contra la erosión
- Control de los flujos hídricos
- Control de la sedimentación
- Mantención de la diversidad biológica
- Mejoramiento de la productividad del sitio
- Incorporación de suelos sin uso económico viable

Otro servicio importante de las cuencas hidrográficas, es desde el punto de vista ambiental, frecuentemente citado como justificación para realizar actividades de conservación de cuencas, es la conservación del suelo y el agua con beneficios locales y nacionales.

1.1- Impactos Ambientales Potenciales

Bruijnzeel (1990), así como Hamilton y Pearce (1986) especifican una serie de impactos ambientales relacionados con la eliminación de bosques en ambientes tropicales y los cambios en el uso de la tierra en cuencas hidrográficas:

- El flujo total de agua es inversamente proporcional al nivel de cobertura vegetal, con excepción de los bosques nubosos en donde la precipitación horizontal compensa las pérdidas por evapotranspiración.
- Los flujos máximos pueden aumentar si las condiciones hidrológicas de los terrenos permiten que aumente la escorrentía superficial a costa de la subterránea. Esto puede provocar impactos locales de importancia, especialmente inundaciones.

- La escorrentía base (flujo de agua en estación seca) podría aumentar o disminuir, dependiendo del efecto neto de cambios en la infiltración y la evapotranspiración.
- Cambios en la cubierta forestal probablemente no afecten la precipitación local de forma significativa.
- Los impactos hidrológicos negativos de la deforestación tienen más que ver con el uso posterior de la tierra que con la deforestación misma.

La protección de las cuencas hidrográficas es por sí misma un componente del ciclo hidrológico de una región. Establecer las consecuencias físicas y económicas de la degradación de las cuencas también nos permitiría conocer la importancia de los servicios ecológicos que brindan las cuencas intactas. Por ejemplo, la reducción en la cobertura vegetal puede modificar el ciclo hidrológico local, afectando la cantidad o la frecuencia del movimiento del agua en el sistema.

En resumen, la mantención de la cubierta vegetal conserva tanto el suelo como el agua dentro del ecosistema del bosque. La conservación del suelo permite mantener la productividad de las tierras forestales y la prevención de daños a las actividades económicas fuera del sitio, como son la generación de electricidad y riego agrícola. Por lo tanto, los impactos económicos resultantes dependerán de los valores generados por el bosque, y la dirección y magnitud de los efectos aguas abajo.

Consecuentemente, numerosas disposiciones reguladoras han estado promoviendo la mitigación de los efectos ambientales, producto del desarrollo, especialmente sobre los terrenos forestales. De acuerdo con la Ley Forestal de 1931, los terrenos forestales son éstas áreas que no pueden ser aradas o ser usadas en agricultura intensiva.

Además la Comisión Nacional Forestal (CONAF), ha recibido numerosas obligaciones y poderes para asegurar mínimos impactos en los ambientes forestales debido al uso o manejo de los terrenos forestales.

Luego, los principales instrumentos legales para ésta organización pública son las siguientes Leyes: Ley forestal (1931), D.S. 4.363 del Ministerio de tierras y colonización, Ley de Bosques (1931), D.L. 701 de Fomento Forestal (1974), Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (1993), CONAMA, Ley de Bosque Nativo y Ley de Desarrollo Sustentable (en curso).

De éste modo, en los últimos 10 años CONAF, ha sido la institución pública encargada de adoptar una cantidad de herramientas objetivas que puedan proveer de los argumentos técnicos requeridos para definir la significancia de los impactos ambientales potenciales

Un nuevo escenario es planteado por la evidencia en la percepción pública de los efectos del cambio climático en el país durante las últimas décadas. Este nuevo escenario demandará nuevas capacidades a CONAF, en relación con definir medidas que aseguren la mantención de la Biodiversidad y la productividad de los ambientes forestales. Estas capacidades deben incluir la predicción del comportamiento hidrológico de los ambientes naturales a nivel de cuencas hidrográficas.

Luego, numerosos procesos ambientales han tomado lugar como una consecuencia del uso de la tierra y cambio climático, especialmente desertificación de las áreas semiáridas de la Zona Central de Chile, la cual concentra la principal parte de la población y actividad económica del país. Este es uno de los principales procesos críticos, debido a las evidencias del avance del desierto de Atacama en la zona norte hacia la zona central, a una tasa de alrededor de 0,4 Km por año (CONAF, 1996).

En ésta línea, un paso importante ha sido tomado en Chile, con relación a tener una herramienta adecuada para los procesos de la toma de decisiones para el desarrollo en terrenos forestales. De éste modo la transferencia del sistema *SHETRAN* a CONAF por el Gobierno Británico, a través de la University of Newcastle upon Tyne, debiera ayudar a asegurar el adecuado desarrollo de los terrenos forestales en el dominio de los intereses públicos.

1.2- El Ciclo Hidrológico

El Ciclo Hidrológico es el foco central de la Hidrología. En la Figura 1, se muestra en forma esquemática la dinámica del agua cíclica. Además, se ilustra los principales componentes en unidades relativas a un volumen anual en precipitación terrestre equivalente a 100.

Puede verse que la evaporación desde la superficie terrestre consume el 61 % de ésta precipitación, y el restante 39 % conforma la escorrentía hacia los océanos, principalmente como agua superficial. La evaporación desde los océanos constituye cerca del 90 % de la humedad atmosférica.

El comportamiento hidrológico de una región está determinado por sus patrones de clima tales como la topografía, la geología y la vegetación. También, a medida que la civilización progresa, las actividades humanas invaden gradualmente

el medio ambiente natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e iniciando nuevos procesos y eventos.

Por ejemplo el calentamiento global de la Tierra, con efectos de gran alcance sobre la hidrología global.

En la Figura 2, el ciclo hidrológico global se representa como un sistema. Las líneas punteadas lo dividen en tres subsistemas: *el sistema de agua atmosférica* contiene los procesos de precipitación, evaporación, interceptión y transpiración; *el sistema de agua superficial* contiene los procesos de flujo superficial, escorrentía superficial, nacimientos de agua subsuperficial y subterránea, escorrentía hacia ríos y océanos; y *el sistema de agua subsuperficial* contiene los procesos de infiltración, recarga de acuífero, flujo subsuperficial y flujo de agua subterránea.

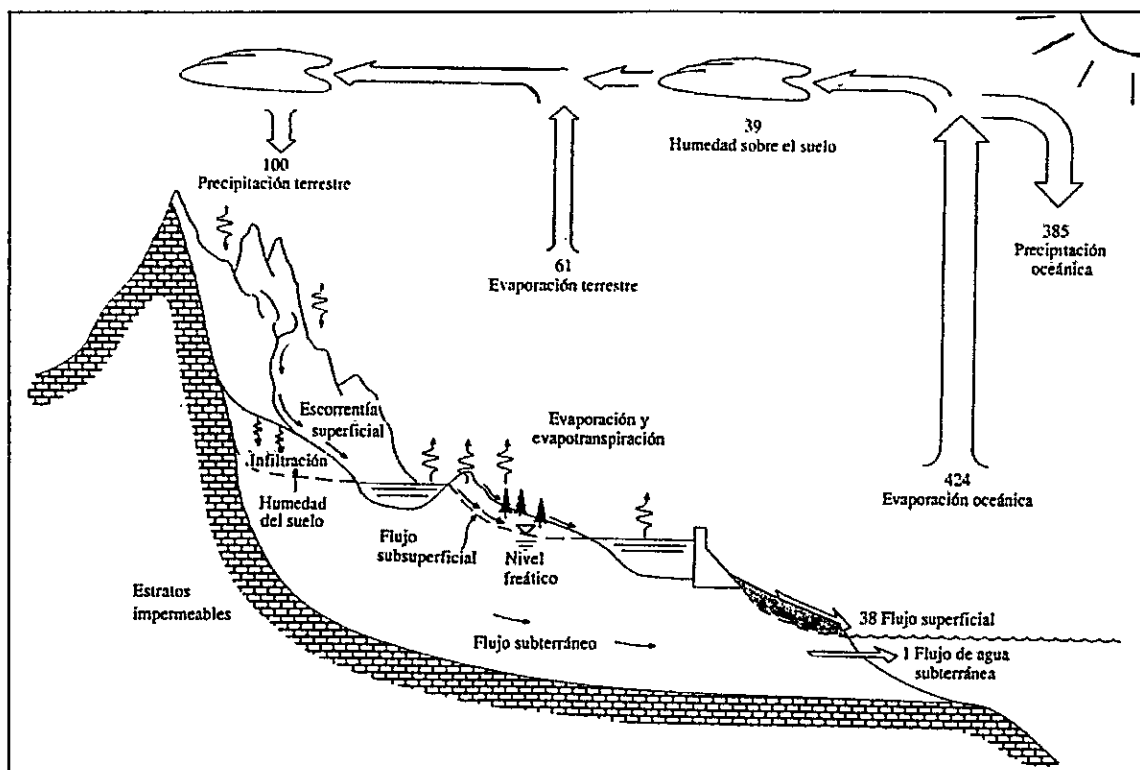


Figura 1. Ciclo hidrológico general con un balance de agua promedio global en unidades relativas a un valor de 100 para la tasa de precipitación terrestre.

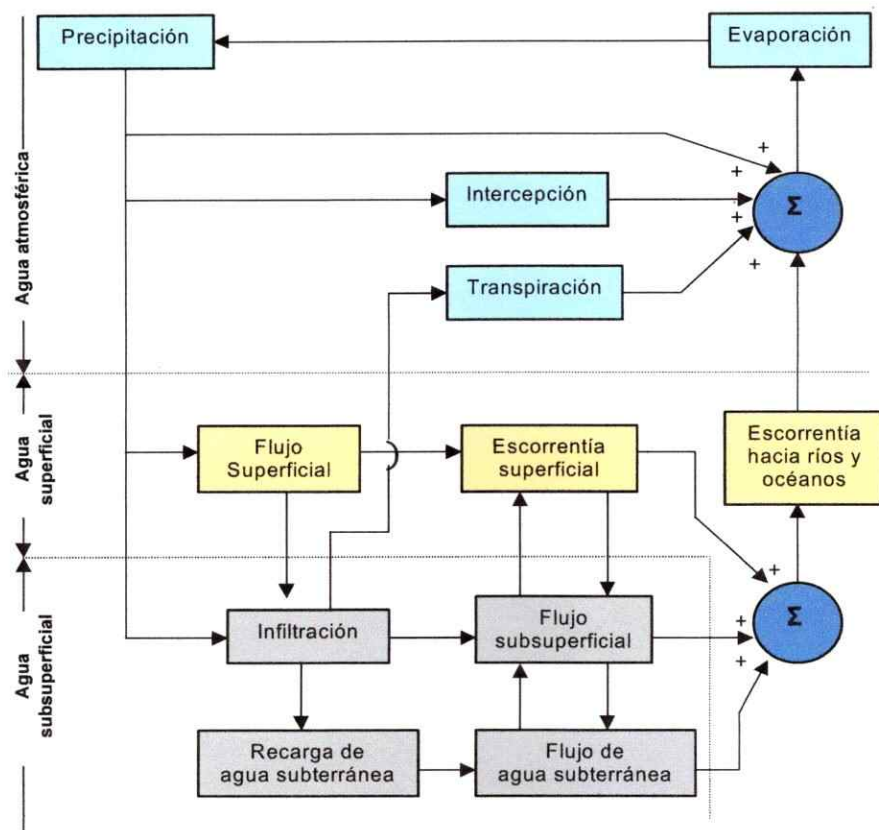


Figura 2. Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico.

Como se trata de un ciclo, se podría considerar todas sus fases comenzando desde cualquier punto, pero lo más intuitivo es comenzar con la precipitación como flujo de entrada, para continuar con los otros componentes del ciclo:

- **Precipitación**

Incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense.

- **Evaporación**

Los dos factores principales que influyen en la evaporación desde una superficie abierta son el suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización, y la habilidad para

transportar el vapor fuera de la superficie de evaporación. La radiación solar es la principal fuente de energía calórica. La habilidad de transporte del vapor fuera de la superficie de evaporación depende de la velocidad del viento sobre la superficie y del gradiente de humedad específica en el aire por encima de ella.

La evaporación desde la superficie terrestre comprende la evaporación directa del suelo y desde la superficie de la vegetación, y la *transpiración* a través de las hojas de las plantas, mediante la cual el agua es extraída por las raíces de éstas, transportadas hacia arriba a lo largo de sus tallos y difundida a la atmósfera a través de pequeñas aberturas en las hojas llamadas estomas. Los procesos de evaporación desde la superficie terrestre y de transpiración de la vegetación, en conjunto, se conocen con el nombre de *evapotranspiración*. La evapotranspiración es influida por los dos factores descritos anteriormente para la evaporación desde una superficie abierta de

agua, y también por un tercer factor, el suministro de humedad hacia la superficie de evaporación. *La evapotranspiración potencial*, es la evapotranspiración que puede ocurrir desde una superficie bien cubierta por vegetación cuando el suministro de humedad es ilimitado, y se calcula de una forma similar a la evaporación de una superficie de agua abierta. La evapotranspiración real cae por debajo de su nivel potencial a medida que el suelo se seca.

- **Agua superficial**

El sistema de agua superficial interactúa continuamente con los sistemas de agua atmosférica y subsuperficial.

Horton (1933) describió el flujo superficial de la siguiente manera: "Despreciando la intercepción por vegetación, la escorrentía superficial es aquella parte de la lluvia que no es absorbida por el suelo mediante infiltración. Si el suelo tiene una capacidad de infiltración f que se expresa en pulgadas absorbidas por hora, entonces cuando la intensidad de lluvia i es menor que f , la lluvia es absorbida completamente y no existe escorrentía superficial. Se puede decir como una primera aproximación que si i es mayor que f , la escorrentía superficial ocurrirá a una tasa de $(i-f)$ ".

- Fuentes de Flujo Superficial:

▪ Ecurrimiento superficial (ES)

La profundidad de la columna de agua es igual a la caída pluviométrica menos la evapotranspiración y la infiltración.

En donde,

ES total = ES directa + flujo subsuperficial

- Factores que influyen en la Escorrentía Superficial (ES)

I. *Climáticos*

- Intensidad de precipitación
- Duración de la precipitación, que es directamente proporcional a ES.

- Precipitación antecedente, precipitación cuando el suelo ya está húmedo por una lluvia anterior.

II. *Fisiográficos*

- Área de la hoya, directamente relacionada con la mayor o menor cantidad de agua de ES que la hoya puede generar.
- Permeabilidad, que influya en la capacidad de infiltración. Más permeable el suelo, mayor es la cantidad de agua que puede absorber.

III. *Humanos*

- Obras hidráulicas construidas en la hoya (ej: presa)
- Rectificación de ríos (aumento de la velocidad de ES)

- Variables que caracterizan la Escorrentía Superficial

- Caudal, Q (m³/s, l/s)

$$Q = v/t$$

Caudal específico, q. (m³/s/km², l/s/ km²)

$$q = Q/A$$

- Coeficiente de ES, C

$$C = \frac{\text{Volumen ES total}}{\text{(Volumen precipitación total) tiempo}}$$

Se puede definir en función a una lluvia aislada o a un intervalo de tiempo con varias lluvias. Conociendo C para una determinada lluvia con cierta intensidad y duración en un área dada, se puede determinar Escorrentía Superficial de otras precipitaciones de diferentes intensidades.

- Tiempo de concentración, Tc (min., hrs.).

Es el tiempo en el cual la lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de agua de una cuenca, tarda en llegar a una sección determinada de dicha corriente. Mide el tiempo que se necesita para que toda la hoya contribuya con escorrentía superficial en una sección dada.

- Período de retorno, T.

Es el período promedio en años, en que un evento (caudal) es igualado o superado por lo menos una vez.

- Nivel de agua, h.

La altura alcanzada por el nivel de agua en relación con un nivel de referencia.

- Agua subsuperficial

Ocurre en la capa del suelo cercana a la superficie y es parte del agua gravitacional que no alcanza a llegar hasta el nivel freático porque toma una dirección paralela a la de la superficie del suelo, para salir nuevamente al aire libre y convertirse en escorrentía superficial.

- Flujo en suelos saturado

Bajo ciertas condiciones, una mínima parte de un perfil de suelo podría estar completamente saturado, es decir todos los poros se encuentran llenos de agua.

Los suelos pobremente drenados se encuentran saturados

El flujo de agua bajo condiciones de saturación está determinado por dos factores:

- Fuerza hidráulica (f), que maneja el agua a través del suelo (comúnmente gravedad).
- Conductividad hidráulica (K), o la facilidad con el cual los poros del suelo permiten el movimiento del agua.

De acuerdo a la relación de éstas variables, se obtiene que el volumen de agua movida por unidad de tiempo, corresponde a

$$V = Kf$$

La Conductividad Hidráulica (K), de un suelo uniforme saturado es esencialmente constante y es dependiente del tamaño y configuración de los poros del suelo. La fuerza conductora (gradiente hidráulico), es la diferencia entre la altura del agua por encima y debajo de la columna de suelo. La fuerza hidráulica, además causará flujo horizontal y ascendente.

- Factores que influyen en la Conductividad Hidráulica (K)

- Tamaño y configuración de los poros del suelo.

- La textura y la estructura del suelo, son las propiedades por las cuales K está más directamente relacionada. Ej: suelos arcillosos tienen más alta conductividad saturada, que suelos de textura más fina.

Los suelos con estructura granular estable, conducen el agua más rápidamente que aquellos con unidades estructurales más inestables.

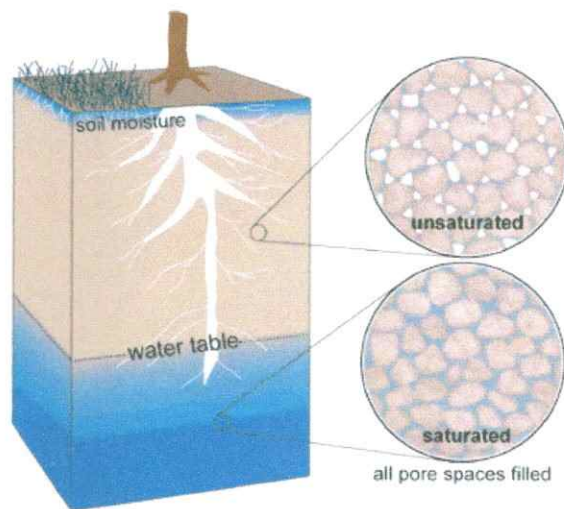


Figura 3. Flujo de agua en el suelo, en la zona saturada y en la zona no saturada.

- Flujo en suelos no saturado

Los macroporos están llenos de aire, quedando sólo los poros finos para acomodar el movimiento del agua, que es lento. Existe una relación entre potencial mátrico (Ψ_m) y K. La región cerca del potencial 0, muestra flujo saturado, con una K miles de veces más grande que los potenciales que caracterizan flujo no saturado (- 0.1 bar y por debajo). A mayor potencial mátrico, mayor contenido de humedad. En éste caso la fuerza que mueve el agua es el gradiente potencial mátrico. El movimiento será desde una zona con capas espesas húmedas (mayor Ψ_m) a uno con capas delgadas (menor Ψ_m).

- Infiltración

Es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el suelo.

Estratos del suelo con propiedades físicas diferentes pueden superponerse unos sobre otros formando horizontes; por ejemplo, un suelo limoso con una conductividad hidráulica relativamente alta puede estar superpuesto sobre una zona de arcilla de baja conductividad. Los suelos también presentan una gran variabilidad espacial aún dentro de pequeñas áreas, como en un sembrado. Debido a la gran variabilidad espacial y temporal de las propiedades del

suelo, la infiltración es un proceso complejo, que puede describirse mediante ecuaciones matemáticas, solamente en forma aproximada.

La *tasa de infiltración f* , que se expresa en pulgadas/hora o cm/hora, es la tasa a la cual el agua entra al suelo en la superficie. Si el agua se encharca en la superficie, la infiltración ocurre a la *tasa de infiltración potencial*.

- Los componentes del ciclo hidrológico de cuencas

Para investigar los impactos hidrológicos del uso de la tierra se trabaja preferentemente en cuencas de no más de algunos km^2 . Este tipo de estudio forma parte de la hidrología de cuencas (o de paisajes).

La Figura 4, muestra los principales elementos del ciclo hídrico en una cuenca.

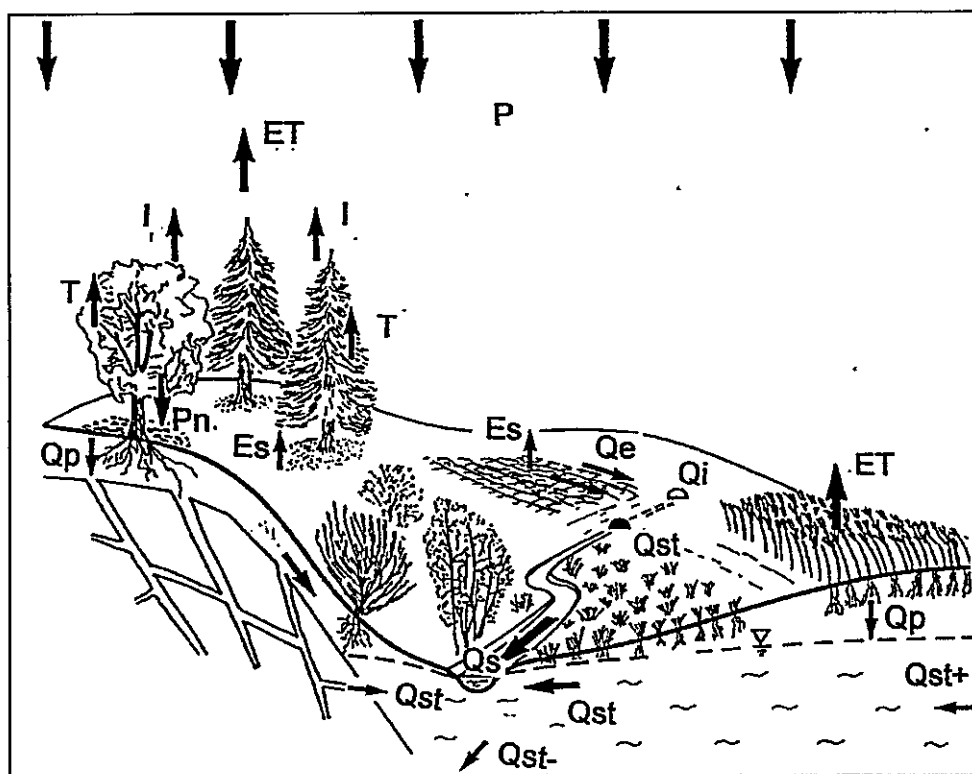


Figura 4. Los componentes del ciclo hidrológico según Woblrab et al. (1992). P= Precipitación, Pn= Precipitación neta, I= Intercepción, ET= Evapotranspiración, Es= Evaporación del suelo, T= Transpiración, Qs= Caudal superficial, Qst= Caudal subterráneo, Qp= Percolación, Qe= Escorrentía superficial, Qi= Caudal intermedio, Qst+=Caudal subterráneo afluente, Qst-= Caudal subterráneo efluente.

1.3- Modelos de Simulación Hidrológicos

Un sistema hidrológico se define como una estructura o volumen en el espacio, rodeado por una frontera, que acepta agua y otras entradas, opera en ellas internamente y las produce como salidas (Chow, Maidment and Mays, 1994). Figura 5.

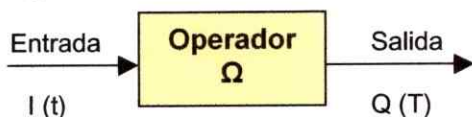


Figura 5. Representación esquemática de la operación de un sistema.

De ésta manera, se comprende un sistema hidrológico como un ensamble de componentes integrados en el proceso, con una estructura proveída por el suelo, vegetación, geología y geomorfología de una cuenca. Este sistema se relaciona sobre entradas de masa (precipitaciones) y energía (radiación solar), lo que origina salidas de masa (escurrimiento, evaporación) y energía (calor sensible). Además, éste sistema también produce salidas de contaminantes o sedimentos generados naturalmente o por acciones antrópicas dentro de la cuenca (Bathurst, s.f.).

La forma que se trata de comprender y analizar un sistema puede variar ampliamente, pero una de las más utilizadas por su metodología y respuesta son los modelos. Estos se elaboran con el propósito de representar los rasgos o características de un sistema (Williams, 1978 citado por Palacios, 1994). Así, un modelo es una representación simplificada o formal de un sistema complejo (ICID, 1980; Martínez y Requena, 1986).

Desde el punto de vista hidrológico, un modelo puede ser definido como una representación de las características físicas, química y biológicas de una cuenca, simulando los procesos hidrológicos naturales (O'Connell, s.f.). Otro punto de vista similar indica que, corresponde a la representación de una cuenca y los procesos hidrológicos que en ella ocurren, usado para simular y predecir eventos hidrológicos y sus consecuencias (Bathurst, s.f.).

Un objetivo inmediato de un modelo es poder representar esquemáticamente, pero con utilidad y precisión, pasado y presente del sistema en estudio. Sin embargo, el objetivo último y que justifica el modelo, es generar estados futuros del sistema bajo condiciones diferentes a las actuales (Naylor et al., 1982; Martínez y Requena, 1986).

Existen variados criterios para el uso y clasificación general de los modelos, los que varían principalmente por una dependencia de interés o necesidad de la disciplina que los utiliza (Palacios, 1994). Es factible mencionar como una clasificación base la de los modelos físicos y matemáticos. (Himmensblau, 1976; Watson, 1989; O'Connell, s.f.).

Los modelos físicos corresponden a una representación material o física del sistema en estudio. Estos modelos tienen una flexibilidad muy baja para representar cambios en el sistema estudiado, además de un alto costo de construcción.

Los denominados modelos matemáticos son una descripción matemática, cuantitativa y lógica, de los procesos y fenómenos en estudio, en orden a simular el comportamiento de un sistema dado. Lo usual es que éstos modelos, estén orientados a una interacción de entradas a un sistema, lo que genera salidas.

Clasificación de los Modelos Hidrológicos

Los modelos se desarrollan con el fin de predecir la amplia variedad de cambios que ocurren en los sistemas naturales y son aplicados a través de un amplio rango de escalas (Vertessy et al., 1993). Estos ayudan a la toma de decisiones, particularmente cuando la información es escasa, inexistente o bien cuando existe una amplia gama de opciones de manejo o uso del suelo para escoger (Bathurst, 1992).

Aunque cada modelo tiene un rol en la predicción hidrológica, algunos son más apropiados que otros para el pronóstico de la variedad de impactos hidrológicos que resultan, por ejemplo, del cambio de uso del suelo en una cuenca. Cada aproximación tiene limitantes que se relacionan con su potencial para predecir cambios específicos, utilidad, exactitud y facilidad de uso (Vertessy et al., 1993).

De acuerdo a Vertessy et al., (1993), Shaw (1996) y O'Connell (s.f.), los modelos usados preferentemente en hidrología pueden ser clasificados y ordenados en forma simple, según el esquema representado por la Figura 6. Dada la amplia gama, características y diferentes aplicaciones de los modelos hidrológicos, la clasificación presente es sólo orientadora, ya que es factible encontrar modelos determinísticos que utilizan para su funcionamiento, componentes de carácter estocásticos.

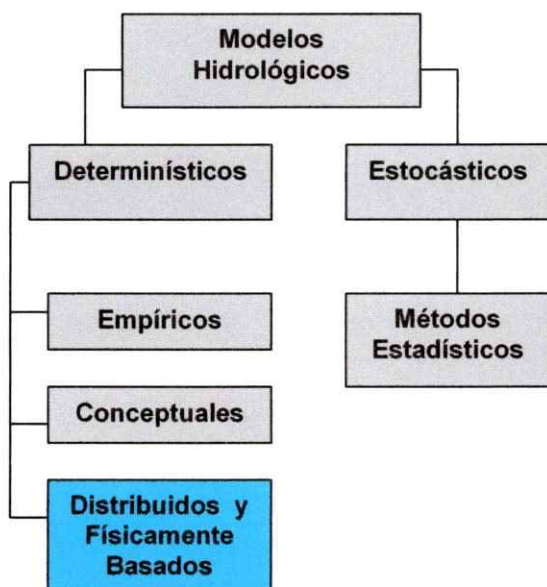


Figura 6. Clasificación de los modelos hidrológicos.

