

CAPÍTULO

# 30

.....

## Hacia la gestión sustentable del agua subterránea para el desarrollo agropecuario

del valle de Quíbor,  
estado Lara, Venezuela

POR

Luis Eduardo MORA MORA

Hervé Jacques JÉGAT NICOLO

## Introducción

El acuífero del valle de Quíbor, ha sido de vital importancia como fuente para la producción agropecuaria de Venezuela, sustentando más del 60% de la producción nacional de hortalizas debido a la riqueza de sus suelos; aunado a las condiciones de clima tropical seco, precipitación media entre 400 y 560 mm/año, que lo hacen también favorable para la producción avícola de ganado caprino y porcino; posicionándose en la actualidad como un centro variado de producción nacional alterno en estos rubros. Debido a que el recurso agua es escaso en la zona, se ha previsto un proyecto de trasvase del agua desde una cuenca del río Yacambú con excedente de agua, hacia el valle de Quíbor. Este proyecto se conoce con el nombre de Proyecto Yacambú-Quíbor. Sin embargo, por diferentes razones, el mismo no se ha culminado hasta la fecha, existiendo una importante demanda sobre el recurso agua subterránea como fuente principal de suministro en las actividades agropecuarias que se desarrollan en el Valle de Quíbor.

El acuífero del valle de Quíbor, ha sido ampliamente estudiado como sistema hidrogeológico entre los que cabe destacar los trabajos de Carrasco (1982), Alvarado (1989), Torres (1993), Mora (1996), CIDIAT-APROSELA (2000), CIDIAT-SHYQ (2011, 2012) Jé-gat, Hernández y Mora, (2012). El mismo, está constituido como un relleno cuaternario de tipo fluvio-lacustre, que ha sido explotado intensivamente a partir de los años 50 del siglo pasado hasta la actualidad. Esto arrojó como consecuencia dos señales inequívocas de sobreexplotación; la primera, un descenso importante de niveles, mayor de 50 m en algunos sectores, que hizo que pasara de ser un acuífero confinado a un acuífero libre o semi-confinado que es el comportamiento hidrogeológico que arroja en la actualidad; y la segunda un deterioro progresivo en la calidad de sus aguas. Mora (Ob. Cit).

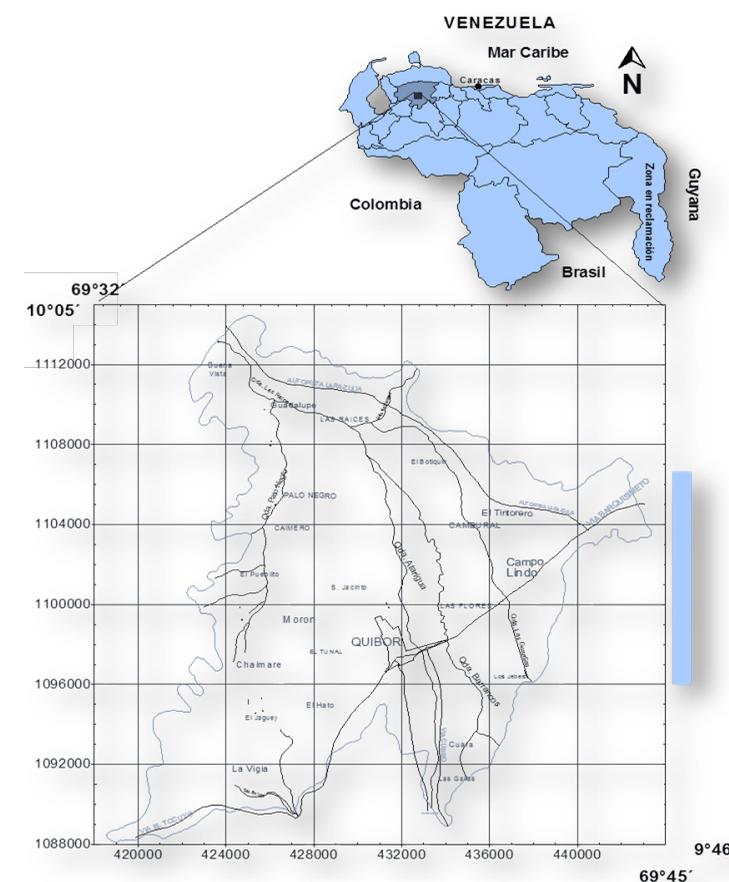
Lo anterior incrementa la preocupación de los diferentes actores afectados por la problemática de sobre-explotación, a saber: productores, comunidades, Sistema Hidráulico Yacambú – Quíbor (SHYQ) y Ministerio del Ambiente, llevándolo a la necesidad de establecer reglas de gestión concertadas. A este respecto requieren al CIDIAT-ULA en el año 1999, un estudio de la problemática y una propuesta de gestión del acuífero que pudiera mitigar la situación de sobre-explotación. Lo interesante de este caso es que son los mismos productores quienes toman la iniciativa de llevar a cabo la formulación de un plan de gestión a través de una asociación de los mismos llamada APROSELA. Luego de este estudio se realiza un nuevo levantamiento de información y liderado por la empresa SHYQ a través de una asociación de actores creada para monitorear las pautas llamada COTESAGUAS, que permite evaluar la situación luego de 10 años de gestión del acuífero. Encontrándose los resultados que se discutirán más adelante y desarrollando metodologías y herramientas tecnológicas de gestión que permiten realizar propuestas y divulgar la información de manera eficaz y eficiente.

