

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA**  
**XI CONGRESO CHILENO**

**METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION AUTOMATICA DE PARAMETROS**  
**GEOMORFOLOGICOS EN CUENCAS HIDROGRAFICAS**

RODRIGUEZ M.A. (1) ; GODOY F.A. (2)

**RESUMEN**

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar una metodología que permita obtener, en forma automática, parámetros geomorfológicos de una cuenca hidrográfica a partir de un modelo digital de terreno. En una primera etapa los parámetros a determinar son: área de la cuenca, orden de los cauces y razón de bifurcación.

Basándose en la información cartográfica I.G.M (Instituto Geográfico Militar de Chile) escala 1:50.000 y haciendo uso de un Sistema de Información Geográfica (G.I.S.), se generó una carta de altitud que, luego de ser filtrada, sirvió para el cálculo de la carta de direcciones de máximo gradiente. Con esta carta se realizó un análisis de vecindad en forma recursiva, identificándose condiciones que representan divisorias de aguas (Carta de Laberintos). A partir de esta información se realizó un análisis de topología de "cauces", obteniéndose el orden de cada uno ellos y su razón de bifurcación.

El resultado de este trabajo es un software complementario al G.I.S. que automatiza la metodología expuesta, cuyos resultados han sido comparados con los obtenidos en forma tradicional.

---

(1) Ingeniero Civil Informático, Jefe del Laboratorio de Informática y Geomática Centro EULA-CHILE, Universidad de Concepción.

(2) Ingeniero Civil, Investigador Centro EULA-CHILE, Universidad de Concepción.

Centro EULA-CHILE, Universidad de Concepción, casilla 156-C Concepción, Chile.  
Fax 56-41-242546, Tel. 56-41-242465.

## INTRODUCCION

La Hidrología y la Geomorfología son dos disciplinas que se vinculan estrechamente ya que las características de las precipitaciones son parte importante en la definición evolutiva del paisaje [1]. Así mismo, este paisaje determina fuertemente el comportamiento de la escorrentía frente a una precipitación [2].

Con la incorporación en los últimos tiempos de herramientas computacionales, como los G.I.S., es posible manejar gran volumen de información distribuida espacialmente [3], lo que permite vincularlos con modelos hidrológicos distribuidos espacialmente [4], convirtiendo información geográfica en conocimiento hidrológico [5].

Para que la información geográfica sea útil, debe estar procesada, por ejemplo: la topografía debe analizarse para obtener delimitación de cuencas [6] y constantes geomorfológicas, procesos que para grandes áreas es engorroso y lento. Con las constantes conocidas, para una cuenca y distribuidas en sus subcuencas, se pueden parametrizar modelos hidrológicos [7].

## METODOLOGIA

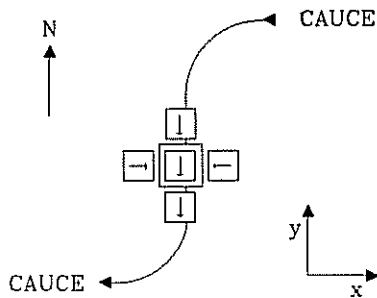
### Información Base

Como información base se ocupan las curvas de nivel, isolíneas de altitud, para la determinación de un modelo digital de terreno (DEM).

El DEM se obtiene a partir de la generación de una red irregular triangularizada (TIN) con interpolación no lineal, que entrega como resultado una carta de altitudes. Luego la carta de altitud es filtrada para eliminar anomalías, mínimos locales (cuencas endorreicas), causadas por imperfecciones del DEM. A partir de la carta filtrada se obtiene una carta de gradientes que representa el sentido teórico de escurrimiento de las aguas. Estas cartas se trabajan en formato raster, es decir, como una matriz donde cada celda tiene asociado una ubicación espacial, una resolución o área y un valor: altitud o máximo gradiente.

### Definición de Cauces

Una vez obtenida la carta de direcciones de máximos gradientes (Norte, Este, Sur o Oeste), se verifica para cada una de las celdas del área de estudio, si cumple la condición de que tres de sus cuatro celdas contiguas correspondan a versantes que aportarían (escorrentía) a esta celda central (indicando que pertenece o forma un cauce).



