

# Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala

## *Proposal of a methodology for the esteem of areas of hydric recharge in Guatemala*

Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez<sup>1</sup> y Oscar Brown Manrique<sup>2</sup>

**RESUMEN.** El desarrollo socioeconómico de la región semiárida de Guatemala, esta ligada a la presencia y utilización del agua subterránea, la que a menudo es el único recurso hídrico disponible. Más del 15% de la superficie de Guatemala está integrada por áreas de características semiáridas en las que el conocimiento cuali-cuantitativo del recurso hídrico subterráneo resulta de vital importancia. A pesar de que la mayor parte de los procesos y mecanismos de la recarga de los acuíferos son relativamente bien conocidos, la obtención de una estimación fiable de la magnitud de la recarga natural presenta aún grandes dificultades. Ellas radican en la variabilidad espacial de los factores que determinan las condiciones climáticas y especialmente la variabilidad espacial de los factores que determinan la ocurrencia, magnitud y calidad de la recarga. Debido a ello, la mayoría de los métodos existentes para la estimación de la recarga generan resultados con un alto índice de incertidumbre. Este trabajo presenta un análisis sobre la aplicación del cálculo de la recarga en un área de 105 km<sup>2</sup> con resultados satisfactorios.

**Palabras clave:** agua subterránea, método de estimación, área semiárida.

**ABSTRACT.** Socio economic development of many semi-arid areas depends on the presence and usage of groundwater, which at times is the only source of freshwater available. More than 15% of Guatemala's surface is conformed by zones of semi-arid areas in which quality and quantities of groundwater are of vital importance. Even though the major processes and mechanisms of aquifer recharge are well known, obtaining reliable estimates of natural recharge is difficult to obtain. These methods are based on the spatial and temporal weather variable distributions and the existence and spatial distribution of factors that determine frequency, magnitude and quality of the recharge. It follows that most of these methods produce results with high uncertainly levels. This paper presents an analysis of the applicability of recharge evaluation, at the basin with in an area of 105 km<sup>2</sup>, with satisfactory results.

**Keyword:** Groundwater, estimation method, semi-arid area.

## INTRODUCCION

La posición geográfica de Guatemala hace del país un área estratégica para el estudio de los recursos naturales en la región; sin embargo, las cuencas son muy extensas (más de 2 000 km<sup>2</sup>), y se hace necesario dividir estas y realizar los estudios a nivel de subcuencas y microcuencas, como áreas piloto experimentales, donde las investigaciones puedan ser concentradas en un área relativamente pequeña, de fácil acceso y con características muy contrastantes (Herrera, *et al.*, 2007). Lo anterior, conduce a la necesidad de proponer investigaciones dirigidas a la evaluación, explotación, manejo y métodos de protección de la contaminación de acuíferos.

La problemática que motivó el estudio de "Determinación de áreas de recarga hídrica", partió del hecho de que a pesar de los avances significativos que se han obtenido en la determina-

ción de áreas de recarga hídrica a nivel mundial, en Guatemala la forma de estimación es por balances hidrológicos generales a nivel de cuenca, el análisis de fluctuaciones de los niveles freáticos, medidas de pérdidas de caudal en cursos influentes y manantiales, y métodos empíricos. Estos métodos difieren en los volúmenes de recarga estimados, por la adopción de modelos conceptuales incorrectos, la inobservancia de la variabilidad espacial y temporal de los factores involucrados en el proceso y los errores derivados de las mediciones y de cálculo.

A pesar de que los procesos y mecanismos de la recarga a los acuíferos son relativamente bien conocidos, la obtención de una estimación confiable de la magnitud de la recarga natural presenta aún grandes dificultades. Ellas radican en la variabilidad espacial y temporal de las condiciones climatológicas y especialmente de la variabilidad espacial de los factores que determinan la ocurrencia y magnitud de la recarga como la

Recibido 22/07/10, aprobado 10/09/11, trabajo 57/11, puntos de vista.

<sup>1</sup> M.Sc., Profesor Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Fax : 00(502)24189308, E-[iherrera@hotmial.com](mailto:iherrera@hotmial.com)

<sup>2</sup> Dr.C., Profesor investigador de la Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.

zona no saturada, litología del medio poroso o figurado, pendiente, tipo de cobertura vegetal y uso del suelo y la humedad antecedente del medio, la presencia de geoformas favorables al proceso, vías de escurrimiento y las propiedades físico químicas del medio subterráneo o sea su capacidad para constituir un acuífero con agua apta para los usos de la región.

En este trabajo se presenta un nuevo criterio para generar un mapa de unidades de recarga natural, con el fin de determinar las unidades naturales a analizar en una cuenca hidrográfica, como un conjunto de unidades para realizar el balance del suelo.