Dar respuesta a problemas de sobre explotación es de creciente interés a nivel nacional y mundial debido a que múltiples acuíferos situados en regiones de alto estrés hídrico sufren de problemas similares, es ahí donde la marcha metodológica a mostrar es

de alto interés para asegurar las sustentabilidad ambiental de la explotación del recurso agua subterránea bajo estas consideraciones.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo es demostrar que el desarrollo de esquemas metodológicos y herramientas de gestión ambiental con múltiples criterios pueden ser exitosas para la gestión sostenible de un acuífero sobre explotado con vocación de provisión del recurso agua subterránea para la actividad agropecuaria. Se refiere al acuífero del Valle de Quíbor como estudio de caso

La **FIGURA 1**, muestra el área de estudio situada a 30 km aproximadamente al Oeste de la ciudad de Barquisimeto, la cual es la cuarta ciudad del país en importancia. El Valle de Quíbor se sitúa en las Coordenadas N 09° 46' y N 10° 05'; W 69° 32' y W 69° 45'



**FIGURA 1**  
Ubicación espacial de la zona en estudio. Valle de Quíbor Venezuela.  
Fuente: Elaboración propia.

## Materiales y Métodos

Se describe a continuación la información de base y el procedimiento metodológico utilizado para lograr los objetivos propuestos.

### Información base

Se posee buena información hidrogeológica del acuífero, generada en un período mayor a 30 años, en el cual, el SHYQ conjuntamente con el Ministerio del Ambiente (MINAMB-LA-

RA), se han preocupado por generación continua de información de buena calidad. Esta se complementa con la producida en los diferentes estudios mencionados anteriormente. Se poseen además campañas de levantamientos de niveles y calidad de agua realizadas por el Ministerio del Ambiente mediante la colaboración del SHYQ.

### Métodos

- *Diagnóstico preliminar.* Alvarado (1989), Mora (Ob. Cit) y CIDIAT-APROSELA (2000) realizan un diagnóstico de la situación del acuífero concluyendo que se encuentra sobre explotado con base a dos criterios fundamentales: (a) las campañas de levantamiento de niveles estáticos; un descenso significativo de niveles; y (b) un deterioro significativo de la calidad de agua con base a levantamientos sistemáticos de la conductividad eléctrica y otras variables de calidad del agua del acuífero.
- *Estimación de la recarga del acuífero,* la misma se puede determinar, bien sea, mediante un modelo de simulación paramétrica o con base en un modelo hidrogeológico. Para el acuífero se simula de manera preliminar utilizando un modelo de simulación paramétrica SIHIM, Duque y Barrios (1990), tomando como base el ajuste de parámetros dados por Carrasco (1982).
- *Generación estocástica de niveles.* Para la generación estocástica de niveles probables en el acuífero se recurre a la siguiente marcha metodológica. (a) A partir de pruebas de bombeo realizadas en el acuífero, se obtienen valores de transmisividad en diferentes pozos. (b) Estos valores se correlacionan con el rendimiento específico que es la diferencias entre niveles estáticos y dinámicos para el pozo estudiado dividido entre el gasto de producción del mismo. Se acepta una correlación lineal cuyo coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sea mayor a 0,70. Se Calibra un modelo bidimensional en elementos finitos.
- *Simulación condicional de niveles.* Para establecer el valor de nivel de referencia o umbral. Se tienen dos casos: (a) Si el acuífero no está sobre-explotado se podría tomar como referencia un nivel histórico o aquel que pudiera de otras consideraciones ambientales. (b) si está sobre-explotado, entonces se podría establecer aquel que arroje la simulación en régimen permanente de un modelo hidrogeológico calibrado, es decir, donde la demanda sea igual a la recarga promedio. Se simulan cambios aleatorios de transmisividad atendiendo a la simulación geo estadística condicional. Samper (1990), Mora (Ob. Cit). Para el caso de interés en este trabajo, estos campos de transmisividad se introducen en un modelo calibrado y se encuentran realizaciones probables de niveles del acuífero. Los campos de niveles obtenidos, se reclasifican para observar probabilísticamente aquellos descensos en el acuífero que tendrán mayor probabilidad de superar el valor de nivel dado.
- *Establecimiento preliminar de zonas de explotación de acuíferos.* Estableciendo zonas preliminares de niveles probables a superar un valor umbral, se determinan las zonas con mayor probabilidad de presentar niveles menores al mínimo objetivo. Luego se realizan talleres con expertos y actores, definiendo las zonas de explo-

