

0052

00/1998/  
TAFORMAS

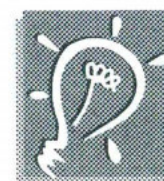
# MAPA DIGITAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y CATÁLOGO DE ESTUDIOS DE CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUAS EN ANTIOQUIA



CENTRO DE  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
ANTIOQUIA







C E N T R O D E  
C I E N C I A Y T E C N O L O G Í A  
A N T I O Q U I A



**MAPA DIGITAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS  
Y  
CATÁLOGO DE ESTUDIOS DE CANTIDAD  
Y CALIDAD DE AGUAS EN ANTIOQUIA**

## PRESENTACIÓN

**E**n el marco de la estrategia de Ciencia y Tecnología para Medellín y Antioquia, el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia promueve una serie de temas estratégicos de especial importancia para el futuro de la región. Uno ellos es el Agua, como componente fundamental del progreso económico, social y ambiental.

Para promover los beneficios del conocimiento y uso racional de este recurso, el Centro convocó un equipo de personas e instituciones representativas del tema, quienes a través de un esquema de trabajo cooperativo denominado "Cátedra", identificaron una serie de proyectos prioritarios para la Región.

En la Cátedra participan las siguientes entidades: Cornare, Corpourabá, Corantioquia, Area Metropolitana del Valle de Aburrá, Instituto Mi Río, Planeación Departamental de Antioquia, Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia, Isagen, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingeniería de Antioquia y el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

En noviembre de 1997 se presentó en un foro realizado en la Universidad Nacional el siguiente portafolio de proyectos específicos identificados por el grupo:

- Inventario General de Aguas y sus calidades en Antioquia
- Lineamientos Tecnológicos para el aprovechamiento, uso y ahorro eficiente del agua en diferentes sectores productivos
- Interacciones suelo, agua y vegetación
- Métodos biológicos de descontaminación de aguas
- Crecidas, torrentes y asentamientos humanos
- Generación y transporte de sedimentos

El presente documento contiene los resultados de la primera fase del subproyecto Mapa digital de corrientes superficiales y Catálogo de estudios de cantidad y cali-



dad del recurso; inscrito en el proyecto Inventario General de Aguas y sus calidades en Antioquia. Este trabajo fue realizado por la Universidad Nacional, en lo referente al Mapa y Catálogo de cantidad, y las Universidades de Antioquia y Pontificia Bolivariana, en lo correspondiente al Catálogo de Calidad.

Como producto de este trabajo se cuenta con un Mapa Digital Hidrológico para el Departamento, asociado con referencias fisiográficas para las cuencas y datos relativos a estudios existentes en diversas entidades acerca de la oferta del recurso en cada una de ellas. El Mapa está sobre plataforma IDL y el Catálogo en Excel.

Este primer resultado abre la perspectiva para sistematizar balances hídricos por cuencas y modelos de la calidad del recurso en ellas. Información vital para el estudio de aprovechamiento del recurso con fines de abastecimiento para consumo humano e industrial, evaluaciones de la capacidad de asimilación de vertimientos y descargas a los cauces, estudios ambientales y ecológicos, interacciones del recurso con el desarrollo social y económico en subregiones, comportamiento de corrientes ante circunstancias climatológicas, estudios de asentamientos, etc.

Para el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, como entidad promotora de la Estrategia de Ciencia y Tecnología del Departamento, la entrega de este resultado constituye un motivo de satisfacción en la medida que demuestra cómo un esfuerzo interinstitucional, redundante en logros concretos, útiles y aplicables, a costos razonables y en marcos de tiempo prudentes. Resultado del que no sólo pueden verse beneficiados las entidades del Convenio de la Cátedra del Agua, sino también la sociedad en general.

Rafael Aubad L.  
Director Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia

Carlos Fernando Cadavid R.  
Coordinador Cátedra del Agua

## TABLA DE CONTENIDO

### Presentación ----- 5

#### Primera Parte

### Mapa digital de Cuencas Hidrográficas y Redes de Drenaje ----- 9

Elaborado por:  
Universidad Nacional

### INTRODUCCIÓN ----- 11

1.	MAPA DIGITAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y REDES DE DRENAJE DE ANTIOQUIA -----	12
2.	CATÁLOGO DE ESTUDIOS DE RECURSOS HIDRÁULICOS Y CANTIDAD DE AGUA EN ANTIOQUIA -----	13
3.	GUÍA DE UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE "CUENCAS": MAPA DIGITAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y REDES DE DRENAJE -----	14
3.1.	Características Básicas del Programa -----	15
3.2.	Herramientas Básicas -----	17
3.3.	Ejemplo de aplicación del Programa -----	25
3.4.	Sobre la aplicabilidad del análisis geomorfológico -----	28
4.	GUÍA PARA LA UTILIZACIÓN DEL CATÁLOGO DE ESTUDIOS DE RECURSOS HIDRÁULICOS Y CANTIDAD DE AGUA -----	30
4.1.	Títulos de las columnas del catálogo -----	30
4.2.	Filtrado de listas -----	31
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO -----	33
6.	REFERENCIAS -----	36



**Segunda Parte**  
**Catálogo de Estudios de Calidad del Agua**  
**en Antioquia ----- 39**

*Elaborado por:*  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Universidad de Antioquia

INTRODUCCIÓN -----	41
1. OBJETIVOS -----	42
2. ALCANCE -----	42
3. METODOLOGÍA -----	42
4. RESULTADOS -----	43
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS -----	45
6. CONCLUSIONES -----	46
7. RECOMENDACIONES -----	47

# PRIMERA PARTE

## MAPA DIGITAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y REDES DE DRENAJE

## CATÁLOGO DE ESTUDIOS DE RECURSOS HIDRÁULICOS Y CANTIDAD DE AGUA

*Elaborado por:*  
*Universidad Nacional*





## INTRODUCCIÓN

El presente estudio es resultado de una cordial invitación del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia al Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. El trabajo se enmarca dentro de las actividades y objetivos del Programa "Cátedra del Agua", conformado por las siguientes entidades ejecutoras: Cornare, Corpourabá, Corantioquia, Area Metropolitana del Valle de Aburrá, Instituto Mi Río, Planeación Departamental de Antioquia, ISAGEN, Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingeniería de Antioquia, y el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

El Programa "Cátedra del Agua" ha identificado cinco proyectos ejes prioritarios para el Departamento de Antioquia, a saber:

1. Inventario general de aguas y sus calidades en Antioquia
2. Métodos biológicos de descontaminación de aguas
3. Crecidas, torrentes y asentamientos humanos
4. Interacciones suelo-agua-vegetación
5. Generación, transporte y precipitación de lodos y sedimentos.

Las actividades desarrolladas y los resultados del presente estudio constituyen un punto de partida académico y científico para los estudios posteriores que se desarrollen como parte de los proyectos prioritarios del Programa "Cátedra del Agua". El presente estudio da inicio a las actividades del inventario general de aguas y sus calidades en Antioquia. El trabajo se ha diseñado para ser llevado a cabo en dos fases, cuyos objetivos son:

### FASE I.

- 1.1 Construir el mapa digital de las cuencas hidrográficas y las redes de drenaje de ríos y quebradas de Antioquia a escala de 30 segundos de arco, equivalente aproximadamente a una escala de 1:250.000.
- 1.2 Elaborar un Catálogo de estudios de cantidad de agua y de aprovechamiento de recursos hidráulicos, realizados para el Departamento de Antioquia.
- 1.3 Desarrollar un programa de computador ("software") interactivo que permita el enlace del mapa digital con la base de datos y la información contenida en el Catálogo.

En el presente informe se incluyen los resultados de la Fase I, realizada en un lapso de nueve semanas.

### FASE II.

Estimar valores promedios multianuales de precipitación, evaporación potencial y real y escorrentía superficial en el Departamento de Antioquia, a una escala espacial de una malla de 30 segundos de arco. Los balances de agua se podrán efectuar sobre las trayectorias de las redes de drenaje extractadas en la Fase I. Se espera que esta fase se desarrolle durante 1999.



En el catálogo de estudios de calidad y aprovechamiento del recurso hídrico se incluyeron más de 900 registros con referencias completas. En la Tabla 1 se ilustra el tipo de información contenida en el Catálogo. Así, para cada documento identificado se especifican: Tipo de estudio, incluyendo la clasificación universal de temas de la UNESCO, título, biblioteca donde se encuentra con la identificación de su código interno, autor y fecha, localización del sitio objeto de estudio, que incluye el o los municipios involucrados, conjuntamente con la información de la cuenca y subcuenca a que pertenecen los sitios, ríos o proyectos estudiados. Finalmente, para la mayoría de los estudios se incluye un breve resumen de su contenido.

Se tomó la decisión de elaborar el catálogo de estudios en *Excel*, por razones de amplia disponibilidad, facilidad de acceso y manejo, y por su versatilidad para realizar búsquedas selectivas en bases de datos.

Toda la información contenida en el Catálogo se incorporó al software del Mapa Digital de Cuencas y Redes Hidrográficas de Antioquia, de tal manera que se vincula la información extractada para las cuencas y ríos de Antioquia con los estudios existentes sobre esos lugares, ríos, cuencas y proyectos de aprovechamiento. Este vínculo es altamente útil para la búsqueda de información. En la Figura 13 se muestra un ejemplo del resultado de la búsqueda de información sobre el Mapa Digital y el Catálogo para el río Nechí.

El informe final de este trabajo incluye el disquete con el contenido de todo el Catálogo en *Excel 97*. El manual de usuario del Catálogo se presenta en el numeral 4.

### 3. GUÍA DE UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE "CUENCAS": MAPA DIGITAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y REDES DE DRENAJE



El reciente desarrollo de los computadores ha permitido disminuir los tiempos de cálculo de numerosas tareas que hace algún tiempo parecían casi imposibles de realizar. Una de estas es la extracción y el análisis de redes de drenaje de cuencas hidrográficas a partir de mapas cartográficos convencionales. El desarrollo de la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG), ha permitido pasar buena parte de la información existente a mapas de computador, poniendo de esta manera a disposición del programador, el dato de entrada más fundamental para el estudio de la hidrología superficial basada en modelos digitales de terreno. Basados en ideas ya trabajadas por algunos años acerca de la extracción y análisis de redes de drenaje de cuencas a partir de modelos digitales de terreno se desarrolló el programa CUENCAS, el cual puede ser usado como herramienta de primera mano al realizar estudios geomorfológicos, hidrológicos y/o climatológicos sobre una región en particular.

Se han implementado en este programa diversas utilidades que facilitan su uso y la ubicación de la información deseada, tal es el caso del localizador de municipios, el trazador de la red de drenaje del terreno y el programa que conecta la información del "Catálogo de Estudios de Cantidad de Aguas y Recursos Hidráulicos en Antioquia" con la ubicación de los ríos en el mapa por medio de la toponimia. Otra característica destacable del programa es su fácil manejo, pues está provisto de una interfaz gráfica amigable y es destacable la eficiencia con que realiza los cálculos que deben hacerse en tiempo de ejecución.

#### 3.1. Características Básicas del Programa

El programa CUENCAS es resultado de varios proyectos de investigación desarrollados por el Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos durante los últimos años, dentro de los cuales debe mencionarse el proyecto Balances Hídricos de Colombia, presentado a la Unidad de Planeación Minero-Energético (UPME) y a COLCIENCIAS. El programa CUENCAS extrae las principales características geomorfológicas de cuencas hidrográficas obtenidas a partir de modelos digitales de terreno. El programa ha sido adaptado y modificado a las necesidades del proyecto de la Cátedra del Agua. Se han implementado nuevas herramientas para el análisis de características geomorfológicas y geomorfológicas de las redes de drenaje y de las cuencas hidrográficas, tales como los parámetros de Horton, la curva hipsométrica, la función de ancho y la estimación de la dimensión fractal del canal principal y de la red de drenaje.