(Fig. 1) CRITERIO DE RECONOCIMIENTO DE CAUCES

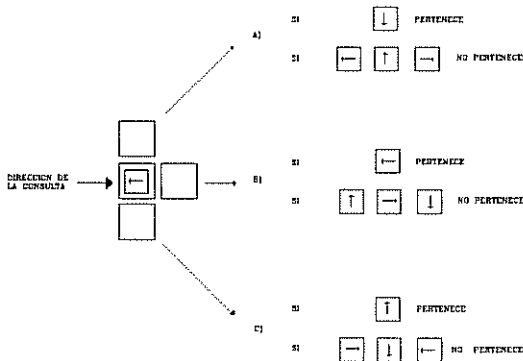
Luego se continúa trazando la trayectoria teórica del flujo, hasta salir del espacio de trabajo o alcanzar una celda que ya ha sido marcada anteriormente con este procedimiento. Es así como queda definida en forma automática, una aproximación de la red de cauces fluviales, que corresponde a una definición geométrica (Red Sintética).

### Delimitación de Cuencas

Para el caso de la delimitación de cuencas, se definió un algoritmo recursivo que partiendo de un elemento de la matriz (la salida de la cuenca de estudio) analiza tres de los elementos vecinos, según el sentido dado por la dirección potencial de escurrimiento de las aguas (dirección de máxima pendiente). La condición requerida para que la celda vecina pertenezca a la misma cuenca, es que el gradiente máximo de esta última, apunte a la celda anterior, en caso contrario define que la frontera entre las celdas forma parte del límite de la cuenca. Un ejemplo de estas condiciones es:

Dada una celda con ubicación  $(x,y)$  dentro de la matriz de máximos gradientes, la que es salida de una cuenca que drena en el sentido Oeste, se consulta por:

- a) Si el elemento  $(x,y+1)$  tiene gradiente en dirección Sur, entonces pertenece a la cuenca.
- b) Si el elemento  $(x+1,y)$  tiene gradiente en dirección Oeste, entonces pertenece a la cuenca.
- c) Si el elemento  $(x,y-1)$  tiene gradiente en dirección Norte, entonces pertenece a la cuenca.
- d) Para cada consulta que tenga un resultado negativo, la celda no pertenece a la cuenca de aquella que generó la consulta, estableciendo un límite.



(Fig.2) CRITERIOS DELIMITACION DE CUENCAS

En el caso que la celda analizada pertenezca a la cuenca, se aplica en forma recursiva el algoritmo anterior considerando ésta como celda inicial con su sentido de escurrimiento, para ajustar la dirección de las consultas y de las condiciones.

### Topología de cauces

Finalmente, la metodología para el análisis de la topología de los cauces consiste en :

- 1) Partiendo de un elemento de la matriz que pertenece al área de estudio (que se define como nodo de orden cero), se sigue la dirección potencial de escurrimiento hasta salirse de la cuenca, marcando las celdas recorridas con orden cero.
- 2) Para el resto de los elementos no analizados del área de estudio, se sigue la dirección potencial de escurrimiento, después de definir la celda inicial como nodo de orden cero, marcando las celdas con orden cero. En el momento de encontrar una celda ya analizada, se verifican las siguientes condiciones:
  - si es del mismo orden que aquel con que se estaba definiendo el cauce, entonces esta celda se define como nodo de un orden más que aquel que se estaba usando y se continúa recorriendo, marcando las celdas siguientes con el nuevo orden.
  - si es de orden mayor se termina de recorrer.
  - si la celda es un nodo entonces se analizan las siguientes subcondiciones:
    - si el orden es el mismo, elimina el nodo y termina de recorrer.
    - si es de un orden mayor termina de recorrer.

### APLICACION DE LA METODOLOGIA

El área de estudio seleccionada para aplicar la metodología descrita es la cuenca del Quillaileo, ubicada aproximadamente en la Precordillera Andina de Chile a una Latitud de 37°30' Sur y Longitud 71°30' Oeste.

La cuenca del Quillaileo es parte de la cuenca hidrográfica del río Bío-bío, área de estudio del proyecto EULA, realizado por el Centro EULA-CHILE (Noviembre 1989 - Abril 1993). Esta cuenca fue estudiada y dotada de diversos instrumentos (estaciones meteorológica y

limnigráfica) para permitir la caracterización hidrológica de ella. Por esta razón, se ha considerado una buena alternativa escoger esta cuenca como área de estudio de manera de facilitar futuros trabajos que puedan ser desarrollados en el campo de los modelos hidrológicos. Esta área se trabajó con la cartografía base a escala 1:50.000 del I.G.M. que incluye: red fluvial y curvas de nivel cada 25 metros.