tación propuestas, delineándolas a través talleres de mapeo con los actores con inherencia en la gestión del acuífero. Este mapeo ayudará a la toma de decisiones participativas y concertadas. Es conveniente acotar, que el plan de manejo del acuífero arrojará los criterios a permitir para la gestión del mismo, por ejemplo, gastos máximos de explotación, entre otros.

- *Generación estocástica de campos de conductividad eléctrica.* Con la finalidad de exponer uno de los problemas ambientales que tienen impacto directo en la producción de cultivos. Se simulan estocásticamente diferentes campos de conductividad eléctrica en el acuífero. Se realizan hasta 500 simulaciones, sometiéndolos a un modelo calibrado de salinidad y pérdida de producción asociada con base en una serie de hipótesis de lavado de sales para los diferentes tipos de suelo. Se observa el valor esperado de disminución de rendimiento para diferentes sectores. Esto permite visualizar como primera aproximación de los impactos económicos que pudiera tener el riego con agua del acuífero sin técnicas efectivas de mitigación de salinidad. Aspecto que es de fácil asimilación por parte de los productores u otros actores que estén familiarizados con el problema de manejo de sales. Se explica, de manera gráfica este importante aspecto.
- *Generación de herramientas informáticas para divulgación de la información.* Es evidente que la utilización de herramientas de información espacial (SIGs) son de vital importancia para la divulgación y análisis de la información, sin embargo, requiere de la experticia informática que no necesariamente conoce el productor. Para lograr la divulgación, se proponen dos enfoques, el primero la realización de un software tipo consola o portable de libre utilización al que se pudiera tener acceso cualquier usuario; y como paso más elaborado, la generación de una página WEB que pudiera presentar con diferentes niveles de acceso a la información, los parámetros más relevantes requeridos para la toma de decisiones en el sistema acuífero, este último aspecto se plantea de manera conceptual, puesto que su implementación está bajo la responsabilidad de la Empresa SHYQ.

### Evaluación de los resultados de la puesta en marcha del plan de manejo del acuífero

Esta etapa busca observar los resultados luego de 10 años de puesta en marcha del instrumento de gestión, período suficiente para observar cambios. Se compara como variables indicadoras ambientales, niveles estáticos y conductividad eléctrica.

### Incorporación de otros criterios de gestión sustentable

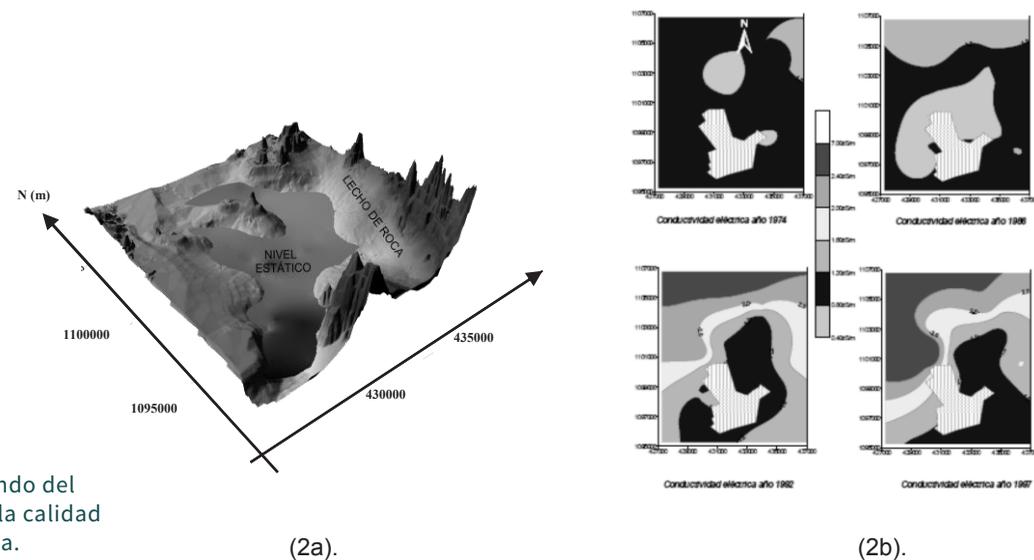
En esta fase se analiza con los gestionarlos, alguna otra variable de interés que pudiera ser de relevancia para la gestión cotidiana del acuífero.