El programa está basado en el análisis de la matriz de direcciones, la cual se crea usando la información contenida en el modelo digital de terreno usando el algoritmo de flujo en la dirección de la máxima pendiente. Este algoritmo asigna a cada pixel del mapa digital una dirección de drenaje como se ilustra en la figura 2. La dirección en la que fluye el pixel se marca con un identificador 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 partiendo de la dirección noreste y continuando en el sentido de las manecillas del reloj hasta completar el ciclo de direcciones.



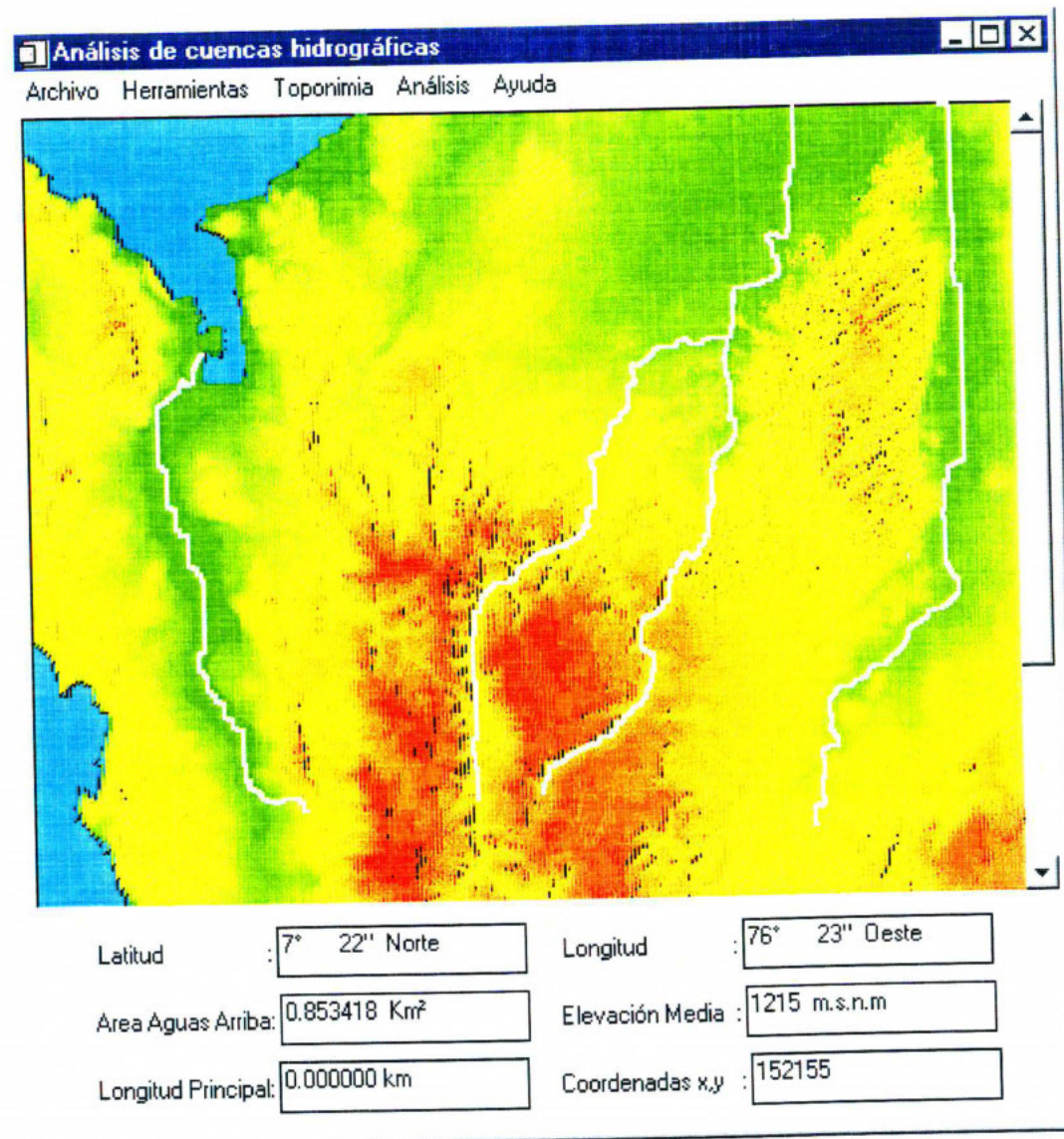


Figura 1. Interfaz principal de la versión final del programa CUENCAS

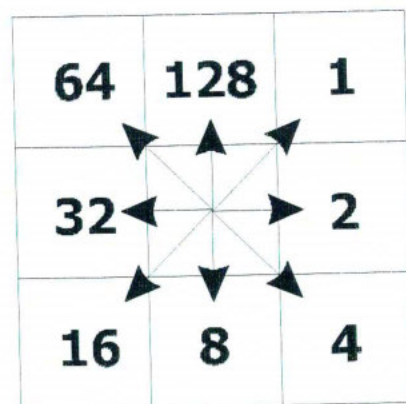


Figura 2. Identificadores asignados en la matriz de direcciones para todos los pixeles del modelo digital de terreno.



Con la información de la matriz de direcciones es posible determinar la cuenca hidrográfica que drena por cualquier pixel del mapa, la estructura de su red de drenaje y los parámetros geomorfológicos básicos. En particular, es posible determinar el área de drenaje de todos los pixeles de la red de drenaje y la longitud del canal principal que drena hasta dicho punto, desplegando interactivamente la información. En la figura 1 es posible ver el área que aporta la cuenca del río Nechí al río Cauca en el municipio de Nechí, así como la longitud del canal principal hasta este punto y la cota en el punto de la unión de los ríos.

En las siguientes secciones se hará un informe detallado acerca de las principales funciones del programa, su manejo y sus posibilidades de aplicación.

### 3.2. Herramientas Básicas

La barra de menús del programa es amigable y permite desarrollar todas las capacidades de este mediante *clicks* del ratón del computador. El menú "Archivo" contiene las opciones de información sobre el Mapa de Elevación Digital, la reconstrucción del Mapa original ("Redibujar DEM") y una opción que permite exportar la imagen en pantalla hacia un archivo de tipo .bmp para Windows ("Guardar Imagen"). Ver la figura 3.

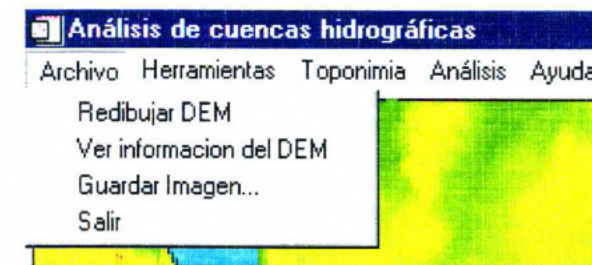


Figura 3. Menú "Archivo" del programa CUENCAS

**Herramientas de visualización y Balance Hídrico (Uso y Aplicaciones).** El menú de "Herramientas" del programa, es la opción dedicada a facilitar la visualización y ubicación en el mapa.



Figura 4. Menú "Herramientas" del programa CUENCAS



Las características de los ítems de este menú se detallan a continuación:

- **Trazar corriente:** Al seleccionar este ítem la pantalla principal del programa queda a la espera de un "click" del mouse sobre cualquier punto en el mapa, desde el cual se trazará el camino que tomaría una gota de agua que cayera allí.
- **Definir cuenca:** Esta herramienta se creó con el fin de facilitar el reconocimiento inicial de la cuenca en estudio. Esta opción dará al usuario, conocedor de la cuenca de interés, tranquilidad acerca de la fidelidad en la extracción digital de la misma.
- **Procesar todas las estaciones:** Esta es una opción que permite realizar el balance sobre todas las cuencas en las que se tenga medición de caudal, con el fin de hacer un estimativo de la evaporación y compararlo con lo predicho por los diferentes métodos para su cálculo. (Esta opción estará disponible en la Fase II del proyecto)
- **Ampliar Mapa:** Este ítem está diseñado para mejorar la visualización del mapa en la pantalla. Es de especial utilidad cuando se trabajan cuencas pequeñas, o cuando se requiere ubicar la salida de la cuenca con gran precisión.

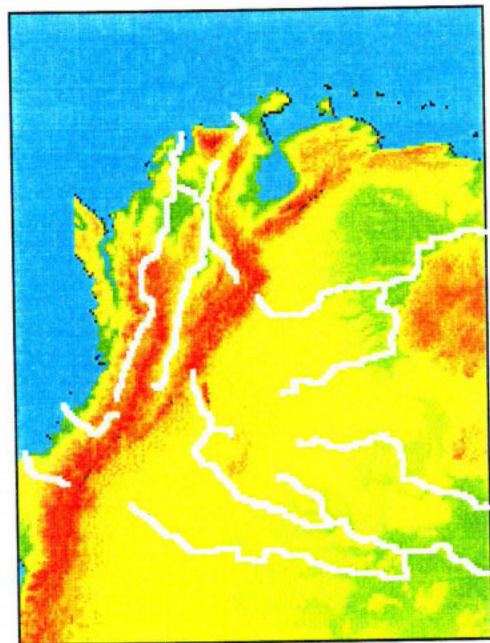


Figura 5. Ejemplo de algunas corrientes trazadas usando la herramienta "Trazar Corriente" del menú de herramientas del programa CUENCAS en un modelo digital de terreno de baja resolución de Colombia.

- **Limpiar Mapa:** Esta opción permite borrar del mapa todas las marcas que se hayan realizado durante el proceso de búsqueda de la información.
- **Ver Grilla:** Esta herramienta traza sobre el mapa una red geo-referenciada, distanciada cada 30 segundos de arco con el fin de agilizar la llegada del usuario al sitio de interés.
- **Ver Red:** Esta opción permite trazar toda la red de drenaje del modelo digital de terreno. Es de gran utilidad pues proporciona una rápida herramienta para ubicar la corriente que se desea estudiar.

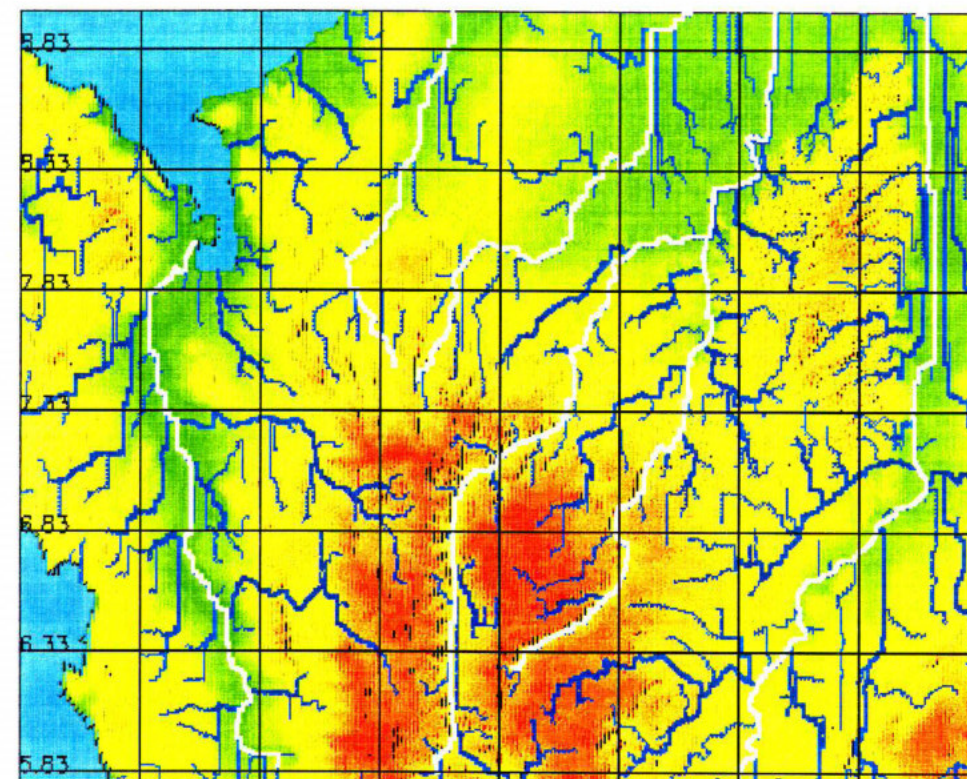


Figura 6. Mapa visualizado usando las herramientas "Ver Red" y "Ver Grilla".