➤ Modelos Estocásticos

Este tipo de modelos introduce el principio de aleatoriedad o incertidumbre. Estos modelos describen series de tiempo de diferentes variables hidrológicas medidas, tales como precipitación, caudal y su proyección en el tiempo (Shaw, 1996).

En hidrología forestal se han utilizado ampliamente en la predicción de escurrimiento y como base para muchos procesos en la toma de decisiones. Este tipo de métodos presenta dificultades como la necesidad de estar basados en largos registros hidrometeorológicos, encontrando además como inconveniente que las asociaciones estadísticas en que se basan no

son transferibles a cuencas con características diferentes (Vertessy et al., 1993; O'Connell, s.f.).

➤ Modelos Determinísticos

Son aquellos que no aceptan incertidumbre en la predicción. Las variables están libres de aleatoriedad y no tienen distribución de probabilidad (Nailor et al., 1982). Estos modelos buscan simular en una aproximación física los procesos que ocurren en una cuenca, por ejemplo, la transformación de precipitación en caudal (Shaw, 1996).

- Modelos empíricos

Se desarrollan sin una consideración de los procesos físicos de la cuenca en estudio, basando su análisis simplemente en la concordancia existente entre entradas y salidas de series de tiempo de ciertas variables hidrológicas (Vertessy et al., 1993; O'Connell, s.f.). Este tipo de modelos se ha usado ampliamente en la predicción de escurrimiento en una cuenca, pero raramente en el contexto de cuencas cubiertas de bosque, donde el cambio de uso del suelo es un problema (Vertessy et al., 1993).

Presentan características ventajosas como una alta flexibilidad analítica, los procedimientos se realizan normalmente con estimación estadística formal, pueden manejar con facilidad múltiples entradas y precisan mínimos requerimientos computacionales. Dado el carácter lineal de la técnica matemática empleada, no se producen resultados exitosos debido al carácter no lineal de los sistemas hidrológicos estudiados (O'Connell, s.f.).

- Modelos conceptuales

Su formulación se basa en algunas consideraciones de los procesos físicos del sistema hidrológico en estudio. Este significado físico no siempre es muy claro, ya que, se soportan sobre un número relativamente pequeño de componentes que son una representación simplificada de un elemento en el sistema que es modelado (O'Connell, s.f.).

Presentan ciertas limitaciones, debido a que sus parámetros no siempre pueden ser representados físicamente y su aplicación no es confiable fuera del período de calibración, por la sobre simplificación y el desconocimiento de muchos procesos complejos de retroalimentación (Vertessy et al., 1993). Además, éstos modelos no pueden representar adecuadamente las interacciones espaciales que ocurren en una cuenca, siendo incapaces de discriminar entre dos tipos de tratamientos, los que pueden tener impactos relativos distintos en la generación de escurrimiento significativamente diferentes (Vertessy et al., 1993; O'Connell, s.f.)

- **Modelos de base física y espacialmente distribuidos**

Describen un sistema hidrológico usando las ecuaciones básicas que gobiernan los flujos de agua y energía. Debido a su base física, éstos modelos pueden simular el régimen completo de escurrimiento, proveyendo múltiples salidas externas. Los modelos distribuidos incorporan la variación espacial en todos los parámetros y variables utilizadas, por definición, los modelos físicamente basados son también espacialmente distribuidos (Bathurst, s.f.).

Estos modelos incluyen parámetros y variables que deben ser especificadas en todos los puntos de la red de cuadrículas del modelo. De ésta manera, sus parámetros pueden ser variados con la finalidad de reflejar cambios físicos dentro la cuenca (O'Connell s.f.). Esta característica los sitúa como una herramienta valiosa, en la predicción e interpretación de las respuestas hidrológicas, originadas por cambios causados por el hombre o bien producidos en forma natural.

Este tipo de modelos tienen claras ventajas con relación a los mencionados anteriormente (Bathurst, s.f.):

- En teoría pueden ser utilizados en cualquier rango de datos. Esto permite su uso en una amplia gama de cuencas con características diferentes.
- Los parámetros del modelo presentan un sentido físico y pueden ser evaluados con mediciones directas. Otorga la capacidad de

ser utilizados en cuencas sin registros hidrometeorológicos amplios.

- Pueden usar una amplia gama de información disponible como mapas topográficos, vegetación y suelo, además de información histórica de eventos extremos.
- Su calibración puede ser concluida basándose en un corto estudio de campo y con un período no demasiado extenso de registros hidrometeorológicos. Además, sus parámetros pueden ser especificados para un estado futuro de alteración de la cuenca.

Dentro de las desventajas, se pueden mencionar:

- Fuertes requerimientos computacionales.
- Requieren la evaluación de un gran número de parámetros que describan las características físicas de la cuenca en estudio. Esta característica involucra dificultades de medición, altos costos monetarios; situación que conlleva a la utilización de supuestos como entradas de datos (Vertessy et al., 1993).
- Los parámetros evaluados en escalas significativamente diferentes, originan fuentes de error, lo que produce una baja representatividad de las condiciones a simular (O'Connell, s.f.)
- No siempre hay un entendimiento conceptual adecuado de los procesos hidrológicos o bien éstos no pueden ser expresados de una forma matemática clara (Bathurst, s.f.)

1.4- Modelo Hidrológico SHETRAN

Los modelos matemáticos están cobrando relevancia en estos procesos, especialmente para representar los impactos físicos de cambios en el uso de suelo. La Water Resource System Research Laboratory (WRSRL) ha transferido un modelo de bases físicas *SHETRAN* a la Corporación Nacional Forestal (CONAF), que es la institución gubernamental responsable del manejo y conservación de los recursos renovables asociados a cuencas a lo largo del país.

El modelo *SHETRAN* provee a CONAF de la capacidad técnica para evaluar los impactos

hidrológicos y de producción de sedimentos presentes en las actividades de manejo propuestas para los recursos suelo y agua. La transferencia fue llevada a cabo por la WRSRL (Universidad de Newcastle upon Tyne, UK) con apoyo del Instituto de Hidrología y con fondos del Department for International Development del gobierno de Gran Bretaña

SHETRAN, es un modelo de base física espacialmente distribuido, que objetiviza el proceso de medición, ya que utiliza leyes físicas universales. Es un sistema de modelación integrado superficial y subsuperficial, que incorpora los procesos hidrológicos del movimiento del agua (intercepción, evapotranspiración, derretimiento de nieve, escurrimiento en canales, superficial y subsuperficial del agua) y transporte de sedimentos; modelando la erosión del suelo por impacto de la gota de lluvia y arrastre laminar, además de los flujos superficiales, y el transporte de sedimentos.

Cada proceso es modelado por leyes físicas: La distribución espacial de las propiedades de la cuenca, la entrada de datos y la respuesta, se representa en una grilla de diferencias finitas. Los datos requeridos por *SHETRAN*, comprenden:

- 1) Entrada de datos meteorológicos necesarios para manejar la simulación
- 2) Datos de salida de variables (ej caudales de ríos y registro de producción de sedimentos) para validar el modelo.
- 3) Datos de las propiedades que caracterizan una cuenca en particular (suelos, vegetación, topografía y características de los sedimentos).

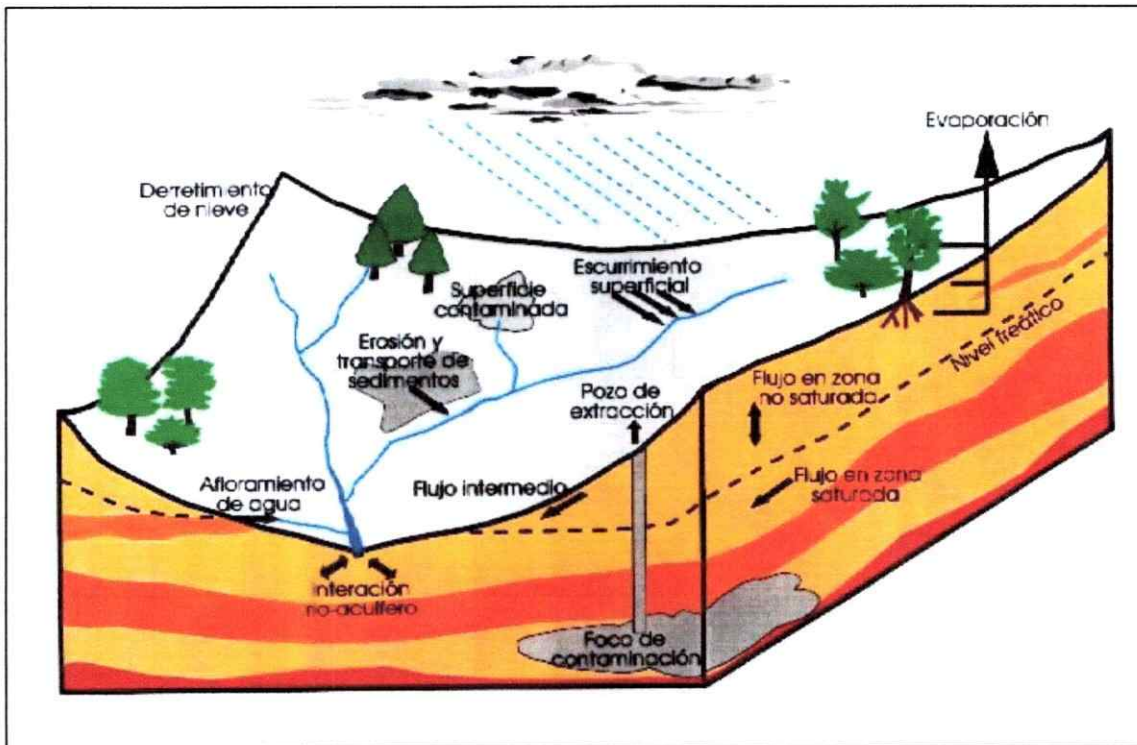


Figura 7. Representación esquemática de los procesos modelados por *SHETRAN*

Estos datos pueden estar basados en medidas directas o ser estimados a partir de bibliografía; se pueden referir a condiciones actuales de las cuencas hidrográficas o a distintos escenarios (ej: futuras alteraciones climáticas y en cubiertas vegetacionales)

Simular los impactos ambientales como eventos de inundación, producto de cambios en el uso de suelo, son evaluados en forma adecuada a través de la tendencia de la curva de descarga; en éste sentido los eventos de crecida, se simulan en cuanto a su ocurrencia en el tiempo en concordancia con eventos reales y calibrados en las cuencas hidrográficas.

SHETRAN, proporciona una descripción detallada en el tiempo y en el espacio de flujos y transportes en la cuenca. Sirve como herramienta para investigar impactos hidrológicos y de sedimento.

El modelo *SHETRAN* permite evaluar el efecto de la utilización de diferentes estrategias forestales y/o manejo de cuencas, de tal forma de simular las consecuencias antes de su implementación en terreno. Permite la predicción de impactos antes las potenciales inversiones de protección ambiental.

1.4.1- Los Componentes del modelo *SHETRAN* y entradas son:

A.- Componentes Base de la Cuenca (FRD)

Se incorpora todos los parámetros de caracterización base de la cuenca hidrográfica.

MODULO BASE
- Elevación de la superficie.
- Elevación del lecho impermeable.
- Códigos de distribución de la estación meteorológica y de precipitaciones.
- Códigos de distribución para vegetación, tipos de suelo y capas de suelo.

Tabla 1. Parámetros requeridos para el módulo FRD (Parkin, 1995)

B.- Componentes de interceptación y evapotranspiración (ETD)

Usa la información meteorológica para simular la evapotranspiración total y la lluvia neta resultante de éste proceso.

El cálculo de la Evapotranspiración actual y potencial, se obtiene a partir de las condiciones meteorológicas, las propiedades del suelo y la cobertura vegetal, y es independiente de las condiciones de flujo en el suelo y de las restricciones fisiológicas en la Evapotranspiración del sistema planta-raíz.

Para el cálculo de la interceptación, se utiliza el modelo modificado de Rutter. Mientras, para la evapotranspiración se utiliza la ecuación de Penman- Monteith.

- Modelo de Rutter et al. (1971/72, 1975)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = Q - ke^{b(C-S)}$$

Donde,

$$Q = pp'^p - pp' E_p C/S \text{ cuando } C < S$$

$$Q = pp'^p - pp' E_p \text{ cuando } C \geq S$$

$$pp' = pp' \text{ cuando } p' < 1$$

$$pp' = p \text{ cuando } p' \geq 1$$

y

C = Profundidad de agua en el dosel.

S = Capacidad de almacenamiento del dosel.

P = Tasa de precipitación.

p = proporción de suelo plano oculto por la vegetación a su máxima extensión

p' = Razón del área total de la hoja y el área de suelo cubierto por vegetación

E_p = Tasa de evaporación potencial

k y b = Parámetros de drenaje.

t = Tiempo.

- Penman-Monteith (1965):

$$E_a = \frac{R_n \Delta + \frac{\rho C_p \delta e}{r_a}}{\lambda \left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]}$$

Donde,

E_a = Evapotranspiración actual.

R_n = Radiación neta.

Δ = Tasa de incremento de la presión de vapor de agua con la temperatura de saturación, a temperatura ambiente.

ρ = Densidad del aire.

c_p = Calor específico del aire a presión constante.

δe = Déficit de presión de vapor del aire

r_a = resistencia aerodinámica al transporte de vapor de agua desde el dosel a 2 mts. sobre la superficie.

r_c = Resistencia del dosel al transporte de agua, desde una región en o por debajo de la superficie transpirante a la propia superficie, siendo 0 para un dosel húmedo (la evaporación está ocurriendo a una tasa potencial) e igual al promedio de la resistencia de los estomas en condiciones secas.

λ = Calor latente de vaporización del agua.

γ = Constante psicrométrica, dada por

$$\gamma = \frac{P c_p}{\sigma \lambda}$$

Donde,

P = Presión atmosférica

σ = Razón de densidad de vapor de agua con densidad del aire (aprox. 0,622)

C.- Módulo de flujo en canales y flujo de escorrentía (OCD)

Este módulo contiene la información acerca de los parámetros de transporte para el canal y la vegetación, además de los atributos topográficos del canal.

SHETRAN, utiliza ecuaciones diferenciales parciales de continuidad de masa y de momentum para simular las profundidades, velocidades y descargas de la escorrentía superficial y flujo en canales. Estas ecuaciones se basan en el modelo de tránsito distribuido de crecientes y se basan en la aproximación de las ecuaciones de Saint-Venant (1871).

COMPONENTE DE INTERCEPCIÓN	
Parámetros y datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - Parámetros de drenaje. - Capacidad de almacenamiento del dosel. - Índices de cobertura vegetal. - Índice de precipitación.
COMPONENTE DE EVAPOTRANSPIRACION	
Parámetros y datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia del dosel. - Resistencia aerodinámica. - Razón entre evapotranspiración actual y potencial, como una función de humedad del suelo. - Distribución de raíces con profundidad. - Datos meteorológicos..

Tabla 2. Parámetros requeridos para el módulo ETD (Parkin, 1995).

Las siguientes suposiciones son necesarias para la deducción de las ecuaciones de Saint-Venant:

1. El flujo es unidimensional; la profundidad y la velocidad varían solamente en la dirección longitudinal del canal. Esto implica que la velocidad del agua es constante y que la superficie del agua es horizontal en cualquier sección transversal perpendicular al eje longitudinal del canal.
2. Se supone que el flujo varía gradualmente a lo largo del canal, de tal manera que la presión hidrostática prevalece y las aceleraciones verticales pueden despreciarse (Chow, 1959).
3. El eje longitudinal del canal es aproximadamente una línea recta.

4. La pendiente del fondo del canal es pequeña y el lecho es fijo; es decir, los efectos de socavación y deposición son despreciables.
5. Los coeficientes de resistencia para flujo uniforme permanente turbulento son aplicables de tal forma que relaciones tales como la ecuación de Manning pueden utilizarse para describir los efectos de resistencia.
6. El fluido es incompresible y de densidad constante a lo largo del flujo.

* Fuente: Chow, Maidment y Mays. Hidrología Aplicada, 1994.

Para flujo de escorrentía, una solución en dos dimensiones es obtenida usando las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = q$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = S_{ox} - S_{fx} \quad \text{dirección x}$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} = S_{oy} - S_{fy} \quad \text{dirección y}$$

Donde,

$h(x,y)$ = Profundidad local de agua.

t = Tiempo.

x,y = Coordenadas cartesianas horizontal.

$u(x,y), v(x,y)$ = velocidades de flujo en las direcciones $x-y$.

$q(x,y,t)$ = Precipitación neta menos infiltración.

$S_{ox}(x,y), S_{oy}(x,y)$ = Pendiente de las laderas en la dirección $x-y$.

$S_{fx}(x,y), S_{fy}(x,y)$ = fricción en las pendientes en la dirección $x-y$; dado por

$$S_{fx} = \frac{u^2}{k_x^2 h^{4/3}}$$

$$S_{fy} = \frac{v^2}{k_y^2 h^{4/3}}$$

Donde,

$k_x(x,y), k_y(x,y)$ = Coeficiente de resistencia de Strickler para la dirección x e y , respectivamente.

Para el flujo en canales, una solución de una dimensión, se obtiene utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(Au)}{\partial x} = q_L$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = S_{ox} - S_{fx}$$

$$S_{fx} = \frac{u^2}{k_x^2 h^{4/3}}$$

Donde,

$A(x)$ = Sección transversal de flujo.

S_{ox} = Pendiente media del canal.

$q_L(x)$ = Para los elementos del canal desde el origen al sumidero, datos sobre evaporación, precipitación, entrada de flujo lateral y salidas de flujo e intercambio acuífero / flujo.

x = distancia a lo largo del canal. También se incluye el vertedero.

Todas éstas ecuaciones son resueltas numéricamente.

MODULO DE ESCORRENTIA Y DE FLUJO EN CANALES	
Parámetros	- Coeficiente de rugosidad de Strickler para flujo de escorrentía y flujo en canales. - Coeficiente de descarga para formular el vertedero.
Datos de entrada	- Flujo especificado para límites de nivel de agua.. - Bocatomas y descarga. - Topografía del flujo de escorrentía y secciones transversales del canal.

Tabla 3. Parámetros requeridos para el módulo OCD (Parkin, 1995).

D.- Componentes de la zona saturada (SZD)

El nivel de la superficie freática y su flujo, además de su variación espacial en relación con la caída pluviométrica.

Este módulo, calcula:

- Niveles de superficie freática para un acuífero singular no confinado.
- Volumen de flujo lateral en la zona saturada.

Para la determinación del volumen de agua se utiliza la ecuación de Boussinesq. La ecuación que gobierna el flujo de agua en el suelo en un acuífero de dos dimensiones, se encuentra basado en la suposición ampliamente usada, que el flujo está descrito por la Ley lineal de Darcy

$$q_D = K \frac{\partial h}{\partial l} \quad (1)$$

Donde,

- q_D = Flujo por unidad de área.
- K = Conductividad Hidráulica.
- h = Altura de la carga hidráulica.
- l = Distancia en la dirección del flujo.

Utilizando la suposición que las direcciones de los flujos en la zona saturada son predominantemente lateral más que vertical, y que la altura de carga hidráulica es constante con la profundidad e igual a la elevación en una superficie libre, la ecuación de continuidad para acuífero no confinado de dos dimensiones, puede ser escrito como

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = -\nabla(H_q) + R \quad (2)$$

Donde,

- H = Es la dimensión saturada.
- $\underline{q} (q_x, q_y)$ = Es el vector flujo, donde q_x y q_y son los flujos de Darcy en las direcciones x e y .
- h = Es la elevación de la superficie libre definida sobre los límites de la región saturada.
- S = Coeficiente de almacenamiento en la superficie libre.
- t = Tiempo.

R = Flujo de origen neto en el elemento, incluyendo la recarga desde la zona no saturada, intercambio con el sistema del canal, flujos de origen o sumideros y los flujos del acuífero regional.

Las ecuaciones 1 y 2, pueden ser combinadas para dar la ecuación no-lineal de Boussinesq de dos dimensiones para la elevación de la superficie libre (mapa freática), h , en términos de x, y, t

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_x H \frac{\partial h}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(K_y H \frac{\partial h}{\partial y} \right)}{\partial y} + R$$

Donde K_x y K_y son las conductividades hidráulicas en las direcciones x e y .

E.- Componentes de la zona no saturada (UZD)

Determina la humedad del suelo y precisión, además la distribución de la zona no saturada. Utiliza la ecuación de Richards, 1931.

Incluye el cálculo de:

- Potencial de presión en la zona no saturada
- Contenido de humedad del suelo en la zona no saturada
- Flujo vertical en la zona no saturada
- Infiltración en la superficie del suelo y para canales secos
- Recarga a la zona saturada

La Fuerza conductora para el transporte de agua, se puede expresar en términos de gradiente de la función de altura de la carga hidráulica, h , la cual contiene un componente gravitacional z y un componente de presión ψ

$$h = z + \psi \quad (1)$$

La altura de carga hidráulica gravitacional, desde éste punto de vista es la elevación del punto sobre el datum (z es positivo hacia arriba). Bajo condiciones no saturadas la presión de la altura de carga hidráulica ψ es negativa, debido a las fuerzas de capilaridad y las fuerzas de adsorción de rango corto, entre las moléculas de agua y la matriz del suelo.

Estas fuerzas son responsables de retener el agua en el suelo.

Para el flujo vertical, la fuerza conductora para el transporte de agua se obtiene a partir del gradiente en la dirección vertical z de la altura de carga hidráulica h

$$\nabla h = \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2)$$

El flujo volumétrico es obtenido de la Ley de Darcy, como

$$q = -K(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} \quad (3)$$

Donde, $K(\theta)$ es la Conductividad hidráulica no saturada.

Asumiendo que la matriz del suelo es incomprensible y el agua del suelo tiene densidad constante, la ecuación de continuidad será

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - S(z) \quad (4)$$

Donde θ , es la humedad volumétrica del suelo y S es la extensión del sistema radicular.

Combinando las ecuaciones 1, 3 y 4, se obtiene la siguiente ecuación

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left[K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} \right]}{\partial z} + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} - S(z)$$

Las variables dependientes θ y ψ , están relacionadas a través de dos relaciones fundamentales de las propiedades del suelo:

- La función de conductividad hidráulica $K(\theta)$.
- Las características del suelo $\psi(\theta)$.

Introduciendo el concepto de capacidad de agua en el suelo

$$C = \frac{\partial \theta}{\partial \psi}$$

El cual se obtiene a partir de la inclinación de la curva de retención de humedad del suelo, luego la versión basada en la tensión, se obtiene de la ecuación de Richards, 1931,

$$C \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial \left(K \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)}{\partial z} + \frac{\partial K}{\partial z} - S$$

MODULO ZONA NO SATURADA	
Parámetros	<ul style="list-style-type: none"> - Relación entre la tensión de humedad del suelo y el contenido de humedad. - Conductividad hidráulica no saturada como una función del contenido de humedad.
MODULO ZONA SATURADA	
Parámetros datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - Porosidad o capas específicas. - Elevación impermeable del lecho del canal. - Flujos especificados o potenciales al límite. - Datos de recarga y de bombeo.

Tabla 4. Parámetros requeridos para el módulo UZD y SZD (Parkin, 1995).

1.4.2- Salidas del modelo SHETRAN

Sobre la base de los inputs requeridos por el modelo SHETRAN, entrega alrededor de 40 variables de salida (output), las cuales se concentran en tres módulos:

1.- Flujo de Escorrentía:

- Caída pluviométrica neta (mm/hr)
- Evapotranspiración potencial (mm/hr)
- Evapotranspiración actual (mm/hr)
- Evaporación desde la superficie del suelo (mm/hr)
- Evaporación desde el dosel (mm/hr)
- Drenaje desde el dosel (mm/hr)
- Almacenamiento en el dosel (mm/hr)
- Infiltración (mm/hr)
- Tasa de intercambio de almacenamiento de la zona no saturada (mm/hr)
- Profundidad del nivel freático bajo la superficie (m)
- Flujo de la zona saturada (m³/seg)
- Ecurrimiento superficial (m³/seg)
- Profundidad del agua superficial (m)

- Intercambio de flujo entre el canal y acuífero (m^3/seg)
 - Cara de Intercambio de flujo entre el canal y acuífero (m^3/seg)
 - Intercambio de flujo entre la zona no saturada y el canal (m^3/seg)
 - Presión de la cabecera de la zona no saturada (m)
 - Contenido de agua de la zona no saturada (m^3)
- 2.- De Transporte de Sedimentos.**
- 3.- Migración de contaminantes.** Este módulo no se ha aplicado en Chile

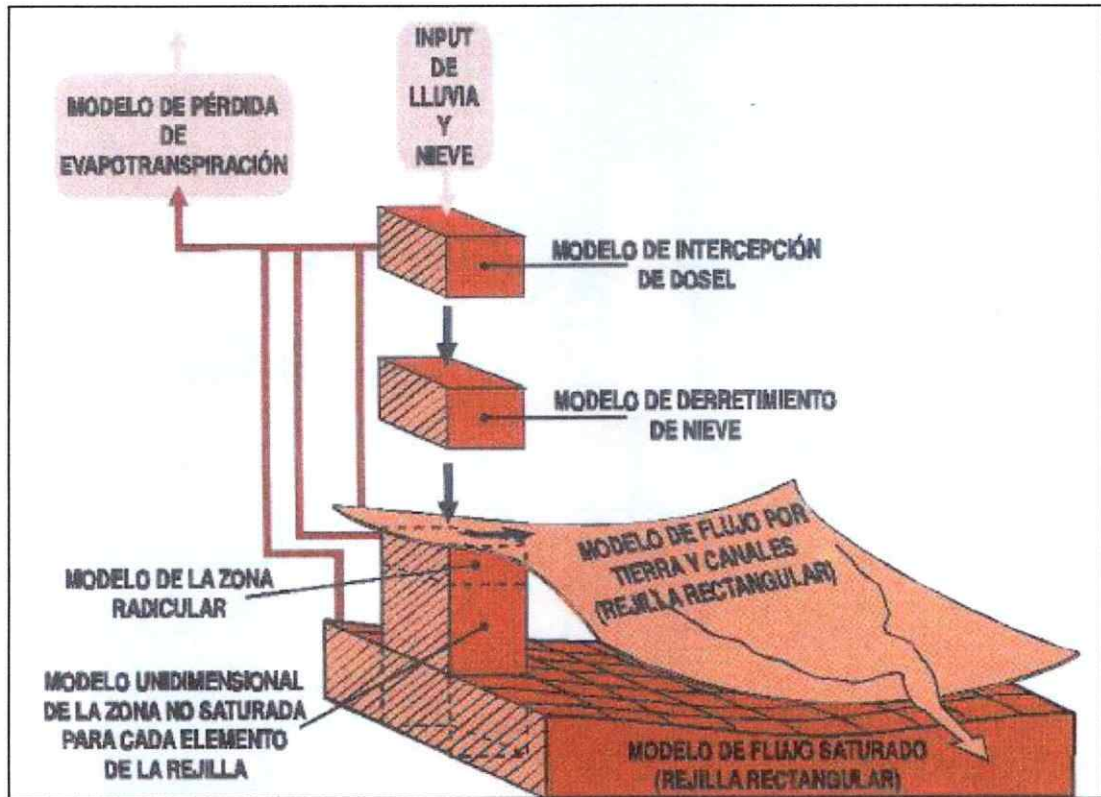


Figura 8. Esquema de los componentes o input del modelo SHETRAN

Procesos de Calibración y Validación de Modelos Hidrológicos

La utilización de un determinado modelo y su aplicación a una cuenca, tiene por finalidad obtener una representación de las posibles respuestas de ésta ante ciertas entradas (ej. Precipitación). Esto permitirá sintetizar los antecedentes en que una decisión será basada, sin esperar una disponibilidad real o inmediata de ellos (Klemes, 1986).

