

GRASS Y SENSORES REMOTOS EN HIDROINFORMATICA

Obregón, N.^{*}, Martínez, G. F.^{} y Castiblanco, C. A.^{**}**

^{*} Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá-Colombia. Correo Electrónico: nobregon@javeriana.edu.co

^{**} Universidad Nacional de Colombia, Bogotá-Colombia.

Correo electrónico: gmb@tutopia.com – camilocast@tutopia.com

RESUMEN

Se reconoce el grado de importancia que hoy por hoy tienen los diferentes software disponibles de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los estudios hidrológicos e hidráulicos, a tal punto que incluso éste ha permitido la concepción y desarrollo de eventos internacionales especializados de sus aplicaciones en Hidroinformática. De igual forma y en el contexto de la gestión integral de los recursos hídricos se reconoce la relevancia de los productos obtenidos de sensores remotos tales como fotografías aéreas, imágenes satelitales y de radar, entre otros. En este marco de referencia se ubica este trabajo al presentar y discutir las funcionalidades y potencialidades del “Geographic Resources Analysis Support System” (GRASS) en estudios hidroinformáticos. El GRASS no sólo permite aprovechar todas las potencialidades de un SIG, sino también incluye una ventaja adicional al presentarse como software de libre distribución. No sólo pueden obtenerse sus instaladores compilados para diferentes sistemas operativos, sino también los archivos del código fuente, lo que ha permitido agregar constantemente aplicativos especializados desde diferentes partes del mundo. Así, este trabajo no sólo pretende contribuir a la divulgación generalizada del uso y estudio de GRASS, sino también ilustra sus funcionalidades específicas en Hidroinformática mediante un ejemplo práctico de modelación hidrológica.

PALABRAS CLAVES

Código Abierto, GRASS, Modelación, Sensores Remotos, SIG

INTRODUCCION

La necesidad de solucionar problemas de mayor complejidad y manejar eficientemente la información ha convertido a los SIG y Sensores Remotos en instrumentos vitales para el análisis, planeamiento y administración de los recursos hídricos. La importancia de los SIG radica en suministrar herramientas para crear, analizar y manejar información espacial, con lo cual es posible integrar la información hidrológica, con la proveniente de otras fuentes. Un SIG es un sistema que obedece a las necesidades de sus usuarios y requiere la adquisición de información, personal preparado, metodologías, hardware y software requerido, por tanto su implementación y características dependen de los recursos disponibles y los propósitos del usuario.

Una de las limitaciones de la implementación de tecnologías de SIG, es la escasez y, a veces, mala calidad de la información existente, así como la ausencia del software adecuado. En principio, la utilización de sensores remotos y la información derivada de ellos junto con las capacidades de manejo y análisis de información espacial de los SIG han demostrado ser de gran utilidad para la obtención de información aplicable en Hidrología y en el Manejo de los Recursos Hídricos. Organizaciones de diversa índole como Universidades, Oficinas de Planeación, Corporaciones Autónomas Gestoras de Recursos Naturales y Empresas de Servicios Públicos utilizan cada vez más este tipo de herramientas para el desarrollo de sus tareas, por lo que es necesario que sus miembros estén informados de las ventajas del software de código abierto en cuanto a la optimización de recursos, el apropiado y producción de tecnología. Gracias a la creciente disponibilidad de software de código abierto, la implementación de un SIG y tareas relacionadas con el desarrollo de ejercicios de modelación y la manipulación de información, son posibles sin necesidad de hacer elevadas inversiones en software ni equipos, por lo que constituye un incentivo para el desarrollo de proyectos de investigación.

Debido a su reciente auge, es importante mencionar que el desarrollo software de código abierto, protegido principalmente por la licencia GNU-GPL (www.gnu.org), se distingue del software

propietario por la libertad de sus usuarios para tener acceso a su código fuente, con lo cual es posible entender su funcionamiento, transformarlo, y distribuirlo libremente, respetando los derechos de sus autores y permitiendo modificaciones de acuerdo a las necesidades del usuario. La utilización de programas de código abierto se ha extendido con éxito en diversas áreas de la informática, como sistemas operativos, lenguajes de programación, motores de bases de datos, herramientas de Internet, y librerías para el desarrollo de nuevas aplicaciones, por lo que conocer sus ventajas es una oportunidad para proyectos que requieran herramientas informáticas especializadas.