Es fácil identificar las corrientes de los ríos río Cauca, Magdalena, San Jorge, Atrato, Nechí, Sinú, entre otros.

- **Corregir estación:** En muchas ocasiones las coordenadas geográficas de las estaciones de medición de caudal dadas por el IDEAM no son precisas o el proceso de trazado de la red de drenaje no es perfecto y las estaciones quedan ubicadas por fuera de la corriente. Esto debe ser corregido y se hace ubicando manualmente las estaciones en el punto correcto del cauce con ayuda de los mapas del IDEAM.

**Herramientas de búsqueda basadas en la toponimia.** El menú "Toponimia" integra todas las capacidades de búsqueda de sitios de interés, basados en el uso de una importante base de datos de toponimia. La base de datos cuenta con los nombres de más de 100 ríos de Antioquia y de todos sus municipios. Esta base de datos está atada al "Catalogo de Estudios sobre Recursos Hidráulicos y Cantidad de Aguas en Antioquia" (numeral desarrollado como parte de este mismo proyecto, facilitando su consulta y aumentando las posibilidades de aplicación del programa.



Figura 7. Menú "Análisis" del programa CUENCAS



- **Ríos:** Esta opción activa el localizador de ríos basado en la toponimia, el cual está integrado con el catálogo.

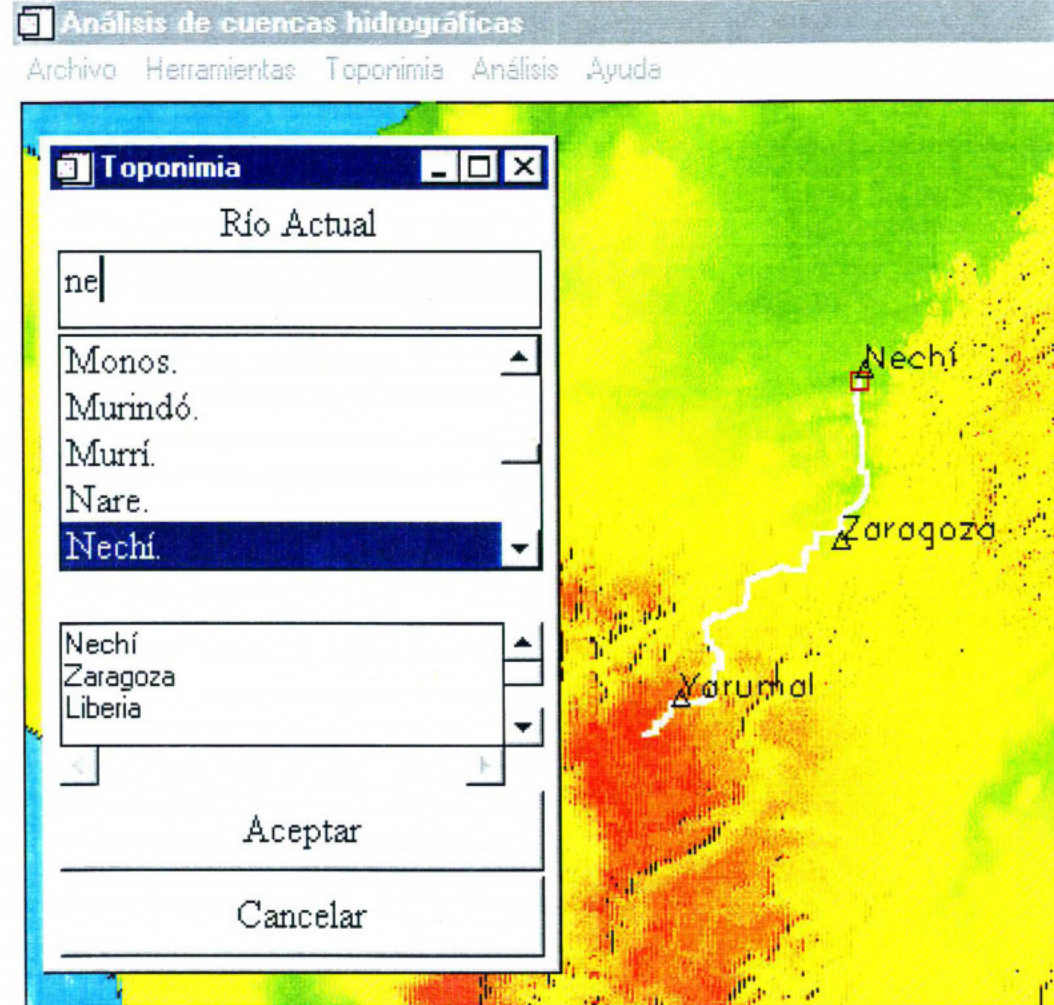


Figura 8. Interfaz de la base de datos de toponimia de ríos de Antioquia.

Una vez seleccionado en la lista el río de interés, se debe presionar el botón "Aceptar" y este se trazará automáticamente en el mapa, mostrando además los municipios que cruza durante su recorrido. Adicionalmente el programa consulta el catálogo y presenta una interfaz con los resultados de la búsqueda.

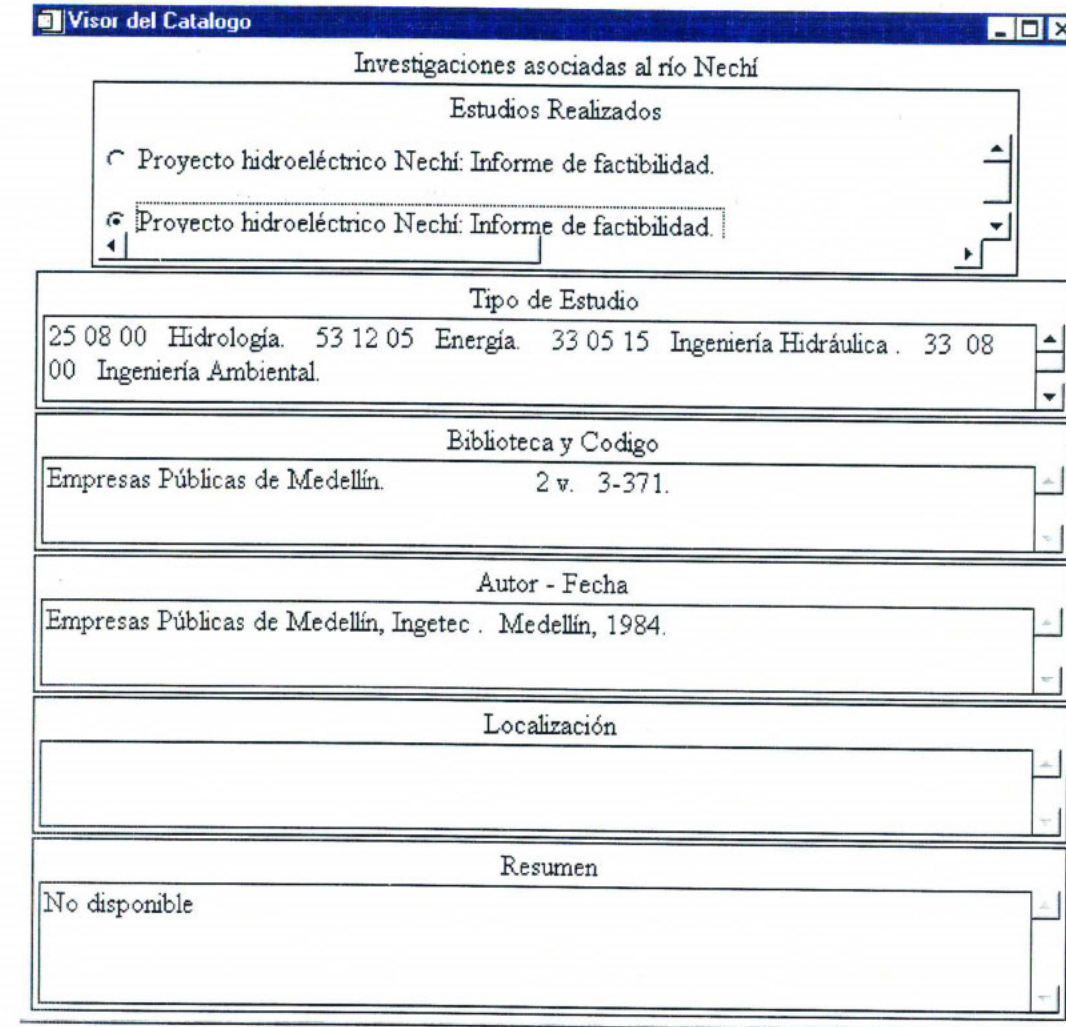


Figura 9. Interfaz de la base de datos de toponimia de ríos de Antioquia.

- **Municipios:** Este ítem activa el módulo de búsqueda de municipios, el cual sirve de referencia en el momento de la consulta, pues ubica geográficamente al usuario.

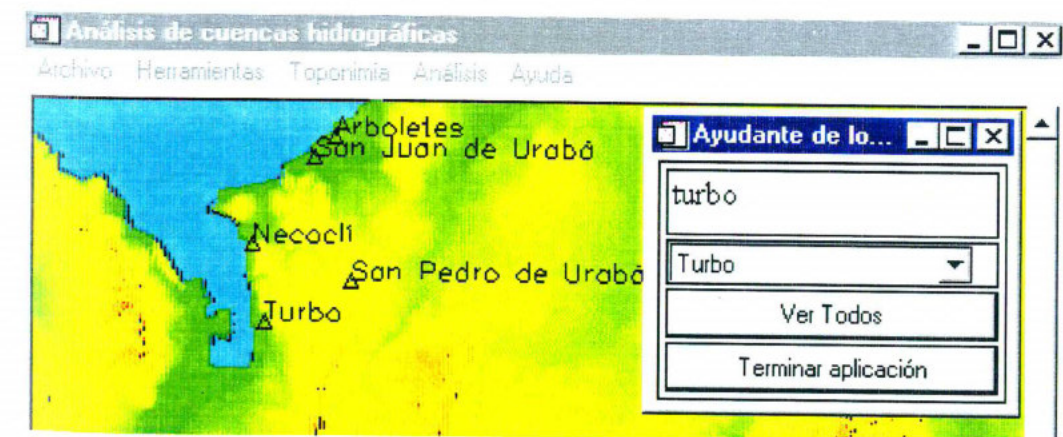


Figura 10. Interfaz de la base de datos de toponimia de municipios





- Estaciones: En este módulo está la lista de estaciones del IDEAM de Antioquia, la cual es de utilidad para una búsqueda preliminar de estaciones de medición cerca de la zona de estudio. Es importante anotar que cuando se traza la cuenca, el programa accede a esta base de datos y determina las estaciones que están dentro de la cuenca. Cada vez que se toca alguna de las estaciones, ésta aparece dibujada en el mapa.