En el área existe información geológica, hidrogeológica y de suelos con la cual se elaboro el mapa de geomorfología. Los datos de clima se obtuvieron de dos estaciones que se instalaron, una en la parte alta a 1 552 msnm y otra en la parte baja a 762 msnm, para disponer de datos de dos años de registro.

Actualmente en la subcuenca objeto de estudio, existe muy poco aprovechamiento del agua superficial, que ofrece posibilidades limitadas en cuanto a cantidad y calidad, y se hace

necesario realizar esta investigación científica para determinar las cantidades disponibles del recurso hídrico en el área.

## OBJETIVO

El objetivo de éste trabajo es hacer un análisis por medio del balance hídrico suelos a partir de la geomorfología, los factores meteorológicos y el uso actual de la tierra para cuantificar la recarga hídrica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de investigación se ubica en la zona semiárida al oriente de Guatemala y presenta una superficie de 104,84 km<sup>2</sup>. La subcuenca de los ríos Pansigüis y Cushapa, se ubica localmente en el departamento de Jalapa (Figura 1) y en el municipio de San Luis Jilotepeque que geográficamente se localiza a 14° 38' 18" de latitud norte y 89°43'37" de longitud oeste, y se encuentra a 782 metros sobre el nivel del mar (IGN, 2004).

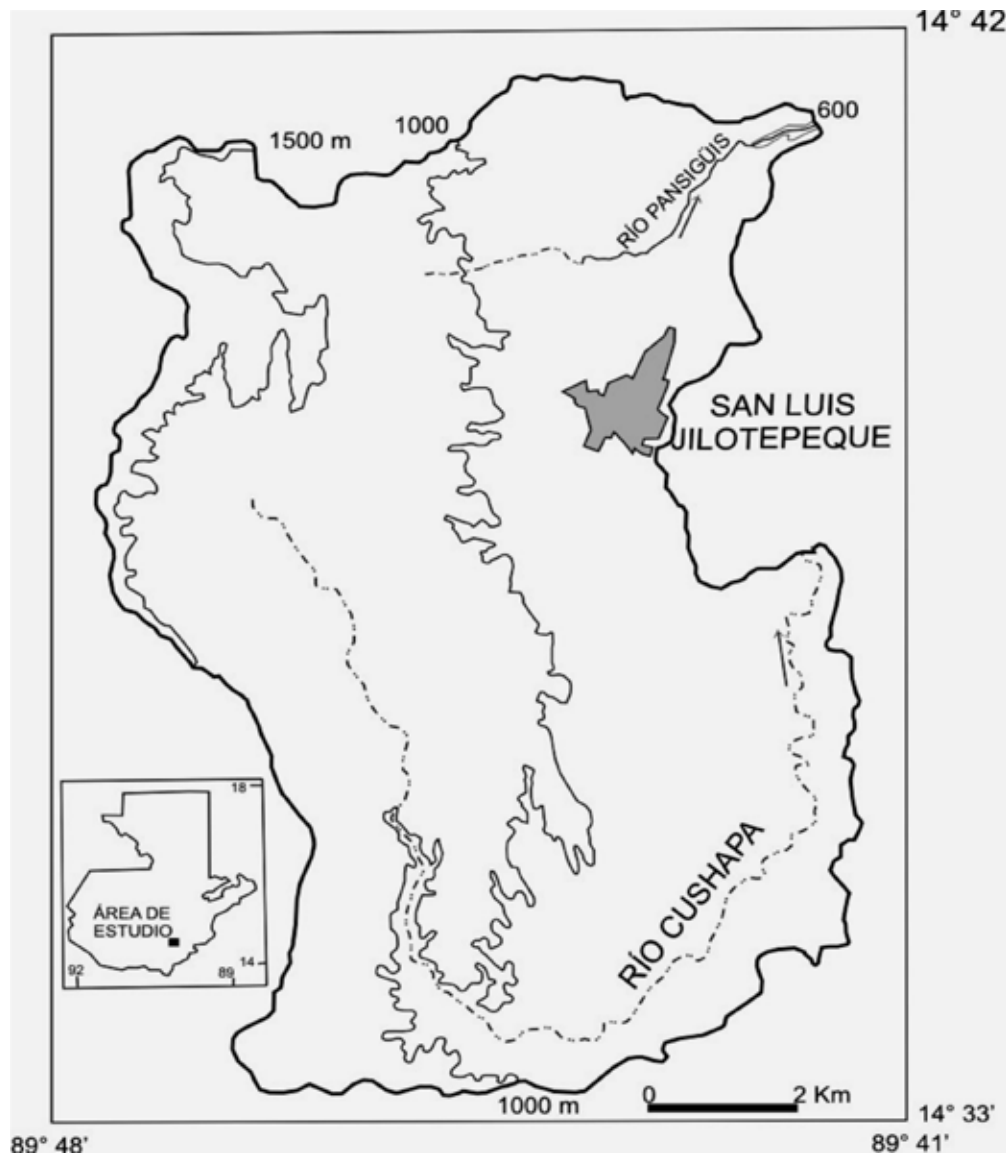


FIGURA 1. Ubicación de la subcuenca de los ríos Pansigüis y Cushapa.