Los modelos distribuidos y físicamente basados, al ocupar parámetros que tienen un carácter físico, pueden ser medidos en terreno, no requiriendo en teoría su calibración, pero en la práctica un proceso de calibración y validación se hace necesario¹.

De ésta forma se puede describir el proceso de calibración de un modelo hidrológico, como aquel en que se comparan registros medidos en

¹ Comunicación personal entregada por el Sr. Bathurst J. Reader in Erosion and Sediment Transport. BSc (Eng), MSc, PhD. Department of Civil Engineering, University of Newcastle upon Tyne. UK.

forma directa con los resultados simulados por el modelo en un período de tiempo dado, realizando ajustes en el valor de los parámetros dentro de los rangos reales para el lugar de aplicación. Esto permite alcanzar una representación óptima de la respuesta de una cuenca, en un período determinado (Palacios, 1994; Riffo y Castillo, 1997). El procedimiento de validación representa la aplicación del modelo con sus parámetros calibrados, en un período de tiempo diferente al utilizado en la calibración, comparando los valores simulados por el modelo con los registros observados (Ewen y Park, 1996).

En éste estudio no se realizará la validación del modelo hidrológico *SHETRAN*, debido a que ya fue validado con anterioridad para la microcuenca Los Almendros, R.M.; por el Ingeniero Forestal MSc Engineering Hydrology Wilfredo Alfaro Catalán; con el estudio: "Use of *SHETRAN* for land management and climate change simulation impacts, central precordillera, Chile. (1999)". La información utilizada fue para el período de estudio 1996 – 1997.

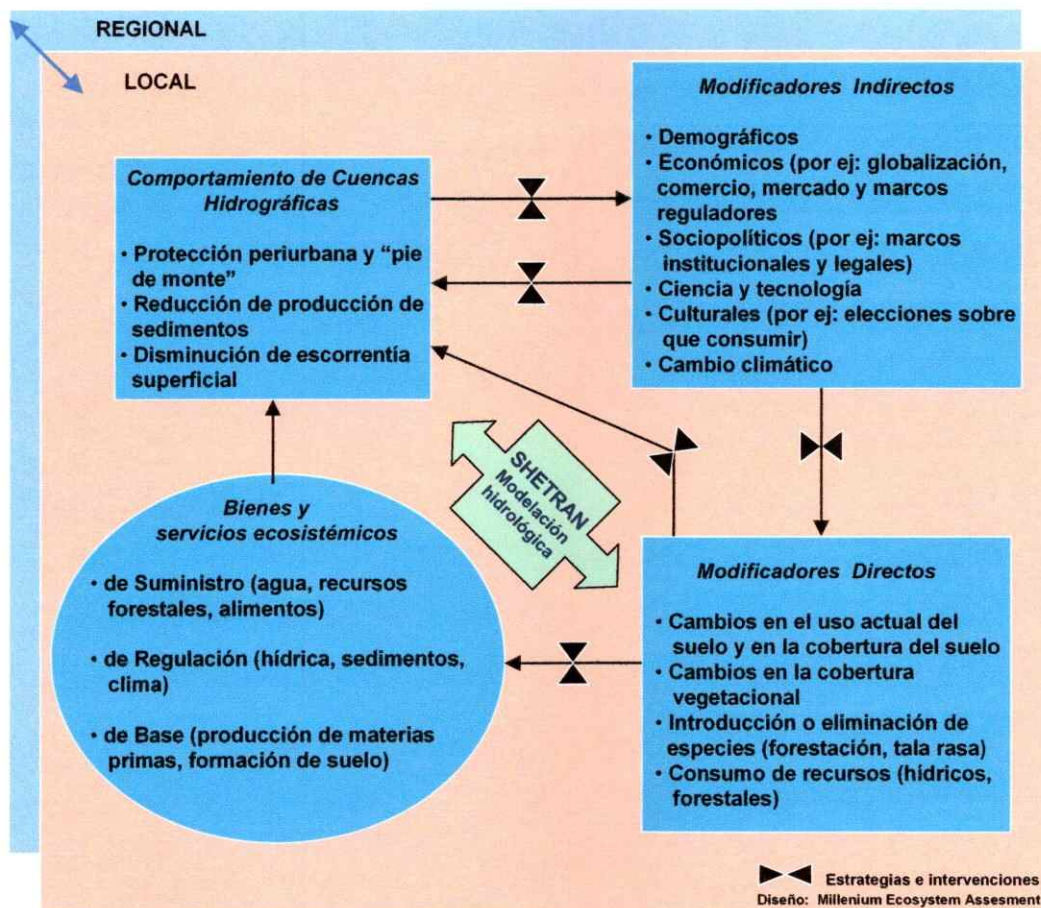


Figura 9. Modelo conceptual de una cuenca hidrográfica

1.5- Planteamiento del problema

La expansión urbana hacia los faldeos cordilleranos, que son propensos a sufrir trastornos debido a la concentración de agua y

flujos de sedimentos característicos de la zona central, pueden provocar problemas en el normal funcionamiento de la cuenca.

Debido a eventos de inundaciones por lluvias en el Invierno, hay interés en el manejo de cuencas de pie de montaña, con el fin de dispersar o

reducir el agua y no alterar la producción de sedimentos (Bathurst et al., 1998).

De éste modo, se generará información cuantitativa, en la respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica experimental.

La experiencia mundial indica que la tala rasa y un evento de incendio forestal, puede aumentar los niveles de escorrentía superficial de agua y sedimentos al interior de una cuenca (ej., Bosch et al., 1982; Blackburn et al., 1990; Davies et al., 1993). Luego, resulta de gran preocupación si se considera que la remoción de extensas áreas de bosque puede llegar a incrementar los umbrales de daño por inundaciones y arrastre de sedimentos (ej. Gentry et al., 1980; Lyons et al., 1983)

El objetivo principal de éste estudio es la caracterización del régimen hídrico de la microcuenca Los Almendros, Reserva Nacional Río Clarillo, Región Metropolitana. Además, se evaluará el efecto producido en la microcuenca, bajo diferentes escenarios de cambio en la cobertura vegetal, mediante la utilización del sistema de modelación hidrológica de base física, espacialmente distribuido *SHETRAN* (Sistema Hidrológico Europeo).

1.6- Modelo Conceptual

Los cambios que potencialmente afectan o modifican indirectamente al sistema cuenca hidrográfica, como la densidad poblacional, factores económicos y sociales, eventualmente pueden provocar cambios en los factores que influyen directamente en las cuencas, como cambios en el uso actual del suelo, cambios en la cobertura vegetal y consumo de los recursos.

Los cambios producidos en los componentes y procesos del sistema, provocan cambios en los bienes y servicios que prestan las cuencas hidrográficas.

Este tipo de influencias puede ocurrir a diferentes escalas espaciales (microcuencas o cuencas) y temporales. Por ejemplo, el mercado global puede llevar a una pérdida de la cobertura vegetal (demanda de madera), lo cual puede causar un aumento en la escorrentía superficial, que por consiguiente provocar eventos de inundaciones locales (a nivel de microcuencas).

El modelo hidrológico *SHETRAN*, a través de su capacidad de modelar la dinámica hídrica de una cuenca, así como la producción y arrastre de sedimentos, puede actuar a diferentes niveles de acción para dar respuesta a cambios negativos, así como ser usado como herramienta de apoyo a la toma de decisiones (Figura 9).

2- Materiales y Método

2.1- Materiales

2.1.1- Antecedentes de Área de Estudio.

2.1.1.1.- Localización

La Reserva Nacional Río Clarillo, es parte del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE) y se ubica a 45 km de Santiago, en la comuna de Pirque, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. La superficie de la Reserva es de 13.085 ha (130.85 km²) (ICSA Ingenieros Consultores, 1983). Geográficamente, la unidad está comprendida entre los paralelos 33°41' y 33°51' latitud Sur y los meridianos 70°24' y 70°29' longitud Oeste. La altitud varía desde los 850 msnm, hasta 3.057 msnm en el deslinde Sur-Oriente (ICSA, Ingenieros Consultores, 1983, citado por CONAF, 1996).

Se accede a ésta unidad a través del camino público que une Puente Alto con Pirque y el poblado "El Principal", localidad aledaña a la Reserva.

La microcuenca Los Almendros, tiene un área de 4.2 km² y sus condiciones de topografía, suelos y vegetación, fueron factores importantes considerados en la selección de ésta área como una cuenca experimental (Anexo 1). Además, su ubicación es muy adecuada para estudiar las interacciones entre las pendientes (pie de monte, "foothills") de las altas montañas y el Valle Central con fines de protección urbana. (Alfaro, 1999).



Figura 10. Vista aérea cuenca los almendros

2.1.1.2 - Gestión

La Reserva es administrada actualmente por la Corporación Nacional Forestal, quien la recibió en sucesión por parte de la Corporación de la Reforma Agraria (CORA), parte del predio Cora N° 9, Proyecto de Parcelación “El Principal”, con rol del avalúo 20-4 y con una superficie de 10.185 ha. (CONAF, 1996).

Finalmente, el 29 de enero de 1982, se crea la Reserva Nacional Río Clarillo, a través del D.S. N°19 del Ministerio de Agricultura, publicado en el Diario Oficial el 6 de marzo de 1982.

2.1.1.3 - Clima

La Reserva se enmarca dentro de un clima Mediterráneo semiandino, que se caracteriza por no tener influencias costeras, sino más bien tendencias continentales evidentes (Di Castri, 1968; citado por CONAF, 1996)

Con respecto a la clasificación según Köeppen, correspondería al denominado clima templado frío con lluvias invernales. Estas clasificaciones se aplican a la cuenca Río Clarillo en su conjunto, sin embargo se debe tener en cuenta las diferencias altitudinales, de exposición y pendiente, que crean marcadas diferencias locales, dando origen a la presencia de fenómenos “topoclimáticos”.

También es importante destacar que de acuerdo al relieve altitudinal que se manifiesta en la cuenca del Río Clarillo, el clima mediterráneo que caracteriza a esta zona, sufre algunas derivaciones sobre los 1.500 msnm, en donde las temperaturas son más bajas y las precipitaciones más abundantes y frecuentemente en forma de nieve, observándose incluso que en años atípicos, se han producido algunas nevadas en sectores ubicados bajo este piso altitudinal.

2.1.1.4 - Geología y Geomorfología

La cuenca hidrográfica de la Reserva Nacional Río Clarillo ocupa una fosa muy definida que está orientada de Norte a Sur y pasa por completo a través de la formación granítica denominada batolito andino, que es el basamento cristalino ígneo de una extensa zona cercana al llano central. El límite de la cuenca lo constituye los ríos Maipo y Cachapoal.

Geológicamente predominan las rocas ígneas del tipo granito y grano-dioritas y dioritas de coloración gris clara a blanquecino-rosada.

En un sentido altitudinal, la Precordillera de la Reserva, se levanta desde los 850 msnm hasta los 3.057 msnm, y Morfogenéticamente corresponde a un complejo sistema de conos superpuestos, siendo los más antiguos los de origen glacio-volcánicos, luego fluvio-volcánicos y los más recientes de origen hidrocineritos. En ambas laderas del Río Clarillo se observan terrazas fluviales planas. En general hacia el interior las pendientes son más abruptas con predominio de altas cumbres.

2.1.1.5 - Suelos

La cuenca hidrográfica se caracteriza por presentar suelos de profundidad media y escasamente desarrollados con profundidades máximas no superiores a 1,2 m. Su interior está formado por rocas volcánicas, principalmente andesíticas y riolíticas con intercalaciones de rocas sedimentarias. Este tipo de suelo, presente en la estructura actual de la cordillera de Santiago, presenta además formaciones rocosas graníticas que permiten una fácil infiltración de agua (Rubio et al, 1980; citado por CONAF, 1996).

Son suelos de texturas sueltas, predominantemente arenosas y de colores claros, prácticamente sin estructura, grano simple, sumamente frágil frente al agua y altamente erosionables, por la acción de los agentes atmosféricos.

Las características fisiográficas del área, condicionan la predominancia de suelos clases VI, VII y VIII de capacidad de uso, que corresponderían a suelos no susceptibles de ser cultivados. (Lazo, 1990; citado por CONAF, 1996).

Por efecto de la profunda perturbación experimentada por la vegetación en el pasado, los suelos presentan signos de procesos erosivos en la cuenca del Río Clarillo, los cuales se vieron intensificados por las fuertes pendientes y su natural inestabilidad. De acuerdo al mapa preliminar de los procesos y áreas de desertificación en Chile continental, en la Reserva se encuentra caracterizada la aceleración del ciclo hidrológico por tala para la utilización de carbón y leña, con siembras ocasionales e incendios (Peralta, 1978; citado por CONAF, 1996).

Las pendientes de la microcuenca Los Almendros son muy altas, con valores que se encuentran en el rango de 0° - 45°.

Para el módulo FRD de *SHETRAN*, es necesario definir tipos de suelos de acuerdo a la profundidad. Esta información fue levantada en terreno a través de la construcción de calicatas en los lugares más representativos de la cuenca, directamente relacionado con el tipo de vegetación. De acuerdo a lo anterior, se clasificaron 3 tipos de suelos, de 1.15m, 0.75m y 0.30m de profundidad. Para estimar la representación de cada tipo de suelo en cada grilla, se hizo fotointerpretación a partir de la utilización de imágenes aéreas, escala 1:20000 del vuelo FONDEFF de 1994.

2.1.1.6 - Hidrografía

La cuenca del Río Clarillo aparece como un valle intermontano andino, cuyo curso de agua principal conforma una hoya hidrográfica menor, alimentada por una red de afluentes permanentes y temporales. El sistema hidrográfico está conformado por dos cuencas mayores: Cajón de Los Cipreses y Cajón del Horno, cuya confluencia a los 1.100 msnm origina el Río Clarillo, con una extensión de 8,6 Km. hasta el límite nor-poniente de la unidad. Todas las microcuencas que conforman éste sistema, son del tipo exorreica, al ser afluentes de la gran hoya hidrográfica del río Maipo.

El régimen del Río Clarillo es mixto, combinando el régimen pluvioso en épocas invernales, que aumentan visiblemente su caudal, con el nivoso, esencialmente con deshielos primaverales que se mantienen durante todo el verano.

De acuerdo a la carta de drenaje de la reserva, ésta presenta 13 cuencas significativas en cuanto a transporte de sedimento, escurrimiento y drenaje. La microcuenca Los Almendros, se ubica en el séptimo lugar, con un área aproximada de 420 ha.

2.1.1.7 - Vegetación

El sistema básico de clasificación de la vegetación nativa chilena (Gajardo, 1983), determina que la reserva Nacional Río Clarillo está inserta dentro de la Región ecológica del matorral y bosques esclerófilos y la Región ecológica de la estepa altoandina.

Dentro de la región ecológica del matorral y bosques esclerófilos, se encuentra la subregión del bosque esclerófilo; que se representa fisionómicamente como un bosque que se encuentra muy intervenido, mostrando la presencia de diferentes estados regenerativos. Se extiende por las laderas, destacando una composición variable de acuerdo al patrón de exposición.

Mientras la región ecológica estepa alto andina, se caracteriza por dos factores principales. En primer lugar, desde el punto de vista climático corresponde a un territorio que tiene predominantemente precipitaciones de invierno, en un gradiente que aumenta de norte a sur. En segundo lugar, se caracteriza por un relieve esencialmente montañoso, con altos cordones de laderas escarpadas, en que predominan los elementos rocosos. Esta formación vegetal, considerando su fisonomía general, es la resultante de una gran imbricación con los elementos andinos. Corresponde predominantemente a una estepa alto andina de mucho desarrollo y diversidad local.

Entre las especies arbóreas predominantes de la microcuenca Los Almendros, se encuentran el litre (*Lithraea caustica*), peumo (*Cryptocaria alba*), quillay (*Quillaja saponaria*), maitén (*Maytenus boaria*), lingue del norte (*Persea meyeniana*) y bollén (*Kageneckia angustifolia*). Las principales especies arbustivas son: *Acacia caven*, *Escallonia sp.*, *Colliguaja integerrima*, *C. odorifera*, *Valenzuelia trinervis*, *Puya chilensis*, *P. berteroniana*. Los "pastos", son especies anuales del orden *Graminae*. (fuente:

Plan de Manejo Reserva Nacional Río Clarillo, CONAF, 1996).

Según el Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile (CONAF, 1989), se encuentra dentro de las especies con problemas de la Región Metropolitana, pero no está presente en el listado nacional de especies con problemas de conservación.

En relación con los parámetros de vegetación que fueron incorporados al módulo "frame" (FRD), la cobertura vegetal fue clasificada en seis formaciones principales: Matorral Arborescente abierto, Matorral Arborescente semidenso, Matorral Abierto, Renoval semidenso, Renoval denso y Afloramientos rocosos; asociado con la elevación, grado de cobertura y especies dominantes (fuente: Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, CONAF-CONAMA, 1995)

2.1.1.8 - Topografía

La microcuenca Los Almendros, tiene un área de 4,2 km² con un perímetro de 9,95 Km. Y 4.180 m de longitud del cauce principal. La elevación varía entre 850 msnm y 2176 msnm. Para obtener la topografía de la microcuenca Los Almendros, se realizó un modelo de elevación digital (DEM), que fue obtenido de la información digitalizada del Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF-CONAMA, 1995), en donde se utilizó el software de Sistema de Información Geográfica (GIS), ARC-VIEW 3.2, para el ordenamiento de la información disponible y la visualización gráfica de ésta. El software IDRISI 32 (GIS), fue usado para la transformación de los datos digitalizados a las grillas formato raster para la creación del DEM. Luego, el DEM fue transformado a formato de los archivos de entrada propiamente de *SHESTRAN* (Sistema Operativo UNIX), requeridos por el componente "frame"(FRD).

El modelo de la microcuenca Los Almendros, se encuentra representado como una red de 19 X 45 grillas cuadrado, y la cuenca fue representada por 420 elementos de grillas, incluidos pendientes, cauces hídricos y grillas de banco. El tamaño de la grilla, fue definido como 100 * 100 m (1 ha)

2.1.1.9- Caracterización de variables Hidrológicas y Morfométricas

- Parámetros de Forma

Para obtener la forma de la cuenca hidrográfica, se utilizó el índice de Gravelius. La función permite determinar el coeficiente de compacidad de la cuenca, a partir de la siguiente relación

$$K_G = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{S}}$$

donde,

P = Perímetro de la cuenca
S = Superficie de la cuenca

cuando,

1,00 ≤ K_G < 1,25 → cuencas redondas
1,25 ≤ K_G < 1,50 → cuencas ovaladas
1,50 ≤ K_G < 1,75 → cuencas oblongas

- Pendiente media del cauce principal

La pendiente del cauce influye directamente en la velocidad de flujo de agua y el arrastre de sedimentos a través del río. Corresponde al cociente entre la diferencia de cotas extremas del río o curso principal y su longitud.

$$J_{\text{río}} = \frac{H_{\text{máx}}(m) - H_{\text{mín}}(m)}{L_r(m)}$$

- Pendiente media de la cuenca

El modo más directo de calcular la pendiente media de la cuenca es considerarla como la media ponderada de todas las superficies elementales en las que la línea de máxima pendiente es constante. Se llega a la siguiente expresión

$$J = \frac{D * L_t}{S}$$

donde,

D = Equidistancia entre curvas de nivel
L_t = Longitud de todas las curvas de nivel
S = Superficie de la cuenca

- Altura media de la cuenca

Para calcular la altura media de la cuenca se debe contar con una carta topográfica a escala 1:50.000 y se emplea la siguiente fórmula:

$$HM = \frac{(a_i * h_i)}{A}$$

donde,

HM = Altura Media de la cuenca.
a_i = Area de la banda (i) entre curvas de nivel
h_i = Clase altura
A = Area de la cuenca hidrográfica

- Coeficiente Orográfico

La pendiente media y la altura media son parámetros insuficientes para caracterizar el relieve de una cuenca.

En realidad, nos podemos encontrar con cuencas que con la misma pendiente o altura media presentan una morfología muy distinta.

El coeficiente orográfico contempla ésta posibilidad y se define con la siguiente fórmula:

$$C_o = A_m * tg\alpha$$

donde,

A_m = Altura media (m)
tgα = Coeficiente de masividad de Martonne, que corresponde a A_m/S, siendo S, la superficie de la cuenca.

2.1.2- Descripción de Estaciones Automática de Monitoreo

2.1.2.1- Estación Meteorológica

Para la toma de información se cuenta con una Estación Meteorológica automática DIDCOT (Figura 11), que permite el registro a intervalos de 1 hora de:

- Radiación solar (w/m^2)
- Radiación solar neta (w/m^2)
- Temperatura bulbo seco ($^{\circ}C$)
- Temperatura bulbo húmedo ($^{\circ}C$)
- Velocidad del viento (m/s)
- Dirección del viento (grados)
- Precipitación (Pp)
- Humedad relativa (%)
- Presión atmosférica (Hpa)
- Evapotranspiración potencial (mm)



Figura 11. Estación Meteorológica automática.

La estación está dotada de un almacenador de información o datalogger y de una batería de 12 volt para 3 meses de operación. Además de un panel solar para la recarga de la batería interna. El datalogger puede almacenar un total de 32.000 datos, lo que equivale a 3 meses de datos, cuando son tomados a intervalos de 1 hora.

La información registrada por el datalogger es luego cosechada por medio de un módulo de almacenamiento SM 192 Campbell, denominado storage module (Figura 12), el cual



Figura.12. (a) keypack, (b) storage module

se utiliza en la transferencia de datos y programación entre la estación meteorológica y el PC. Luego los datos colectados en el PC, deben ser transformados y almacenados en la workstation (SHETRAN), con sistema operativo UNIX. (Figura 13).

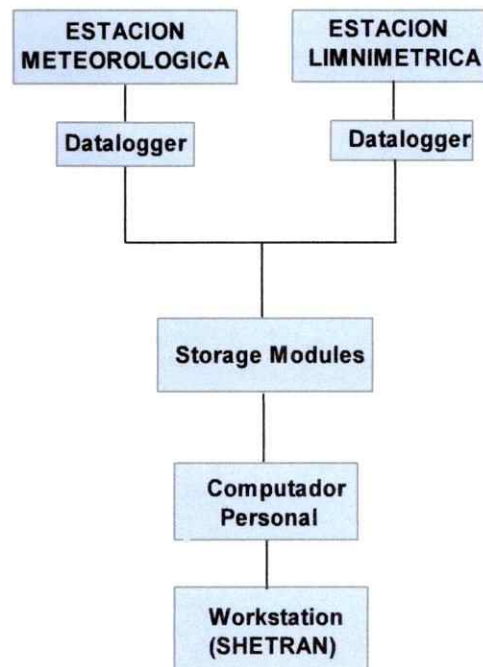


Figura 13. Esquema que representa el flujo de información desde las estaciones de monitoreo hasta el modelo SHETRAN.

2.1.2.2- Estación Limnigráfica

Para la medición de la descarga se cuenta con una estructura de aforo tipo flume ubicada en la salida de la cuenca (Figura 14). Un limnógrafo marca DIDCOT, registra en forma continua el nivel de agua que pasa por la estructura de aforo (Figuras 15 y 16). Dicha información se emplea para establecer la curva de descarga teórica del flume.

Accesorios de la Estación Limnigráfica:

- Software de soporte para administrar la estación
- Un módulo digital de almacenamiento de información
- Un panel solar



Figura 14. Aforo tipo flume en las microcuencas



Figura 15. (a) Dipflash, (b) presurómetro, (c) datalogger.

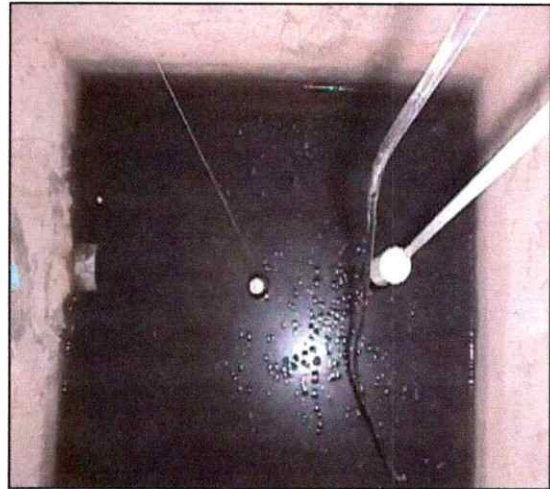


Figura 16. Foso Limnigráfico.

2.2- Método

En éste capítulo, se describe la recopilación de datos y los procedimientos que se llevaron a cabo para realizar la simulación del modelo. También se describe en el área de estudio, la metodología adoptada para simular impactos ambientales producto de cambios en el uso de suelo.

Los diferentes pasos que se llevaron a cabo en la realización de la metodología, se describen en el Anexo 1, en donde se presenta el esquema adoptado en la simulación.

2.2.1- Revisión de Datos

Se revisó la información disponible en la base de datos de la workstation, para las estaciones automáticas Meteorológica y Limnigráfica. De éste modo el período desde 1998 a 2002, es representativo para las condiciones meteorológicas del área de estudio. Para el caso de las mediciones automáticas de caudales, se considera, el período que comprende los años, entre 1998 y 2002. Finalmente, los datos fueron transferidos a la workstation en orden a proceder con las simulaciones.

2.2.2- Disposición de Archivos de Entrada (Input)

Los archivos de entrada del modelo *SHETRAN*, fueron ingresados en el formato

correspondiente. El archivo básico de entrada, es el módulo "frame" (FRD), el cual contiene una descripción detallada del período de simulación, los módulos que se llevan a cabo durante la simulación, el tamaño de las grillas, la distribución de éstas para los elementos topográficos, vegetación y tipos de suelos.

Existen tres archivos de entrada para describir la precipitación, la evaporación y otros datos meteorológicos. Así, los archivos de entrada que varían a través del tiempo, en la precipitación (PRD) y evaporación (EPD), fueron definidos para los datos correctos de la estación meteorológica automática, para el período 1998-2002.

También, otros tres módulos, fueron definidos para describir los parámetros de la cuenca, en relación a los procesos hidrológicos de la zona no saturada (UZD), la zona saturada (SZD) y el flujo en canales (OCD).

2.2.3- Escenarios Cambio de cobertura vegetal o uso de la tierra

Los escenarios para cambio de cobertura vegetal fueron introducidos para la modificación de los parámetros apropiados contenidos en los archivos de entrada (input). El objetivo de los escenarios es explorar la respuesta de la cuenca, bajo diferentes potenciales condiciones futuras. (Alfaro, 1999). Luego, los siguientes escenarios para cambio de uso de la tierra, fueron realizados para diferentes condiciones de cobertura vegetal:

- Cobertura completa
- Cobertura reducida
- Sin vegetación

Para la definición de los escenarios de cambio de uso de la tierra, los parámetros modificados para los propósitos de las simulaciones fueron, porcentaje de cobertura del dosel (PLAI), coeficiente de rugosidad de Strickler (STRXY) y la conductividad hidráulica vertical saturada (KSAT).