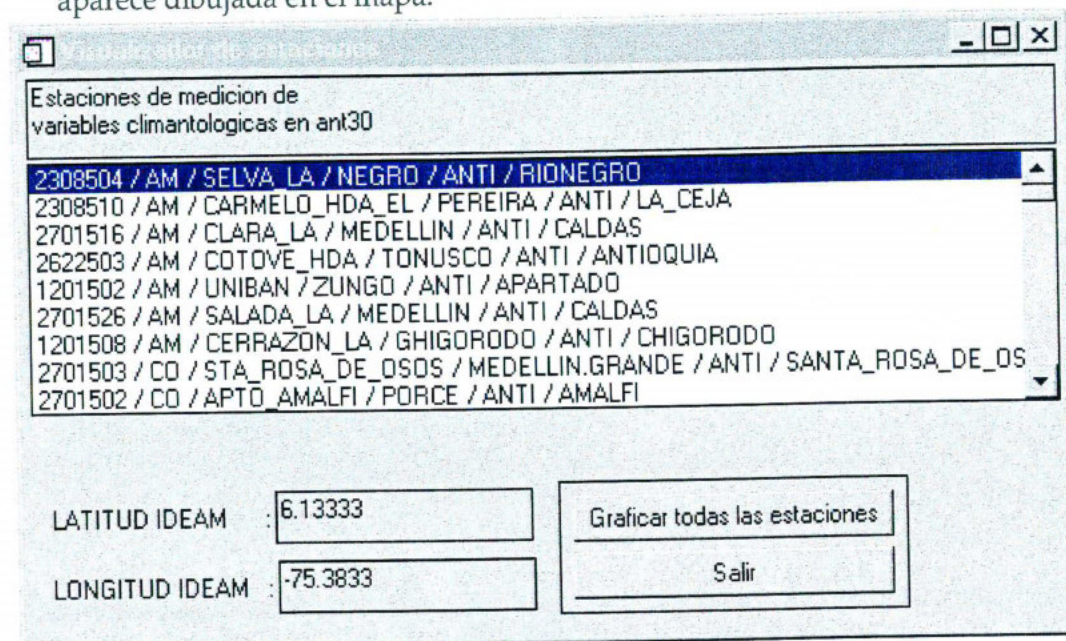


Figura 11. Interfaz de la base de datos de estaciones climatológicas.

**Herramientas de Análisis.** En el menú "Análisis" se han implementado herramientas de análisis geomorfológico como el análisis de los números de Horton, la función de ancho y la curva hipsométrica.

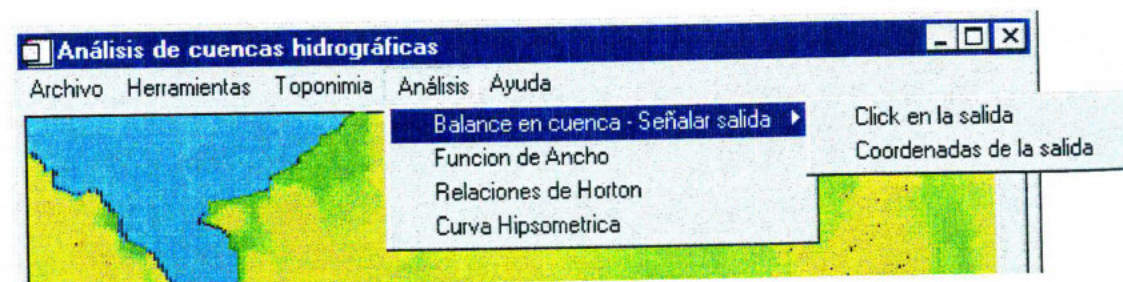


Figura 12. Menú "Análisis" del programa CUENCAS

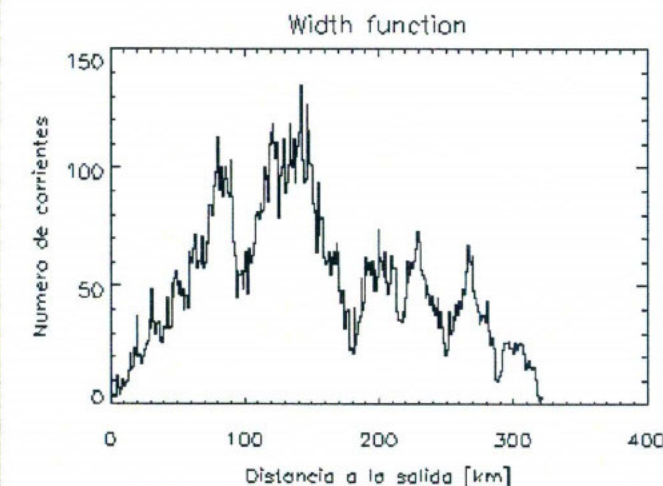
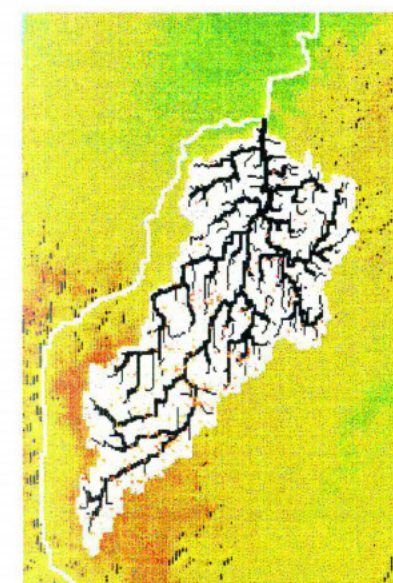
- **Balance en Cuenca – Señalar Salida:** Esta opción será habilitada en la fase II del proyecto, y estará diseñada para realizar una estimación del caudal en el punto que se selecciona o estimar la evaporación en la cuenca que drena por el punto si se conoce el caudal.

- **Función de Ancho:** Este ítem calcula la función de ancho de la cuenca de interés. El significado y aplicaciones de esta función se explican a continuación: Una propiedad fundamental de cualquier red de drenaje es que sólo existe una forma de conectar dos puntos en el árbol. En particular la ruta que va de cualquier punto de la red a la salida, queda inmediatamente determinada. Cuando se estudian las características de la estructura de la red de drenaje y su relación con su respuesta hidrológica a un evento cualquiera de precipitación, la forma en que las rutas hacia la salida están distribuidas son de crucial importancia. Esta distribución se caracteriza con la función de ancho de la cuenca, la cual fue introducida por primera vez por Shreve (1969). La función de ancho, da el número de corrientes a una distancia  $x$  de la salida. Es importante anotar que la distancia se mide a lo largo de los canales. Actualmente se adelantan estudios acerca de la implicación de la función de ancho en la respuesta de la cuenca. Los primeros esfuerzos en esta dirección fueron hechos por Kirby (1976) y ha sido refinados recientemente por Gupta (1986), Mesa y Mifflin (1988), Gupta y Mesa (1988) y Marani (1991).

La formulación de Mesa y Mifflin sobre la hidrógrafa unitaria geomorfológica instantánea es:

$$f(t) = \int_0^{\infty} f_x W(x) dx$$

Donde  $f_x(t)$  es la función de distribución de los tiempos de viaje desde el punto  $x$  a la salida.



Figuras 13. Cuenca y red hidrográfica el río Nechí (izquierda), en color rojo se denotan las estaciones de medición de variables hidro-climáticas de la cuenca (izquierda). A la derecha se muestra la función de ancho de la cuenca ( $A=14278 \text{ km}^2$ )

- **Relaciones de Horton:** Esta opción del menú permite calcular los parámetros de Horton de la red de drenaje, los cuales se explican con mayor detalle a continuación.



**Breve nota sobre el ordenamiento de Horton - Strahler.** El estudio cuantitativo de redes de drenaje fue iniciado hace cinco décadas por R. E. Horton (1945), quien propuso un esquema de ordenamiento para la red de drenaje. Este esquema fue revisado posteriormente por Strahler (1952, 1957), quien lo perfeccionó resolviendo algunas ambigüedades. Este sistema de ordenamiento conocido como el esquema de Horton - Strahler es el más usado en hidrología actualmente. Las reglas básicas de proceso de ordenamiento son las siguientes:

- Los segmentos que están unidos a una fuente, i.e. los que no tienen tributarios, son definidos como de *primer orden*.
- Cuando se unen dos corrientes de orden  $w$ , crean una corriente de orden  $w+1$ .
- Cuando dos corrientes de orden diferente se unen, el orden de la corriente aguas abajo es el máximo orden de las corrientes que la preceden.

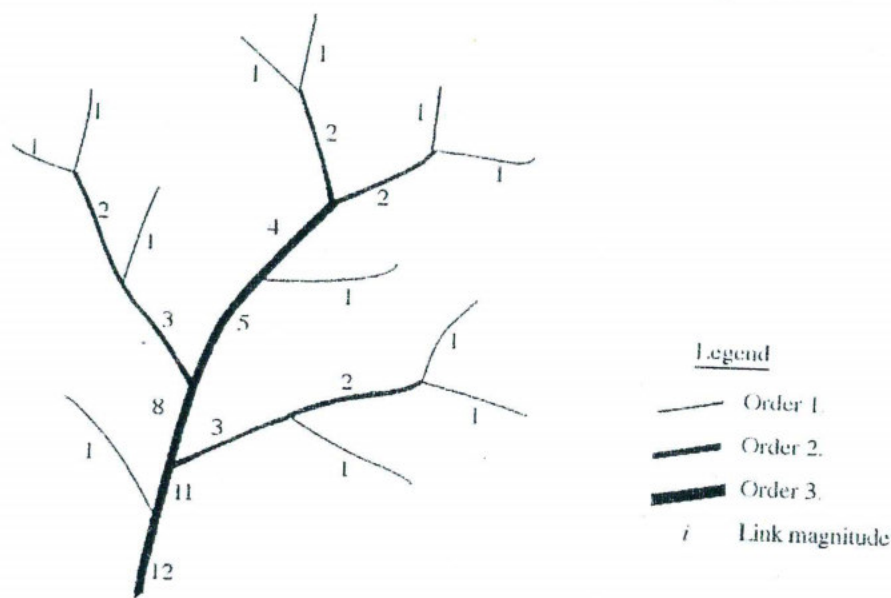


Figura 14. Orden de Horton-Strahler para las redes de drenaje y magnitud de las corrientes. El cambio en el grosor de las líneas obedece al orden de Horton - Strahler, mientras que el cambio en la numeración está basado en el cambio de magnitud.

Con base en este ordenamiento, se han revelado algunas de las profundas regularidades existentes en la red de drenaje, relacionadas con la estructura de bifurcación, y su distribución espacial. Los primeros resultados empíricos sobre estas regularidades se conocen como las Leyes de Horton. La ley de Horton para el número de corrientes se expresa como:

$$\frac{N(w)}{N(w+1)} \cong R_B \quad \text{ó} \quad N_w \cong R_B^{\Omega-w} \quad w=1, 2, \dots, \Omega$$



donde  $N(w)$  es el número de corrientes de orden  $w$  y  $R_B$  es llamada la relación de bifurcación. La ley de Horton para la longitud de las corrientes se expresa como:

$$\frac{L(w)}{L(w-1)} \cong R_L \quad \text{ó} \quad L_w \cong R_L^{w-1} \quad w=2, 3, \dots, \Omega$$

donde  $L(w)$  es la longitud promedio de las corrientes de orden  $w$  y  $R_L$  es conocido como la relación de longitud. Los valores típicos de  $R_B$  y  $R_L$  son 4 y 2 respectivamente, variando en un rango de 3 a 5 para  $R_B$  y de 1.5 a 3.5 para  $R_L$ . Horton predijo además que el área de drenaje debía crecer geoméricamente de igual manera que las relaciones anteriormente mencionadas. Shumm (1956) propuso explícitamente esta relación que se expresa como:

$$\frac{A(w)}{A(w-1)} \cong R_A \quad \text{ó} \quad A_w \cong R_A^{w-1} \quad w=2, 3, \dots, \Omega$$

donde  $A(w)$  es el área de drenaje promedio de las corrientes de orden  $w$  y  $R_A$  es la relación de áreas. El valor típico muestral de  $R_A$  es alrededor de 5.

- **Curva hipsométrica:** Esta opción extrae la curva hipsométrica de cualquier cuenca. La curva hipsométrica representa la variación relativa de la altura de la cuenca ( $h/H$ ) con el área drenada ( $a/A$ ). También podría verse como la variación media del relieve de la cuenca. Esta curva está asociada con la edad de los ríos (Ver figura 10).