La metodología utilizada se dividió en dos fases: obtención del mapa de unidades de recarga hídrica para el muestreo de campo y cálculo de la recarga hídrica de cada unidad obtenida, de acuerdo a la geomorfología y al uso actual del suelo.

El mapa geomorfológico se elaboró de acuerdo a fotos aéreas a escala 1:40 000 con el posterior chequeo de campo. La geomorfología comprende las geoformas, con similar topografía (grado de pendiente) de los terrenos, y las características físicas del suelo: textura, estructura y profundidad efectiva. El mapa final se elaboró a escala 1:50 000.

La meteorología definió principalmente la precipitación pluvial como materia prima de la recarga de los acuíferos y la evapotranspiración como pérdida en el sistema hídrico. El método para determinar la evapotranspiración fue el de Hargreaves (Herrera, 2002). Los parámetros meteorológicos determinados fueron precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa, de forma diaria y mensual, por medio de dos estaciones climáticas tipo C, una en la parte alta en La Cumbre a una elevación de 1 552 msnm y otra en la parte baja de la subcuenca en San Luis Jilotepeque a 762 msnm (Herrera, 2009).

En la cobertura vegetal fue importante definir las unidades de uso actual de la tierra. Para la generación de esta información se trabajó con ortofotos a escala 1:10 000 del año 2007, con formato electrónico y la posterior comprobación de campo. La unidad mínima de mapeo considerada fue 6,25 ha.

La generación de las unidades de recarga hídrica natural, se realizó por medio del traslape de los mapas temáticos a escala 1:50 000 de geomorfología y uso actual de la tierra. Los mapas se elaboraron con sistemas de información geográfica, utilizando MAP INFO y ARCVIEW para dar solución al problema de utilización de bases cartográficas a diferentes escalas (Fuentes, 2005). En base a estas unidades se realizaron las pruebas de infiltración con el método de Porchet y el muestreo de suelos a nivel de campo, con la posterior determinación en laboratorio de suelos de la capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente (Herrera, 2002).

La estimación de la recarga hídrica, se basó en la ecuación general del balance hídrico, la cual tiene la siguiente expresión:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

Las entradas (precipitación pluvial, aportes), y las salidas (evapotranspiración real, escorrentía, retención), se cuantificaron utilizando el método desarrollado por Schosinsky y Losilla (2000), en Costa Rica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las unidades hidrogeológicas de la subcuenca son dos: la unidad volcánica, formada por rocas andesíticas altamente fracturadas que constituyen la zona saturada; y la unidad sedimentaria, formada por rocas detríticas (conglomerados, areniscas y lutitas), constituyen un acuícludo y subyacen a las rocas volcánicas, mientras que las rocas carbonatadas que pueden formar acuíferos profundos, representan la base de las unidades estratigráficas presentes en la subcuenca.

En el área de estudio existe un acuífero local constituido por rocas volcánicas terciarias, el cual es captado por los

pozos perforados a menos de 200 m. Los límites al norte y al oeste, corresponden en gran medida con los de la subcuenca hidrográfica. Sin embargo, en sus partes sur y este, sobrepasan los límites de la subcuenca hidrológica superficial, siendo la cuenca hidrogeológica mucho más amplia, principalmente hacia Ipala. Los límites están en concordancia a las estructuras geológicas mayores: Falla de Jocotán (al norte), Horst de Pinula (al oeste), Graben de Ipala (al este) y Volcán de Ipala (al sur), los cuales hacen un control volcano-tectónico, que ha dado lugar al basculamiento de bloques geológicos (Herrera, 2009).

La dirección del flujo del agua subterránea tiene una tendencia de oeste a este, por lo que el flujo está controlado por el horst de Pinula y el graben de Ipala, con una recarga desde las partes altas al oeste. La transmisividad en la subcuenca varía de 17 a 55 m<sup>2</sup>/día, considerando estos valores bajos. De acuerdo al espesor aproximado del acuífero de 150 m, se obtiene una conductividad hidráulica de 0,11 a 0,4 m/día. El coeficiente de almacenamiento es de 3x10<sup>-4</sup>, que indica que es un acuífero confinado, y se correlaciona con la estratigrafía superficial que presenta capas de ceniza volcánica (arcilla) que constituyen capas confinantes.