Además, existe una relación directa entre el grado de cobertura de vegetación y la conductividad hidráulica. Esto fue adoptado en

concordancia con las mediciones directas llevadas a cabo por CONAF. Como ejemplo, la conductividad hidráulica medida en la parcela N°1, con cobertura de bosque, es diez veces mayor que la parcela N°2, con suelo descubierto, sin embargo, ambas se encuentran localizadas en la misma ladera y no más de 50 m de distancia. Esto puede ser explicado por los altos contenidos de materia orgánica en el perfil de suelo bajo el dosel del bosque comparado con los suelos descubiertos. También, los suelos descubiertos, son áreas abiertas, donde la materia orgánica es degradada más rápidamente y las partículas de suelos, quedan expuestas a compactación por el impacto de las gotas de lluvia. (CONAF, 1999)

Las áreas de suelos descubiertos, son una clara evidencia de erosión del tipo lineal, que sugiere una baja rugosidad (alto coeficiente de Strickler) comparado con áreas con cobertura de bosque. Sin embargo, esto fue considerado para las áreas con suelos descubiertos, ya que no pueden experimentar algún tipo de cambio de uso de suelo, porque se asume que no puede ser objeto de alguna práctica de manejo, y un potencial evento de incendios forestales, no podría afectar esto significativamente (Alfaro, 1999).

Por lo tanto, en el caso de la simulación de una cobertura completa, se asume que a la cobertura vegetal actual podría ser enriquecida a través de la plantación, para mejorar la protección de la superficie del suelo. Se asume una rugosidad (bajo coeficiente de Strickler) de la superficie del suelo 10% más alto, como resultado de la alta densidad vegetal. Además, se asume una alta conductividad hidráulica vertical en el suelo.

Por otra parte, para el escenario de reducción de la vegetación, se asume que el grado de cobertura podría ser reducido a través del "clareo", técnica utilizada para abrir el dosel de especies nativas y así permitir la regeneración de plántulas. Lo cual conlleva a un aumento en el flujo de descarga, pero con un compromiso de desarrollo futuro de la vegetación. Por lo tanto, se asume una reducción de un 40% de la cobertura vegetal, el cual es el máximo rango de "clareo" para la cobertura vegetal de bosque. Además, se asume una rugosidad 10% más bajo y una conductividad hidráulica

10% más baja. Los factores de modificación son estimaciones que se basan en los factores observados en las parcelas N°1 y N°2.

Así, el escenario considerado como la eliminación de la cobertura de vegetación, fue definido asumiendo una cobertura singular sobre toda la cuenca con los parámetros correspondiente a la clase de suelo descubierto. Esta clase de uso de la tierra, se considera en relación a definir un caso extremo en orden a incrementar el flujo de agua en una vía.

2.2.4- Flujo de Descarga manual

Para la calibración de los parámetros del modelo, relativo con la curva de descarga, se realizaron mediciones manual de caudales, durante los eventos de precipitaciones máximas y mínimas, y sin precipitación, que se consideraron relevantes dentro de cada año.

Para la medición in situ, se utilizó el correntómetro (Figura 17), es un instrumento que se utiliza para medir la velocidad de flujo de la columna de agua que pasa a través del flume, para luego realizar el cálculo de caudal.



Figura 17. correntómetro.

3.- Resultados

3.1- Caracterización Morfométrica de la microcuenca

Parámetros	Unidad de medición
Área de la cuenca	4,2 km ² / 420 há
Longitud cauce principal	4,18 Km.
Pendiente media de la cuenca	50,6 %
Pendiente media del cauce	29,8 %
Perímetro	9,95 Km.
Índice de Gravelius	1,36
Altura media	510 m
Altitud media	1.385 msnm
Coefficiente orográfico	6,19 m ² /ha
Curva hipsométrica	Figura 16

Tabla 5. Valores de los Parámetros Hidrológicos y Morfométricos de la Microcuenca Los Almendros

Según el índice de Gravelius, la microcuenca Los Almendros, presenta una forma ovalada, de éste modo, las aguas circulan por más cauces secundarios y su tiempo de concentración (tiempo que tarda la gota más alejada de la sección de salida en llegar hasta dicha sección) será mayor que en las cuencas alargadas, en las cuales las gotas de agua llegan antes al cauce principal, y por lo tanto salen antes.

Según Fournier, con el valor del coeficiente orográfico de 6,19 m² / ha, la microcuenca los Almendros, es una cuenca de relieve acentuado; lo cual toma relevancia a la hora de estimar la erosión (degradación específica), según el método de Fournier. Esto se puede ratificar con los valores de pendiente media de la cuenca y pendiente media del cauce principal, con valores de 50,6 % (22,7°) y 29,8 % (13,4°), respectivamente

Además, se calculó la Curva hipsométrica, la cual ofrece una visión del relieve y la altimetría de la cuenca. Por encima de la altitud mínima de la cuenca (sección de control) se halla el cien por ciento de su superficie; si nos movemos altimétricamente hacia el punto más alto de la cuenca y calculamos a partir de cada curva de nivel las áreas acumuladas por encima de ellas, podemos construir la curva hipsométrica. Para ello, se traslada las superficies calculadas al eje de las abscisas y la altitud en metros al de ordenadas.

Por lo tanto, la curva hipsométrica nos indica que la microcuenca Los Almendros, es una cuenca del tipo valle aluvial, es decir cuando el río desciende muy rápidamente en altitud (Figura 18)

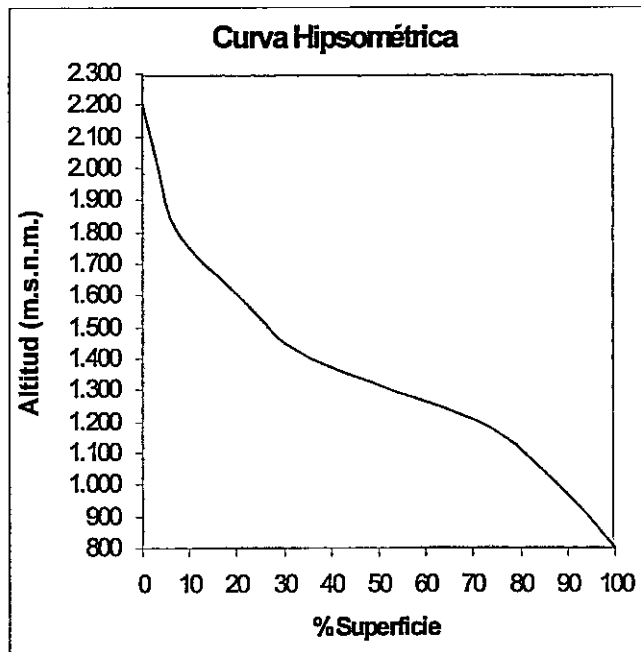


Figura 18. Curva hipsométrica microcuenca Los Almendros

3.2- Precipitaciones y Temperaturas

En la Tabla 6, se presenta el promedio mensual de precipitaciones de la cuenca Los Almendros para el período de estudio 1998 - 2002.

El Período de precipitaciones se concentra principalmente entre los meses de Abril a Septiembre. Esto indicaría una clara estacionalidad de éstas; existiendo meses secos, en la época estival, con excepción durante febrero de 1998 y 2000, con precipitaciones de 10,4 mm y 49,5 mm, respectivamente.

El año 2002, dentro del período de estudio, fue el que presentó mayores precipitaciones, con un valor de 1139,4 mm/ año, superando ampliamente el agua caída para un año normal.

Mientras, el año más seco, fue 1998, con una precipitación anual de solamente 219,8 mm.

En la tabla 7, se presentan los valores de temperaturas mínima, máxima y media mensual, agrupados por año.

En la Figura 19, se presenta una gráfica de comparación de Precipitaciones versus Temperaturas, que fueron relacionadas para el período de estudio 1998-2002. Los meses con temperaturas más bajas, se encuentran relacionados con el período de mayores lluvias durante el año.

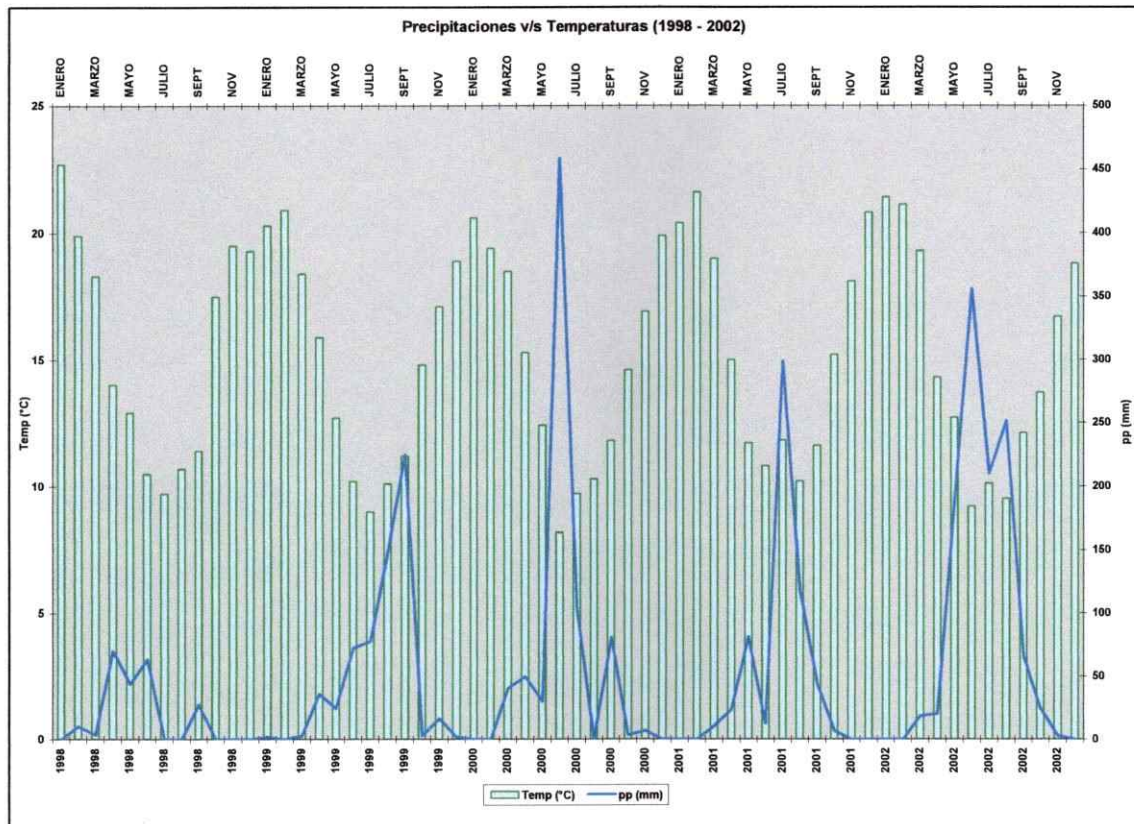


Figura 19. Precipitación (mm) v/s Temperaturas (°C). Período 1998 – 2002.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1998	0	10,4	3,7	70,2	43,9	63,6	0	0,4	27,6	0	0	0	219,8
1999	2,1	0	2,7	35,9	24,6	72,7	78,1	148,3	225,1	3	16,5	2	611
2000	0	49,5	0	40,4	30,0	458,9	104,5	0	81	3,5	7	0	774,8
2001	0	0	10,7	23,6	81,5	12,6	299,1	118,3	44,4	6,7	0	0	596,9
2002	0	0	18,6	20,4	189,3	356	210,1	251,6	65,7	24,7	3	0	1139,4

Tabla 6. Precipitación mensual para el período de estudio (1998-2002)

	1998			1999			2000			2001			2002		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
Ene	12,8	29,7	22,7	8,8	33	20,3	8,6	32,8	20,6	8,2	32,4	20,4	10,6	32,4	21,4
Feb	11	27,2	19,9	10	33	20,9	7,6	31	19,4	10,4	31,8	21,6	10,6	33,4	21,1
Mar	11,4	25	18,3	7	30,8	18,4	7,4	30,4	18,5	5,6	30,8	19	6,2	31,2	19,3
Abr	9,6	21,1	14	5	30	15,9	3,8	30,6	15,3	3	29,8	15	2,2	28,4	14,3
May	6,7	19,2	12,9	1	27,2	12,7	2,2	25,7	12,4	-1	28,8	11,7	1,6	30,8	12,7
Jun	5,3	16,5	10,5	0,2	22	10,2	-2,2	23,2	8,2	-1,2	25,8	10,8	-0,6	25,8	9,2
Jul	3,4	17,1	9,7	-3	27,2	9	-2,6	24,2	9,7	-0,8	24,8	11,8	-2,2	25	10,1
Ago	2,6	17,5	10,7	-1	26,6	10,1	0,2	24,8	10,3	0,4	29,4	10,2	-1,2	23,2	9,5
Sept	0,8	18	11,4	-1,4	26,8	11,2	1,2	26,4	11,8	0,9	25,4	11,6	0,6	25	12,1
Oct	7,6	25,2	17,5	5,3	26,9	14,8	0	29,8	14,6	3,5	27,4	15,2	2	27,8	13,7
Nov	8,3	27,1	19,5	6,2	31,2	17,1	2	30,2	16,9	3,2	29,4	18,1	3,8	31,4	16,7
Dic	5,4	31,6	19,3	6,6	30,6	18,9	8,2	32,6	19,9	3	33,6	20,8	7,2	32,5	18,8

Tabla 7. Temperaturas mínima, máxima y media mensual

3.3-Flujo de Descarga manual

Para determinar los caudales se emplea la siguiente relación:

$$Q = A \times V_m$$

Donde,

Q, caudal (m³/seg)

A, área de la sección (m²)

V_m, velocidad media del flujo de agua (m/seg)

El área de la sección se conoce, variando según la altura que se presenta el flujo de agua para un evento determinado. Esta área se asemeja a un trapecio. Luego, el área de la sección se obtiene en base de la siguiente relación:

$$AT = \left[\left(\frac{A+B}{2} \right) * C \right]$$

Donde,

AT, área del trapecio (m²)

A, longitud de la cara superior del trapecio (m)

B, longitud de la cara inferior del trapecio

C, altura del trapecio (m)

En la tabla 8, se presentan los valores de caudales registrados en diferentes eventos, agrupados por años, dentro del período de estudio.

En el Anexo 4, se presenta el gráfico, en donde se aprecia la tendencia de la curva de flujo de descarga

Evento	Caudales (m ³ /seg)
1998	
20/01/98	0,0179
23/01/98	0,0159
22/04/98	0,0164
11/07/98	0,0153
1999	
19/01/99	0,0121
16/03/99	0,0149
29/03/99	0,0153
06/04/99	0,0120
29/04/99	0,0160
08/06/99	0,0192
22/06/99	0,0380
12/07/99	0,0186
12/07/99	0,0181
12/07/99	0,0130
10/08/99	0,0185
10/08/99	0,0189

10/08/99	0,0158
30/08/99	0,0413
2000	
17/04/00	0,0131
31/05/00	0,0104
22/06/00	0,0379
29/06/00	0,5945
30/06/00	0,7051
06/07/00	0,1703
13/07/00	0,0704
13/09/00	0,1303
13/09/00	0,1333
27/12/00	0,0198
2001	
22/03/01	0,0185
12/04/01	0,0131
19/04/01	0,0155
25/04/01	0,0153
02/05/01	0,0152
18/05/01	0,0315
31/05/01	0,0202
11/07/01	0,0193
26/07/01	0,0257
2002	
09/01/02	0,0089
11/04/02	0,0185
31/04/02	0,0050
06/06/02	0,0546
03/07/02	0,0208
14/08/02	0,0306

Tabla 8. Registro de Caudales Manuales

Según la tabla 8 y el Anexo 4, se puede observar que los caudales máximos registrados coinciden con el período de mayor pluviometría. Los valores registrados demuestran que la Quebrada Los Almendros posee caudales medios a bajos permanentes en el tiempo.

Alguno de los caudales presentaron problemas en su medición debido al embancamiento de los sedimentos que se producen en la zona de medición, alterando la velocidad media del flujo de agua, lo que provoca una alta incidencia al momento de medir caudales.

3.4- Análisis Hidrológico

3.4.1.-Condiciones Actuales

En éste ítem se presenta los resultados de las simulaciones para las condiciones climáticas y de cobertura vegetal actuales.

Curva de descarga

En la Figura 20, se identifican cinco grandes eventos en el período de estudio (1998 - 2002). La máxima descarga fue $0,38 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, esto ocurre durante junio y julio del año 2000, que se correlaciona después de los dos meses más lluviosos del período, sumando aproximadamente 560 mm de agua caída para junio y julio.

En la Figura 21, se presenta la expresión gráfica de *SHESTRAN* (*SHEGRAPH*) de las simulaciones, en donde se observa la distribución de grillas en la cuenca Los

Almendros. La red de grillas de salidas se concentra en tres grandes aspectos de entrada de información para suelos, vegetación y distribución de alturas.

En la Tabla 9, se presenta la descarga total (m^3/s), agrupadas por año; la precipitación neta caída en la microcuenca (m^3/s).

Además se incluye el coeficiente de escorrentía, el cual relaciona el caudal o descarga de la cuenca y la precipitación caída en la microcuenca. Este coeficiente da cuenta de la cantidad de agua que escurre de la cuenca, es decir toda el agua que se produce en la cuenca como excedente.

Descarga total anual observada (m3)	Precipitación anual (m3)	Coef. Escorrentía
1998	14.480,73	0,017
1999	11.360,91	0,062
2000	535.948,79	0,001
2001	24.593,50	0,028
2002 (enero - junio)	25.464,41	0,026

Tabla 9. Descarga total anual observada (Estación Limnigráfica), agrupadas por año. Además se incluye la precipitación anual caída en la microcuenca (m^3/s). También se presenta el coeficiente de escorrentía.

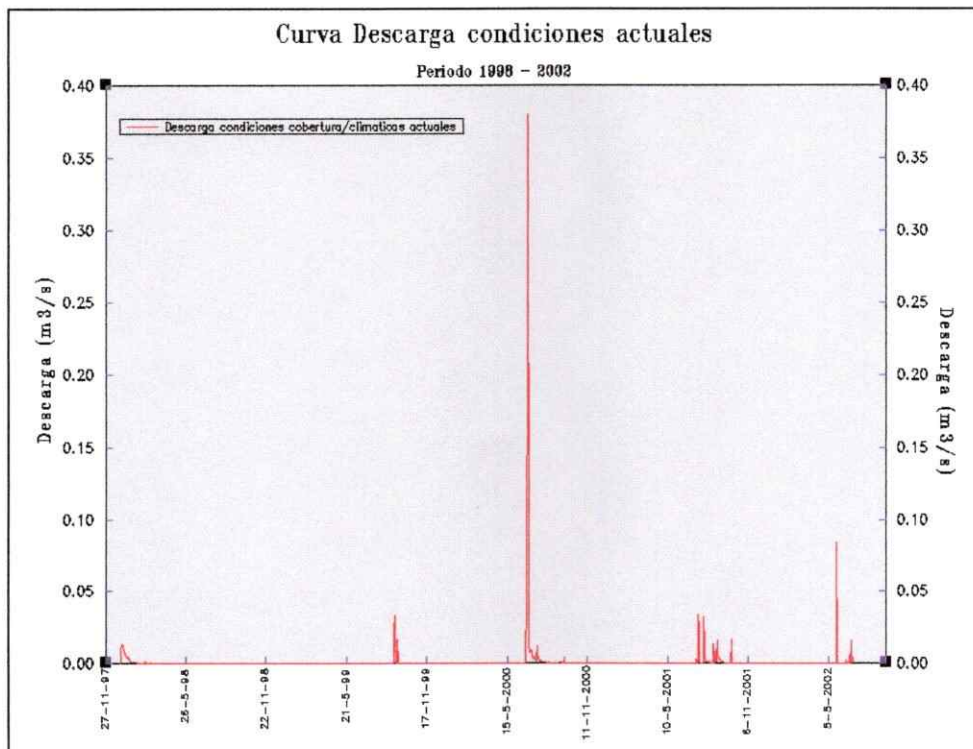


Figura 20. Series de tiempo simulada, para descarga de flujo de salida de la cuenca, para condiciones climáticas y vegetacionales actuales.

3.5-Calibración del modelo

Para realizar la calibración de los parámetros del modelo, se comparan la curva de descarga simulada por *SHETRAN* (período 1998 - 2002), versus la curva de descarga observada, ésta última corresponde a los datos horarios cada 5 minutos de la Estación Limnigráfica. Esto permite contrarrestar ambas curvas y obtener una descarga de flujo hídrico única, la cual será comparada a posteriori con las simulaciones de impacto de cambio de uso de la tierra o cambio en la cobertura vegetal.

Posteriormente se efectuó un análisis estadístico, consistente en la aplicación de una regresión lineal, la cual dio como resultado un R^2 de 0,90; además dos pruebas estadísticas de bondad de ajuste: la Prueba de Chi cuadrado (χ^2) y la Prueba de Kolmogorov – Smirnov ($p > 0.05$). El análisis estadístico detallado, se muestra en el Anexo 5.

Los gráficos a continuación presentan la comparación de las curvas de descarga a nivel de eventos. Para poder visualizarlo mejor, se tomaron los cinco grandes eventos descritos anteriormente, que se consideraron como representativos para el período de estudio (Figura 22).