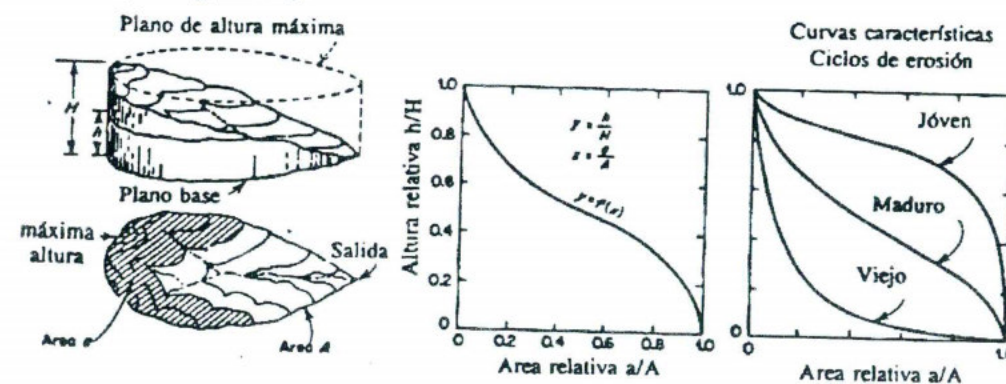


Figura 15. Esquema ilustrativo de la curva hipsométrica y posibles significados de su forma.

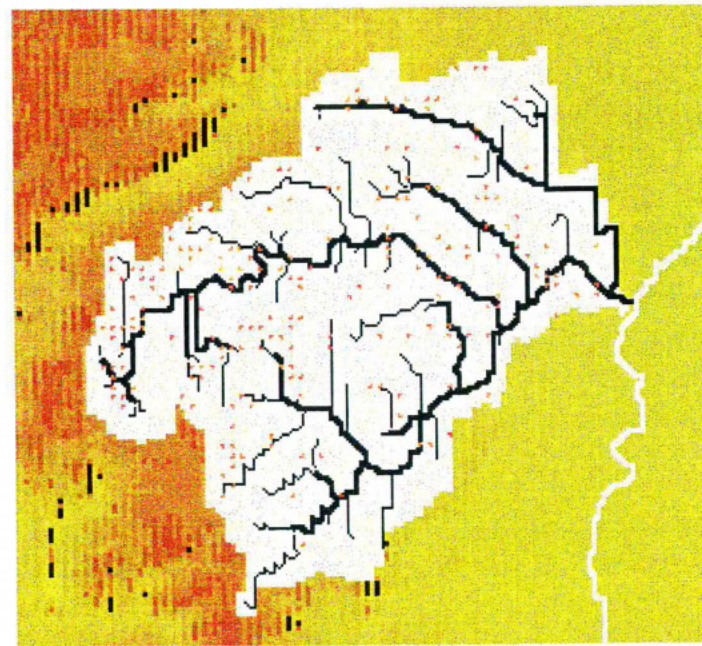
### 3.3. Ejemplo de aplicación del Programa.

Como ejemplo de aplicación del programa se hará el análisis geomorfológico completo de la cuenca del río Nare en la desembocadura al río Magdalena en el municipio de Puerto Nare.

Coordenadas geográficas de la salida:	6° 12' Norte y 74° 36' Oeste
Área de la cuenca:	6015 km <sup>2</sup>
Longitud del canal principal:	183.6 km
Altura a la salida:	111 metros sobre el nivel del mar
Altura media de la cuenca:	1409 metros sobre el nivel del mar



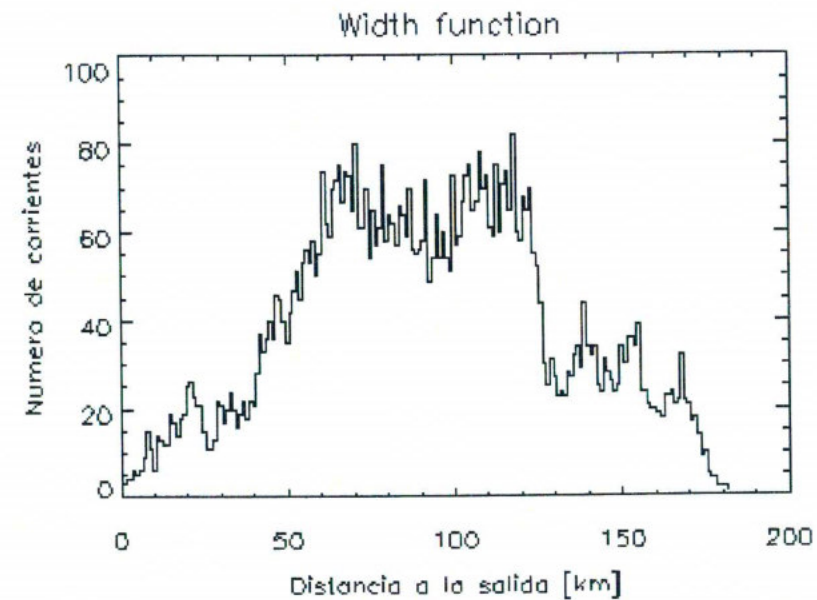
Gráfico de la cuenca y la red de drenaje:



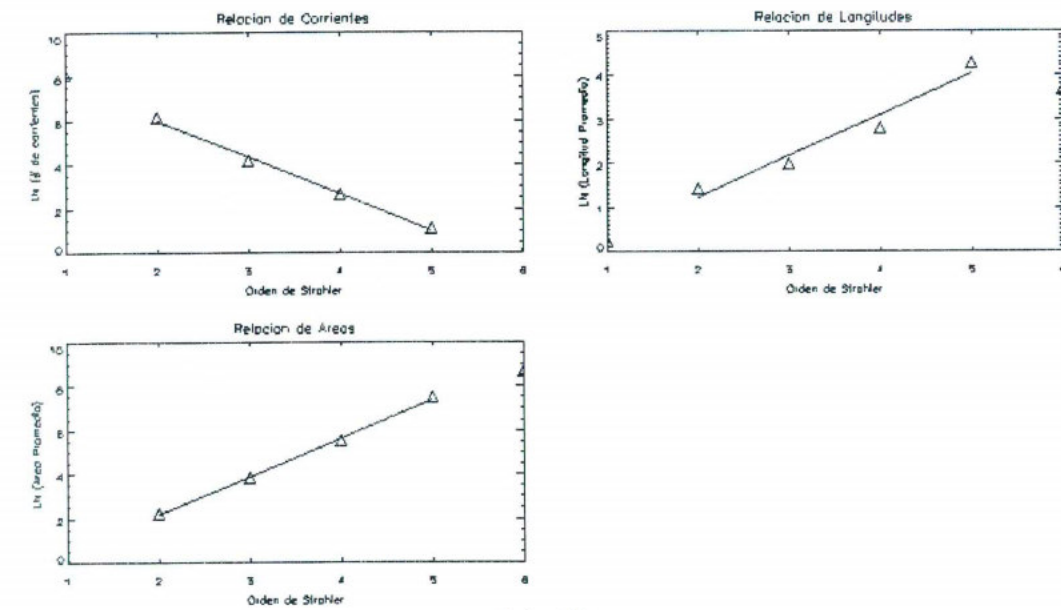
Los puntos rojos indican las estaciones de medición de parámetros climatológicos en la cuenca la lista de estas estaciones se da a continuación:

Seguidamente aparecen las estaciones del IDEAM contenidas en la Cuenca (Los códigos corresponden con los establecidos por la institución).

Función de ancho ("Width function"):

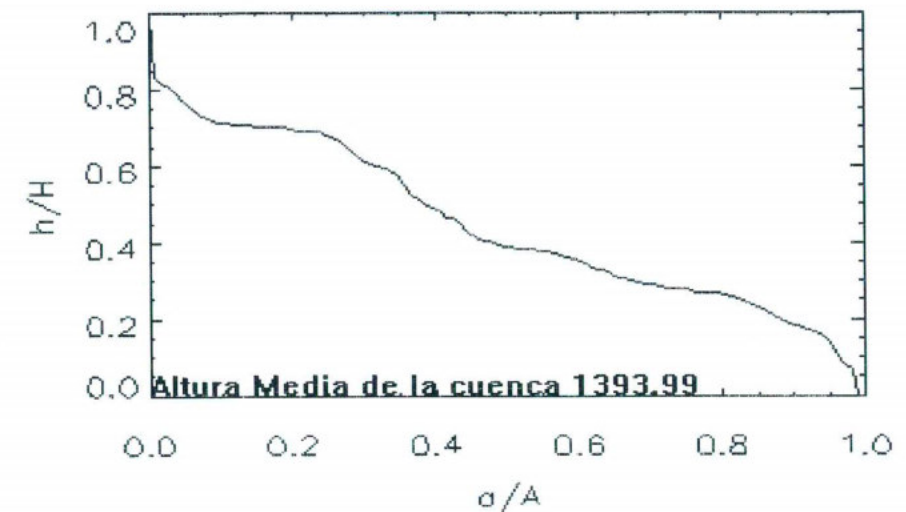


Resultados del análisis de Horton - Strahler:



	Orden W						
	1	2	3	4	5	6	
Número de Corrientes	3367	456	65	14	3	1	RB = 5.260
Longitud Promedio [Km]	1.240	4.220	7.390	16.39	72.58	39.75	RL = 2.540
Area Promedio [Km <sup>2</sup> ]	1.040	9.340	46.01	242.2	1722.	6015.	RA = 5.650
Dimensión fractal de la red de drenaje =	1.91835						
Dimensión fractal del canal principal =	1.07743						

Curva hipsométrica:





En la Tabla 1 se presentan los resultados de este análisis realizado con el software "Cuencas" sobre 10 cuencas.

Tabla 1. Parámetros geomorfológicos de algunas cuencas de Antioquia

Nombre	RA	RB	RL	Dimensión Fractal de la red de drenaje	Dimensión Fractal del Canal Principal	Altura Media de la Cuenca (m)	Área de la Cuenca (km²)	Longitud del Canal Principal (km)	Altura de la Salida (m.s.n.m)	Latitud (Grados Minutos)	Latitud (Grados Minutos)
Atrato	4.8	4.5	1.9	1.91	1	586.9	34157	466.3	1	8 01	76 57
Nechí	5.1	4.7	2.3	1.91	1.04	1032	14288	323.9	32	8 03	79 48
Porce	4.2	4.6	2	2	1	1594.9	5699.2	251.6	93	7 30	74 53
Sucio	4.1	4.7	1.5	2	1	1008.8	5418.7	208.1	1	7 17	77 00
Penderisco	4.7	5.9	1.8	2	1	1622.4	3267	129.3	442	6 34	76 35
Samaná Norte	5.8	5.8	2.1	2	1	1361.8	2152.4	109.4	546	6 09	74 49
Arma	4.7	4.1	1.8	1.82	1	2098.9	1946	81.4	733	5 44	75 36
León	3.6	3.3	1.4	1.87	1	164.6	1646.6	107.4	1	7 54	76 51
Man	3.8	5.3	1.3	2	1	465.3	1424	143.1	61	7 59	75 09
Samaná	6	6.9	2.1	2	1	1324	1409.6	123	223	5 42	74 46
San Juan (Urabá)	4.3	5	1.5	2	1	131.4	1204.7	105	1	8 48	76 30
Guadalupe	3.2	8	1.7	2	1	2396	922.16	105.3	943	6 49	75 12

### 3.4. Sobre la aplicabilidad del análisis geomorfológico.

Una de las propiedades de multiescala de mayor importancia y aplicabilidad es la relación entre los cuantiles de caudal y el área de drenaje de la cuenca. El caudal de banca llena, por ejemplo, tiene un período de retorno de aproximadamente 1,5 años, y su relación con el área está dada por:

$$Q \sim A^{0.75}$$

Otro caudal que caracteriza el comportamiento de la cuenca es el caudal medio anual, que satisface una relación de proporcionalidad entre cuencas, del tipo:

$$Q \sim A$$

El estudio detallado de la relación de caudal y área para un cuantil  $a$  dado por:

$$Q_a = c(a) A^{b(a)}$$

adquiere gran importancia cuando se requiere el análisis de cantidades dependientes del caudal a lo largo de la red, como es el caso de las pérdidas de energía. Recientes estudios teóricos de Gupta et al. (1994) han revelado la importancia en la distribución multifractal de los caudales en la cuenca.