El presente artículo procura dar a conocer algunas de las características del SIG GRASS y su potencial para procesar información de sensores remotos e información hidrológica. Para ello se hará una breve descripción del software, la utilización de los sensores remotos en hidroinformática y su potencial en la gestión de recursos naturales. Finalmente se presenta un ejemplo de utilización de estas herramientas en una cuenca ubicada en la sabana de Bogotá, (Colombia).

GRASS

GRASS es un SIG de propósito general que trabaja en ambiente UNIX a través de un intérprete de comandos y entorno gráfico. Su desarrollo se inició en 1982 a cargo del “U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory” USA-CERL para cumplir con tareas de administración en instalaciones militares. Con el tiempo se convirtió en una plataforma de análisis para diferentes agencias estatales, universidades, centros de investigación y compañías privadas en todo el mundo. Desde 1999, GRASS ha estado protegido por la licencia GNU-GPL y su adelanto ha sido coordinado por diferentes universidades. Actualmente el Instituto Trentino de Cultura, en Italia, ordena su desarrollo entre diferentes grupos de programadores a nivel mundial. GRASS contiene módulos para la manipulación, importación y exportación de información raster, vectorial y puntual, procesamiento de imágenes multiespectrales, producción de gráficas y modelos aplicados. Además contiene herramientas para intercambiar información con software comercial, digitalizadores, sistemas de posicionamiento global, bases de datos, servidores de mapas y otras herramientas de código abierto. La documentación acerca de sus comandos y el código fuente, así como tutoriales e información de ejemplo, se encuentran en su sitio web oficial, <http://grass.itc.it>. De igual forma, la publicación de Neteler y Mitsova (2002) brinda una completa descripción del software y su potencial.

La disponibilidad del código fuente, permite compilar a GRASS o instalarlo directamente en distintos sistemas operativos, como Linux, Windows, MacOS X y Solaris, de los cuales Linux ha sido la plataforma principal para su desarrollo. Los comandos de GRASS, para mantener su manejabilidad y familiarizar a los nuevos usuarios, siempre se designan por una letra, seguida de un punto, y posteriormente el nombre del comando. La primera letra va de acuerdo a la función o tipo de datos en que se vayan a trabajar, por ejemplo d. agrupa las funciones de visualización (“display”) en pantalla, r. agrupa las funciones para la manipulación de información en formato raster, v. las funciones para la manipulación de información en formato vector, etc. Con respecto a su ejecución, la opción de comandos en consola brinda mayor aprendizaje y rapidez, ya que pueden ser ejecutados en modo interactivo, solicitando en cada paso las variables necesarias para su ejecución, o en modo no-interactivo facilitando la introducción rápida de los parámetros y su programación mediante scripts. La mayoría de los sistemas operativos en los cuales opera el SIG-GRASS se encuentran basados en el sistema operativo UNIX, caracterizado por su estabilidad y propiedades multiusuario y multitarea. Por tanto el usuario del SIG, debe tener conocimientos básicos sobre la ejecución de comandos y el manejo de archivos en estos sistemas operativos para un aprovechamiento eficiente del software.

Muchas de las herramientas de GRASS pueden ser implementadas en el desarrollo de la hidrología.

Gracias a sus módulos de procesamiento de imágenes GRASS cuenta con la capacidad de incorporar la información espacial presente en las imágenes de satélite a su base de datos y por medio de funciones raster y vector, integrarla con otros tipos de información para el desarrollo de análisis o modelos. GRASS también incluye rutinas específicas para diversos tipos de interpolación, caracterización morfométrica de cuencas a partir de modelos de elevación digital, consulta estadística, visualización en 3D, álgebra de mapas y modelos aplicados en distintas áreas como ANSWERS, AGNPS, Topmodel y CASC2D. En el área de procesamiento de imágenes GRASS ofrece a sus usuarios una serie de rutinas que permiten la importación de imágenes en diversos formatos, la manipulación de sus tablas de color, el preprocesamiento geométrico y radiométrico, el filtrado, la elaboración de composiciones de color y transformaciones HSI, así como la clasificación multiespectral por distintos métodos. Recientemente GRASS ha tenido mejoras que aumentan su potencial para las tareas hidroinformáticas como la conexión con el ambiente y lenguaje de programación R (<http://www.r-project.org>) que incluye herramientas geoestadísticas y de análisis de información o el desarrollo del módulo r.terraflow (Toma et al, 2001) que permite el análisis de modelos de elevación digital de gran tamaño.