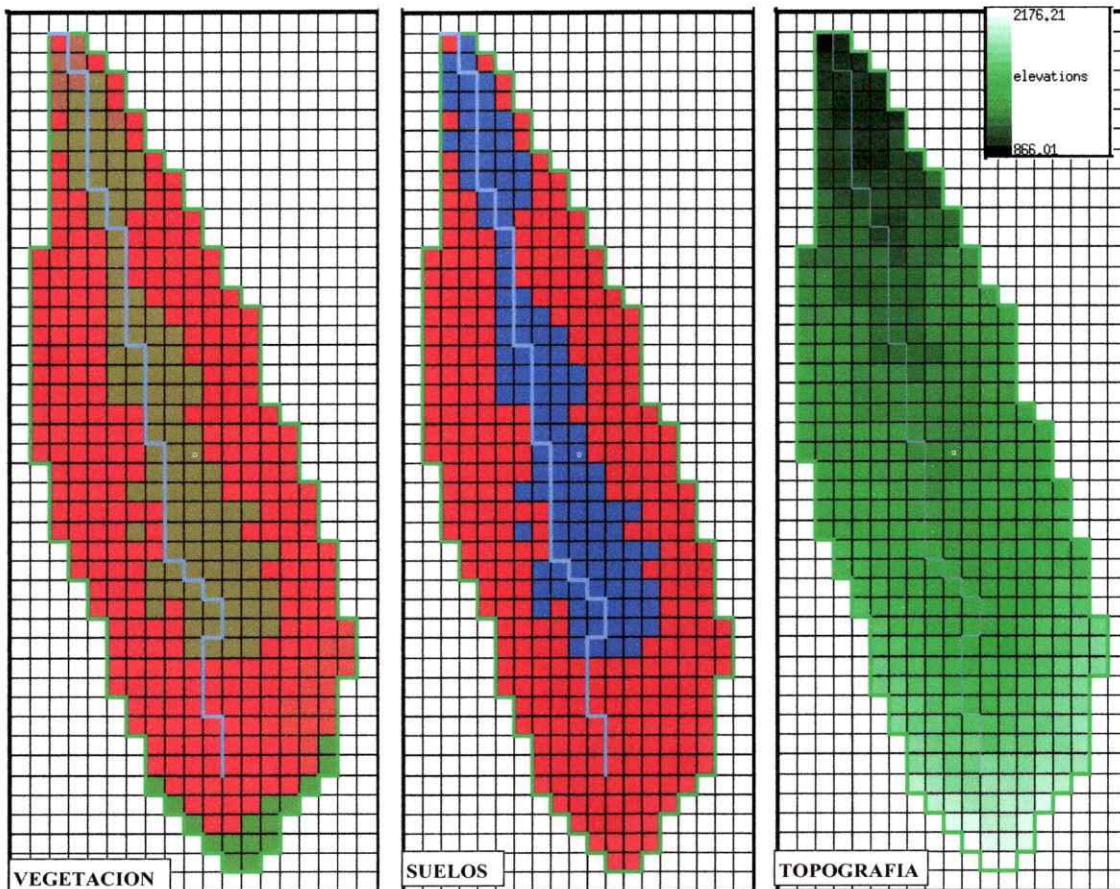
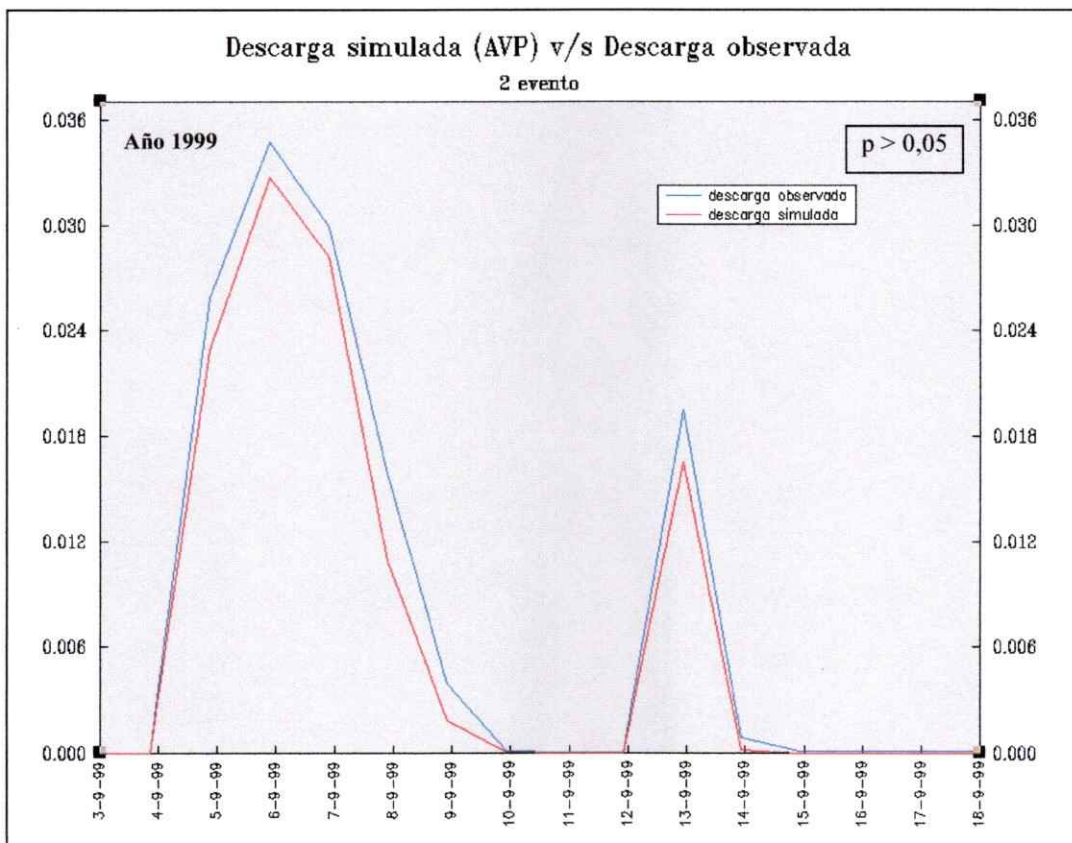
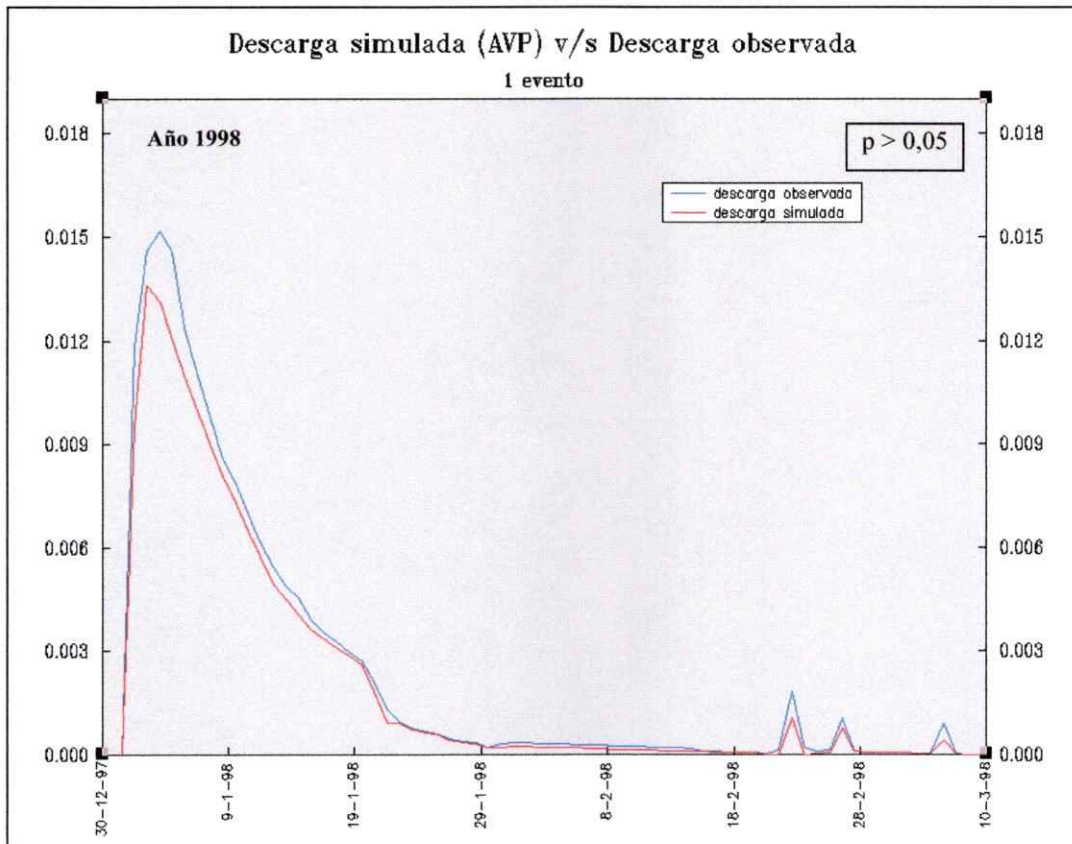
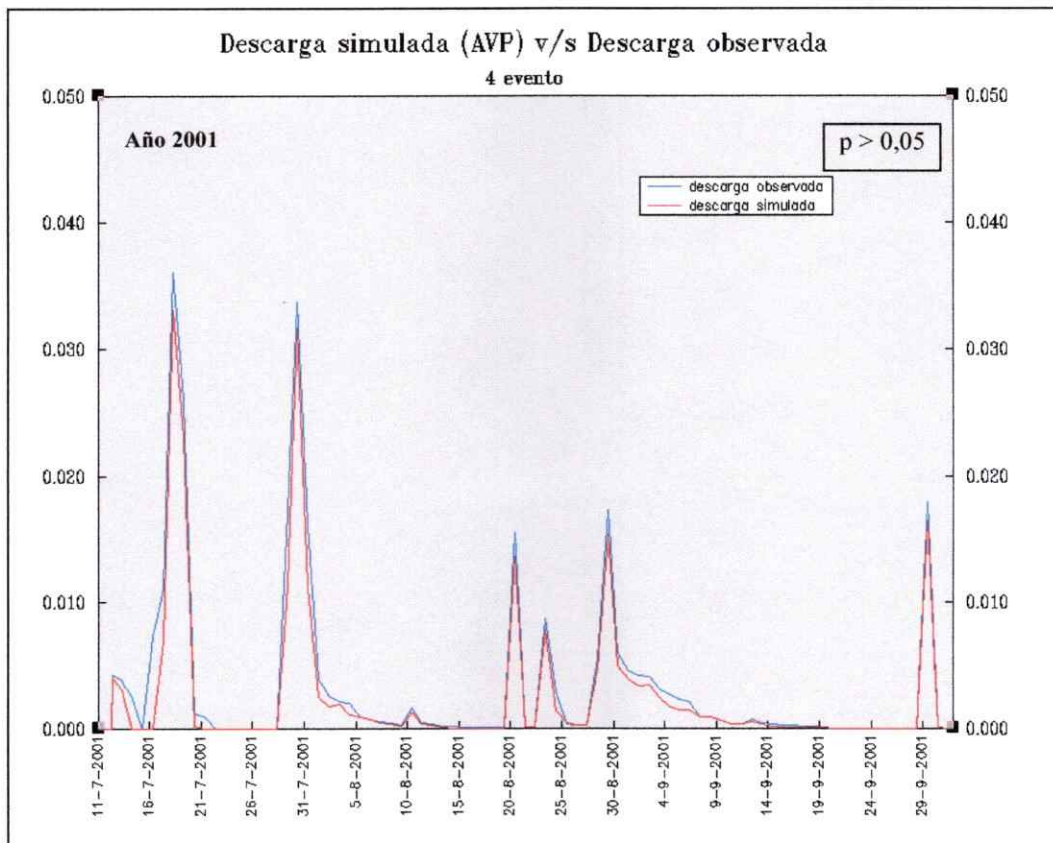
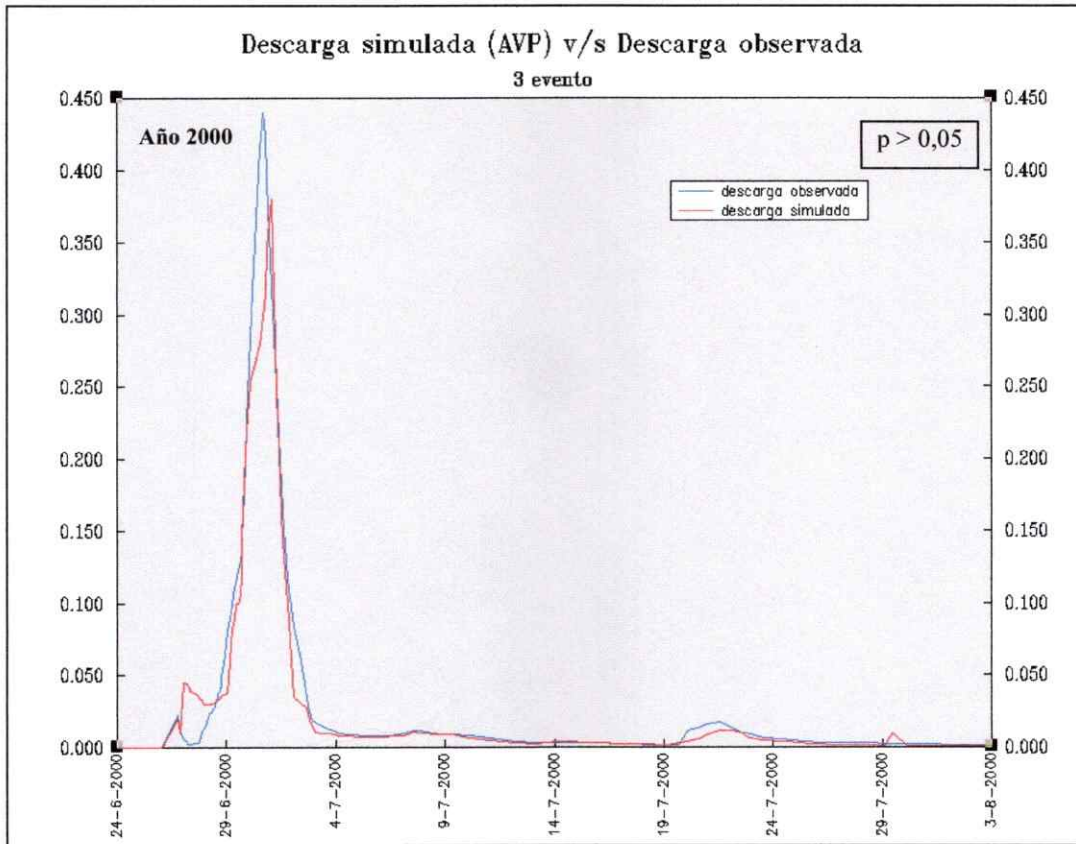


Figura 21. Plano de distribución de grillas (1 há.), para vegetación, tipos de suelos y topografía





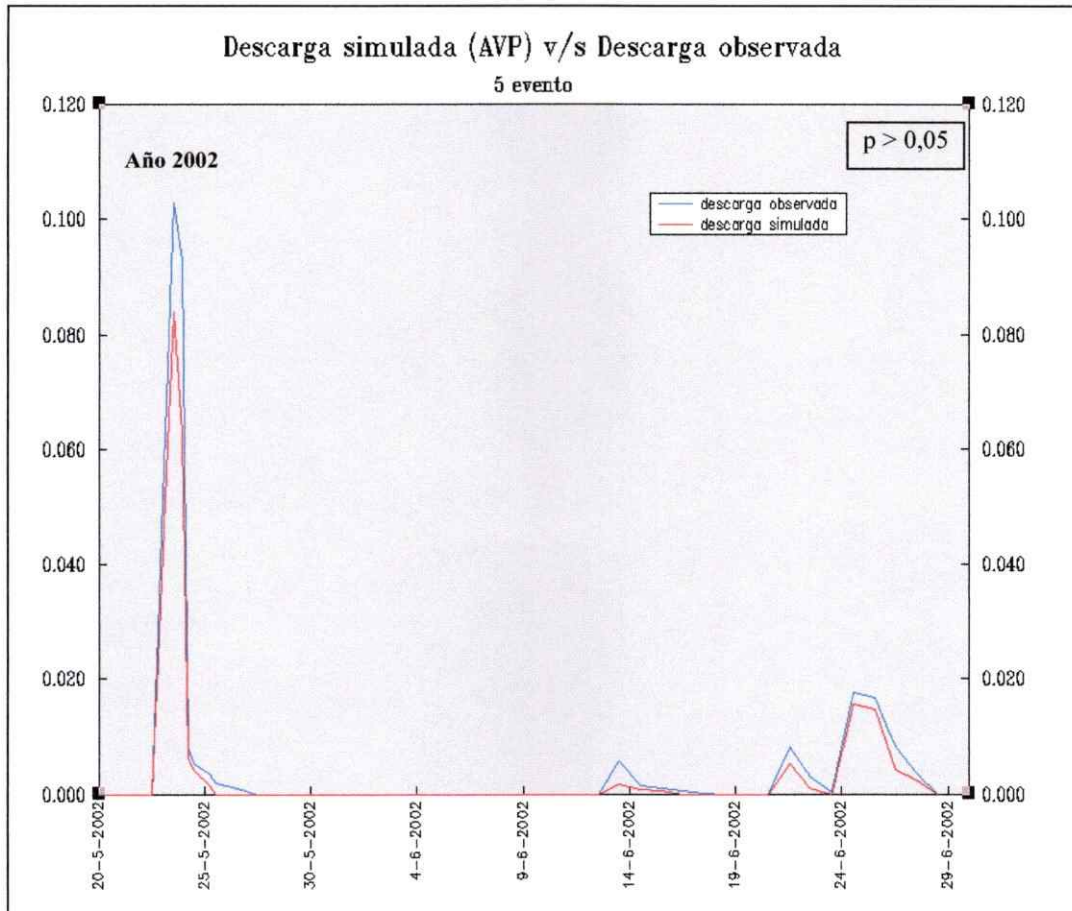


Figura 22. Descarga simulada v/s descarga observada, comparada por eventos durante el período 1998-2002.

3.6-Recomendaciones Ambientales

Para la evaluación de potenciales impactos por cambio de uso de la tierra debido a acciones antrópicas, se consideraron 3 tipos de escenarios de cobertura vegetal, a través de la modificación de los parámetros de distribución en las grillas (FRD) y los parámetros hidráulicos de vegetación (ETD). Los resultados de descarga anual (m^3), para los tres escenarios de cobertura vegetal, en contraste con la descarga observada (m^3) y la descarga simulada (m^3), son presentados a continuación en la Tabla 10. Los datos fueron analizados desde el punto de vista de las inundaciones o eventos de crecidas.

De éste modo, los resultados de las simulaciones fueron obtenidos para la respuesta hidrológica de la cuenca, bajo diferentes condiciones hipotéticas de cambio de uso de la

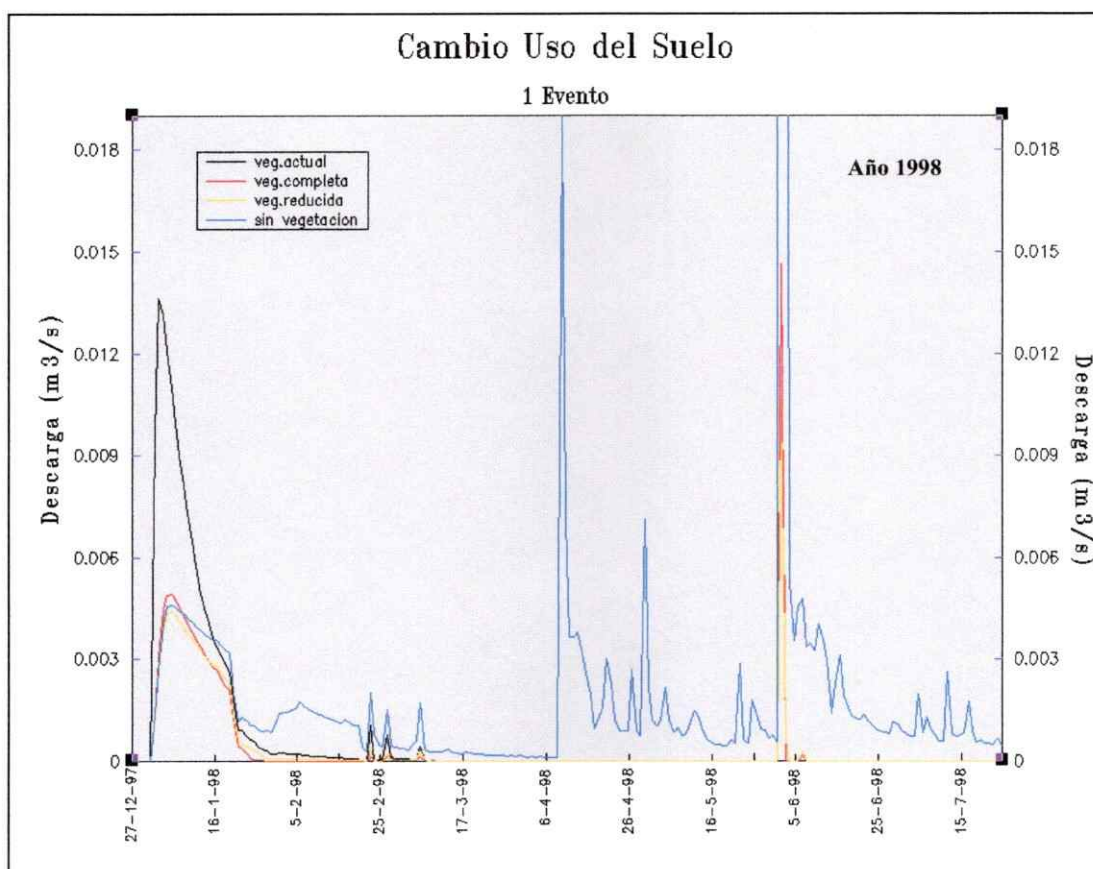
tierra referidas a acciones antrópicas. Así, en la Figura 23 se presentan los gráficos de descarga simulada clasificadas por evento durante el período 1998-2002, en la cual se representa los tres escenarios evaluados en relación con la cobertura vegetal actual.

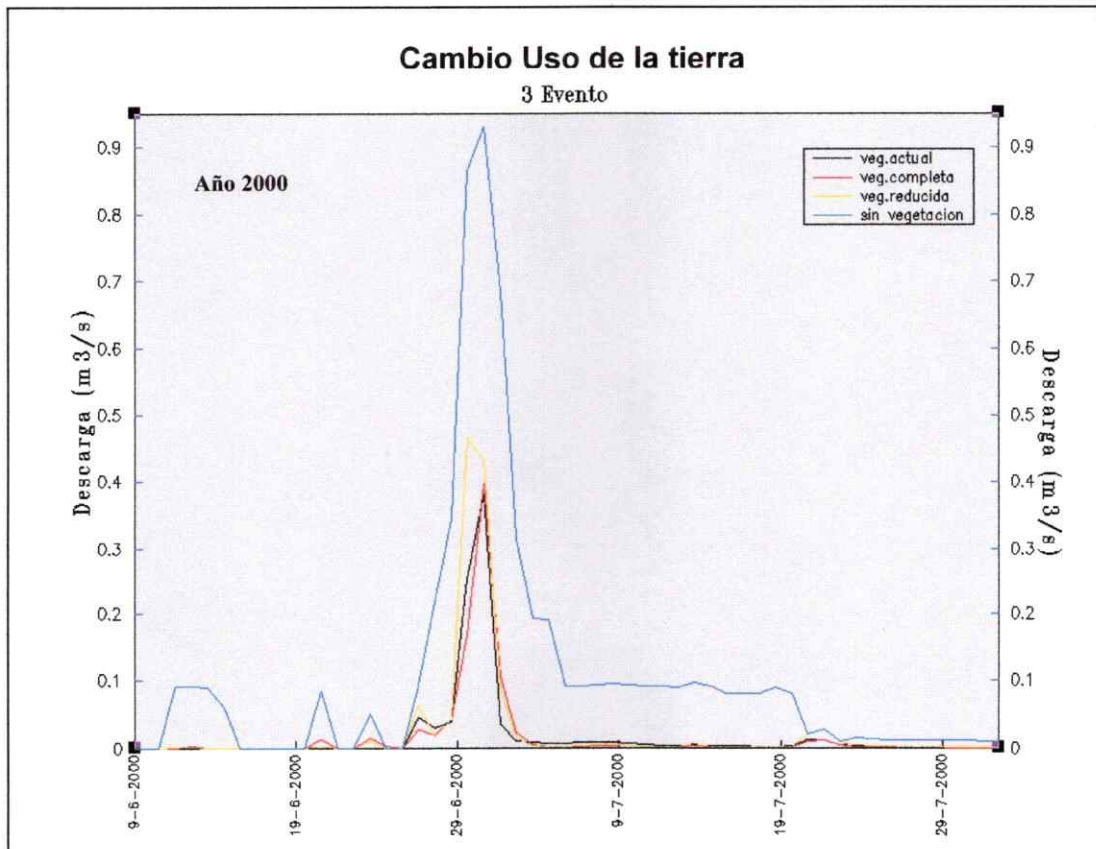
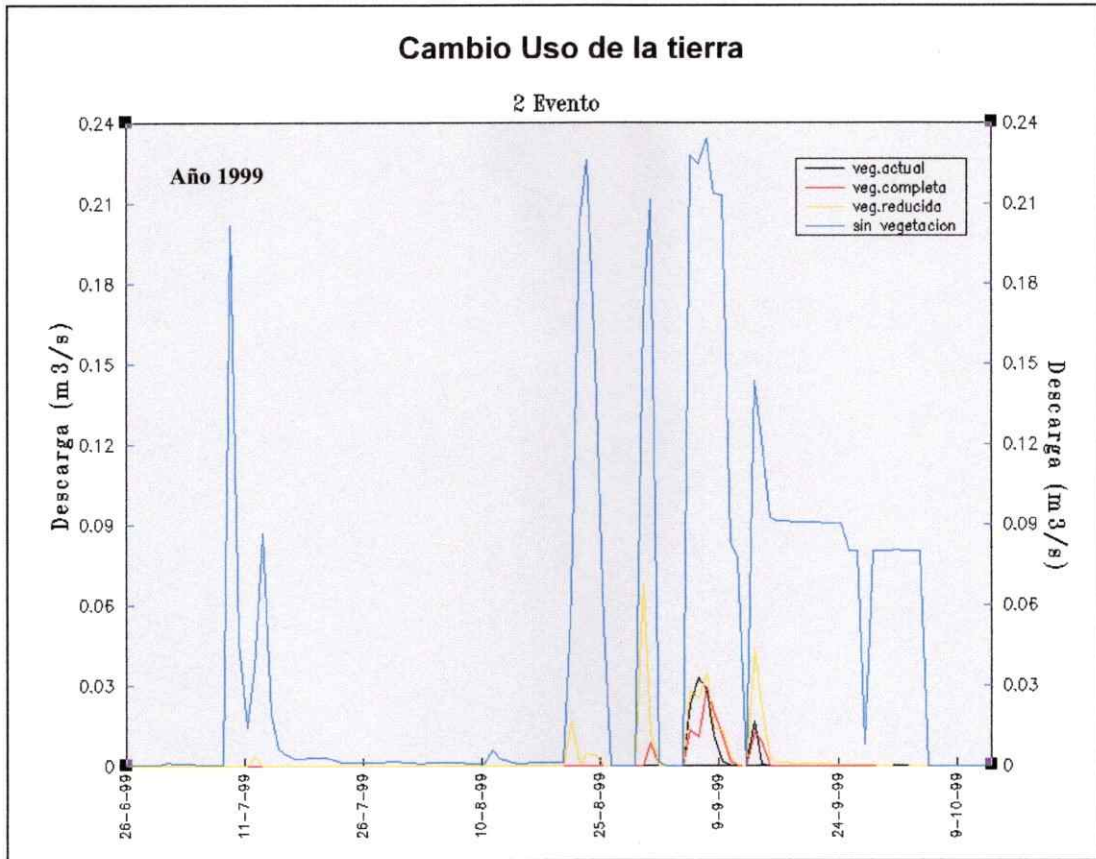
Estos resultados dan cuenta de los impactos que se podrían generar cuando por acciones antrópicas se afecta la cobertura vegetal como uno de los principales componentes controladores de los flujos hídricos que ocurren en una cuenca hidrográfica vista desde el punto de vista de funcionamiento como sistema.

A través de la realización de éste tipo de simulaciones de análisis ex-ante de la dinámica hidrológica bajo modificación de cobertura vegetal, se pueden generar acciones y planes de manejo y/o normativas para evitar impactos o catástrofes de mayor impacto

Descarga total anual (m3) 1998 - junio 2002		Precipitación anual (m3) 1998 - junio 2002	Coefficiente Escorrentía
Cobertura Completa	129.672,75	3251,27	0,0251
Cobertura Reducida	233.886,96	3251,27	0,0139
Sin Vegetación	1.342.809,96	3251,27	0,0024
Descarga actual simulado	548.022,15	3251,27	0,0059
Descarga actual observada	611.848,34	3251,27	0,0053

Tabla 10. Descarga total anual observada(Est. Limnográfica) , simulada y cambio de uso del suelo.Periodo 1998-2002





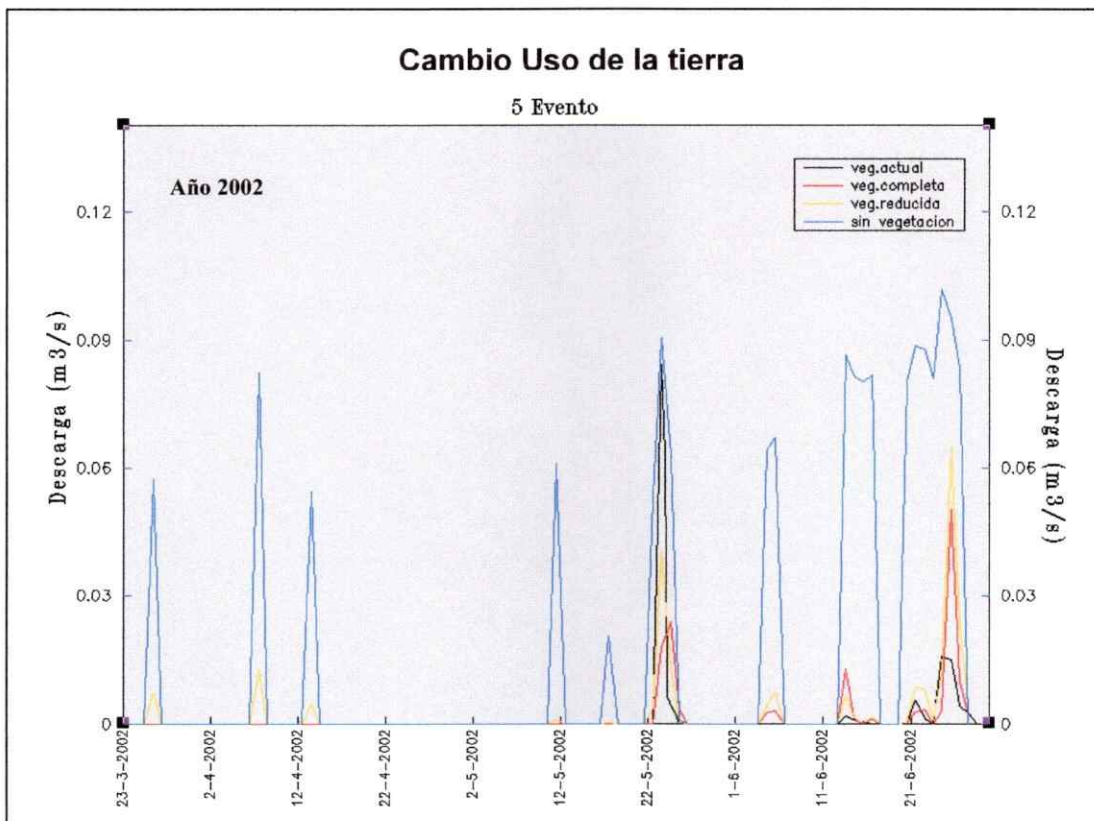
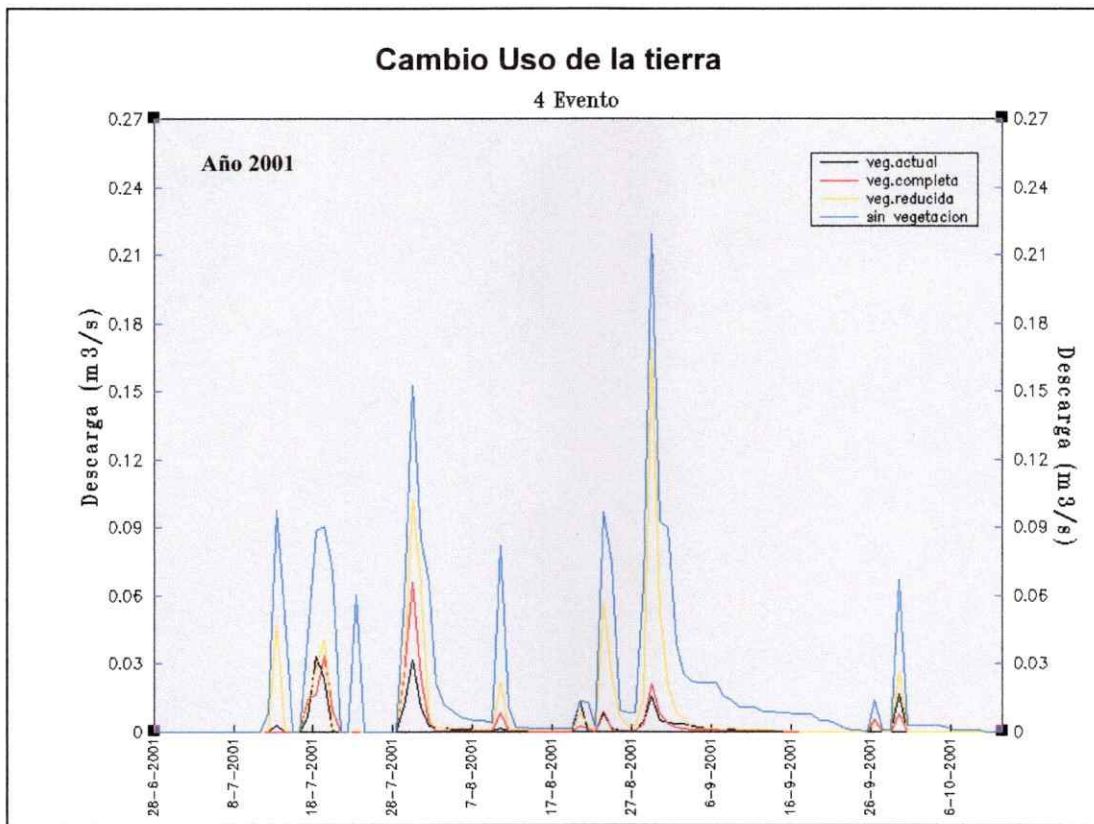


Figura 23. Cambios en el uso de la tierra. Clasificadas por eventos durante el período 1998-2002.