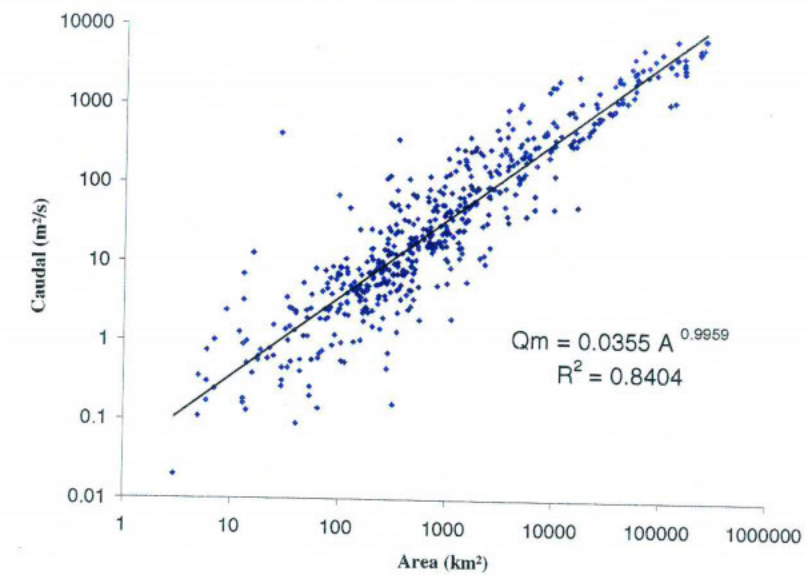


Figura 16. Relación entre el Caudal medio y el Área de 650 cuencas de Colombia (Datos IDEAM)

Adicionalmente estudios de hidráulica básica han demostrado que [Leopold y Maddock, 1953], la relación potencial existente entre las principales características del cauce como la velocidad,  $V$ , el ancho,  $w$ , y la profundidad,  $d$ , y un caudal dado  $Q$ , es de la forma:

$$V = k Q^m, \quad w = a Q^b, \quad d = c Q^f$$

Donde  $k$ ,  $a$  y  $c$  son constantes de proporcionalidad y  $m$ ,  $b$  y  $f$  son exponentes de escala. Dado que el caudal es aproximadamente  $Q = vwd$  se infiere que  $f+b+m=1$  y que  $kac=1$ . Leopold y Maddock encontraron experimentalmente que estos exponentes son aproximadamente  $b=0.26$ ,  $f=0.40$  y  $m=0.3$

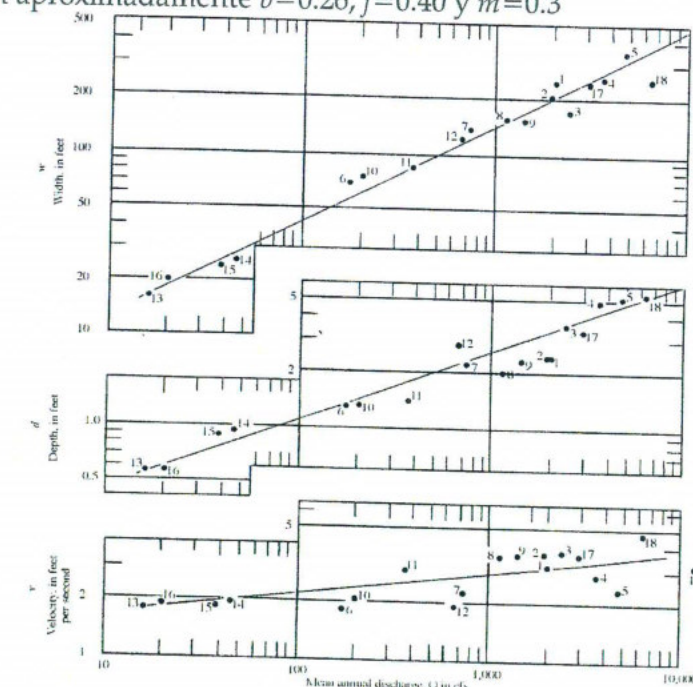


Figura 17. Relaciones entre la geometría de la cuenca y el caudal



Se han encontrado además [Rodríguez Iturbe y Valdes, 1979, Teoría Geomorfológica de la Hidrógrafa Unitaria], relaciones entre la respuesta de la cuenca (hidrógrafa a la salida) y la morfología de la red de drenaje, incluyendo los efectos de dispersión ocasionados por ésta (estructura geomorfohidrológica), las cuales pueden estudiarse por medio de la función de ancho. Además la información allí contenida, permite interpretar las principales características de la forma de la cuenca, y sus mecanismos de drenaje.

## 4. GUÍA PARA LA UTILIZACIÓN DEL CATÁLOGO DE ESTUDIOS DE RECURSOS HIDRÁULICOS Y CANTIDAD DE AGUA

La utilización del catálogo requiere Excel 97.

### 4.1. Títulos de las columnas del catálogo.

Con el objetivo de garantizar una búsqueda eficiente y rápida en el catálogo de cantidad de agua en Antioquia, se ha organizado la información en columnas que contienen los siguientes parámetros:

**Tipo de estudio:** Según la catalogación de la UNESCO para los diferentes tipos de estudio.

**Título:** Nombre del estudio.

**Biblioteca / Código:** Se menciona el nombre de la Biblioteca o centro de documentación donde se encuentra el estudio, así como el número de catalogación interna. La lista de las Bibliotecas inventariadas es la siguiente: Centro de documentación del Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, biblioteca de la Facultad de Antioquia, Planeación Metropolitana de Medellín, SEDIC S. A., INTEGRAL S. A., Universidad de Antioquia, Universidad EAFIT, Universidad de Medellín, Biblioteca del ICPC, IDEAM Medellín, HIDRAMSA, Mejía y Villegas Ingenieros S. A., Interconexión Eléctrica S.A., Empresas Públicas de Medellín, Instituto Mi Río, Planeación Municipal y Umatas de Jericó, Venecia y Fredonia.

**Autor / Fecha:** Personas o instituciones autoras del estudio. Fecha de culminación del estudio.

**Localización:** Subcuenca, cuenca y municipio a los que se refiere el estudio.

**Resumen:** Breve descripción de los contenidos del estudio o simplemente palabras claves que describen generalidades del registro. En algunos estudios el resumen no está disponible.

## 4.2. Filtrado de listas

**Filtro general.** Preparación de los datos para su filtrado:

- Seleccione todo el catálogo dando *click* en el botón de la esquina superior izquierda del mismo. Podría seleccionar cualquier celda de la lista. Excel selecciona todo el rango.
- Desde el menú *Datos* seleccione *Filtros* y luego *Filtro Automático*. Los botones de flecha de filtro aparecen junto a los rótulos de sus columnas. Ver Tabla 2.
- Pulse la flecha de filtro hacia abajo de la celda que aparece en el encabezado de la columna. Inmediatamente, aparece una lista con todos los criterios del campo o columna para que pueda escoger un criterio o clave, sobre el que realizará el filtrado.

Tabla 2. Ilustración del Catálogo y flechas de filtro

A	B	C	D	E	F	G
Tipo de estudio	Título	Biblioteca/código	Autor/fecha	Localización	Ríos/quebradas	Resumen
25 06 05	Geohidrología Estudio Hidrogeológico de Universidad Eafit	55148	Bogotá, Diciembre 5 al 7 de 1988	Norte de la Zona Urbá		Los estudios hidrogeológicos para evaluar la factibilidad de aprovechar las aguas subterráneas para el riego de las plantaciones de banano. Incluyeron, la prospección eléctrica por el método de la resistividad en la segunda etapa de ellos. La base fundamental para la interpretación geotécnica estuvo constituida por los estudios geomorfológicos y geológicos, el inventario de pozos y los análisis hidroquímicos realizados en la primera etapa (Inregal 1985). El área prospectada está localizada en el corregimiento de Curulaco, municipio de Turbo, departamento de Antioquia.
25 06 07	Geomorfología La Zona Norte Bananera del S612m			Bananera de Urbá.		
25 08 04	Aguas sub- Urbá. Memorias del III Simposio Colombiano de Geohidrología.			Curulaco, Turbo.		
25 06 07	Geomorfología Análisis de las terrazas	Biblioteca de Minas,	Arrieta Pastrana Alfonso, 1989	Santa Fé de Antioquia	Santa Fé de Antioquia	No disponible

Además de los criterios específicos de cada columna, las opciones *Todas*, *Las diez más* (no muy útil en nuestro caso), *Personalizar* (sólo los registros con criterios personalizados), *Vacías* (todos los registros que están en blanco de ese campo), *No Vacías* (todos los registros que contiene información de ese campo), le permiten mostrar todos los registros. Puede seleccionar cualquier opción de la lista como criterio para filtrar sus datos. Cuando seleccione un elemento de la lista de criterios, todos los registros que no coincidan con los criterios de filtración quedarán ocultos.

Para regresar a la base de datos completa vamos al menú *Datos*. Luego *Filtro* y dando *click* en *Autofiltro* lo desactivamos.

**Utilización de filtros personalizados.** Aunque normalmente puede encontrar la información que necesita seleccionando un solo elemento de una lista por filtrar, a veces se necesita buscar registros que coincidan con un conjunto de criterios personalizado. Ejemplo: Búsqueda de todos los estudios acerca de los ríos Nechí y Cauca (nótese que puede usarse también la disyunción ó).





- Pulse la flecha hacia abajo de filtrar del campo de *Localización* y luego seleccione *Personalizar*. Se abre el cuadro de diálogo de filtros personalizados como se muestra en la figura 18.

Figura 18. Cuadro de diálogo de filtros personalizados

- En el área de *Localización* asegúrese que selecciona " = " (o "contiene") en el recuadro superior del cuadro de diálogo.
- Escriba en la casilla superior *Nechí* o selecciónelo de la flecha al frente del espacio de escritura.
- Pulse el botón de opción *y*. La opción *y* significa "todos" los registros cuya localización es *Nechí* y además otro.
- Pulse la flecha hacia abajo, junto al recuadro del operador inferior y luego seleccione " = " (o "contiene").
- Escriba en la casilla inferior *Cauca* o selecciónelo de la flecha al frente del espacio de escritura.
- Pulse ACEPTAR.

Sus datos son filtrados para mostrar únicamente todos los estudios acerca de los ríos *Nechí* y *Cauca*. Para desactivar el filtro seleccione *Filtros* del menú *Datos* y luego pulse *Filtro automático*.

Las flechas de filtrar que aparecen con los rótulos de columna desaparecen y aparecen de nuevo todos los registros.

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO



Es fundamental que las entidades que hacen parte del Programa "Cátedra del Agua" puedan usar en forma permanente los resultados del Mapa Digital y del Catálogo. Para lograr este objetivo, se entrega con este informe, el disquete con el contenido del Catálogo. El Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia dará las autorizaciones para la distribución de los resultados de este trabajo.

El programa residirá en la sede del Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia. La propiedad intelectual de dicho programa es de la Universidad Nacional de Colombia. Los usuarios pueden correr el programa allí mismo, o bien acceden por modem al computador servidor y correrlo desde sus sedes. El manejo central del programa se justifica por: Primero, se maneja un mismo nivel de información disponible para todas las entidades de la "Cátedra del Agua", a medida que se vayan haciendo actualizaciones del software y de la base de datos que lo alimenta; y segundo, se requiere una única licencia para el uso del lenguaje IDL®. En cualquier caso, si las entidades de la "Cátedra del Agua" consideran que es necesario disponer del programa del Mapa Digital en sus sedes, pueden conseguir la licencia de IDL®, y la Universidad Nacional entregaría los programas fuente del software, con autorización del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

En la actualidad, el acceso remoto al computador central (Servidor) donde se ejecutará el programa del mapa digital, será por medio de la línea telefónica, para lo cual se debe disponer de un *modem* instalado en el computador desde donde se quiera acceder a la información del mapa digital (Computador Consultante). El acceso remoto se realiza simplemente por medio de una llamada telefónica que realizará el computador consultante y el servidor le contestará y, luego de una autenticación para seguridad, le permitirá ejecutar el programa igual que si estuviera trabajando en su computador directamente. Además del *modem*, se hace necesario el uso de un programa de acceso y ejecución remota, que debe estar instalado en el Computador Consultante y en el servidor. Se ha hecho una evaluación de los programas más conocidos de acceso remoto, y se ha seleccionado parcialmente el que a nuestro criterio, mejor se ajusta a tales requerimientos. Se dispone de una versión de prueba de libre distribución de dicho programa (ocupa un disco flexible), que se entregará con las instrucciones básicas de instalación y uso.

