

## HIDROSIG: UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES Y MODELACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Jaime I. Vélez<sup>(1)</sup>, Germán Poveda<sup>(1)</sup>, Oscar J. Mesa<sup>(1)</sup>, Felipe Quintero<sup>(1)</sup>, Olver O. Hernández<sup>(1)</sup>, Jorge M. Ramirez<sup>(1)</sup>, Oscar D. Álvarez<sup>(†)</sup>, Andrés D. Acero<sup>(1)</sup>, Elizabeth C. Zapata<sup>(1)</sup>, Jorge E. Alarcón<sup>(1)</sup>, Jesús D. Gómez<sup>(1)</sup>, María C. Gómez<sup>(1)</sup>, Oscar Correa<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. <sup>(†)</sup>odalvare@unal.edu.co

### RESUMEN

*Se presenta el sistema de información geográfica HidroSIG, desarrollado por el Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia en Medellín. Se presenta esta herramienta como una plataforma para la visualización y análisis de variables hidroclimatológicas, mediante un conjunto de módulos que la convierten en una poderosa herramienta para modelación hidrológica. HidroSIG cuenta con módulos para el procesamiento de modelos digitales de terreno, cálculo de la oferta del recurso hídrico en cuencas hidrográficas mediante balance hidrológico, un modelo precipitación-escorrentía, un modelo para estimación de la susceptibilidad a deslizamientos en laderas, un modelo unidimensional de transporte de contaminantes, herramientas para análisis de homogeneidad de series de tiempo y herramientas para clasificación supervisada y no supervisada de imágenes de satélite.*

### ABSTRACT

*This paper describes HidroSIG, a GIS platform developed by Water Resources Program at Universidad Nacional de Colombia at Medellín. HidroSIG is a tool for hydrological variables visualization and analysis, using a set of modules that make this software a powerful tool for hydrological modeling. HidroSIG has tools for digital terrain models processing, water supply estimation using long term water balance in watersheds, a rainfall-runoff model, a model for landslide susceptibility estimation, an one-dimensional pollutant transport model, tools for homogeneity analysis in time series and tools for satellite images classification. The tools in development status are also described.*

**PALABRAS CLAVES:** *HidroSIG, Sistemas de Información Geográfica, Herramientas para modelación hidrológica, balance hidrológico de largo plazo.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso cada vez más generalizado de los sistemas de información geográfica ha obligado a disciplinas como la geomorfología, la hidrología, la geotecnia y otras, a incorporar nuevas metodologías de modelación. El Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia en Medellín ha desarrollado un Sistema de Información Geográfica con énfasis en la gestión de los recursos naturales y la modelación de fenómenos ambientales, el cual se ha denominado HidroSIG (Poveda et al., 2006). A pesar de haber sido concebido inicialmente como un conjunto de herramientas para la cuantificación del recurso hídrico dentro del territorio colombiano, HidroSIG se ha convertido en una librería computacional que combina funciones propias de los sistemas de información geográfica con herramientas que permiten al usuario la visualización y modelación de variables y fenómenos hidrológicos, hidroclimatológicos, geomorfológicos, hidráulicos y ambientales.

## 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SOFTWARE

**2.1. Esquema conceptual de HidroSIG:** En general, puede decirse que HidroSIG se concibe como un conjunto de herramientas computacionales escritas en lenguaje de programación Java, las cuales se han clasificado dentro de tres categorías, básicas, especializadas y avanzadas, de acuerdo con la utilidad que puedan prestarle al usuario, como se muestra en la Figura 1.

**2.2. Arquitectura del Software:** HidroSIG se ha diseñado con una arquitectura de ventanas desacopladas, es decir, de manera tal que cada uno de los módulos y herramientas se despliegan como ventanas individuales organizadas de manera preestablecida por el sistema dentro del dominio de visualización. Esto se ha hecho teniendo en cuenta que un usuario del software puede estar interactuando con muchos paquetes informáticos simultáneamente por ejemplo hojas de cálculo, de los cuales puede obtener información de interés para ser incorporada en el análisis mediante HidroSIG (Ver Figura 2).

**2.3. Manejo de la Información:** HidroSIG funciona como un cliente con conectividad a bases de datos usando JDBC, lo cual permite al usuario crear bases de datos personalizadas con información de interés y migrar información a cualquier base de datos sin que las modificaciones del código sean drásticas. Como sistema administrador de la base de datos se ha utilizado el motor MySQL. El hecho que el software se conecte a bases de datos mediante una arquitectura cliente/servidor, permite que cualquier usuario pueda utilizar, borrar y modificar información contenida dentro de la base de datos para su análisis particular sin que se presenten problemas de concurrencia entre usuarios.