## Resultados y Discusión

Se presentan los resultados del análisis del acuífero desde el estado inicial hasta el año 2012.

### Tendencia del acuífero

El acuífero del valle se supuso como sobre-explotado, la **FIGURA 2A**, muestra el modelo digital del lecho de roca en 3D, así como el estado actual de niveles en el mismo, que arrojó descensos históricos mayores a 50 m. En la **FIGURA 2B**, puede observar el deterioro progresivo de la calidad de agua en el acuífero a partir de los años 70, tomando como variable indicadora la conductividad eléctrica.



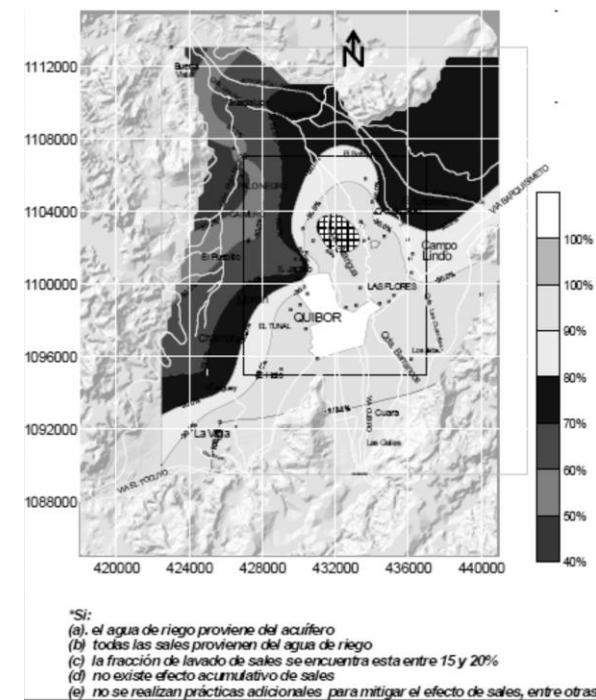
**FIGURA 2**  
(2a) Vista en planta (3D) fondo del acuífero (2b) Evolución de la calidad de agua. Elaboración propia.