SENSORES REMOTOS

Los Sensores Remotos son los dispositivos que permiten captar la radiación electromagnética emitida o reflejada por cuerpos sobre la superficie de la Tierra. Todos los sensores remotos usan mediciones del espectro electromagnético para caracterizar el paisaje, inferir propiedades de este o medir indirectamente el estado de las variables hidrológicas. La fotografía aérea es la técnica de percepción remota más familiar, la cual obtiene información de la parte visible del espectro. Sin embargo, en la actualidad, la adquisición de información se centra en la que proveen los sensores colocados en los satélites de otras regiones del espectro electromagnético, como los sensores multiespectrales en el visible y el infrarrojo o los radares en la región de microondas. El término de Sensores Remotos o Teledetección (Chuvieco, 1996) debe ser entendido también como la técnica de adquisición y posterior tratamiento de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas especiales, en virtud de la interacción electromagnética que ocurre en la atmósfera y las condiciones específicas de toma.

La información proveniente de sensores remotos ha sido utilizada en hidrología y la gestión de recursos hídricos en forma paralela al desarrollo de sensores y sistemas de procesamiento de imágenes. Investigadores en diferentes lugares han desarrollado técnicas que permiten extraer la información de los sensores remotos para el diagnóstico o predicción de los diferentes fenómenos hidrológicos. En la literatura es posible encontrar un gran número de publicaciones respecto al tema, como el libro *Remote in Hidrology and Water Management* (2001) realizado por Schultz y Engman que brinda una excelente recopilación respecto al tema.

Los sensores remotos pueden ayudar a estudiar cada una de las etapas del ciclo hidrológico, informando sobre su distribución espacial y/o temporal, o entregando parámetros para su modelación, sin embargo no se puede olvidar que la naturaleza misma de la información generada a partir de sensores remotos, requiere para su utilización la calibración o comparación con información generada por otros métodos. Las aplicaciones más comunes de la información de los sensores remotos en hidrología son las relacionadas con precipitación, evaporación, humedad del suelo, coberturas de nieve, agua subterránea, y mapeo de superficies (Meijerink et al. 1994). Igualmente cumplen una tarea importante en la gestión de los recursos hídricos a través de áreas como el monitoreo de inundaciones, desempeño de sistemas de irrigación o la obtención de información en cuencas no instrumentadas.

La utilización de las imágenes de satélite para estimar variables hidrológicas depende de las características propias de la imagen, como la resolución espacial y espectral o la frecuencia con que

sean adquiridas. Sin embargo el factor determinante es la región del espectro electromagnético en la cual es captada la imagen, por lo cual la variedad de posibles correlaciones y aplicaciones es amplia ya que depende de la relación física de la variable estudiada con la emisión o absorción de radiación en una porción del espectro. Por ejemplo, imágenes de la parte visible y del infrarrojo cercano pueden ser relacionadas con la precipitación, puesto que permiten medir la radiación emitida por las nubes, para identificarlas y relacionarlas posteriormente con registros de campo y una probabilidad de ocurrencia. Así mismo, la obtención de coberturas terrestres como vegetación, suelos, cuerpos de agua o zonas nevadas, es posible debido a los diferentes valores de reflectividad que presentan los cuerpos sobre la superficie en esas mismas regiones espectro y que de acuerdo la resolución de la imagen, permiten una discriminación detallada mediante procesos de clasificación multiespectral o la utilización de índices espectrales.

Dentro de un SIG, los sensores remotos junto a la información convencional dan una representación digital de las variaciones espaciales y temporales, convirtiéndose en una herramienta básica de la hidroinformática y contribuyendo significativamente en proyectos de predicción, monitoreo y modelación del recurso hídrico. La tecnología de SIG entrega a los encargados de la administración pública herramientas para un óptimo almacenamiento y utilización de la información espacial. Así como la oportunidad de extraer información de los sensores remotos con diversos fines, como la realización de diagnósticos o inventarios, el control de desastres naturales, la mejor visualización de los recursos existentes o la implementación de Sistemas de Soporte de Decisiones. GRASS cuenta con los módulos necesarios para el ingreso y procesamiento de este tipo información a su base de datos, al igual que las bases para el desarrollo de rutinas y nuevos módulos para atender las necesidades de los usuarios.