Por defecto, HidroSIG puede utilizar una base de datos con información que puede ser utilizada en análisis de manejo y disponibilidad del recurso hídrico. Dentro de la base de datos pueden incluirse modelos digitales de terreno de una zona a diferentes escalas espaciales, mapas raster de variables climatológicas, localización e información de estaciones de medición de precipitación y caudales a diferente resolución temporal, sitios de interés para el usuario. También es posible incluir

conjuntos vectoriales que representan ríos, cuencas, isocurvas o simplemente líneas o polígonos de interés.

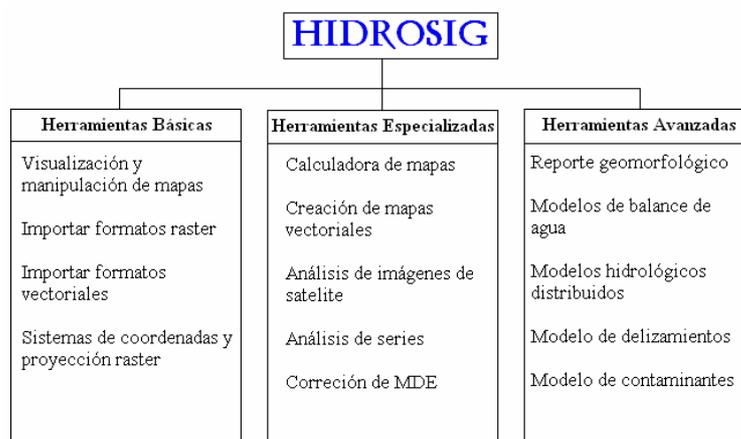


Figura 1: Esquema conceptual de HidroSIG

### 3. HERRAMIENTAS BÁSICAS

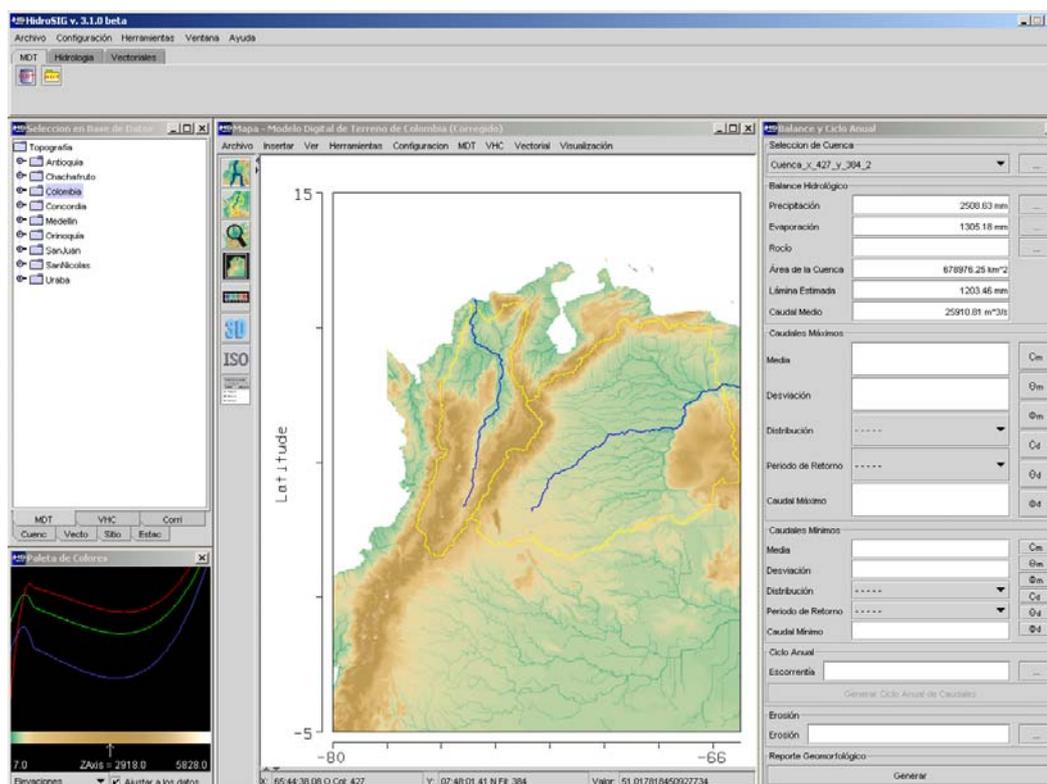
Las herramientas básicas comprenden las funciones existentes en la mayoría de sistemas de información geográfica, como las funciones de preprocesamiento de mapas, importación y exportación de formatos de datos vectoriales y raster, georeferenciación de mapas raster y opciones de visualización de mapas.