Para el ingreso de la información a formato digital, se utilizaron dos métodos: tablilla digitalizadora y scanner. En el caso de la red fluvial y el límite de cuenca (determinado manualmente), se utilizó la tablilla digitalizadora (Fig.3). Para el ingreso de las curvas de nivel se utilizó el scanner, información que requirió un posterior proceso de vectorización y de asignación del atributo de altitud para cada una de las curvas de nivel.

La información digitalizada fue ingresada al sistema de información geográfica SPANS V5.2, en el cual fueron procesadas las curvas de nivel para obtener el DEM. Como se ha explicado anteriormente, las cartas de altitud y de máximo gradiente fueron trabajadas en formato raster en una matriz de 225x275 elementos y una resolución de 47.25x47.25 metros.

## RESULTADOS

El desarrollo del trabajo implicó implementar los programas que se indican a continuación junto a los resultados obtenidos a partir de ellos:

- 1) Conversión de formatos. Utilizados para la transformación de formatos ASCII a binario y viceversa, que permitieron utilizar equipos Pc compatibles y Vax 3100 e intercambiar información entre ellos. Estos algoritmos fueron desarrollados en lenguaje C.
- 2) Filtro y determinación de gradientes. Estos algoritmos utilizaron como entrada la información de altitud y fueron desarrollados en Fortran.
- 3) Determinación de drenes. Este algoritmo se aplica sobre los gradientes y determina los cauces. Fue desarrollado en Fortran.

4) Delimitación de cuencas. Este algoritmo genera el límite de la cuenca y fue desarrollado en lenguaje C. La aplicación de este programa generó la carta mostrada en la Fig.4 (Carta de Laberintos).

Si se compara la superficie de la cuenca calculada en base al límite obtenido en forma manual y automática se tiene que el primero es de 80.4 Km<sup>2</sup> y el segundo de 81.3 Km<sup>2</sup>, existiendo una variación de 0.9 Km<sup>2</sup> (1% respecto al área obtenida manualmente).

5) Determinación de órdenes de los cauces y puntos de bifurcación. Este programa fue desarrollado en lenguaje C.

La cantidad de cauces de cada uno de los órdenes nos permite determinar la razón de bifurcación [8], que queda gráficamente representada por las pendientes de las curvas en la Fig.5. Los resultados obtenidos con esta última metodología, se compararon con los obtenidos desde las líneas azules de las cartas IGM y desde la carta de la Red Sintética, encontrándose semejanzas en las Razones de Bifurcación. La tabla que a continuación se presenta, muestra los valores obtenidos de las tres cartas.

#### ORDENES DE CAUCES PARA LAS DISTINTAS CARTAS

ORDEN	CARTAS IGM	"CAUCES" (*)	LABERINTOS (**)
			1044
1	86	67	229
2	16	15	44
3	4	3	11
4	1	1	2
Rb	4.62 4.57	4.71 4.17	4.69 4.22

(\*) Carta de Cauces (Red Sintética) determinada a partir de programa (3).

(\*\*) Carta de Laberintos determinada a partir del programa (4).

## CONCLUSIONES

La metodología desarrollada cumplió el objetivo planteado, es decir, determinar para una cuenca hidrográfica algunos de sus parámetros geomorfológicos que la caracterizan, con la intención de unir la geomorfología con la hidrología a través de un G.I.S.; eliminando los problemas inherentes a su determinación manual.

Cabe señalar que la metodología considera sólo características geométricas del terreno, es por esto que se habla de cauces y no de líneas azules de las cartas I.G.M.

Al determinar el límite de la cuenca se puede obtener información adicional identificando no sólo el límite externo sino todas las divisorias de aguas internas de la cuenca, que permiten determinar índices geomorfológicos.

La calidad de los resultados depende de la escala de los datos originales como también del tamaño de las celdas del DEM. Es importante destacar que la aplicación de la metodología se realizó con un DEM que poseía un tamaño de celda que puede ser disminuido en base a la información original. Eso sí, una mayor resolución aumentaría el volumen de información obtenida.

Para el caso analizado (cuenca del Quillaileo), se considera que los resultados obtenidos son satisfactorios ya que presentan una diferencia, con respecto a los valores obtenidos manualmente, cercano al 1% en el área de la cuenca y valores similares en los demás parámetros calculados.