### Relación conductividad, pérdida en el rendimiento de los cultivos

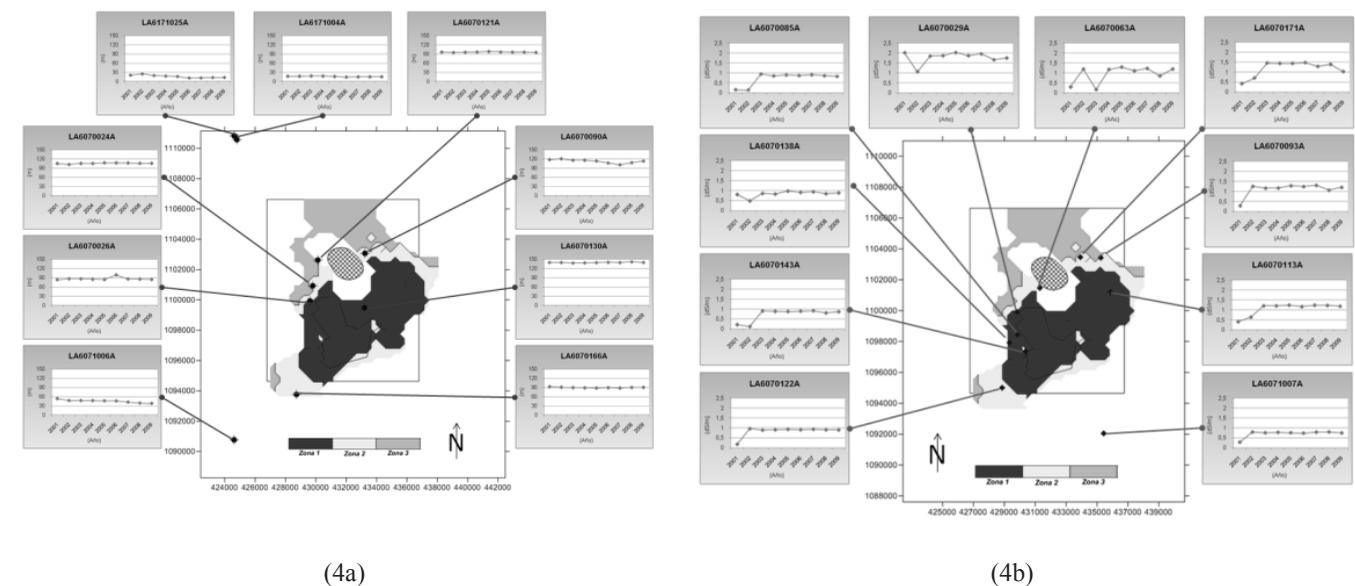
Se presenta en la **FIGURA 3** la relación perdida potencial del rendimiento de los cultivos en función a la calidad del agua para el año 2000. Esta indica que el riego con agua del acuífero pudiera afectar el rendimiento de los cultivos de no tomarse medidas para su mitigación.

### Propuesta de zonificación y evolución histórica de variables

Se proponen 3 zonas, a las cuales se impone restricción de explotación del recurso. Este plan fue acatado y ejecutado por la comisión COTESAGUAS. Se monitorearon profundidad del agua y conductividad hidráulica. Se encontró que tanto los niveles (**FIGURA 4A**) como la conductividad (**FIGURA 4B**) se estabilizaron sin presentar diferencias significativas.



**FIGURA 3**  
Pérdida en el rendimiento potencial al regar el cultivo de cebolla con agua del acuífero. Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 4**  
Tendencias en evolución de niveles (4a) y conductividad eléctrica en el acuífero (4b) luego de la implantación del plan de gestión integral del acuífero. Recarga artificial del acuífero

Se demuestra mediante simulación en MODFLOW del USGS en estudio realizado por CIDIAT-SHYQ (2012), Jégat et al (Ob. Cit)) que es posible la recarga artificial del acuífero en estratos profundos en las zonas identificadas en la **FIGURA 2A**. Esta recarga artificial permitiría observar la recuperación de niveles en el acuífero al cabo de unos 20 años de inyección continua de gastos en el mismo.

### Generación de una herramienta informática de apoyo a la gestión

Con la finalidad de divulgar la información a los productores y diferentes actores, se concibe una herramienta informática que permite mediante un software tipo consola presentar la información relevante del acuífero de forma espacial y en ventana. La Herramienta se le denomina ACUIQUIBOR, la misma puede ejecutarse bajo cualquier plataforma contemporánea de Windows®; y permite observar cotas, conductividad eléctrica pH, tipo de suelo, zonas de riego, profundidad de la roca, espesores saturados entre otras, pidiendo como insumo las coordenadas UTM del pozo o punto de interés.

Información básica sobre el Acuífero de Quíbor

Datos en Acuífero de Quíbor, obtenidos de modelos digitales elaborados por CIDIAT-ULA, con base en información de SHYQ

Entrada de datos

Por Archivo

Por teclado

Datum de Coordenadas UTM

REGVEN: Elipsoide GRS80 (Aprox WGS84)

CANOA: Elipsoide PSAD56-Hayford 1914

Este (m): 435186.62 Norte (m): 1101197.18 Id: DEMO Punto de prueba

Cota terreno (m): 673.73 Prof. Agua [09] (m): 143.56 Prof. Roca (m): 200.05

Esp. Sat. (m): 56.5 Qmedio Hist (l/s): 8.48 C.Eléctrica (dS/cm): 1.01 pH: 6.96

Zona Acuífero: 1 Sector Riego: 5 Serie Suelo: 19\_Los\_Ortices (19)

Elaborado por: Prof. Luis E. Mora M. CIDIAT-ULA, Mérida, Venezuela 2012, email: luis mora@ula.ve