**3.1. Visualización y manipulación de mapas temáticos:** HidroSIG utiliza la librería VisAD (<http://ssec.wisc.edu/~billh/visad.html>) de Java como motor de objetos gráficos. VisAD consiste en un conjunto de librerías que brindan al usuario la posibilidad de visualizar interactivamente la información numérica y alfanumérica disponible. En Hibbard (2006) se puede obtener información acerca de VisAD y sus aplicaciones. Las herramientas de visualización de VisAD, adaptadas a HidroSIG, permiten (Ver Figura 2):

- Visualizar en dos y tres dimensiones las variables ambientales analizadas.
- Visualización múltiple de mapas de una o más variables.
- Realizar acercamiento en el mapa sobre el cual se está trabajando.
- Modificar interactivamente la paleta de colores. HidroSIG dispone de esquemas de paletas continuas y permite crear esquemas personalizados de paletas de colores discretas.
- Consulta interactiva de la información desplegada en mapas.

**3.2. Funciones de preprocesamiento SIG:** Las funciones de preprocesamiento son muy importantes dentro de la operación de los sistemas de información geográfica pues permiten hacer compatibles los formatos de la información disponible, de forma tal que el usuario pueda sin ningún inconveniente realizar las funciones de análisis dentro del software.

Teniendo en cuenta lo anterior, HidroSIG ha incorporado módulos para la importación y exportación de diferentes formatos vectoriales y raster, los cuales permiten importar mapas raster en formato ASCII de ESRI, raster de SURFER en formato ASCII, modelos digitales de elevación del proyecto SRTM, y raster del formato creado por el paquete IDRISI. Adicionalmente, el software tiene la posibilidad de importar formatos vectoriales, como DXF, "shapefiles" de ESRI. Con respecto a la exportación de mapas, HidroSIG ha incorporado herramientas que permiten la exportación desde el formato nativo raster de HidroSIG a formato ASCII de ESRI.



*Figura 2: Interfaz principal de HidroSIG. En la ventana superior se encuentran las opciones principales, módulo y herramientas disponibles en el software. En la ventana del mapa se encuentran las opciones de visualización y las herramientas avanzadas que trabajan con la información del mapa. A la izquierda se encuentra el selector de la información disponible desde la base de datos personalizada. En la parte inferior izquierda se encuentran las opciones de paleta de colores. A la derecha se encuentra la interfaz de los balances hídricos sobre cuencas.*

**3.3. Sistemas de Coordenadas y Proyecciones Geodésicas:** Considerando que la información en entrada para un sistema de información geográfica puede provenir de diferentes fuentes y puede estar georeferenciada en diferentes sistemas de coordenadas, HidroSIG se ha diseñado compatible con algunos de los sistemas de coordenadas espaciales más utilizados globalmente y en el territorio colombiano. El software soporta sistemas de coordenadas geográficos en coordenadas Latitud-Longitud, los sistemas de coordenadas planos proyectados en los 5 orígenes de coordenadas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para el territorio colombiano y soporta las 60 zonas del sistema de coordenadas proyectadas UTM. Adicionalmente se ha incluido una calculadora de coordenadas para su conversión entre los sistemas espaciales de georeferenciación y un proyector de mapas raster que permite

compatibilizar capas de mapas al momento de ejecutar algún tipo de función de análisis y manipulación SIG local o zonal.

#### 4. HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS

Éste tipo de herramientas computacionales comprende algunas funciones de manipulación y análisis vectorial y raster, calculadora de mapas raster, procesamiento y corrección de modelos digitales de elevación, interpolación espacial y procesamiento de imágenes.

**4.1. Calculadora de Mapas Raster:** Una calculadora de mapas raster es una herramienta que le permite al usuario de los sistemas de información geográfica utilizar operaciones de álgebra de mapas sobre cierto número de capas en formato raster, con el fin de obtener una capa de salida que represente una función continua en el espacio. Dentro de HidroSIG se ha incluido una herramienta de este tipo, la cual le permite al usuario realizar operaciones aritméticas, lógicas y estadísticas sobre los mapas. Es importante anotar que los análisis que se realizan mediante la calculadora de mapas de HidroSIG son independientes de la resolución a la cual fueron construidos los mapas, lo que permite que se puedan realizar operaciones sobre mapas con diferentes tamaños dentro de un dominio espacial común y a diferente resolución.