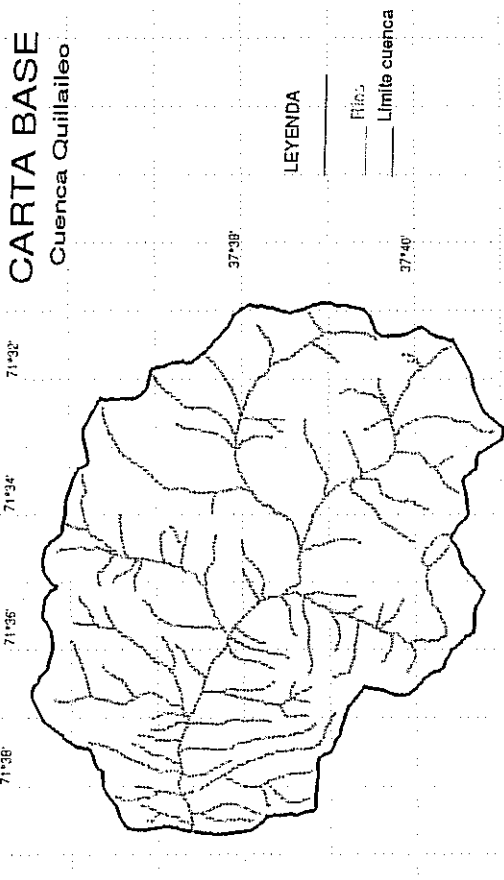
Una siguiente etapa de este trabajo consiste en validar los resultados, analizando un número mayor de cuencas con características morfométricas diversas y realizar un análisis de sensibilidad frente a distintas escalas para determinar el comportamiento de la metodología.

Desde el punto de vista hidrológico, se pretende enlazar los resultados con un modelo matemático del tipo precipitación escurrentía.

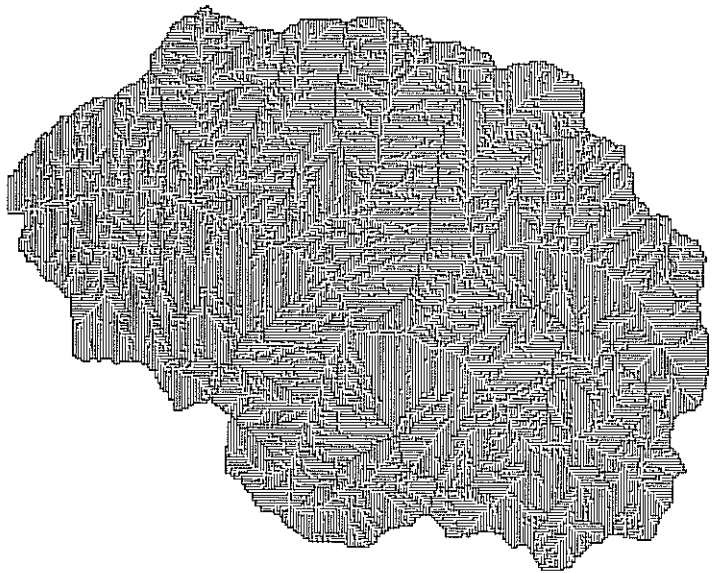


## BIBLIOGRAFIA

- [1] Rodríguez-Iturbe I., Devoto G. and Valdés J.B.; 1979. Discharge response analysis and hydrologic similarity: the interrelation between the geomorphologic IUH and the storm characteristics. *WRR*, 15(6), 1435-1444.
- [2] Rodríguez-Iturbe I. and Valdés, J.B.; 1979. The geomorphologic structure of hydrologic response. *WRR*, 15(6), 1409-1420.
- [3] Burrough P.A.; 1986. Principles of geographical information systems for lands resources assesment. Oxford Science Publication.
- [4] Pilotti M., Rosso R.; 1990. SHELL: A General Framework for Modelling the Distributed Response of Drainage Basin. Proceedings of the Eighth International Conference on "Computational Metods in Water Resources". Venice.
- [5] Tarboton K.C.; 1991. Interfacing GIS and Hydrological modelling: Mgeni case study. Symposium in Stellenbosch, RSA.
- [6] Godoy F.A., Rodríguez M.A.; 1993. Metodología para la determinación automática de divisorias de aguas y redes fluviales de cuencas hidrográficas. IV Conferencias Latinoamericanas sobre SIG, Sao Paulo.
- [7] Rosso R.; 1984. Nash Model Relation to Horton Order Ratios. *WRR* 20(7), 914-920.
- [8] Horton R.E.;1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geol. Soc. Am. Bull*, 56, 275-370.



( Fig . 3 )



(Fig.4) Carta de Laberintos

# Resumen de Resultados (Fig.5)