4.- Discusión

Los resultados, muestran la capacidad de *SHETRAN* para comportarse satisfactoriamente con las variadas respuestas de diferentes componentes de la cuenca; bajo diferentes condiciones de uso de la tierra, utilizando un set de parámetros de la cuenca.

Además, la elección de parámetros para los componentes suelo y vegetación concuerdan con valores usados por otros autores para cuencas hidrográficas en condiciones ambientales similares (Bathurst, 1997).

Los parámetros más sensibles para el modelo de la cuenca son el coeficiente de Strickler para las grillas de ladera y los elementos del cauce. Además, la conductividad hidráulica saturada, juega un papel importante en la conducta simulada de la cuenca y tiene un efecto significativo en la respuesta hidrológica esperada (Alfaro, 1999).

La respuesta hidrológica de la cuenca, se encuentra altamente influenciada por las profundidades de los suelos y los parámetros que definen la conductividad hidráulica, bajo condiciones no saturadas. Esto debe ser examinado con más detalle.

De acuerdo con los resultados de las simulaciones para las condiciones climáticas y vegetacionales actuales en la microcuenca Los Almendros, los procesos predominantes son los flujos superficiales durante condiciones de tormenta.

En la zona alta de la microcuenca, donde los suelos son poco profundos (0,3 mts.), la escorrentía con agua mineral juega un rol importante en la rápida respuesta mostrada por la cuenca.

Para simular los diferentes escenarios de cambio de uso de la tierra, la vegetación juega un papel importante, debido a que los parámetros relacionados con la cobertura vegetal fueron los que se modificaron con más detalle.

Las simulaciones de cambio de uso de la tierra están de acuerdo con resultados obtenidos de investigaciones similares en cuencas hidrográficas, bajo condiciones ambientales similares.

Hay una significativa diferencia en el flujo de descarga, entre las condiciones sin cobertura vegetal (suelo desnudo) y las clases en las

cuales existe cierto nivel de cobertura. La menor descarga de la cuenca, corresponde al escenario con cobertura vegetal completa, en la cual se asumió una posible acción de reforestación con especies nativas esclerófilas a escala de bosque y de matorral.

El efecto del enriquecimiento de la cobertura vegetal podría llevar a una significativa reducción en las descargas máximas instantáneas a altas intensidades de precipitaciones.

Estos efectos son el resultado de la intensificación en la reducción de la escorrentía superficial, debido principalmente al incremento de la evapotranspiración.

Además, la disminución de la velocidad de impacto de la gota de lluvia en el suelo, producto de la cobertura del dosel; hace que disminuya la compactación del suelo, lo que favorece una mayor infiltración de éste.

Otro factor a considerar, es el mejoramiento de la estructura del suelo, a través de un aumento del sistema radicular, que trae como consecuencia un aumento en la aireación del suelo, debido al incremento de la porosidad de éste. Esto se puede ratificar en los gráficos (Anexo 6), de evaporación desde el dosel y gráfico de evapotranspiración actual.

En contraste, la eliminación de la cobertura de vegetación resulta en un incremento del flujo de descarga total, probablemente con un aumento en la descarga de sedimentos.

La disponibilidad de agua podría ser modificada ligeramente por un cambio proporcional en la cobertura vegetal. Sin embargo, cambios en la cobertura vegetal necesitan estar estrictamente planificados para evitar impactos inaceptables, en especial relacionados con inundaciones, arrastre de sedimentos y erosión (Alfaro, 1999).

El punto más crítico de éste estudio, ha sido la disponibilidad de datos con un nivel aceptable de confiabilidad. Entonces, es necesario un mejoramiento de la calidad de información, a través de un chequeo completo del sistema de colección de datos de las Estaciones automáticas en el área de estudio.

5-Conclusiones

El objetivo de éste trabajo se ha completado satisfactoriamente considerando las capacidades y limitaciones del modelo *SHETRAN*, para simular el comportamiento hidrológico de la microcuenca Los Almendros, Precordillera de la zona central de Chile, así como de cambios en el uso de la tierra.

Una implementación práctica de un modelo hidrológico aplicado a escala de cuencas, puede producir resultados adecuados desde el punto de vista de la toma de decisiones en relación con el comportamiento hidrológico, cuando los datos para la validación no están disponibles.

Un modelo de cuenca hipotético fue capaz de representar los parámetros de topografía, vegetación y suelo con el enfoque experimental de la cuenca seleccionada como área de estudio.

Además, los resultados de las simulaciones para las condiciones actuales de clima y cobertura vegetal fueron la base para examinar las condiciones simuladas futuras, derivadas de cambios en el uso de la tierra. Así, una implementación práctica de tres escenarios hipotéticos para cambios en el uso de la tierra, tales como cobertura vegetal completa, una cobertura reducida y una total eliminación de la vegetación que pueden producir resultados favorables en la toma de decisiones futuras de implementación de políticas de reducción de los impactos hidrológicos negativos.

Así, se modificaron los parámetros más sensibles del modelo, de tal forma de visualizar el comportamiento hidrológico de la microcuenca, bajo los distintos escenarios de cambios de uso de la tierra, tales como porcentaje de cobertura vegetal (PLAI), coeficiente de rugosidad de flujos de escorrentía y en canales (STRXY), y conductividad vertical saturada (KSAT).

La máxima descarga para los diferentes escenarios, relacionados con la cobertura vegetal estuvieron de acuerdo a lo estimado, con relación a las condiciones actuales.

De éste modo, los impactos por cambio en el uso de la tierra, en el comportamiento hidrológico de la cuenca, podrían sólo presentar diferencias significativas bajo la eliminación

total de la vegetación, sin la implementación de un plan de manejo adecuado.

No obstante, en términos relacionados con la reducción en la cobertura vegetal, genera un alto flujo hídrico y eventualmente una importante descarga de sedimentos.

Como resultado de las simulaciones, no hay diferencias significativas en el flujo de descarga hídrica entre las clases de uso de la tierra con algún grado de cobertura vegetal. Sin embargo, las diferencias relativas entre los escenarios con cobertura vegetal completa y sin vegetación, presentan diferencias significativas en la estimación de parámetros.

Considerando la operación de *SHETRAN*, es altamente recomendado para mejorar la calidad de recolección de datos de una cuenca. Así, se recomienda un amplio programa de investigación y levantamiento de información, enfocado a mejorar la estimación en los valores de los parámetros de las cuencas hidrográficas, para obtener resultados más precisos en la posterior aplicación.

Así, *SHETRAN*, un modelo hidrológico físicamente basado, debería ser usado para simular impactos ambientales producto de cambios climáticos y de uso de la tierra, en cuencas hidrográficas desertificadas de la Precordillera Central, de Chile.

Se recomienda, la utilización de un modelo con potencial completo, altamente sofisticado, complejo y un instrumento realmente poderoso, como es el modelo *SHETRAN*, para el análisis del comportamiento hidrológico de la cuencas hidrográficas desertificadas del pie de monte de la zona central de Chile, para la posterior generación de normativas que regulen la implementación de áreas de manejo o un eventual proyecto inmobiliario, de tal forma de evitar fenómenos catastróficos de movimientos de masas de tierra, producto de un evento de precipitaciones como el ocurrido en junio y julio del 2000 (ver resultados).

Además, se recomienda el desarrollo de un sistema de experto en la toma de decisiones, que pueda utilizar y analizar la información proveniente de las simulaciones, en relación a la respuesta hidrológica de las cuencas.

7- Referencias

- Abbott, M.; Bathurst, J.; Cunge, J.; O'Connell, P. and Rasmussen, J. 1986 A. *An introduction to the European Hydrological System – System Hydrologique Europeen, SHE, 1: History and Philosophy of a physically based distributed modelling system. Journal of Hydrology, 87: 45-49.*
- Abbott, M.; Bathurst, J.; Cunge, J.; O'Connell, P. and Rasmussen, J. 1986 B. *An introduction to the European Hydrological System – System Hydrologique Europeen, SHE, 1: Structure of a physically based distributed modelling system. Journal of Hydrology, 87:61-77.*
- Adams, R. s.f. Application of *SHETRAN* to the river Tyne. *Water Resources Systems Research Unit. University of Newcastle. UK.*
- Adams, R.; Dunn, S.; Lunn, R.; Mackay R & O'Callaghan, J. 1995. Assessing the Performance of the NELUP Hydrological Models for river basin planning. *Journal of environmental planning and management. Vol.38.*
- Adriazola, H.; Francke, S.; Moraga, F. s.f. Evaluación de Impactos Ambientales por intervenciones forestales a través del Sistema de Modelación Hidrológico Europeo (*SHETRAN*), en una cuenca hidrográfica demostrativa en el sur de Chile (X Región).
- Alfaro H. W. 1997. Apunte: Beginning with *SHETRAN* (exercises); *SHEGRAPH* user guide. Water Resource System Research Laboratory (WRSRL), University of Newcastle Upon Tyne, UK.
- Alfaro H. W. s.f. Apunte: Calibration and Validation of *SHETRAN* model. Water Resource System Research Laboratory (WRSRL), University of Newcastle Upon Tyne, UK.
- Alfaro H. W. s.f. Apunte: Frequent problem of *SHETRAN* simulations. Water Resource System Research Laboratory (WRSRL), University of Newcastle Upon Tyne, UK.
- Alfaro H. W. 1997. Apunte: Parameters used in simulation the burnt catchment. Proyecto *CONAF/DFID/UNUT.*
- Alfaro H. W. s.f. Apunte: Pautas de diseño de estructuras de calibración. Cuenca quebrada Los Almendros, Región Metropolitana, Chile.
- Alfaro H. W. 1998. Apunte: Source of data for *SHETRAN* simulations. Water Resource System Research Laboratory (WRSRL), University of Newcastle Upon Tyne, UK.
- Alfaro H. W. 1999. Use of *SHETRAN* for land management and climate change simulation impacts, Central precordillera, Chile. *Tesis MSc Engineering Hydrology, University of Newcastle Upon Tyne.*
- Alfaro, W.; Cerda, C.; Garrido, L. s.f. Análisis de la Sustentabilidad Ambiental de un ecosistema de bosque esclerófilo mediante el Sistema *SHETRAN*.
- Almorox J., De Antonio R., Saa a., Días M. Y Gascó J. 1994. Métodos de estimación de la erosión hídrica. Ed. Agrícola Española S.A.; Madrid, España.
- Arcview GIS 3.2. Guía para utilizar el Arcview GIS.
- Bathurst, J. 1986. Sensitivity Analysis of the Systeme Hydrologique Europeen for an Upland Catchment. *Journal of Hydrology. Vol. 87, pág. 103-203.*
- Bathurst, J.s.f. Seminario: Aplicación y desarrollo del Sistema de Modelación *SHETRAN* a problemas de erosión e inundaciones en cuencas vulnerables de Chile.
- Bathurst, J. 1986. Physically-based distributed modelling of an upland catchment using the Systeme Hydrologique Europeen. *Journal of Hydrology, 87: 79-102.*
- Bathurst, J.; Birkinshaw, S.; Evans, J. y Francke, S. s.f. Modelo de bases físicas para la predicción de los impactos hidrológicos y la erosión de los suelos provocados por opciones de la gestión forestal en Chile.
- Bathurst, J.; Cooley, K. 1996. Use of *SHE* hydrological modelling system to investigate basin response to snowmelt at Reynolds Creek, Idaho. *Journal of Hydrology, 175: 181-211.*
- Bathurst, J.; Kilsby, C.; White, S. 1996. Modelling the impacts of climate and land-use change on basin hydrology and soil erosion in Mediterranean Europe. *Mediterranean Desertification and Land Use, 15: 355-387.*
- Bathurst, J and Wicks J. 1991. Framework for erosion and sediment yield modeling. *Modeling of hydrologic system. Chapter 13.*
- Birkinshaw, S. 1999. *PANASHE*. Users guide and *PANASHE* variables in alphabetical order.
- Brady C. N. 1990. The Nature and properties of Soils. Tenth edition.
- CEC-MEDALUS I, *Mediterranean Desertification and Land Use*. s.f. Simulating Impacts Climate Changes on basin Hydrology and soil erosion with the *SHE* Modelling System.
- Chow, V.; Maidment, D.; Mays L. 1994. Hidrología Aplicada.
- CONAF-CONAMA. 1995. Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile.
- CONAF/DFID/UNUT. 1990. Proyecto *SHETRAN*, Manejo de Cuencas Hidrográficas en Chile. Santiago, Chile.

- CONAF, DFID,ERM. 1997. Economía Ambiental y su Aplicación a la Gestión de Cuencas Hidrográficas. Santiago, Chile.
- CONAF.1989. Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile.
- CONAF, UNIDAD DE GESTIÓN PATRIMONIO SILVESTRE. 1996. Plan de Manejo Reserva Nacional Río Clarillo. Doc. de trabajo N°27.
- CONAF/ Unión Europea. 1997. *Proyecto de Recuperación Ambiental y desarrollo Socioeconómico de zonas deprimidas de la IX región*. Evaluación del Impacto Ambiental de las propuestas de Recuperación y Desarrollo, mediante el Sistema Hidrológico Europeo, *SHETRAN*.
- Cobertera, E. 1993. Edafología Aplicada. ed. Cátedra, España.
Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Chile. Curso: Unix Básico
- Edwin, T.; Engman, M. 1986. Roughness Coefficients for routing surface runoff. *Journal for Irrigation and Drainage Engineering*. Vol.112
- Ewen J., Anderson S.P., Parkin G. And O' Donell G.M. 1995. *SHETRAN V3.4 MANUAL*. Appendix C.1, Test Documentation: Overview
- Ewen J. and Parkin G. 1995. *SHETRAN V3.4 MANUAL*. Appendix C.2, Test Documentation: Validation of Catchment models for predicting land-use and climate change impacts.
- Ewen, J.; O'Connell, P.; Parkin, G. 1995 *SHETRAN V3.4 MANUAL*. Appendix A.1, Introduction to *SHETRAN*: a physically- based modelling system for water flow and sediment and contaminant transport in river basins.
- FAO. 1996. Planificación y Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas en Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina. Chile.
- FAO. 1994. Ponencias del II Congreso Latino Americano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Venezuela.
- Francke, S. ; Vargas, R.; Williams, E.; Pinto, M.; Barría, B. 1999. Recuperación de Suelos Degradados en el Marco de la Nueva Ley de Fomento Forestal. CONAF.
- Gil, R. s.f. El comportamiento físico-funcional de los suelos: Algunos criterios para la cuantificación y diagnósticos del comportamiento estructural del suelo, y su relación con la dinámica del agua y la producción de cultivos.
- Green, I.; Stephenson, D. 1986. Criteria for comparison of single event models. *Journal des Sciences Hydrologique*. Vol.31.
- Klemes, V. 1986. Operational testing of Hydrological simulations models. *Journal des Sciences Hydrologique*. Vol.31.
- Lavabre, J. 1996. Validation of catchment models for predicting land-use and climate change impacts. *Journal of Hydrology*, 171:595-613.
- Lukey B.T, Bathurst J.C, Hiley R.A. and Ewen J. 1995. *SHETRAN V3.4 MANUAL*. Appendix B.2, System design: Sediment erosion and transport.
- Ministerio de Medio Ambiente/ Tragsa/ Tragsatec. 1998. Restauración Hidrológica- forestal de cuencas y control de erosión. Ed. Mundi- Prensa, Madrid, España.
- Ministerio de Planificación y Cooperación de Chile. 1998. *Cuencas Hidrográficas en Chile*: I.- Antecedentes II.- Ambito de estudio.
- Mualem, Y. 1974. A Conceptual Model of Hysteresis. *Water Resources Research*, U.S.A. 10: 514-520.
- Mualem, Y. 1984. Prediction of the soil boundary wetting curve. *Soil Science Society of America Journal*, 137: 379-389.
- OTAS. 2002. Planificación Ecológica del territorio, *Guía Metodológica*. Gobierno Regional Metropolitano.
- Parkin G. 1995. *SHETRAN V3.4 MANUAL*. Appendix A.2: Functional specification for *SHETRAN*.
- Parkin G. 1995. *SHETRAN V3.4 MANUAL*. Appendix B.1, System design: Water flow.
- Parkin G. 1995. *SHETRAN V3.4 MANUAL*. Appendix D.1: *SHETRAN* user guide.
- Parkin, G.; O'Donell, G.; Ewen, J.; Bathurst, J.; O'Connell, P. and Lavabre, J. 1996. Validation of catchment models for prediction land-use and climate change impacts. *Journal of Hydrology*, vol. 171: 595-613.
- Peralta, M. 1983. Reserva Nacional Río Clarillo: Mapa de suelos de las cuencas de experimentación.
- Porta, J.; López-Acevedo, M.; Roquero, C. 1994. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ed. Mundi-Prensa, España.
- Reyna, S.; Reyna, T. 1998. Interacción de los Procesos de Escorrentía e Infiltración. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Riffo, J.; Castillo, F.; Moya, R. 1998. El Sistema *SHETRAN* como herramienta para la predicción del efecto de la Tala Rasa en plantaciones de Pino Radiata, sobre la producción de agua y pérdida de suelo, en la Precordillera de Los Andes, VIII región.
- Roberts, A.; Moore, R. 1998. Data and database for decision support. Hydrological processes. Vol. 12.
- Sáez, J. 1999. Caracterización de la Microcuenca Experimental La Reina, Provincia de Osorno, y su

Aplicación al Sistema Hidrológico Europeo (SHETRAN).
Universidad Austral, Valdivia Chile.

Sánchez, M.; Carvacho, L. 2002. Manual de Sistemas de Información Geográfica, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica.

Saxton, K.E.; Rawls, W.; Romberger, J. and Papendick, R. 1986. Estimating generalized soil- water characteristics from the texture. *Soil Science American Journal*, 50:1031-1036

Schulz K. 2000. Caudales y sedimentos en suspensión para el período de verano en cuencas experimentales de la Xª Región, Chile. Valdivia, Chile. *Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal*

Si, B.C.; Kachanoski, R.G. 2000. Unified Solution for Infiltration and Drainage with Hysteresis. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 30-36.

Tabla de cálculo de caudales. s.f. Calibration chart for the BFM002 Miniature current flow meter.

Van Genuchten, M.; Leij, F. and Yates, S. 1991. The RECT Code for quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. Oklahoma, U.S.A. 85p.

Water Resources Systems Research Unit. Department of Civil Engineering. University of Newcastle upon Tyne. 1994. Simulating Impacts of Vegetation loss using the SHETRAN water flow and sediment transport modelling system. Final report. UK

Wicks, J.; Bathurst, J. 1996. *SHESED*: a physically based, distributed erosion and sediment yield component for the SHE hydrological modelling system. *Journal of Hydrology*, vol. 175: 213-238.

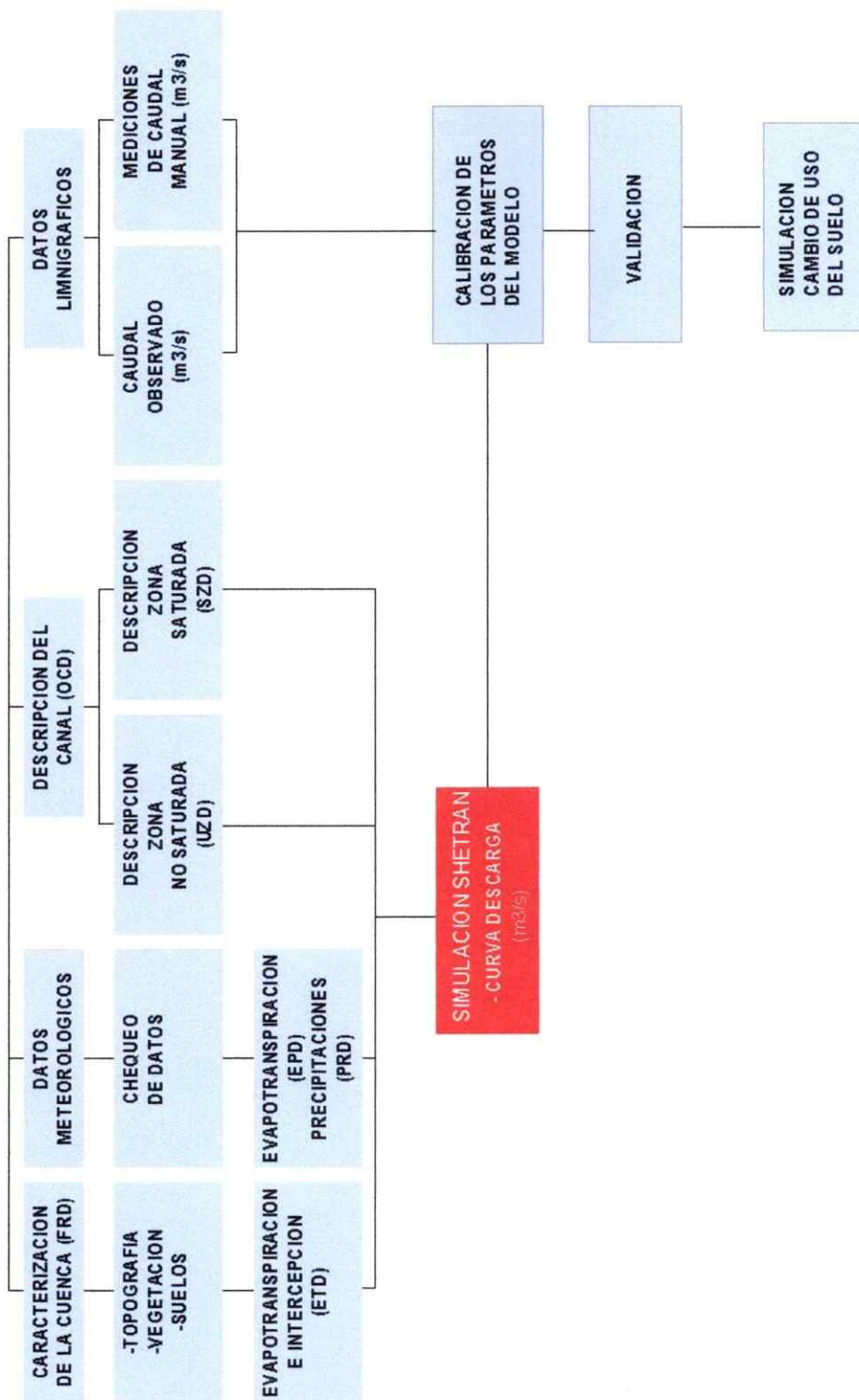
Wicks, J.; Bathurst, J. and Johnson, W. 1992. Calibrating *SHE* soil-erosion model for different land covers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 118.

Wu, K. 1998. Measurement of soil moisture change in spatially heterogeneous weathered soils using a capacitance probe.

www.indiana.edu/~uitspubs/b017/. Unix Comands reference card.

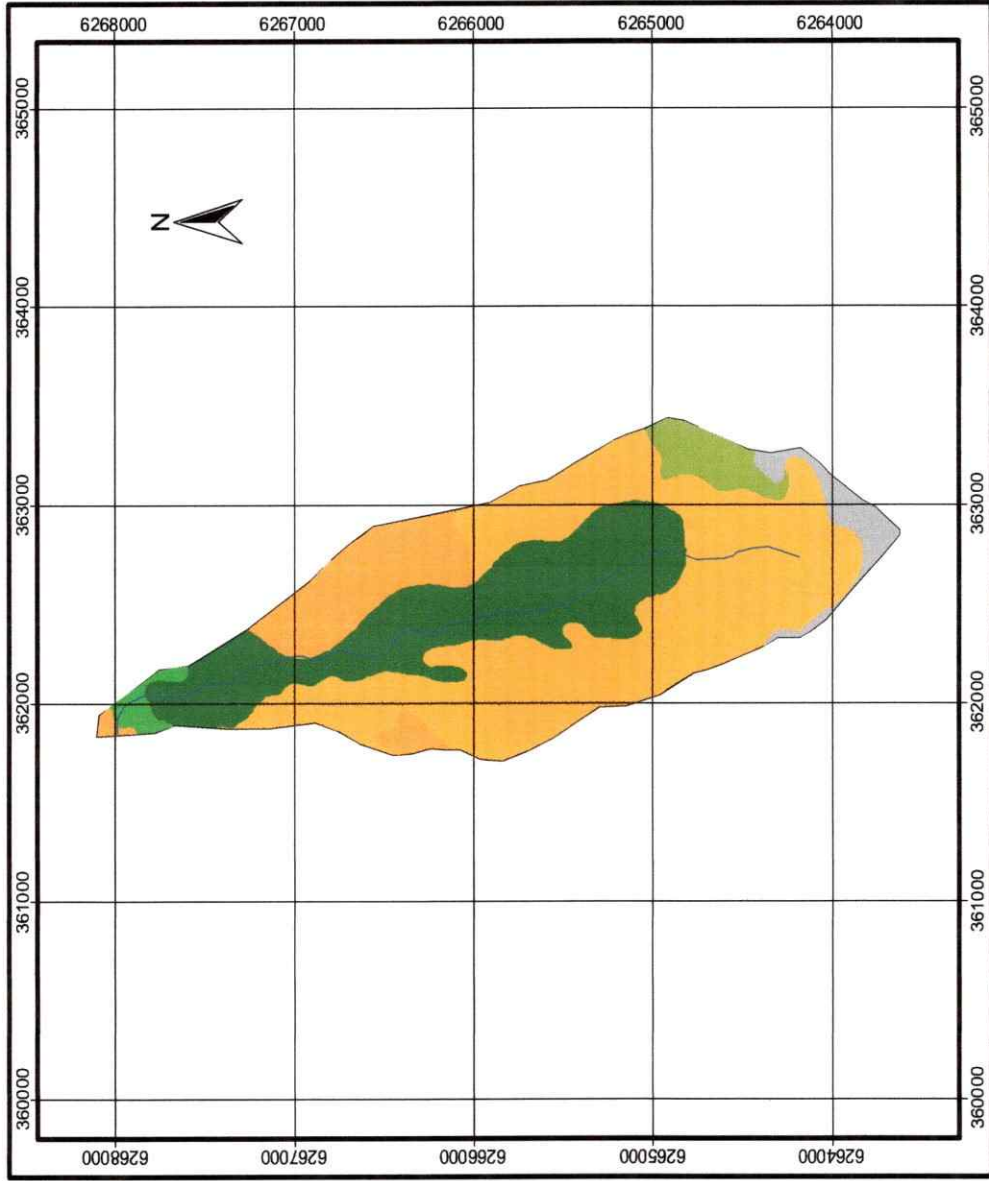
ANEXO 1

Esquema de Metodología empleada



ANEXO 2

MAPAS



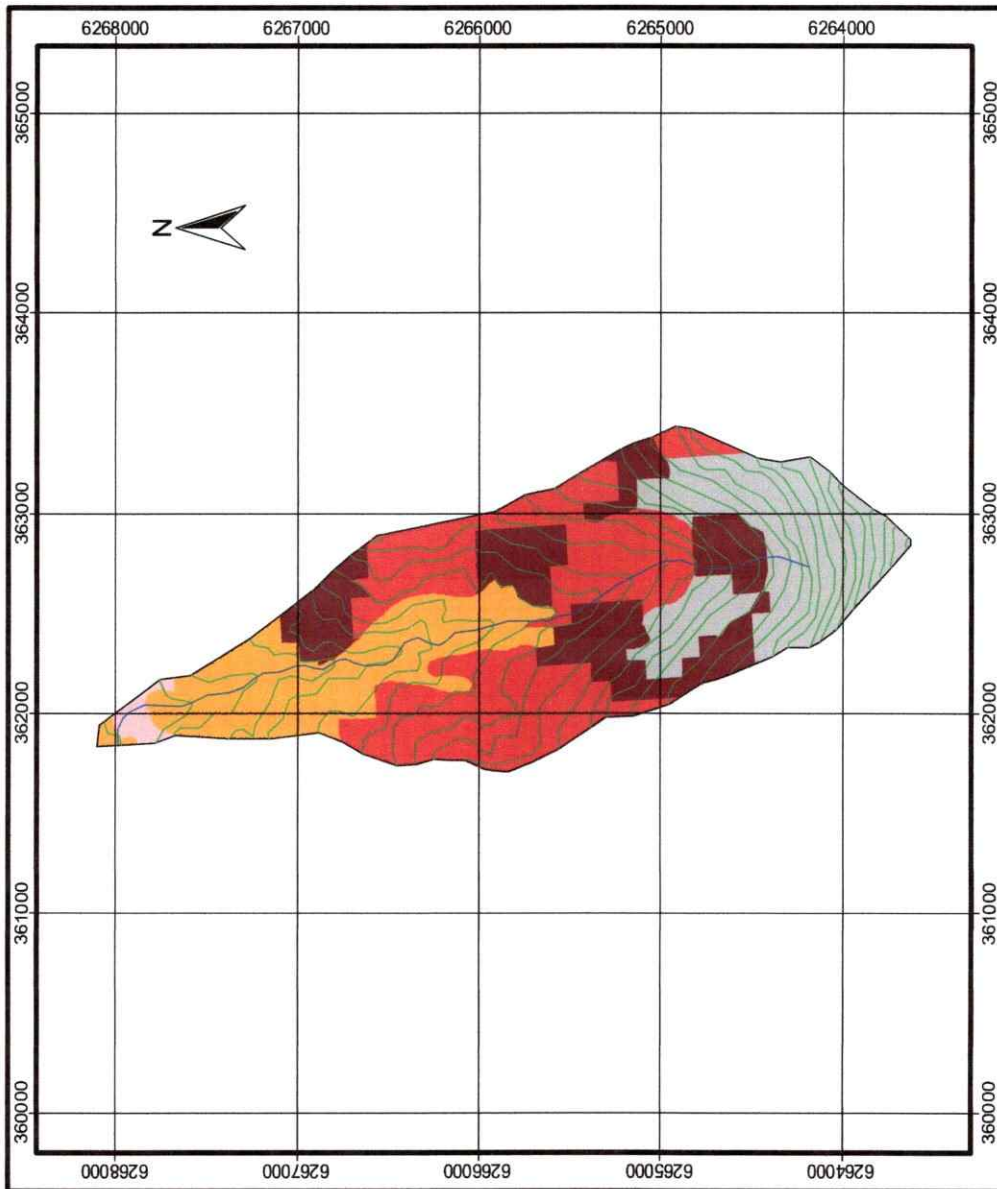
MAPA N° 1:
 Uso Actual de Suelo,
 microcuenca Los Almendros,
 R.N. Río Clarillo, Región
 Metropolitana

LEYENDA

Limite microcuenca
 cauce
 Uso de Suelo
 Afloramientos rocosos
 Matorral abierto
 Matorral arb. semidenso
 Renoval denso
 Renoval semidenso

200 0 200400600 Mts.