**4.2. Creación de mapas vectoriales:** La herramienta integra un módulo que permite la digitalización de capas vectoriales a partir de puntos, líneas y polígonos. A partir de estos mapas vectoriales pueden realizarse diferentes tipos de análisis, como extraer perfiles longitudinales de una variable por ejemplo.

**4.3. Análisis de Series de Tiempo:** Como se comentó anteriormente, HidroSIG permite la inclusión de información acerca de estaciones de medición de variables ambientales, dentro de la base de datos personalizada del usuario. En tal información puede incluirse la serie temporal correspondiente a la variable que se está midiendo con cada una de las estaciones incluidas dentro de la base de datos.

Teniendo en cuenta lo anterior, HidroSIG contiene un módulo, denominado ANSET (Ceballos y Góez, 2003), que permite al usuario detectar posibles problemas o comportamientos anómalos de las series disponibles. Dentro de ANSET se pueden realizar pruebas estadísticas de homogeneidad para detectar cambios de valores y la posible existencia de tendencias en la media y la varianza de la serie, pruebas estadísticas de independencia entre las observaciones y pruebas que detectan la presencia de puntos anómalos.

Considerando que los registros de las series temporales se renuevan continuamente, se ha desarrollado un editor de estaciones, que permite la inclusión de nuevos registros dentro de series existentes y la modificación manual de los registros existentes dentro de la serie.

**4.4. Análisis de Imágenes de Satélite:** HidroSIG cuenta con un módulo para la clasificación supervisada y no supervisada de imágenes de satélite Landsat y Spot. Se implementaron algoritmos tradicionalmente utilizados para realizar reclasificación, como el método del paralelepípedo y el método de la mínima distancia por ejemplo. Se implementaron además, métodos de clasificación usando herramientas de lógica

difusa y redes neuronales. Una descripción en detalle de los métodos empleados y los resultados obtenidos se encuentra en Hernández, (2003)

**4.5. Corrección de Modelos Digitales de Elevación:** La implementación de un modelo de direccionamiento de flujo, remoción de sumideros, zonas planas y la obtención de mapas asociados a modelos digitales de elevaciones es un paso inicial importante al momento de realizar modelación hidrológica computacional. En especial si se trata con modelos hidrológico de base física que tienen en cuenta la topografía de la cuenca, como por ejemplo TOPOG (O'Loughlin,1986), TOPMODEL (Beven,1979) o SHIA (Vélez,2001), se hace importante tener disponibles los mapas de áreas acumuladas, pendientes del terreno, delineamiento automático de la red de drenaje, índice topográfico y otros parámetros relacionados, los cuales permiten construir la topología de escorrentía superficial necesaria para que el modelo hidrológico reconozca las celdas origen y destino del flujo y estimar ciertos parámetros intrínsecos de modelación.

Teniendo en cuenta lo anterior y con base en la concepción de HidroSIG como una herramienta de modelación y gestión ambiental, se ha desarrollado un módulo de corrección de MDE, que permite estimar automáticamente la localización de la red de drenaje a partir de la información de elevaciones, con el fin de obtener mapas relacionados que puedan emplearse de manera sencilla dentro de la modelación hidrológica. La metodología utilizada dentro del software se encuentra en Ramírez (2002).HidroSIG permite que el usuario realice el trazado interactivo de cuencas hidrográficas y canales dentro de la red de drenaje, a partir de mapas que hayan sido previamente corregidos.

## 5. HERRAMIENTAS AVANZADAS

Dentro de las herramientas avanzadas se encuentran herramientas para modelación hidrológica, estimaciones y balances hídricos en cuencas y estimaciones de caudales extremos.

**5.1. Reporte Geomorfológico:** En modelación hidrológica es necesario calcular las características geomorfológicas de la cuenca con el fin de realizar estimaciones de caudales a partir de información de precipitación. Dentro de HidroSIG se ha incorporado una herramienta denominada "Reporte Geomorfológico", cuyo esquema se presenta en la figura 3, la cual permite el cálculo automático de parámetros propios de la forma de la cuenca como la curva hipsométrica, función de ancho geométrica, función de ancho topológica, relaciones de Horton, distancia al centroide de la cuenca y pendiente media. Adicionalmente, a partir de la extracción automática de la red de drenaje, pueden estimarse parámetros geomorfológicos propios de ésta, como longitud del canal principal, orden de Horton-Strahler, longitud total de canales y distancia topológica.