GENERACION DE ESCORRENTIA MENSUAL EN LA CUENCA DEL RIO SUBACHOQUE

El objetivo de este ejercicio de modelación, realizado como parte un trabajo de investigación de Martínez y Castiblanco (2002), fue generar mapas de escorrentía mensual y calibrar el parámetro de infiltración inicial para la cuenca del río Subachoque mediante el método de número de curva del Natural Resources Conservation Service (NRCS, 1986) utilizando información cartográfica, hidrológica y de suelos suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), una imagen Landsat TM de agosto de 1997 obtenida en el Global Cover Land Facility (GCLF) y GRASS como herramienta principal para el procesamiento de la información. La cuenca del Río Subachoque se encuentra ubicada al occidente de Bogotá, con una altura promedio es 2900 metros, una precipitación anual cercana a 900 milímetros anuales y un área de estudio de 189 km² medidos aguas arriba de la estación limnimétrica de la Muralla.

El método del Número de Curva, es una aproximación empírica para el cálculo de la escorrentía directa generada por una precipitación (NRCS, 1986), teniendo en cuenta los tipos de suelo, usos del suelo, prácticas de cultivo y condiciones de humedad presentes y antecedentes. Este modelo fue desarrollado para cuencas de manejo agrícola y suburbano de pequeña extensión, pero su uso ha sido ampliado para cuencas de mayor área y estimación de caudales para diferentes períodos de tiempo. En la práctica, un número de curva de escorrentía, es definido en tablas del NRCS a partir del uso del suelo, prácticas de cultivo, condición hidrológica y condiciones de humedad.

Procesamiento de la Información Básica

Para la obtención de la información (Ver Figura 1), la cartográfica del área de estudio fue exportada a formato DXF y transferida como información vectorial a GRASS. Una vez en él, fue transformada a formato raster y luego interpolada para generar el modelo de elevación digital (DEM). Seguidamente fueron utilizadas las herramientas de análisis de cuencas del programa para generar las matrices de dirección y acumulación de flujo, con el fin de generar la delimitación

automática de la cuenca. Una vez concluida la delimitación, fue posible obtener los límites del área de drenaje de cada una de las estaciones limnimétricas de la cuenca, utilizadas posteriormente para la calibración del modelo.

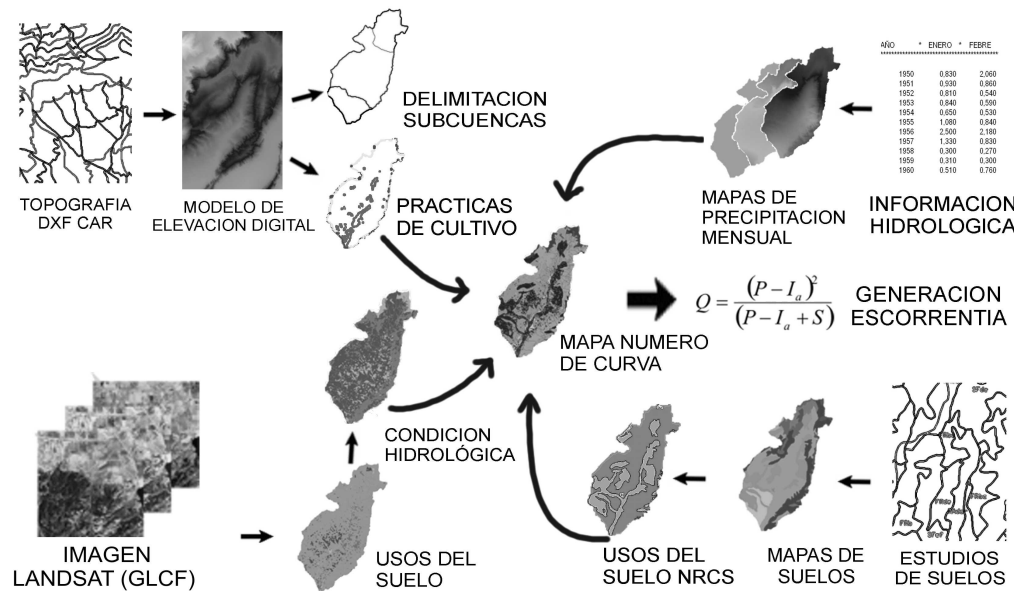


Figura 1. Procesamiento de la información básica al SIG-GRASS para la generación de escorrentía por medio del método de número de curva a partir de información Landsat, suelos, topografía, y registros hidrológicos

A partir de los datos de precipitación se prepararon los mapas de precipitación mensual por medio de la herramienta de interpolación multivariada de GRASS s.vol.rst que tuvo en cuenta el modelo de elevación digital elaborado previamente y la información de precipitación de las estaciones pluviométricas. Para el ingreso del mapa de suelos a la base de datos, se exportó a formato DXF y luego al formato de vectorial de GRASS. Posteriormente el mapa fue transformado a formato raster con el propósito de clasificarlo en las categorías propuestas por el SCS e integrarlo con la información topográfica y de precipitación en el modelo del número de curva.