ESCALA 1: 30.000

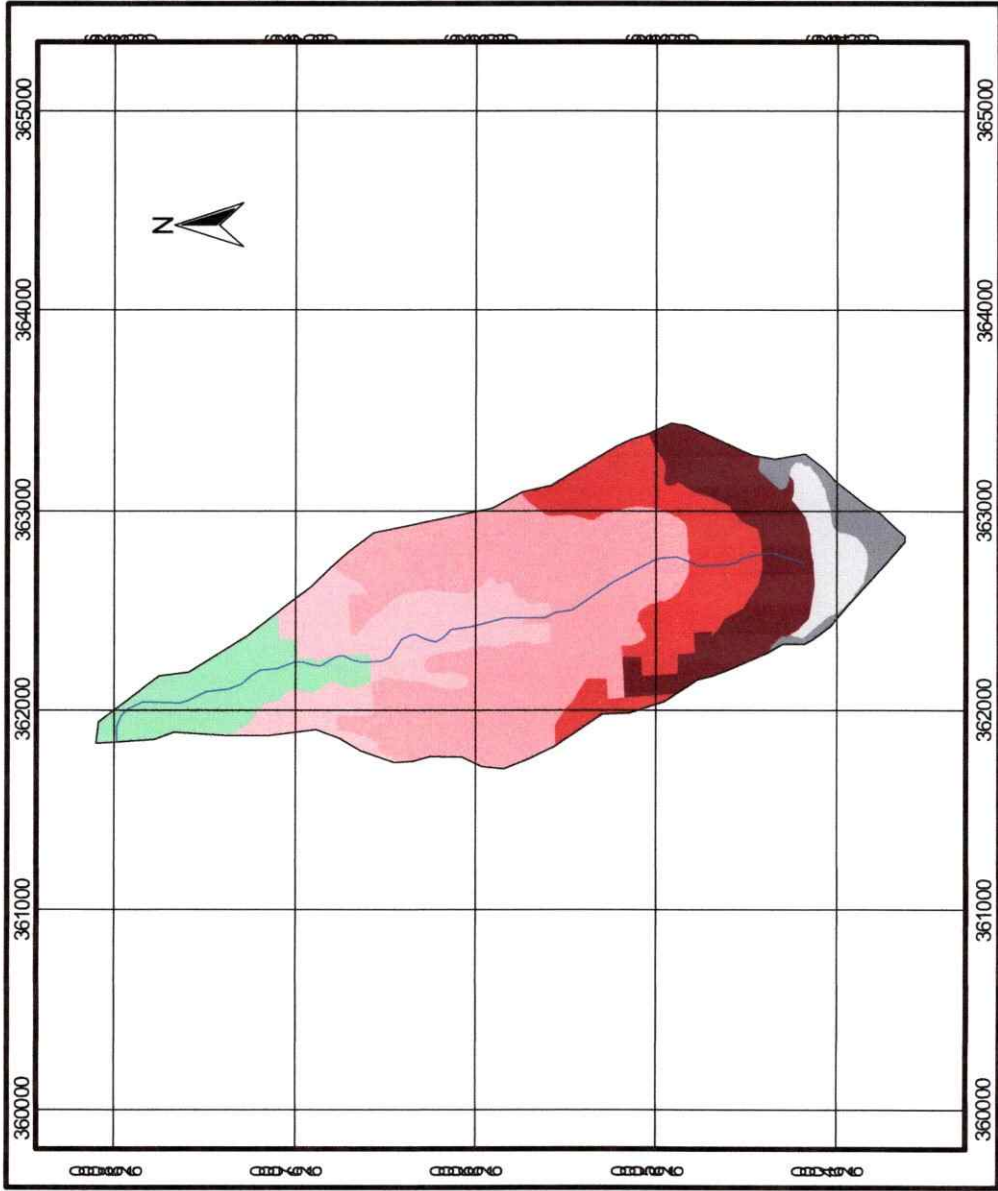


MAPA N° 2:
 Pendientes, microcuenca
 Los Almendros,
 R.N. Río Clarillo, Región
 Metropolitana

LEYENDA

- Limite microcuenca cauce
- Curvas de nivel
- Pendientes
 - 0-15%
 - 15-30%
 - 30-45%
 - 45-60%
 - 60-100%

200 0 200400600 Mts.
 ESCALA 1: 30.000



MAPA N°3:
 Descripción de Altitud,
 microcuenca Los Almendros,
 R.N. Río Clarillo, Región
 Metropolitana

LEYENDA

Limite microcuenca
 cauce

Altitud

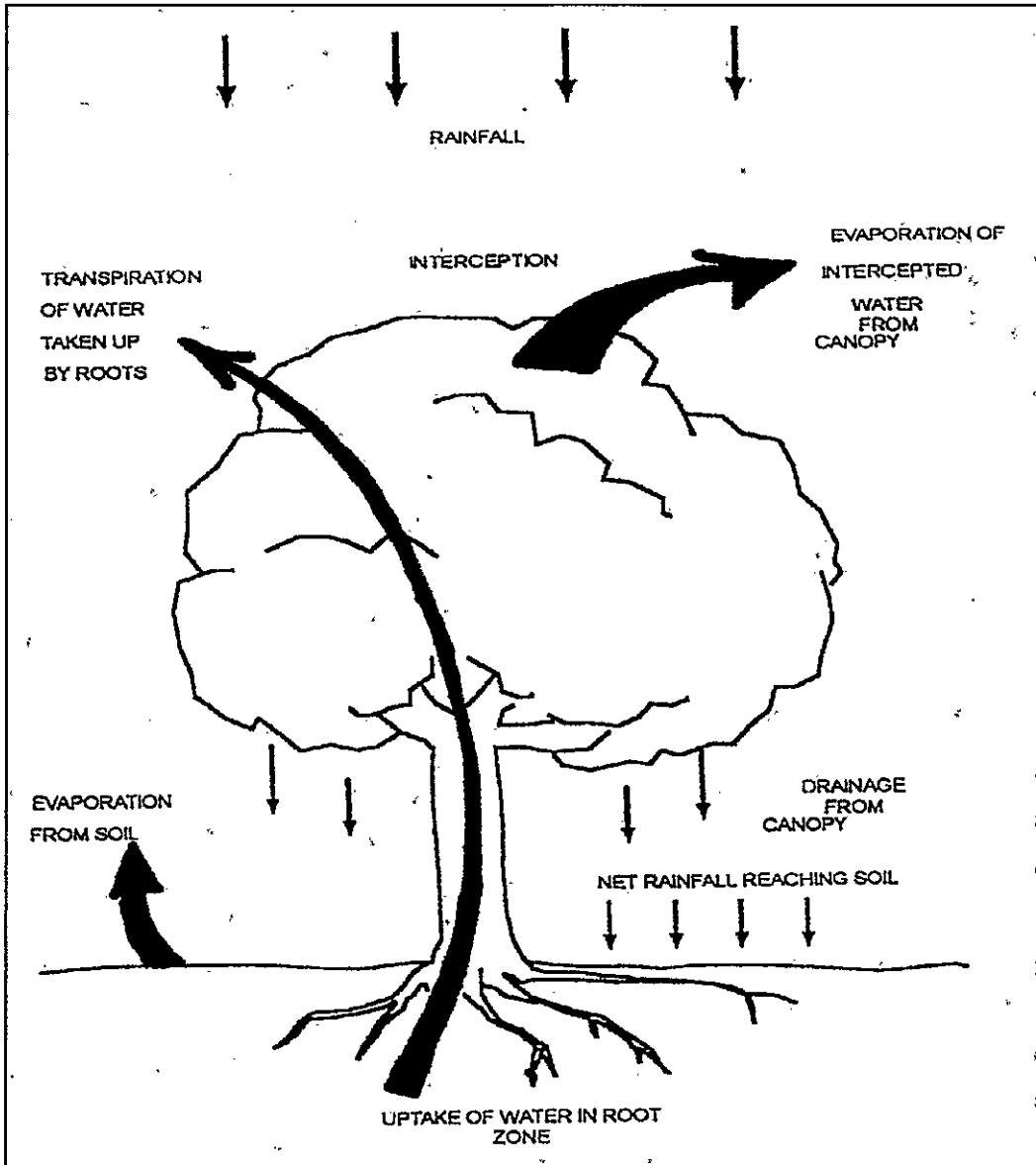
	800-1000
	1000-1200
	1200-1400
	1400-1600
	1600-1800
	1800-2000
	2000-2200

200 0 200400600 Mts.

ESCALA 1: 30.000

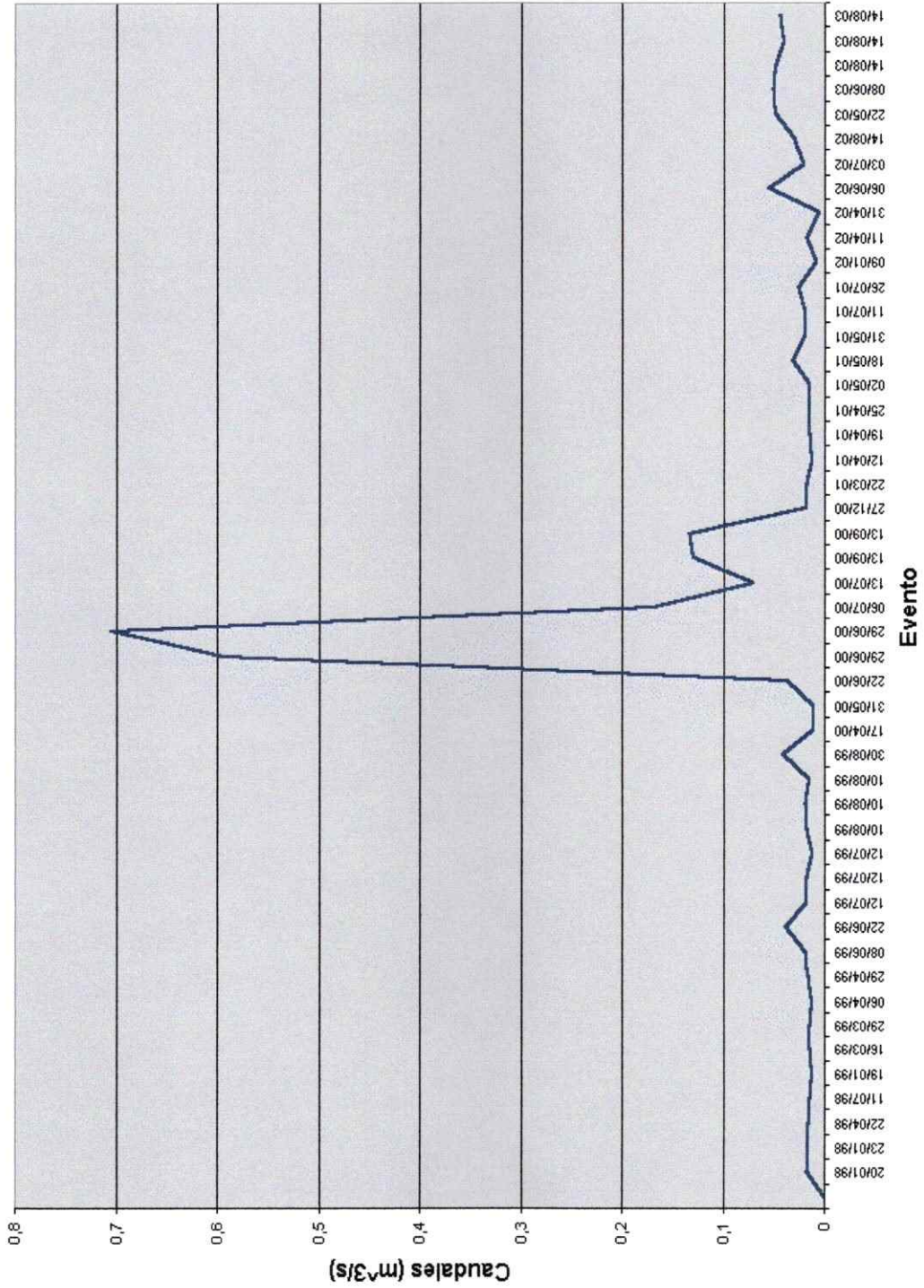
ANEXO 3

Procesos modelados en el módulo de evapotranspiración/intercepción



ANEXO 4

Curva de Descarga(m³/s), mediciones manuales



ANEXO 5

Análisis estadístico empleado en la calibración de los parámetros del modelo SHETRAN.

Model Summary(b)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,951(a)	,904401	,904401	,005306285	,605

a Predictors: (Constant), flujo observado

b Dependent Variable: flujo simulado

Residuals Statistics(a)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	,00029874	,36232036	,00364951	,023089289	1738
Residual	-,063428365	,116718240	,000000000	,005304758	1738
Std. Predicted Value	-,145	15,534	,000	1,000	1738
Std. Residual	-11,953	21,996	,000	1,000	1738

a Dependent Variable: flujo simulado

Chi-Square Test

	Flujo observado	flujo simulado
Chi-Square(a,b)	366441,077	339851,120
df	333	304
Asymp. Sig.	,000	,000

a 0 cells (.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 5,2.

b 0 cells (.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 5,7.

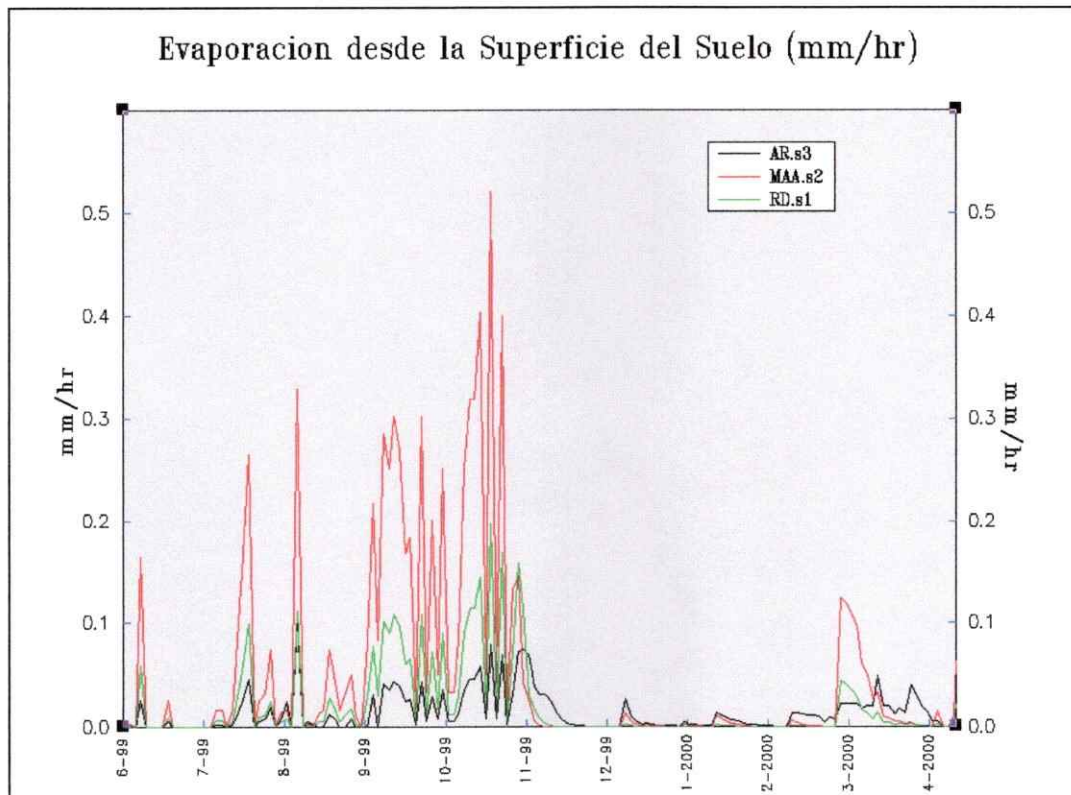
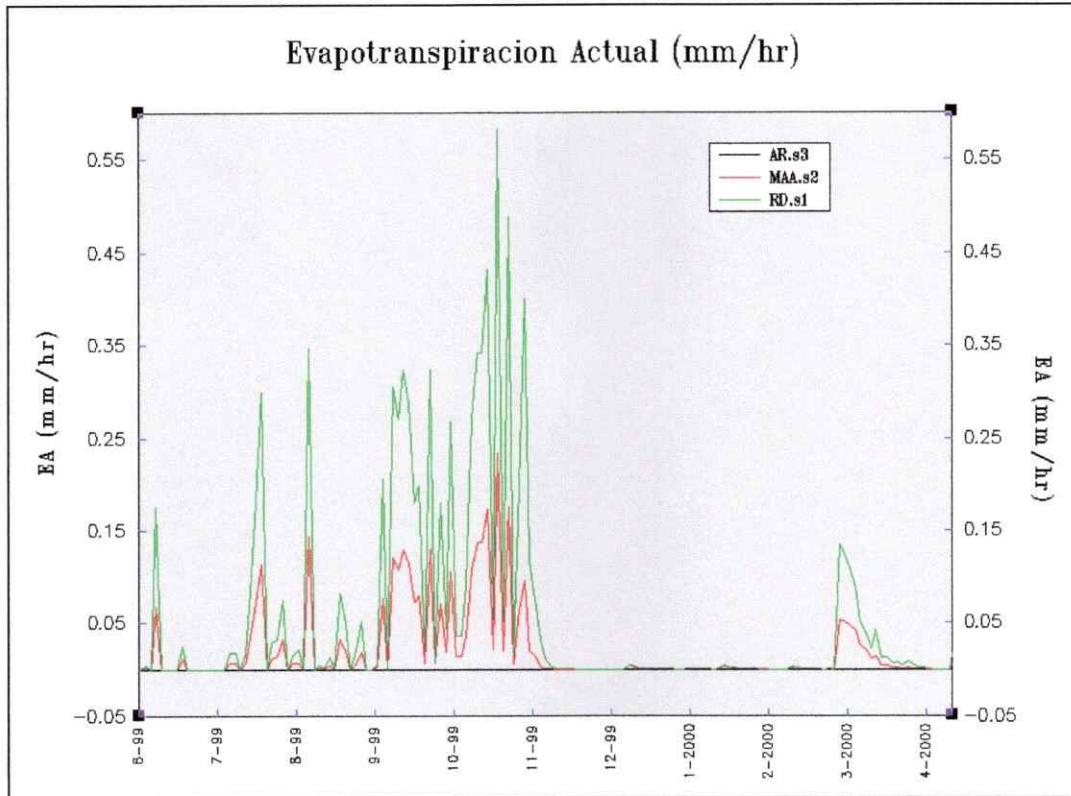
One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

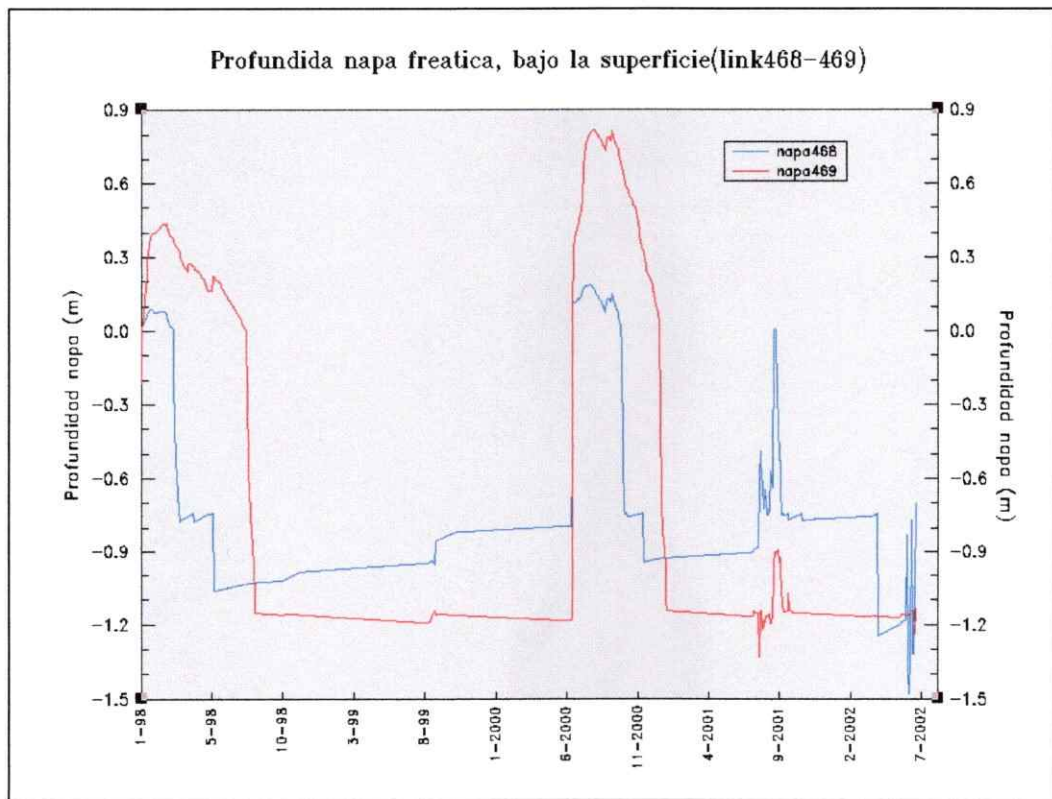
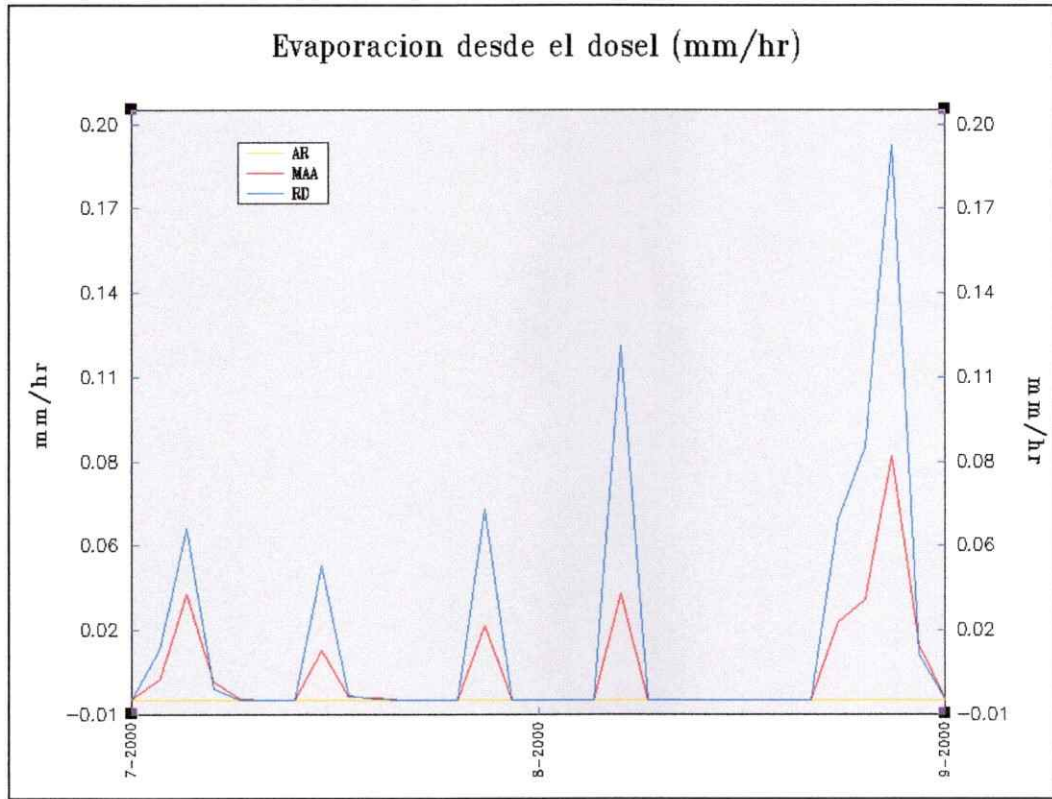
		Flujo observado	flujo simulado
N		1738	1738
Normal Parameters(a,b)	Mean	,00407456	,00364951
	Std. Deviation	,028076748	,023690836
Most Extreme Differences	Absolute	,442	,439
	Positive	,426	,435
	Negative	-,442	-,439
Kolmogorov-Smirnov Z		18,439	18,293
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000	,000