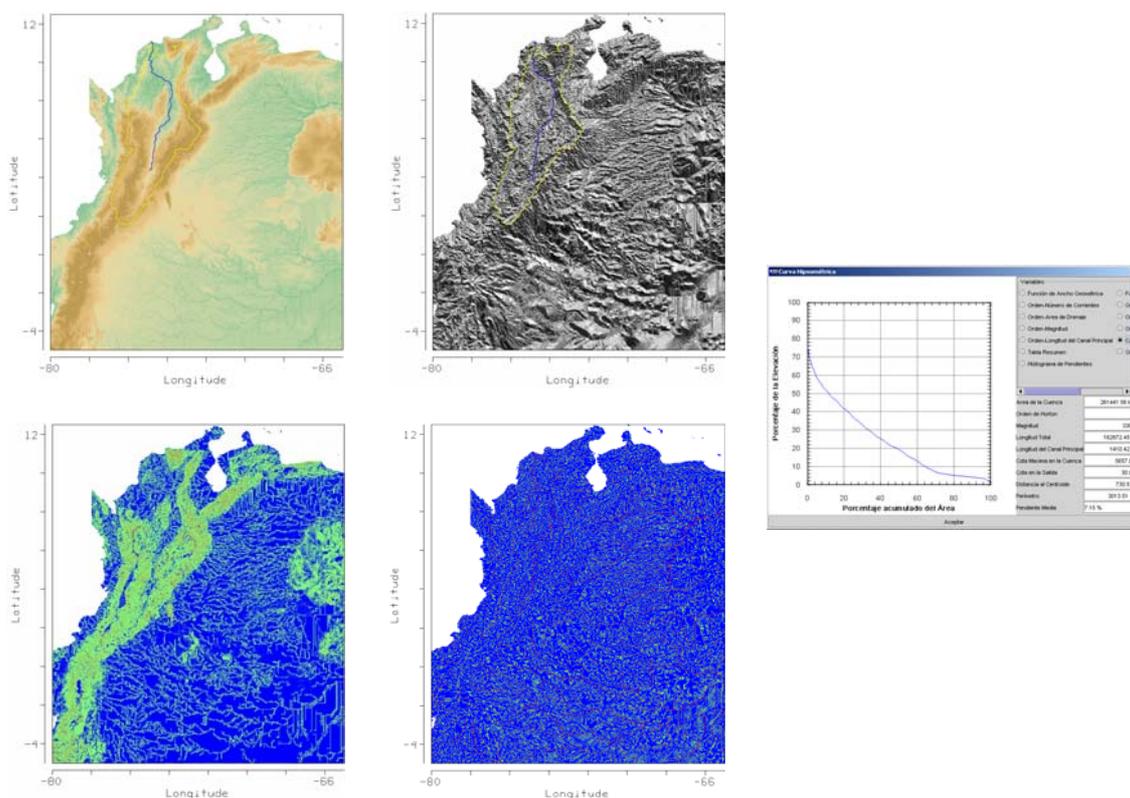


Figura 3: Mapas asociados al MDE que se obtienen mediante su corrección. En la figura se muestran MDE corregido (superior izquierdo), direcciones de flujo (superior centro), pendientes máximas (inferior izquierdo) y orden de Horton (inferior centro). Esquema de reporte geomorfológico (derecha).

**5.2. Balances Hidrológicos:** La primera herramienta hidrológica de HydroSIG permite estimar los caudales medios para una cuenca, mediante el modelo de balance hídrico de largo plazo (Poveda et al. 2006). Las características generales del modelo se encuentran en Vélez et al. (2000). Para tal estimación se requiere tener disponibles mapas de precipitación y evapotranspiración media en la zona de estudio. En el caso del territorio colombiano dicha información está disponible y se ha construido mediante la ejecución de diversos proyectos de investigación llevados a cabo por el Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, información que compone en su mayoría la base de datos de trabajo que por defecto está disponible dentro de HydroSIG (Poveda et al. 2006).