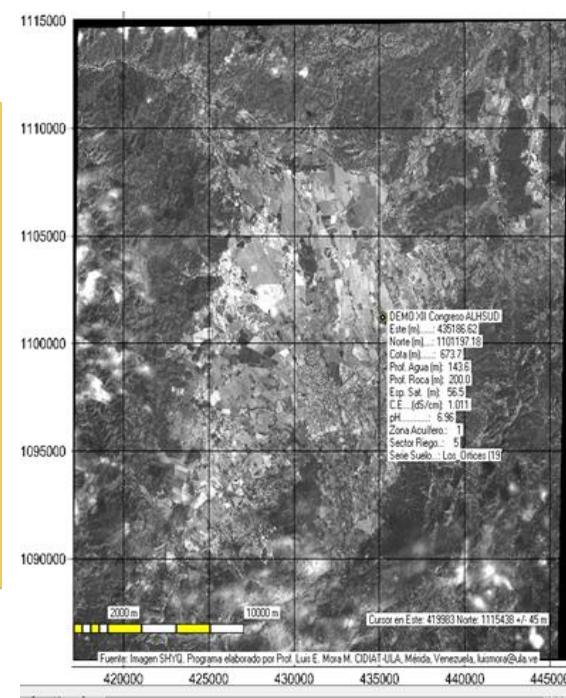
Calcular

Ver imagen

Finalizar

(5a)

**FIGURA 5**  
Programa ACUIQUIBOR. (5a) Parámetros del acuífero. (5b) Propuesta espacial de ubicación de puntos de interés.  
Fuente: Elaboración propia.



(5b)

### Conclusiones y recomendaciones

Las técnicas geoestadísticas, de simulación paramétrica e hidrogeológicas utilizadas son de amplia utilidad para el establecimiento de zonas de gestión.

El mapeo participativo y concertado con los actores del sistema acuífero, de las zonas de gestión para el acuífero analizado, fue de gran utilidad y logró la internalización de los esquemas de gestión por parte de los actores.

Se demuestra que es posible mitigar el deterioro de un acuífero sobre-explotado a través de planes de gestión concertados que aseguren la sustentabilidad en el aprovechamiento del recurso agua subterránea.

La recarga artificial del acuífero permitirá a mediano y largo plazo la recuperación de niveles en el mismo.

La herramienta informática desarrollada tipo consola, resulta de gran utilidad, debido a que cualquier usuario bajo diferentes plataformas de Windows pueda acceder a información de utilidad sobre el acuífero.

Se recomienda continuar un seguimiento decenal al plan de gestión del acuífero mediante las campaña de monitoreo de niveles y parámetros de calidad de agua.

Se recomienda implantar una herramienta de gestión en WEB, donde se pueda consultar de manera remota las variables de gestión del acuífero incluyendo otros aspectos de interés como interferencia entre pozos.

### Referencias

- Alvarado, J. (1989). *Estudio del sistema Hidrogeológico del Valle de Quíbor*. Caracas Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.
- Carrasco J. R (1982). *Estrategia de explotación del agua subterránea en el valle de Quíbor, Estado Lara*. Tesis M. Sc.. No publicada. Mérida-CIDIAT. Venezuela
- CIDIAT-APROSELA (2000), *Definición de criterios y parámetros para el manejo del agua subterránea en el Valle de Quíbor*, Mérida- Venezuela,
- CIDIAT-SHYQ, C.A. (2011). “*Actualización del Estudio sobre Criterios y Parámetros para el Aprovechamiento del Agua Subterránea en el Valle de Quíbor*”, Mérida, Venezuela
- CIDIAT-SHYQ (2012), *Estimación de la Recarga Artificial del acuífero del Valle de Quíbor*, Mérida, Venezuela
- Duque R, Barrios A. (1990). *Modelo de simulación paramétrica a escala mensual*. SIHIM. CIDIAT Mérida. Venezuela
- Journel, A. and Huijbregts, Ch. (1979). *Mining geostatistics*. Academic Press. London.
- Jégat H, Hernandez, R, Mora. L, (2012). *Recarga Artificial del Acuífero de Quíbor*. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. San José, Costa Rica
- Mora, L. E. (1996). *Aplicación de métodos geoestadísticos para el análisis de parámetros de calidad de agua en acuíferos*. Tesis M.Sc. No publicado. CIDIAT-Mérida. Venezuela
- Samper, F.J. y Carrera J. (1990). *Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona. España.
- Torres. G. A. (1993). *Evaluación de los recursos de agua subterránea en el Valle de Quíbor, Estado Lara*. Tesis M.Sc. Mérida: No publicada. CIDIAT-Mérida. Venezuela.