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

ANEXO 6





ANEXO 7

Descripción de los módulos de entrada de SHETRAN

FRD

*****SHETRAN los Almendros Ariel Villarroel 2003*****

```
:FR02 - DIRECCION DE GRILLAS CUADRADAS EN X,Y
  19      45      0
:FR04 - FECHA DE INICIO DE SIMULACION
  1998    1      1      1      0
:FR06 -FECHA DE TERMINO DE SIMULACION
  2002    6     30     1      0
:FR07a - FECHA DE INICIO DE SIMULACION TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
  1998    1      1      1      0
:FR07c - FECHA DE INICIO DE SIMULACION TRANSPORTE DE CONTAMINANTES
  1998    1      1      1      0
:FR08 - ESPACIAMIENTO DE GRILLA EN DIRECCION X
  100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
  100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
:FR10 - ESPACIAMIENTO DE GRILLA EN DIRECCION Y
  100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
  100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
  100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
  100.00 100.00 100.00 100.00
:FR12 - IMPRESION DE PARAMETROS DE CONTROL
  99999.   2      T      F      F      T      0.0
:FR20 - BASIC TIMESTEP DATA
  1.00    0.15 1000.0  0.50      T
:FR22 - IMPRESION DE PARAMETROS DE CONTROLS
  F      F      F      F      F      F      F      F      F      F
:FR24 - COMPONENT EXECUTION CONTROL PARAMETERS
  F      F      F      F
:FR26 - HOTSTART PARAMETERS
  F      F      0.00 100.00
:FR28 - NO. DE MET./LLUVIA ESTACION, VEG./TIPOS DE SUELOS Y CATEGORIAS
  1      1      6      3      3
:FR30 - RIVER LINING PARAMETERS
  F      0.00  0.00      F
:FR32 - VALORES POR DEFECTO DE MET,LLUVIA, TIPOS DE VEG. Y CATEGORIAS DE
SUELOS
  1      1      0      0
:FR34 - DEFINICION DE GRILLA COMPUTACIONAL
  45 00000000000000000000
  44 00110000000000000000
  43 00111000000000000000
  42 00111100000000000000
  41 00111110000000000000
  40 00111111000000000000
  39 00111111000000000000
  38 00111111100000000000
  37 00111111110000000000
  36 00111111110000000000
  35 00111111111000000000
  34 00111111111000000000
```

33 0111111111100000000
 32 0111111111100000000
 31 0111111111100000000
 30 0111111111110000000
 29 0111111111110000000
 28 0111111111110000000
 27 0111111111110000000
 26 0111111111110000000
 25 0111111111110000000
 24 0111111111111000000
 23 0111111111111100000
 22 0011111111111100000
 21 0011111111111110000
 20 0011111111111110000
 19 0011111111111110000
 18 0001111111111111000
 17 0001111111111111000
 16 0000111111111111100
 15 0000111111111111100
 14 0000011111111111110
 13 0000011111111111110
 12 0000011111111111110
 11 0000011111111111100
 10 0000001111111111100
 9 0000001111111111100
 8 0000000111111111100
 7 0000000111111111100
 6 0000000111111111000
 5 0000000011111110000
 4 0000000001111100000
 3 0000000000111100000
 2 0000000000011000000
 1 0000000000000000000

:FR35a - OESTE-A-ESTE CODIGOS

45 IIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
 44 II.RIIIIIIIIIIIIIIIIII
 43 II.R.IIIIIIIIIIIIIIIII
 42 II..R.IIIIIIIIIIIIIIIII
 41 II..R.IIIIIIIIIIIIIIIII
 40 II..R..IIIIIIIIIIIIIIII
 39 II..R..IIIIIIIIIIIIIIII
 38 II..R...IIIIIIIIIIIIIIII
 37 II..R....IIIIIIIIIIIIIIII
 36 II...R...IIIIIIIIIIIIIIII
 35 II...R....IIIIIIIIIIIIIIII
 34 II...R...IIIIIIIIIIIIIIII
 33 I.....R....IIIIIIIIIIIIIIII
 32 I.....R....IIIIIIIIIIIIIIII
 31 I.....R.....IIIIIIIIIIIIIIII
 30 I.....R.....IIIIIIIIIIIIIIII
 29 I.....R.....IIIIIIIIIIIIIIII
 28 I.....R.....IIIIIIIIIIIIIIII
 27 I.....R.....IIIIIIIIIIIIIIII
 26 I.....R.....IIIIIIIIIIIIIIII
 25 I.....R.....IIIIIIIIIIIIIIII
 24 I.....R.....IIIIIIIIIIIIIIII
 23 I.....R.....IIIIIIIIIIIIIIII

22 II.....R.....IIIII
 21 II.....R.....IIII
 20 II.....R.....IIII
 19 II.....R.....IIII
 18 III.....R.....III
 17 III.....R.....III
 16 IIII.....R.....III
 15 IIII.....R.....III
 14 IIIII.....R.....II
 13 IIIII.....R.....II
 12 IIIII.....R.....II
 11 IIIII.....R.....II
 10 IIIIII.....R.....III
 9 IIIIII.....R.....III
 8 IIIIIII.....R.....III
 7 IIIIIII.....R.....III
 6 IIIIIII.....IIII
 5 IIIIIII.....IIII
 4 IIIIIIIII.....IIIIII
 3 IIIIIIIIIII.....IIIIII
 2 IIIIIIIIIII..IIIIII
 1 IIIIIIIIIIIIIIIIIIIII

:FR35c - NORTE-A-SUR CODIGOS

46 IIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
 45 IIWIIIIIIIIIIIIIIIIII
 44 II..IIIIIIIIIIIIIIIIII
 43 II.R.IIIIIIIIIIIIIIIII
 42 II....IIIIIIIIIIIIIIII
 41 II....IIIIIIIIIIIIIIII
 40 II....IIIIIIIIIIIIIIII
 39 II....IIIIIIIIIIIIIIII
 38 II....IIIIIIIIIIIIIIII
 37 II..R...IIIIIIIIIIIIII
 36 II.....IIIIIIIIIIIIII
 35 II..R...IIIIIIIIIIIIII
 34 II.....IIIIIIIIIIIIII
 33 I.....IIIIIIIIIIIIIIII
 32 I.....IIIIIIIIIIIIIIII
 31 I.....IIIIIIIIIIIIIIII
 30 I.....IIIIIIIIIIIIIIII
 29 I.....R.....IIIIIIIIII
 28 I.....IIIIIIIIIIIIIIII
 27 I.....IIIIIIIIIIIIIIII
 26 I.....IIIIIIIIIIIIIIII
 25 I.....IIIIIIIIIIIIIIII
 24 I.....R.....IIIIIIIIII
 23 I.....IIIIIIIIIIIIIIII
 22 II.....IIIIIIIIIIIIIIII
 21 II.....IIIIIIIIIIIIIIII
 20 II.....IIIIIIIIIIIIIIII
 19 II.....IIIIIIIIIIIIIIII
 18 III.....R.....IIIIIIIIII
 17 III.....R.....IIIIIIIIII
 16 IIII.....R.....IIIIIIIIII
 15 IIII.....IIIIIIIIIIIIIIII
 14 IIIII.....R.....IIIIIIIIII
 13 IIIII.....IIIIIIIIIIIIIIII

12 IHHH.....I
 11 IHHH.....II
 10 IHHH...R.....II
 9 IHHH.....II
 8 IHHH.....II
 7 IHHH.....II
 6 IHHH.....III
 5 IHHH.....IIII
 4 IHHH.....IIII
 3 IHHH.....IIII
 2 IHHH.....IIII
 1 IHHH.....IIII

:FR37 - ELEVACION TOPOGRAFICA

45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
44	0.00	0.00	866.01	867.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
43	0.00	0.00	888.40	883.33	887.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
42	0.00	0.00	929.55	900.00	900.00	911.50	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
41	0.00	0.00	960.83	903.77	908.59	941.71	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
40	0.00	0.00	977.31	938.85	923.87	950.00	950.23	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
39	0.00	0.00	989.76	955.41	938.01	950.00	975.96	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
38	0.00	0.00	1012.60	969.97	951.94	947.23	977.41	990.66	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
37	0.00	0.00	1020.67	998.47	978.41	957.11	981.48	1011.12	1066.56	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
36	0.00	0.00	1058.83	1037.83	1017.02	998.62	998.80	1025.56	1031.08	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
35	0.00	0.00	1078.16	1065.75	1050.07	999.27	997.49	1043.21	1046.66	1105.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
34	0.00	0.00	1097.14	1088.41	1054.79	996.82	1025.34	1066.76	1088.91	1102.91
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
33	0.00	1122.68	1116.34	1104.06	1078.00	1042.91	1004.87	1060.33	1105.44	1143.48
	1183.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
32	0.00	1146.15	1134.41	1100.58	1076.13	1041.27	1041.83	1093.99	1149.23	1169.84
	1206.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31	0.00	1159.76	1151.35	1123.03	1098.26	1069.37	1042.40	1087.92	1162.49	1197.34

1234.891273.97 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 30
 0.001189.211167.891150.971140.281099.091045.421085.081163.251211.77
 1253.711279.491345.08 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 29
 0.001230.451228.161198.211170.521123.521062.481081.281132.821182.33
 1231.031268.531330.90 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 28
 0.001275.311249.901218.111178.681120.251106.761098.111107.291170.21
 1203.681271.321318.97 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 27
 0.001312.041267.161221.081186.341151.961137.901121.691149.621154.98
 1194.251266.801307.04 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 26
 0.001336.981294.631245.591208.641180.011162.661133.111154.801176.46
 1189.261237.481287.58 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 25
 0.001323.791283.941237.651206.701208.941178.661145.811157.081187.81
 1209.731239.221278.331343.65 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 24
 0.001329.831299.951245.921237.101238.491221.701182.491159.791184.85
 1205.301242.181297.861349.801427.98 0.00 0.00 0.00 0.00
 23
 0.001342.471298.811252.211277.651268.411246.761207.121179.021196.46
 1227.211275.311319.051364.671403.57 0.00 0.00 0.00 0.00
 22
 0.00 0.001336.271336.731321.691299.811264.071236.601195.151212.87
 1238.081282.251325.381373.281411.22 0.00 0.00 0.00 0.00
 21
 0.00 0.001380.431377.581354.051327.121297.851269.211201.211231.24
 1271.831311.541354.091403.321435.451477.07 0.00 0.00 0.00
 20
 0.00 0.001417.291404.091379.051349.371322.201285.491228.821243.84
 1286.821324.951366.111407.031456.711482.80 0.00 0.00 0.00
 19
 0.00 0.001456.881444.281417.791388.231352.341315.081249.621244.27
 1294.221329.891368.591410.741464.191505.69 0.00 0.00 0.00
 18
 0.00 0.00 0.001498.921478.661429.351388.131345.181305.401270.44
 1291.921328.141367.271414.451469.801515.231527.39 0.00 0.00
 17
 0.00 0.00 0.001532.821514.061462.181423.131381.031339.941305.72
 1290.891330.651372.431421.111480.971521.961555.00 0.00 0.00
 16
 0.00 0.00 0.00 0.001552.481504.851474.601408.551373.471342.10
 1324.171339.061391.771441.071513.431565.951601.15 0.00 0.00
 15
 0.00 0.00 0.00 0.001589.291556.081509.951457.471412.251383.80
 1357.171346.091413.881472.371530.521599.541644.42 0.00 0.00
 14
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001596.771559.671500.281453.541426.17
 1391.081379.141446.861489.271570.521622.011669.031697.00 0.00
 13
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001634.481592.331563.271508.541471.95
 1419.381416.671475.031529.761590.611646.711717.911750.00 0.00
 12
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001673.951640.301596.301563.881503.82

1466.371480.031524.151564.041611.691670.071740.801776.09 0.00
 11
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001713.721672.841631.651593.931546.50
 1509.221519.481554.281587.821648.591713.211761.79 0.00 0.00
 10
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001723.221657.271616.001578.62
 1542.471545.491588.041630.201688.181740.271793.88 0.00 0.00
 9
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001747.041718.461661.061627.32
 1595.351595.171633.231679.651719.491763.341827.54 0.00 0.00
 8
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001773.781711.221675.41
 1657.291649.241705.001731.441771.661817.771861.44 0.00 0.00
 7
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001821.021763.221738.30
 1726.781753.561773.981796.171831.911866.381895.34 0.00 0.00
 6
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001919.291872.181825.48
 1823.501838.391855.131869.141916.491941.20 0.00 0.00 0.00
 5
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.001964.531919.73
 1902.201898.051919.141956.082004.89 0.00 0.00 0.00 0.00
 4
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.002029.50
 2003.281994.421988.582005.29 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 3
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 2101.992078.482077.732080.99 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 2
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 0.002176.212173.02 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 1
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

:FR49: Vegetacion: 1 M.A.A. 2 M.A.Sd. 3 M.A. 4 R.Sd. 5 R.D. 6 A.R.

45 00000000000000000000
 44 00140000000000000000
 43 00441000000000000000
 42 00445100000000000000
 41 00455100000000000000
 40 00155410000000000000
 39 00555510000000000000
 38 00155551000000000000
 37 00255551100000000000
 36 00225551100000000000
 35 00225511110000000000
 34 00122511110000000000
 33 01122511111000000000
 32 01222511111000000000
 31 01222551111100000000
 30 01222555111110000000
 29 01222555511111000000
 28 01122555511110000000
 27 01122555551110000000
 26 01222555551110000000
 25 02222225511111000000
 24 02222225552222200000

23 022222255522220000
22 002222255552220000
21 002222555552222000
20 002222255555222000
19 002222525555222000
18 000222225555522200
17 000222255555522200
16 000022255555522200
15 0000222525555522200
14 0000022225555522230
13 00000222255555222330
12 000002222222222330
11 0000022222222223300
10 000000222222223300
9 000000222222223300
8 000000022222223600
7 000000022222223600
6 000000062222226000
5 0000000062222660000
4 00000000062226600000
3 0000000000666600000
2 0000000000066000000
1 0000000000000000000

:FR52: distribucion de categorias de suelo

45 0000000000000000000
44 0021000000000000000
43 0011200000000000000
42 0011120000000000000
41 0011120000000000000
40 0021112000000000000
39 0011112000000000000
38 0021111200000000000
37 0021111220000000000
36 0022111220000000000
35 0022112222000000000
34 0022212222000000000
33 0222212222000000000
32 0222212222000000000
31 0222211222200000000
30 0222211122220000000
29 0222211112222000000
28 0222211112222000000
27 0222211111222000000
26 0222211111222000000
25 0222222112222000000
24 0222222111222200000
23 0222222111222200000
22 0022222111122220000
21 0022221111122220000
20 0022222211111222000
19 0022221211112222000
18 0002222211111122200
17 0002222111111222200
16 0000222111111122200
15 0000222121111122200
14 0000022221111122220
13 0000022221111222220

```

12 00000222222222220
11 00000222222222220
10 00000022222222220
 9 00000022222222220
 8 000000022222222300
 7 000000022222222300
 6 0000000322222223000
 5 0000000032222330000
 4 0000000003223300000
 3 0000000000333300000
 2 0000000000033000000
 1 0000000000000000000

```

:FR54 - DEFINICION DE CATEGORIAS DE SUELO

```

-1      1      1      1.15
-2      1      2      0.75
-3      1      3      0.30

```

E

ETD

:ET1 - PRINT CONTROLS FOR ET COMPONENT : BMETP, BINETP - SHETRAN test

```

T      T      T

```

:ET3 - TIMESTEP FOR INPUT OF METEOROLOGICAL DATA IN HOURS

1.0

:ET5 - MEASPE =0 SI POTENCIAL EVAPORACION NO MEDIDA Y =1 SI ES MEDIDA

1

:ET7 - Tipo Vegetacional 1--- M.A.A.

```

F      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      3
7      0.30      0.4.000012      4.3      19      1.0      0.0      0.0

```

:ET9 - CONTROLS FOR TIME-VARYING ET PARAMETERS FOR M.A.A.

```

0      0      0      0

```

:ET15 - PSI/RCF/FET FUNCION veg1

```

-1000.      0.      0.0
-150.      0.      0.0
-50.      0.      0.105
-5.      0.      0.85
-3.33      0.      1.0
-0.1      0.      1.0
1.0      0.      1.0

```

:ET17 - PROFUNDIDAD/RDF FUNCION PARA veg1

```

0.0100      0.18
0.0200      0.16
0.0300      0.12
0.0400      0.10
0.0500      0.09
0.0700      0.08
0.0900      0.08
0.1100      0.06
0.1300      0.06
0.1500      0.04
0.1700      0.02
0.1900      0.01
0.2100      0.00
0.2300      0.00
0.2500      0.00

```

```

0.2700  0.00
0.2900  0.00
0.3100  0.00
0.3300  0.00
:ET7 - Tipo Vegetacional 2--- M.A.Sd.
      F  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  3
      7  0.40  0.4.000014  5.1  22  1.0  0.0  0.0
:ET9 - CONTROLS FOR TIME-VARYING ET PARAMETERS FOR M.A.Sd.
      0  0  0  0
:ET15 - PSI/RCE/FET FUNCION veg2
-1000.  0.  0.0
-150.   0.  0.0
-50.    0.  0.125
-5.     0.  0.95
-3.33   0.  1.0
-0.1    0.  1.0
1.0     0.  1.0
:ET17 - PROFUNDIDAD/RDF FUNCION PARA veg2
0.0100  0.20
0.0200  0.16
0.0300  0.12
0.0400  0.10
0.0500  0.08
0.0700  0.08
0.0900  0.06
0.1100  0.06
0.1300  0.06
0.1500  0.04
0.1700  0.02
0.1900  0.01
0.2100  0.01
0.2300  0.00
0.2500  0.00
0.2700  0.00
0.2900  0.00
0.3100  0.00
0.3300  0.00
0.3500  0.00
0.3700  0.00
0.3900  0.00
:ET7 - Tipo Vegetacional 3--- M.A.
      F  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  3
      7  0.30  0.3.000011  3.2  14  1.0  0.0  0.0
:ET9 - CONTROLS FOR TIME-VARYING ET PARAMETERS FOR M.A.
      0  0  0  0
:ET15 - PSI/RCE/FET FUNCION veg3
-1000.  0.  0.0
-150.   0.  0.0
-50.    0.  0.95
-5.     0.  0.60
-3.33   0.  0.5
-0.1    0.  0.5
1.0     0.  0.5
:ET17 - PROFUNDIDAD/RDF FUNCION PARA veg3
0.0100  0.16
0.0200  0.14
0.0300  0.14

```

0.0400	0.12							
0.0500	0.10							
0.0700	0.09							
0.0900	0.08							
0.1100	0.08							
0.1300	0.06							
0.1500	0.02							
0.1700	0.01							
0.1900	0.00							
0.2100	0.00							
0.2300	0.00							
:ET7	-	Tipo Vegetacional 4---	R.Sd.					
F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3		
7	0.60	0.6.000016	4.5	27	1.3	0.0	0.0	
:ET9	-	CONTROLS FOR TIME-VARYING ET	PARAMETERS FOR R.Sd.					
0	0	0	0					
:ET15	-	PSI/RCF/FET FUNCION	veg4					
-1000.	0.	0.0						
-150.	0.	0.0						
-50.	0.	0.125						
-5.	0.	0.95						
-3.33	0.	1.0						
-0.1	0.	1.0						
1.0	0.	1.0						
:ET17	-	PROFUNDIDAD/RDF FUNCION	PARA veg4					
0.0100	0.20							
0.0200	0.15							
0.0300	0.10							
0.0400	0.09							
0.0500	0.06							
0.0700	0.06							
0.0900	0.05							
0.1100	0.04							
0.1300	0.04							
0.1500	0.04							
0.1700	0.03							
0.1900	0.03							
0.2100	0.02							
0.2300	0.02							
0.2500	0.02							
0.2700	0.01							
0.2900	0.01							
0.3100	0.01							
0.3300	0.01							
0.3500	0.01							
0.3700	0.00							
0.3900	0.00							
0.4100	0.00							
0.4300	0.00							
0.4400	0.00							
0.4500	0.00							
0.4600	0.00							
:ET7	-	Tipo Vegetacional 5---	R.D.					
F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3		
7	0.75	0.7.000019	3.7	31	1.5	0.0	0.0	
:ET9	-	CONTROLS FOR TIME-VARYING ET	PARAMETERS FOR R.D.					
0	0	0	0					

:ET15 - PSI/RCF/FET FUNCION veg5

-1000.	0.	0.0
-150.	0.	0.0
-50.	0.	0.125
-5.	0.	0.95
-3.33	0.	1.0
-0.1	0.	1.0
1.0	0.	1.0

:ET17 - PROFUNDIDAD/RDF FUNCION PARA veg5

0.0100	0.20
0.0200	0.15
0.0300	0.10
0.0400	0.08
0.0500	0.05
0.0700	0.05
0.0900	0.05
0.1100	0.04
0.1300	0.04
0.1500	0.04
0.1700	0.04
0.1900	0.03
0.2100	0.03
0.2300	0.02
0.2500	0.02
0.2700	0.02
0.2900	0.01
0.3100	0.01
0.3300	0.01
0.3500	0.01
0.3700	0.00
0.3900	0.00
0.4100	0.00
0.4300	0.00
0.4400	0.00
0.4500	0.00
0.4600	0.00
0.4700	0.00
0.4800	0.00
0.4900	0.00
0.4950	0.00

:ET7 - Tipo Vegetacional 6--- A.R.

F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3			
7	0.0	1.00.00009	1.0	7	1.0	0.0	0.0		

:ET9 - CONTROLS FOR TIME-VARYING ET PARAMETERS FOR CHESNUTS

0	0	0	0
---	---	---	---

:ET15 - PSI/RCF/FET FUNCION veg6

-1000.	0.	0.0
-150.	0.	0.0
-50.	0.	0.0
-5.	0.	0.05
-3.33	0.	0.1
-0.1	0.	0.1
1.0	0.	0.1

:ET17 - PROFUNDIDAD/RDF FUNCION PARA veg6

0.0100	1.00
0.0200	0.00
0.0300	0.00

0.0400 0.00
 0.0500 0.00
 0.0700 0.00
 0.0900 0.00

OCD

:OC1 - SHETRAN LOS ALMENDROS DATOS DEL CANAL: NT, NCATR, KONT, BIOWAT
 1 0 1 F

:OC2 - TIMESTEPS
 1.0 99999.

:OC3 - SMIN, CDRS, TDC, TFC, DET
 100. 0.1 0. 99999. 0.

:OC20 - CONDICIONES DE BORDE
 0 0 0

:OC30 - NUMERO DE SECCIONES DEL CANAL POR DEFECTO
 1

:OC32 - SECCIONES DEL CANAL POR DEFECTO
 3
 10.0 0.0 10.0 0.1 10.0 1.00

:OC35 - DESCRIPCION DEL CANAL

49	869.0	0.00	30.0	-1	
	2	6.00	.7	869.1	868.0
48	874.0	0.00	30.0	-1	
47	885.2	0.00	30.0	-1	
46	892.9	0.00	30.0	-1	
45	904.0	0.00	30.0	-1	
44	916.2	0.00	30.0	-1	
43	931.4	0.00	30.0	-1	
42	944.0	0.00	30.0	-1	
41	952.6	0.00	30.0	-1	
40	963.8	0.00	30.0	-1	
39	978.3	0.00	30.0	-1	
38	995.4	0.00	30.0	-1	
37	1007.7	0.00	30.0	-1	
36	1016.1	0.00	30.0	-1	
35	1027.4	0.00	30.0	-1	
34	1036.9	0.00	30.0	-1	
33	1049.5	0.00	30.0	-1	
32	1061.9	0.00	30.0	-1	
31	1073.3	0.00	30.0	-1	
30	1088.9	0.00	30.0	-1	
29	1102.7	0.00	30.0	-1	
28	1116.0	0.00	30.0	-1	
27	1130.8	0.00	30.0	-1	
26	1143.9	0.00	30.0	-1	
25	1154.4	0.00	30.0	-1	
24	1169.1	0.00	30.0	-1	
23	1185.3	0.00	30.0	-1	
22	1199.7	0.00	30.0	-1	
21	1214.0	0.00	30.0	-1	
20	1229.2	0.00	30.0	-1	
19	1246.3	0.00	30.0	-1	
18	1269.9	0.00	30.0	-1	
17	1285.2	0.00	30.0	-1	
16	1306.9	0.00	30.0	-1	

15	1328.3	0.00	30.0	-1
14	1363.8	0.00	30.0	-1
13	1395.6	0.00	30.0	-1
12	1431.6	0.00	30.0	-1
11	1465.4	0.00	30.0	-1
10	1495.1	0.00	30.0	-1
9	1522.0	0.00	30.0	-1
8	1549.7	0.00	30.0	-1
7	1569.2	0.00	30.0	-1
6	1594.4	0.00	30.0	-1
5	1615.9	0.00	30.0	-1
4	1645.1	0.00	30.0	-1
3	1680.3	0.00	30.0	-1
2	1710.3	0.00	30.0	-1
1	1740.2	0.00	30.0	-1

SZD

```

:SZ1 - IMPRESION DE PARAMETROS
      T      F      F      F
:SZ3 - FLAGS FOR INITIAL PHREATIC SURFACE AND HEAD BOUNDARY DATA
      T      F
:SZ5 - NKA/ DTKA TIKA
      1
      12.0 10000.
:SZ7 - IMPRESION DE PARAMETROS
      1
      12.0 10000.
:SZ11 - TIMESTEPS
      1
      12.0 10000.
:SZ13 - FLOODING CONDITIONS
      0.7  0.01
:SZ17 - CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA HORIZONTAL
      1    3.5  3.50
      2    1.5  1.50
      3    0.005 0.005
:SZ25 - PROFUNDIDAD DE NAPA FREATICA POR DEFECTO
      0.28  1
:SZ30 - CONDICIONES DE BORDE
      0    0    0    0

```

UZD

```

:UZ1 - UZ PARAMETROS DE IMPRESION BUZ1-3, BINUZP, BEWPR, BSPLPR LOS
ALMENDROS
      F      F      F      T      F      F
:UZ3 - PRINT CONTROLS FOR UZ/ET COMPUTATIONS (MAXER1, MAXER2)
      50    50
:UZ5 - PRINT CONTROLS FOR UZ/ET COMPUTATIONS (DNPRUZ)
      0

```

```

:UZ8 - PARAMETRO - LL,NITER,TOL,EPSTOL
32 10 0.01 0.005
:UZ10 - TIMESTEP AND CORRESPONDING SPAN FOR UZ COMPONENT
1
1.00 99999.
:UZ12a - UZ PARAMETER FLAG
F
:UZ13 - Tipo de Suelo 1 R.N. Clarillo
:UZ14 - THSAT EFFSAT THFC PSIFC THWILT THRES KSAT EXPO
0.370 0.37 0.35 -3.33 0.100 0.075 3.467
1.99E-2 1.793
:UZ13 - Tipo de Suelo 2 R.N. Clarillo
:UZ14 - THSAT EFFSAT THFC PSIFC THWILT THRES KSAT EXPO
0.370 0.37 0.35 -3.33 0.100 0.075 1.467
1.99E-2 1.793
:UZ13 - Tipo de Suelo 3 R.N. Clarillo
:UZ14 - THSAT EFFSAT THFC PSIFC THWILT THRES KSAT EXPO
0.1000 .1000 .090 -3.33 .012 0.010 0.005
1.99E-2 1.793
:UZ20 - UZ NODO DE SEPARACION (0.75m PROFUNDIDAD DEL SUELO (veg1))
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500
0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0200 0.0100 0.0100 0.0100
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0025
0.0050 0.0100
:UZ20 - UZ NODO DE SEPARACION (0.75m PROFUNDIDAD DEL SUELO (veg2))
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500
0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0200 0.0100 0.0100 0.0100
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0025
0.0050 0.0100
:UZ20 - UZ NODO DE SEPARACION (0.75m PROFUNDIDAD DEL SUELO (veg3))
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500
0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0200 0.0100 0.0100 0.0100
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0025
0.0050 0.0100
:UZ20 - UZ NODO DE SEPARACION (1.15m PROFUNDIDAD DEL SUELO (veg4))
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000
0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.0500 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0025
0.0050 0.0100
:UZ20 - UZ NODO DE SEPARACION (1.15m PROFUNDIDAD DEL SUELO (veg5))
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000
0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.0500 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0025
0.0050 0.0100
:UZ20 - UZ NODO DE SEPARACION (0.30m PROFUNDIDAD DEL SUELO (veg6))
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100
0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0100 0.0025
0.0050 0.0100
:UZ22 - CONTROL BIPROF : TRUE IF READING INITIAL PSI PROFILE
F
:UZ30 - COLUMNA REPRESENTATIVA UZ
0 0 0

```