La herramienta permite estimar los caudales extremos de distinto período de retornos sobre cualquier sitio de la red hidrográfica de Colombia. La herramienta emplea ecuaciones de regionalización para la media y la varianza de los caudales máximos y mínimos (Ver Poveda et al., 2006). Los parámetros que deben ser incluidos dentro de las ecuaciones de regionalización son susceptibles de ser representados mediante mapas raster. Para el caso del territorio colombiano se disponen de mapas de dichos parámetros, los cuales se incluyen en la base de datos de HydroSIG. El software realiza automáticamente la integración de las variables y parámetros incluidos dentro del modelo de balance, posteriormente el usuario debe elegir la función de distribución de probabilidad con la cual desea realizar el análisis de frecuencia, para finalmente obtener un valor para el caudal que desea estimar. Se

remite al lector a las siguientes referencias: Poveda et al., (2006), Vélez et al., (2000) y UPME, (2000).

**5.2. Modelo Hidrológico Distribuido:** En el trabajo de Quintero, (2004) se integra a HidroSIG un modelo precipitación- escorrentía (SHIA), ó simulación hidrológica distribuida abierta, (Vélez, 2001). Se trata de un modelo hidrológico completamente distribuido, conceptual, del tipo de esquema vertical de tanques que se apoya en la física de los procesos, teniendo en cuenta las características morfológicas de la cuenca. El modelo tiene una estructura general para la producción de la escorrentía en la que, para cada componente de la escorrentía, se pueden considerar diferentes esquemas conceptuales con distinto nivel de complejidad. Esto permite adaptar el modelo a la escala espacio-temporal de la simulación y a una representación adecuada de los procesos físicos determinantes en la producción de escorrentía en la cuenca.

A diferencia de los esquemas de modelación tradicionales agregados, el territorio se representa mediante una malla formada por celdas cuadradas regulares. Cada celda se considera como unidad de respuesta hidrológica en la cual ocurren todos los procesos de formación de escorrentía. Mediante la simulación con el modelo distribuido se puede reconstruir la información "histórica" en sitios sin registros. También es posible explorar el comportamiento del régimen de caudales para distintos escenarios de condiciones climáticas, de uso del suelo y de uso del agua. En Vélez et. al (2005) se presenta una descripción de las ventajas de el uso de este tipo de modelos distribuidos en la gestión del recurso hídrico en cuencas hidrográficas.

### **5.3. Modelo Hidrológico y Geotécnico para Deslizamientos Superficiales:**

Este fenómeno puede modelarse efectivamente usando modelos distribuidos que se apoyan en Sistemas de Información Geográfica, debido a que mediante su utilización se pueden incorporar en la modelación, los efectos que tiene la morfología de las laderas de la cuenca sobre los deslizamientos que ocurren como respuesta a eventos de lluvia como los anteriormente descritos. HidroSIG contiene una herramienta de simulación que permite la evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento superficial a causa de tormentas intensas y sismos.

En general, con base al modelo hidrológico distribuido SHIA (Vélez, 2001), para cada píxel se estima el espesor saturado del estrato superior a partir de un registro o mapa de precipitación para el dominio de trabajo, información que es utilizada posteriormente para estimar el factor de seguridad mediante la ecuación de un modelo de ladera de longitud infinita y pendiente constante. Adicionalmente, en modelo permite incluir una fuerza sísmica dentro de la modelación, la cual se calcula con el método pseudo estático. El modelo anteriormente comentado se ha implementado como un módulo de HidroSIG denominado MESHIAHS. Para mayor detalle del modelo se remite al lector a consultar Vélez et al. (2005) y Álvarez y Alarcón (2004).

**5.4. Modelo Unidimensional para Transporte de Contaminantes en la Red de Drenaje:** Los modelos de calidad de aguas son necesarios como herramienta de evaluación y control del recurso hídrico por su importancia ecológica en el aprovechamiento de las fuentes de agua y de calidad de vida de las comunidades vecinas a los cauces.

En el paquete de herramientas avanzadas de HidroSIG se ha implementado un modelo unidimensional de transporte de contaminantes que se apoya en estructuras de datos raster. El modelo permite estimar los niveles de concentración de sustancias

provenientes de derrames puntuales en la corriente, en cualquier punto de la red de drenaje y en cualquier instante de tiempo. El modelo usa el método de MacCormack para la solución numérica de la ecuación de transporte unidimensional de contaminantes con decaimiento. Éste método está apoyado en el método predictor-corrector establecido por Heun para la solución numérica de ecuaciones diferenciales. La aplicabilidad del modelo implementado se define en función de números adimensionales que dependen de las resoluciones espacial (determinada por la resolución de los mapas) y temporal (escogida por el usuario para garantizar la estabilidad del esquema numérico) y de los parámetros de transporte de contaminantes en corrientes superficiales, que para este trabajo son la difusión turbulenta y la advección. Ver detalles en Jiménez y Restrepo (2004).