Clasificación de la imagen

Dadas las características de la imagen Landsat se decidió hacer un procesamiento de imagen convencional para obtener los usos del suelo presentes en la cuenca. Para ello se utilizaron las herramientas de GRASS, para preprocesamiento, análisis estadístico y clasificación de la imagen. Después de importar la imagen con sus respectivas bandas, la información vectorial ingresada anteriormente se utilizó para georeferenciar la imagen a través de una transformación lineal de vecino más próximo, utilizando para ello 5 puntos de referencia dentro del área de estudio. Seguidamente se evaluaron las condiciones de toma y se concluyó la falta de necesidad de realizar correcciones radiométricas sobre la imagen.

Una vez realizado el preprocesamiento de la imagen y definido el área de estudio, se realizó un análisis estadístico sobre las distintas bandas que componían la imagen, con el propósito de evaluar la información suministrada por cada una de ellas. Seguidamente se utilizó el método de factor de índice óptimo OIF con el propósito de decidir las bandas que aportaban mayor información al proceso de clasificación. Posteriormente se realizó la clasificación supervisada por medio de la utilización del algoritmo de máxima verosimilitud, utilizando información proveniente de índices de vegetación generados a partir de la misma imagen e información de reconocimientos de campo hechos con GPS. Finalmente se identificaron los principales usos de la cuenca así: Pastos, Bosques,

Zonas de Cultivo, Páramo, Zonas Urbanas y espejos de agua.

Aplicación del modelo del NRCS

Con el fin de obtener los mapas para la aplicación del método del número de curva a partir de la información recolectada, se utilizaron las herramientas de clasificación y álgebra de mapas para reclasificar la información almacenada en las categorías descritas en las tablas del NRCS. Para ello se analizó la información de textura del suelo consignada en los estudios, las pendientes provenientes del DEM y los usos del suelo obtenidos en la cuenca a partir de la imagen Landsat y el reconocimiento de campo. Al terminar esto, se completó una base de datos compuesta por los mapas de número de curva generado por el módulo r.cn, la precipitación mensual y los límites de cada una de las estaciones limnimétricas de la cuenca. Para automatizar el proceso de cálculo, fue elaborado un script que permitió calcular el volumen de escorrentía para cada una de las estaciones limnimétricas variando el mapa de número de curva según la condición de humedad, la precipitación mensual, y el parámetro de pérdidas iniciales con el propósito de calibrar los resultados con los valores de caudal medidos en la cuenca.

Calibración y análisis de los resultados

Con toda la información preparada, se trabajó en la calibración del modelo de escorrentía teniendo en cuenta la diferencia en el porcentaje de pérdidas iniciales con respecto a la retención potencial máxima reportada por distintos autores para las cuencas colombianas. Para ello inicialmente, se calculó la escorrentía total de la cuenca con el valor propuesto por el NRCS del 20%, obteniendo valores de escorrentía inferiores en un 40% a los aforados en la cuenca. A continuación, teniendo en cuenta que en Colombia las pérdidas iniciales deber ser menores (Niño, 1999 y Rodríguez et al, 2000), se recalcularon los valores de escorrentía con un valor de pérdidas iniciales del 10%. En esta fase, se estudiaron los resultados de otros análisis similares y se analizó la presencia de páramo en la parte alta de la cuenca, gracias a la delimitación hecha para cada estación limnimétrica. Con el fin de incrementar el ajuste de los valores, se procedió a variar las pérdidas iniciales, de acuerdo con las temporadas de lluvias observadas y a variar los mapas de curva número de acuerdo con las condiciones de humedad especial de la zona de páramo, con lo que finalmente se obtuvieron valores de escorrentía con una diferencia menor al 12% de lo observado en la cuenca. Ver Figura 2