Una de las primeras tareas de la segunda fase será la implementación de una versión del programa independiente de IDL® y en ambiente Windows98®. Esta versión se entregará a los integrantes de la Cátedra del Agua en un disco compacto desde el cual podrá ser instalada y ejecutada en cualquier PC.

El presente estudio constituye el primer paso concreto de las actividades del Programa "Cátedra del Agua" de Antioquia. Esta Fase I del estudio se encaminó a la elaboración de un software amigable e interactivo que permite manejar el mapa digital de las cuencas hidrográficas y redes de drenaje de Antioquia, extractando información pertinente sobre sus características geomorfológicas, conjuntamente con el catálogo de estudios desarrollados para el Departamento de Antioquia sobre los temas de cantidad de agua, cuantificación, disponibilidad y aprovechamiento del recurso hídrico.



Con base en los resultados de la Fase I, en la Fase II se elaborará el inventario de disponibilidad de aguas superficiales del Departamento. Se considera que el inventario hidrológico debe incluir las variables fundamentales para establecer balances hídricos de largo plazo: precipitación, evaporación real y escorrentía. Para la estimación de los balances de agua, es necesario identificar sobre mapas de elevación digital, el lugar geométrico de los puntos por los cuales drena la cuenca, es decir las redes de drenaje, labor que se ha completado en la Fase I.

En la Fase II del trabajo se elaborarán mapas digitales de valores promedios multianuales de precipitación, evaporación potencial y real y escorrentía superficial, a la escala de 30 segundos de arco. Los productos finales incluirán mapas de iso-líneas de las variables, así como estimativos de largo plazo de tales variables en cada punto de la malla espacial a la escala espacial mencionada. Para la interpolación se usarán diversos métodos matemáticos y estadísticos (Kriging, interpolación fractal, etc.) partiendo de valores puntuales de promedios históricos o estimados indirectamente. Estos resultados serán de utilidad para evaluar disponibilidad de agua en sitios puntuales a lo largo de todo el trayecto de las corrientes y cuencas del departamento. En algunos casos, para la estimación de una variable hidrológica se requerirá de la estimación de otra(s) variable(s) de apoyo, a la escala de 30 segundos de arco, para elaborar los productos finales. Entre estas variables se pueden mencionar: vegetación, zonas de vida, suelos, temperatura, radiación solar, velocidad de vientos, presión atmosférica, humedad, punto de rocío, etc.

Todas las entidades pertenecientes al Programa "Cátedra del Agua" pueden beneficiarse con los resultados de este trabajo. Todos aquellos estudios y/o usuarios que tienen interés en temas como:

1. Estudios de prefactibilidad de Proyectos de generación de energía eléctrica en particular, (microcentrales hidroeléctricas), para la estimación de energía firme y posibilidad de regulación de caudales. Proyectos y actividades relacionadas con asignación de mercedes de agua en cabeza de Corporaciones Autónomas Regionales.
2. Proyectos relacionados con riesgos naturales, crecientes, inundaciones y caudales extremos asociados a distintas probabilidades de ocurrencia y períodos de retorno, ya que la geometría, la topología y la morfología de las cuencas hidrográficas ofrecen posibilidades de estimar tal tipo de información.
3. En el catálogo de estudios se ha incorporado los resultados del estudio paralelo con el inventario de estudios de Calidad de Aguas en Antioquia, realizado por las Universidades de Antioquia, Pontificia Bolivariana y Escuela de Ingeniería de Antioquia. Por ello, proyectos de ecología y medio ambiente, impacto y recuperación ambiental, se beneficiarán del conocimiento producido.
4. Proyectos de irrigación y drenaje de aguas.
5. Proyectos de desarrollo agrícola y ganadería.
6. Proyectos en el sector de Salud Pública. Relacionados con enfermedades de transmisión por vectores y de origen hídrico.

7. Proyectos de diseño y construcción de obras públicas, operación y mantenimiento de carreteras, taludes, puentes, etc.
8. En general, se gana mucho en el entendimiento de la geografía y la hidroclimatología de Antioquia, lo cual tiene múltiples beneficios, que trascienden en mucho a las aplicaciones prácticas.

Queremos resaltar que el presente trabajo refleja un interés inter-institucional e interdisciplinario de gran visión. Además, pone de presente las ventajas de trabajar en un proyecto cooperativo, de gran alcance, y de indudable interés desde la perspectiva de Antioquia como región. Para citar sólo un ejemplo, el trabajo realizado para la conformación del Catálogo de estudios sobre el tema del agua en Antioquia, puso de manifiesto la motivación de participar en el trabajo, por parte de muy diversas instituciones como universidades, centros de investigación, entidades de distintos niveles del orden público y empresas de consultoría, que aportaron de manera generosa la información de sus archivos y bibliotecas.



## EQUIPO DE TRABAJO

Investigador Principal:  
Co-Investigadores Principales:

Germán Poveda J.  
Jaime I. Vélez U.  
Oscar J. Mesa S.

Auxiliares de Investigación:

Olga Janet Barco M.  
Luz Adriana Cuartas P.  
Carlos David Hoyos O.  
Ricardo Iván Mantilla G.  
John Freddy Mejía V.  
Hernán Alonso Moreno R.  
Andrés Espinal



## 6. REFERENCIAS

- Gupta, V. K., O. Mesa, y D. Dawdy. Multiscaling theory of flood peaks: Regional quantil analysis. *Water Resour. Res.*, 30, 3405-3421, 1994.
- Gupta, V.K., O. J. Mesa y D. R. Dawdy. Multiscaling theory of flood peaks: Regional quantile analysis. *Water Resour. Res.*, 30, 3405-3421, 1994.
- Hack, J. T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 294-B, 1957.
- Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to cuantitative geomorfology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 56. 275-370, 1945.
- Ijjász - Vasquez, E. J., R.L. Brass, I. Rodriguez Iturbe, R. Rigon y A. Rinaldo. Are river basins optimal channel networks?. *Advances in Water Resources*, 16, 69-79, 1993.
- Ijjász - Vasquez, E.J., R.L. Brass, I. Rodriguez Iturbe. On the multifractal characterization of river basins. *Geomorphology*, 5, 297 -310, 1992.
- Mesa, O. J. y V. K. Gupta. On the main channel length-area reallationships for channel networks. *Water Resour. Res.*, 23(11), 2119-2122, 1987.
- Peckham, S. New results for self-similar threes with application to river networks, *Water Resour. Res.*, 31, 1023-1029, 1995.
- Rigon, R., I. Rodriguez -Iturbe, A. Marini, D. Tarboton, A. Maritan y A. Giacometti. On Hack's Law. *Water Resour. Res.*, 32, 3367-3374, 1996.
- Rinaldo, A., I. Rodriguez-Iturbe, R. Rigon, R. L. Bras, E. Ijjaz-Vasquez, y A. Marini. Minimun energy and fractal structures of drainage networks. *Water Resour. Res.*, 30, 2318-2195, 1992.
- Rinaldo, A., I. Rodriguez-Iturbe, R. Rigon, R. L. Bras, E. Ijjaz-Vasquez, y A. Marini. Energy dissipation, runoff production, and the three-dimensional structure of river basins. *Water Resour. Res.*, 28, 1095-1103, 1992.
- Rinaldo, A., I. Rodriguez-Iturbe, R. Rigon, R. L. Bras, E. Ijjaz-Vasquez. Are river basins optimal channel networks? *Advances in Water Resources*, 16, 69-79, 1993.
- Rodriguez-Iturbe, I, R. L. Bras, E. Ijjaz-Vasquez. On the multifractal characterization of river basins. *Geomorfology*, 5, 297-310, 1992.
- Rodriguez-Iturbe, I, M. Marani, R. Rigon y A. Rinaldo. Self-Organized river basin landscape: Fractal and multifractal characteristics. *Water Resour. Res.*, 30, 3531-3539, 1994.
- Shreve, R. L. Statistical law of stream numbers. *J. Geol.*, 74, 17-37, 1966.
- Shreve, R. L. Infinite Topologically random channel networks. *J. Geol.*, 77, 397-414, 1967.
- Strahler, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *EOS Trans. AGU*, 38, 912-920.
- Tokunaga, E. Ordering of divide segments and law of divide segments numbers. *Trans. Japanese Geomorph. Union*, 5. No. 2. 71-77, 1984.
- Willgoose, G. A statistic for testing the elevation characteristics of landscape simulation models. *J. Geoph.. Res.*, 99(B7), 13987-13996, 1994.
- Willgoose, G. R. L. Brass e I. Rodriguez-Iturbe. A coupled channel network growth and hillslope evolution model, 1, Theory. *Water Resour. Res.*, 27(7), 1671-1648, 1991a
- Willgoose, G. R. L. Brass e I. Rodriguez-Iturbe. A coupled channel network growth and hillslope evolution model, 2, Applications. *Water Resour. Res.*, 27, 1685-1696, 1991b.
- Willgoose, G. R. L. Brass e I. Rodriguez-Iturbe. A physical explanation of an observed area-slope relationship. *Water Resour. Res.*, 27(7), 1967-1702, 1991c.

# SEGUNDA PARTE

## CATÁLOGO DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA EN ANTIOQUIA

Elaborado por:  
*Universidad Pontificia Bolivariana*  
*Universidad de Antioquia*





## INTRODUCCIÓN



La mayoría de las instituciones públicas y privadas han realizado análisis de la calidad del agua en Antioquia desde hace bastante tiempo. Sin embargo, estas organizaciones trabajan de manera aislada y sin obedecer a un plan de seguimiento. Lo anterior lleva a que en ocasiones varias instituciones analicen un mismo cuerpo de agua repetidas veces. Igualmente, hay corrientes de agua que no han sido analizadas por ninguna de estas instituciones. En definitiva, Antioquia no cuenta con un plan maestro de identificación de la calidad de un recurso tan indispensable como el agua.

La Cátedra del Agua encuentra entonces la necesidad de recopilar inicialmente gran parte de los estudios de calidad del agua con el fin de asociarlos a un mapa hídrico digital de las cuencas de Antioquia y al catálogo de estudios de cantidad del agua. El contexto en el que se enmarca este subproyecto es el de realizar un Inventario General de las Aguas Superficiales en Antioquia.

La información extractada de este estudio utilizada para publicación e inclusión en otros proyectos deberá nombrar expresamente a las entidades ejecutoras, incluyendo el equipo de trabajo.

Todas aquellas entidades vinculadas, ejecutoras y participantes de la Cátedra del Agua, pueden hacer uso de los resultados de este subproyecto, siguiendo el manual del usuario, el cual se presenta asociado al mapa digital y al catálogo de estudios de cantidad y calidad de agua. Cada entidad signataria del Convenio de la Cátedra del Agua recibirá los resultados de este trabajo en medio magnético, con las indicaciones de ejecución para el acceso a los mismos. La Facultad de Minas conservará exclusivamente la capacidad de acceso al sistema para realizar las actualizaciones que se requieran hacia el futuro y en la medida que se adelanten las fases siguientes del proyecto.