Adicionalmente a la implementación computacional de éste modelo en Java, se ha construido una interfaz gráfica que le permite al usuario incorporar interactivamente los parámetros requeridos por la ecuación de transporte dentro del modelo. Posteriormente la interfaz despliega la evolución de la variación espacial y temporal de la concentración de contaminantes en forma de tablas y gráficos de acuerdo con los resultados obtenidos por el modelo.

## 6. HERRAMIENTAS EN DESARROLLO ACTUAL

Aparte de las herramientas descritas, se están desarrollando diferentes herramientas que utilizan a HidroSIG como interfaz principal de modelación. Dentro de los desarrollos que actualmente se encuentran en proceso se destacan las siguientes herramientas:

- Un módulo geoestadístico para interpolación que usa diversos tipos de estimadores pertenecientes a la familia de los interpoladores estocásticos. El módulo permitirá desarrollar análisis estructurales de una o múltiples variables regionalizadas de análisis, el cual se emplea posteriormente en la estimación de mapas mediante algoritmos geoestadísticos como kriging simple, kriging ordinario, cokriging ordinario, cokriging estandarizado, cokriging colocalizado, kriging con deriva externa y cokriging con cadenas Markovianas. El diseño del módulo ha enfatizado el hecho de que las estimaciones tienen incertidumbre asociada, por lo cual es necesario estimar los mapas de varianzas y desviaciones estándar de estimación.
- Un modelo hidrológico distribuido para la gestión conjunta de aguas subterránea y superficial. Con esta herramienta se espera que las autoridades ambientales y las empresas de consultoría pública y privada, tengan una herramienta conceptual y un sistema de soporte acoplado a un aplicativo SIG que les permita resolver de una manera eficiente y simplificada, el problema de la utilización conjunta de agua superficiales y subterráneas en los procesos de reglamentación de cuencas hidrográficas.
- Un sistema de soporte para la toma de decisiones espaciales. Se trata de un conjunto de herramientas que permiten aplicar técnicas de análisis multicriterio para la planificación del territorio, cuando los factores a considerar en el proceso de decisión tienen una componente espacial y pueden ser mapeados. El modelo proporciona herramientas que permiten a los decisores considerar la importancia relativa de los factores en el proceso

de decisión, y observar la sensibilidad de los resultados ante el cambio en su estructura de preferencias.

- Incorporación de funciones generalizadas de valores extremos para los caudales máximos empleando el modelo de balance hídrico de largo plazo.
- Un módulo de propagación de incertidumbre en operaciones de interpolación de variables en mapas raster.

## 7. ADQUISICIÓN DEL SOFTWARE Y CONTACTOS

HidroSIG es una aplicación multiplataforma que fue desarrollada usando el lenguaje de programación Java, y, dado que no usa código fuente suministrado por ninguna entidad con ánimo de lucro, su adquisición está sujeta a una licencia de distribución libre regida por las normas GNU (ver <http://www.gnu.org>). De esta manera, HidroSIG Java es un software de distribución gratuita y que está disponible para puede ser adquirido por medio de la Internet en <http://cancerbero.unalmed.edu.co/~hidrosig/> o en la página del proyecto dentro Sourceforge, la cual es <http://sourceforge.net/projects/hidrosig/>. En ambas páginas, se pueden adquirir las últimas modificaciones del software y complementar la base de datos. La instalación de HidroSIG requiere de por lo menos 300 MB de memoria disponible en disco y 256 MB de memoria RAM.

## 8. CONCLUSIONES

Se presentó un resumen de los trabajos en los que se han añadido nuevas características a la plataforma HidroSIG, que lo convierten no solo en una plataforma para la visualización de datos hidroclimatológicos, sino en una colección de herramientas y modelos para el análisis hidrológico.

Se describen brevemente los módulos avanzados que posee HidroSIG para la corrección automática del modelo digital de terreno, para su uso posterior en tareas de modelación hidrológica.

Se mostró como mediante el análisis de modelos digitales de terreno y la herramienta para realizar balances hidrológicos en cuencas, HidroSIG le permite al usuario realizar buenas aproximaciones para cuantificar escorrentía a diferentes escalas espaciales y temporales.