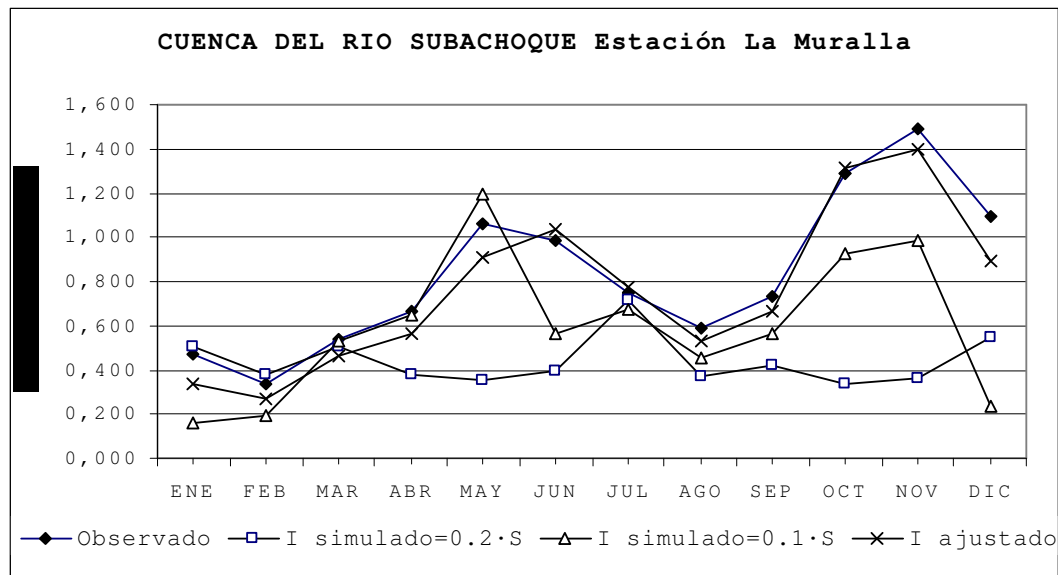


Figura 2. Comparación valores de escorrentía directa en la estación limnimétrica de la Muralla para diferentes valores de infiltración y el observado en la cuenca.

CONCLUSIONES

- El auge y características de los proyectos de código abierto brindan nuevas alternativas para el procesamiento y análisis de información. GRASS es un SIG que provee las herramientas necesarias para la manipulación de información comúnmente utilizada en Hidroinformática, así como la utilización de Sensores Remotos. Además posee comandos y procedimientos específicos para ser usados en el desarrollo de estudios de caracterización y modelación hidrológica, como la delimitación de cuencas, la generación de mapas temáticos y la implementación de rutinas de cálculo.
- Los sensores remotos son una herramienta con mucho potencial y utilidad para los encargados de la administración de los recursos hídricos puesto que entregan información espacial que permite una mejor interpretación del medio ambiente garantizando mejores métodos de análisis y diagnóstico en la administración del recurso hídrico.
- El estímulo al desarrollo de proyectos de investigación en el área de código abierto abre un amplio rango de posibilidades para la utilización, creación y mejoramiento de herramientas, ideales para planes relacionados con la gestión de recursos hídricos como la transferencia de tecnologías, la generación de información abierta al público o el trabajo conjunto de distintos grupos de investigación.

REFERENCIAS

- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. 3ra ed. Rialp, Madrid.
- Martínez B. G. F. y Castiblanco H. C. A. (2002). Manejo y Análisis de Imágenes de Satélite Aplicadas en Estudios Hidrológicos de Cuencas Mediante el SIG-GRASS. Tesis en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Meijerink A. M. J. et al. (1994). Introduction to the use of geographic information systems for practical hydrology. Unesco, Paris.
- Natural Resources Conservation Service (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds: Technical Release 55. USDA.
- Neteler M. (2000). GRASS 5.0 Programmer's Manual: Geographic Resources Analysis Support System. University of Hannover, Hannover.
- Neteler M. y Mitsova H. (2002). Open Source Gis: A GRASS Approach. KAP, Boston.
- Niño L. (1999). Verificación del Modelo Lluvia Escorrentía del Soil Conservation Service a Nivel Mensual en la Cuenca Alta del Río Bogotá. Sector: Nacimiento - Estación Limnigráfica Saucio. Trabajo Final Especialización en Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez E., León P., Rodríguez M.. (2000). Determinación del Método de mejor Ajuste en la Transformación de Precipitación Efectiva en Escorrentía Directa para la Cuenca Alta del Río Subachoque. En: *Memorias del XIV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*. Sociedad Colombiana de Ingenieros.
- Schultz, G. A. y Engman, E. T. (2001). Remote Sensing in Hydrology and Water Management. Springer, Berlin.
- Toma L et al. (2001). Flow computation on massive grid terrains. En: *GeoInformatica, International Journal on Advances of Computer Science for Geographic Information Systems*. En preparación.