Del Inventario General de Aguas y sus Calidades en Antioquia se espera obtener como resultados: el mapa hidrológico completo del Departamento, el cual incluye corrientes superficiales, aguas subterráneas, ciénagas y humedales; la mayor cantidad posible de datos hidrométricos como caudales promedios, niveles y caudales máximos y mínimos, curvas hidrográficas, longitudes de corrientes, áreas y pluviosidades de cuencas, y áreas de ciénagas; datos de química y bioquímica de aguas; información sobre usos humanos actuales u otros posibles de aguas.

El segundo subproyecto buscará revisar los estudios incluidos en este catálogo en detalle para determinar su calidad y pertinencia. Los datos de los estudios escogidos serán compilados y asociados de nuevo al mapa digital de Antioquia.



Otras entidades contactadas por las universidades de Antioquia y Pontificia Bolivariana fueron: SAI, ANDI, Cenicafé, IDEA, Planeación Departamental, Planeación Municipal y Unibán. En estas entidades no se encontró ningún tipo de estudios referentes a este proyecto, o ya habían sido incluidos en el catálogo.

En total, la Universidad de Antioquia catalogó 90 estudios y la Universidad Pontificia Bolivariana 85, para un total de 175.

Los formatos 1 y 2 se utilizaron para hacer la ficha de registro y la entrada digital, respectivamente. De cada uno se presenta un ejemplo de un estudio.

Formato 1. Estudios de calidad del agua en Antioquia - 1998.

ENTIDAD:			CODIGO:	
AUTOR:			TÍTULO:	
EDITOR:			PÁGINAS:	
REGIÓN:			MUNICIPIO:	
CUENCA:			SUBCUENCA:	
FECHA:				
DATOS:				
Físico-químicos:		Microbiológicos:		Otros Biológicos:
Observaciones importantes:				

Formato 2. Estudios de calidad en formato magnético

Código de la UNESCO y Tipo de estudio	Título o Nombre del estudio	Biblioteca y referencia	Autor y Fecha	Localización (Municipio Cuenca y Subcuenca)	Resumen
25 08 00 Hidrología	Resultados de informes	UPB - CIDI - Área de Estudios Químicos y Ambientales, AEQ2-057, 136	UPB -CIDI- AEQ/1995	Municipio de Sonsón, ríos Sonsón y Arma	Contiene análisis Físico-químicos de los ríos, estos informes son resultados de estudios a Integral y contienen solamente fecha, nombre de efluentes. (2) informes en 1995

Finalmente, es importante anotar que en algunos laboratorios públicos y privados existen reportes puntuales sobre resultados de calidad del agua que no se tuvieron en cuenta en este catálogo por considerar que estos datos no se incluían en estudios integrados con un reporte de la metodología empleada y el personal encargado de la toma de muestras. Además, estos resultados corresponden a un muestreo puntual, hecho que implica que no se conozca realmente el comportamiento ambiental del cuerpo de agua durante un tiempo determinado.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La mayor parte de la información fue obtenida personalmente, lo que implicó un conocimiento directo de la calidad y profundidad de los estudios. Únicamente la información de Corpourabá fue obtenida de forma indirecta; sin embargo, se recopiló la información suficiente para que la ficha de registro se llenara adecuadamente.

En los estudios recopilados por la Universidad Pontificia Bolivariana, como era de esperar, las regiones con mayor cantidad de estudios de calidad son las más pobladas, donde se establecen grandes proyectos hidroeléctricos, redes de gasoductos y oleoductos o en las cuencas principales. En su mayoría los estudios son físico-químicos con un porcentaje considerable de microbiológicos.

Las principales zonas pobladas de Antioquia son Urabá, Área Metropolitana y Oriente Antioqueño. De estas regiones se tienen estudios bastante completos y profundos, principalmente como planes de ordenamiento, planes de manejo de cuencas y evaluaciones de impacto ambiental.

Los proyectos hidroeléctricos más importantes, hacia los cuales se dirigen algunos de los estudios, están ubicados en las cercanías de Medellín, jurisdicciones de San Antonio de Prado, Altavista, La Unión, La Ceja, El Retiro, Támesis, Jericó, Nechí, entre otros. En las regiones que cruzan los gasoductos y oleoductos, se hacen con cierta frecuencia estudios del índice de calidad de cauces naturales y evaluaciones de impacto ambiental, en los que se destacan los datos físico-químicos y microbiológicos.

Hay algunos estudios especiales que se destacan por su alcance y el número de afluentes estudiados. Cabe destacar que estos estudios son en las principales cuencas del departamento: Río Cauca, Medellín, Rionegro, Porce, Grande, Piedras, Nechí, San Juan y Aures, según la recopilación de la Universidad Pontificia Bolivariana.

El mayor número de documentos revisados por los integrantes de la Universidad de Antioquia, correspondió a la misma Universidad con 70 (77.8 por ciento del total de la Universidad de Antioquia) de los cuales 33 estudios son tesis de postgrado en Ingeniería y Biología, y en pregrado de Biología, ésta última con un 32.8 por ciento de todos los estudios revisados en la Universidad de Antioquia.

Es importante considerar que de todos estos estudios, 69 (76.7 por ciento del total de la UdeA) corresponden a ecosistemas lóticos o de aguas corrientes, de las cuales 20 de éstos incluyen el estudio de las aguas del Río Medellín y 14 del Río Rionegro.

En los estudios revisados por la Universidad de Antioquia, del total aproximado de 60 municipios que hacen parte de la zona de influencia de los estudios revisados, Medellín, su Área metropolitana y Rionegro en el Oriente Antioqueño son los sitios donde se concentran el mayor número de estudios. En otros sitios diferentes a los reseñados existen muy pocos o ningún tipo de estudios, situación a considerar para futuros proyectos liderados por la Cátedra del Agua.

La principal dificultad fue la completa imposibilidad de incorporar análisis puntuales, como los presentados por las corporaciones regionales y laboratorios, por su gran cantidad, falta de homogeneidad en la presentación y falta de sistematización





de los resultados. Solamente los estudios organizados y exhaustivos se incluyeron por tratarse de un resultado planeado, sistemático e integrado. Los estudios puntuales fueron señalados con el propósito de evaluarlos en etapas posteriores del proyecto del Inventario.

Durante las reuniones de trabajo se aclaró que "la búsqueda de información para el Catálogo se ha hecho sobre estudios consolidados en los cauces y no registros puntuales aislados que no se encuentren sistematizados en la fuente consultada".

## 6. CONCLUSIONES

El catálogo digital posee información clara y eficaz para optimizar la búsqueda de información en cualquier Centro de Documentación, aunque no existe gran número de estudios organizados de calidad del agua en Antioquia. Los estudios catalogados son bastante completos y se refieren a las cuencas principales, regiones más pobladas o con proyectos hidroeléctricos, gasoductos y oleoductos del Departamento. Se detectó que existen notorios vacíos de información en algunas zonas del Departamento.

Algunas entidades, como la Universidad de Antioquia y las Empresas Públicas de Medellín, tienen su información sistematizada y codificada, propiedades que ofrecen al usuario una forma ágil de búsqueda de la información.

Las tesis referenciadas representan un porcentaje considerable de todos los estudios de calidad revisados por la Universidad de Antioquia, hecho que refuerza las aspiraciones de Tesis de Antioquia, proyecto de la Cátedra del Agua.

Existen gran número de estudios puntuales en diversas entidades (laboratorios, corporaciones regionales) que no pudieron ser revisados por la falta de homogeneidad y automatización. La información puntual se debe organizar y automatizar, siguiendo un formato magnético único, para facilitar la actualización de datos. Esto facilitará su introducción y búsqueda en la base de datos de calidad del agua en Antioquia, objeto de próximos proyectos.

Las entidades que tienen estudios o datos de calidad deben estar coordinadas para evitar la multiplicación de esfuerzos y buscar la manera de centralizar la información o mantener un catálogo de estudios actualizado.

La información obtenida en este proyecto permite a los usuarios realizar interpretaciones preliminares para destinar recursos para el estudio de la calidad de determinadas cuencas. Este proyecto también da la base para el desarrollo del próximo proyecto, cuyos resultados pueden ser usados para el ordenamiento y manejo integral del recurso.

Se puede determinar, antes de revisar detenidamente los datos de cada estudio, que éstos, por obedecer a estudios planeados, sistemáticos e integrados, son de alta calidad y pueden ser usados para determinar la calidad de algunos de los cauces más importantes de la región en su historia reciente. Sin embargo se puede decir también que no existen estudios de importancia en algunas regiones. En definitiva

la información contenida en estos estudios es relevante para los propósitos del Inventario y pertinente para los intereses de conocer la calidad de las aguas de Antioquia. Sin embargo, los estudios incluidos en este catálogo serán revisados en detalle para determinar su calidad y pertinencia. Los datos escogidos serán compilados y asociados al mapa digital de Antioquia.



## 7. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados finales de éste estudio, existen algunas áreas donde la información es escasa o nula, como lo es el Occidente de Antioquia. Por lo tanto, se recomienda enfocar la gestión de algunos anteproyectos de Tesis Antioquia, hacia esta zona del Departamento.

Para suplir la falta de información en algunas regiones, será necesario proseguir con las fases siguientes contempladas en el proyecto, contemplar la evaluación de dinámicas históricas de los cauces y la correlación sobre el mapa de las estaciones de registro y monitoreo del recurso hídrico existentes y requeridas en el Departamento.

Se le sugiere a los laboratorios de análisis de calidad del agua que homologuen y automaticen los informes puntuales para una mejor clasificación de los resultados y actualización del catálogo con los análisis que surjan en el futuro. A las corporaciones regionales se les sugiere que exijan a las personas naturales y jurídicas que presenten los informes en un formato estándar y en medio magnético para permitir la actualización instantánea del catálogo de calidad y cantidad, incluyendo los datos del formato 2 (en Excel).

Los informes puntuales ya existentes que no hayan sido automatizados se deben organizar por regiones, siguiendo el formato #2 e incorporarlos al catálogo. Luego se deben revisar para asegurar que los datos son válidos y pertinentes. Lo realmente deseable es que no sólo los datos del estudio estuvieran organizados, sino que los datos de calidad y cantidad también estuvieran homologados. Esta propuesta se debe plantear una vez se analicen detalladamente cada uno de los estudios del catálogo.

Otra alternativa que se podría considerar es la elaboración de un catálogo de estudios puntuales de calidad del agua como un proyecto diferente al actual, en donde la conservación, transporte, análisis y toma de muestras de agua la ejecute personal idóneo y capacitado. Aunque con un solo muestreo en un solo sitio determinado, no se logra conocer las condiciones ambientales que prevalecen durante un tiempo prolongado, los resultados de este muestreo podrían servir como base de referencia para un estudio espacial y temporal cuando los resultados indiquen alto deterioro de las condiciones ambientales, y en circunstancias extremas cuando de ésta fuente de agua dependa el consumo de cierta población urbana o rural.

La Universidad Pontificia Bolivariana y la Universidad de Antioquia, están dispuestas a elaborar un anteproyecto sobre estudios puntuales, el cual pondrían a consideración de las demás instituciones que promueven la Cátedra del Agua.



## EQUIPO DE TRABAJO

**Universidad de Antioquia**

Corporación Ambiental

Francisco Molina Pérez  
Orlando Caicedo Quintero  
Javier E. Salazar Sierra

**Universidad Pontificia Bolivariana**

Grupo de Estudios Ambientales y Químicos

Carlos Urrea Echeverri  
Juan Guillermo Uribe  
César Zuluaga



La Cátedra del Agua la constituyen:

Cornare,  
Corpourabá,  
Corantioquia,  
Área Metropolitana del Valle de Aburrá,  
Instituto Mi Río,  
Planeación Departamental de Antioquia,  
Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia,  
Isagen,  
Universidad de Antioquia,  
Universidad Nacional de Colombia,  
Universidad Pontificia Bolivariana,  
Escuela de Ingeniería de Antioquia,  
Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia



[www.cta.org.co](http://www.cta.org.co)

Cra. 43A N° 1-204 Tel. 574-2683000 - Fax: 574-2665374  
Medellín - Colombia