Se presentó una nueva herramienta para la estimación de la oferta hídrica de la cuenca, mediante el uso de un modelo precipitación-escorrentía, usada para la simulación de eventos de crecida y reconstrucción de series de caudales en cualquier punto de la red de drenaje de la cuenca, un modelo para la estimación de la susceptibilidad al deslizamiento de las laderas ante un evento intenso de tormenta, y un modelo para la estimación de la componente calidad del agua de la oferta hídrica, que permite conocer la evolución espacial y temporal de los contaminantes en la red de drenaje.

Se presentaron además, herramientas especializadas para la reclasificación supervisada y no supervisada de imágenes de satélite.

Se describió la herramienta ANSET, utilizada para el análisis de homogeneidad de las series de tiempo que HidroSIG puede almacenar en su base de datos.

Se enumeraron las nuevas herramientas que actualmente se encuentran en proceso de desarrollo, con las cuales se busca obtener un sistema cada vez más robusto en herramientas de análisis, para la gestión de recursos naturales en cuencas hidrográficas

## 9. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al DIME y a todas las instituciones vinculadas con el proyecto "HIDRO SIG JAVA 3.0 Sistema de Información Geográfica, de código abierto y de dominio público, orientado al estudio los recursos naturales" por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS

- ◆ **Álvarez O.D. y Alarcón J.E.** (2004) "Evaluación De La Amenaza De Deslizamiento Superficial Empleando Sistemas De Información Geográfica SIG". Trabajo dirigido de grado. *Universidad Nacional de Colombia*.
- ◆ **Beven, K. y Kirkby, M.** (1979) "A Physically Based, Variable Contributing Area Model Of Basin Hydrology". *Bulletin of Hydrological Sciences*, 24(1), 43-69.
- ◆ **Ceballos A. y Góez, C.** (2003) "Detección De Valores Anormales Extremos En Series Hidrológicas". Trabajo dirigido de grado. *Universidad Nacional de Colombia*.
- ◆ **Hernández, O.** (2003). Herramienta Para la Clasificación Supervisada de Imágenes Digitales de Sensores Remotos. Trabajo dirigido de grado. *Universidad Nacional de Colombia*.
- ◆ **Hibbard, B.** (2006). "Visad Oficial Page". *En internet:* <http://www.ssec.wisc.edu/~billh/visad.html>.
- ◆ **Jiménez, M.A. y Restrepo, C.A.** (2004) "Implementación De La Solución Numérica De Un Modelo Unidimensional De Transporte De Contaminantes En Ríos". Trabajo dirigido de grado. *Universidad Nacional de Colombia*.
- ◆ **O'Loughlin, M.E.** (1986) "Prediction Of Surface Saturation Zones In Natural Catchments By Topographic Analysis". *Water Resources Research*, 22 : 794-804.
- ◆ **Poveda, G., Vélez, J.I., Mesa, O.J., Cuartas, A., Barco, J., Mantilla, R., Mejía, J.F., Hoyos, C.D, Ramírez, J.M., Ceballos, L.I., Zuluaga, M.D., Arias, P.A., Botero, B.A, Montoya, M.I., Giraldo, J.D y Quevedo, D.I.** (2006) "Linking Long-Term Water Balances And Statistical Scaling To Estimate River Flows Along The Rainage Network Of Colombia". *Journal of Hydrologic Engineering*. En imprenta.
- ◆ **Quintero, F.** (2004). "Evaluación de la cuenta física de agua empleando un modelo hidrológico distribuido". Trabajo dirigido de grado, *Universidad Nacional de Colombia*.
- ◆ **Ramirez, J.** (2002) Extracción automática de redes de drenaje a partir de modelos digitales de terreno. Trabajo dirigido de grado, *Universidad Nacional de Colombia*.
- ◆ **Vélez, J.I.** (2001) "Desarrollo De Un Modelo Hidrológico Conceptual Y Distribuido Orientado A La Simulación De Crecidas". Valencia. Tesis doctoral. *Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*.

- ◆ **Vélez, J.I., Poveda, G. y Mesa, O.J.** (2000). "Balances Hidrológicos De Colombia". *Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos*. Primera Edición.
- ◆ **Vélez, J.I., Villarraga M.R., Álvarez, O.D., Alarcón J.E. y Quintero, F.** (2005) "Modelo Distribuido Para Determinar La Susceptibilidad Al Deslizamiento Superficial Por Efecto De Tormentas Intensas Y Sismos". *Boletín de Ciencias de la Tierra*, No 17. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia.
- ◆ **UPME** (2000). "Atlas Hidrológico De Colombia". *Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos*.