En la subcuenca de los ríos Pansigüís y Cushapa se distinguen dos unidades geomorfológicas: el Horst de Pinula representado por la Montaña Pinula, y el Graben de Ipala que constituye los valles de San Luis Jilotepeque e Ipala.

La unidad de la Montaña de Pinula representa el 65% de la subcuenca y se encuentra constituida por flujos de lavas terciarias, lahares, tobas y cubiertas de capas de cenizas cuaternarias. La geomorfología es de las colinas volcánicas y escarpes que presenta pendientes entre 30 a 60%. Las elevaciones son de 900 a 1 700 msnm. En esta unidad también se separan las laderas sedimentarias degradadas con pendientes de 25 a 50%, los cerros de caliza (16 a 30% de pendiente) y el cono volcánico de Guistepeque con pendientes de 30 a 40%. En general los suelos han sido desarrollados a partir de los materiales volcánicos, que ha formado suelos de textura media (francos a franco arcillosos) donde existe una buena permeabilidad que favorece la infiltración.

La segunda unidad del valle de San Luis Jilotepeque, corresponde a la parte baja de la subcuenca (al este), representando el 35% de la misma. La unidad está constituida por materiales coluvio aluviales, superficies de tobas y laderas suaves de lavas. Esta unidad tiene elevaciones entre 700 a 900 msnm, por lo que el relieve es suave y las pendientes son muy planas a onduladas entre 3 a 12%, solo en las laderas de lavas se presentan pendientes entre 16 a 30%. Los suelos desarrollados son de textura media (arcillosos a franco arcillosos) y aunque poseen una topografía plana, presentan una infiltración baja.

Los valores de lluvia de la parte alta de la subcuenca son de 1137 mm, representados por la estación climática La Cumbre (Tabla 1), mientras que en la parte baja se presentan 949,5 mm por año en la estación San Luis Jilotepeque (Tabla 2). Los valores de temperatura, humedad relativa y evapotranspiración potencial son mayores en la parte baja (estación San Luis) con respecto a la parte alta (estación La Cumbre) de la subcuenca.

**TABLA 1. Datos de clima de la estación La Cumbre (14° 40' 35" N y 89° 47' 31" O, 1 552 msnm)**

Años 2007-2008	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación, mm	0,0	0,0	12,0	0,0	26,0	210,5	253,5	105,5	308,5	212,0	5,0	4,0	1137
Temperatura media Grados centígrados	20,1	21,5	21,5	23,4	23,1	22,5	22,5	21,8	22,0	20,3	17,6	18,4	21,2
Humedad relativa%	73,6	67,0	64,3	70,9	72,1	77,0	74,9	74,2	64,9	66,4	59,9	58,9	68,7
Evapotranspiración Potencial, mm	115,8	126,4	157,2	161,7	166,4	150,7	159,7	157,2	159,7	144,0	122,2	122	1743,3

**TABLA 2. Datos de clima de la estación San Luis (14° 38' 24" N y 89° 43' 04" O, 762 msnm)**

Años 2007-2008	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación, mm	0,0	0,0	0,0	0,0	48,0	296	129,5	92	275	109	0,0	0,0	949,5
Temperatura media Grados centígrados	23,7	24,1	24,5	26,3	28,2	27,9	26,6	25,1	27,5	26,6	24,0	22,3	25,5
Humedad relativa,%	76,1	75,0	75,8	71,2	70,7	74,0	75,4	78,6	71,7	75,8	79,0	77,7	75,1
Evapotranspiración Potencial, mm	123,6	125,7	153,8	172,6	189,7	176,3	174,9	162,7	172,3	154,6	122,6	116,4	1845,2

El uso actual de la tierra en la subcuenca es de arbustos y matorrales (66%), bosque (4,61%), café (1,3%), granos básicos (maíz y frijol) con 22,67%, frutales como jocote y cítricos (3,26%), y poblados (1,94%).

Con el traslape de las unidades de los mapas de geomorfología y uso actual del suelo, se determinaron 23 unidades de recarga hídrica, a las cuales se les realizó su respectivo cálculo de lamina de recarga potencial y se estimó un volumen de recarga en la subcuenca de 8,28 millones m<sup>3</sup>/año. Separando los componentes del hidrograma el flujo base presenta un volumen de 10,36 millones m<sup>3</sup>/año, lo que indica que existe un resultado satisfactorio.

De acuerdo a la metodología desarrollada por Herrera (2005), se obtuvo la categorización de los resultados de recarga hídrica específica anual de cada unidad. Las unidades se clasifican como: *altas áreas de recarga hídrica*, con volúmenes de recarga hídrica entre 150 000 a 300 000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, *medias* oscilan entre 50 000 a 150 000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, las *bajas áreas de recarga*, presentan volúmenes menores de 50 000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> (Figura 2).

Para cuantificar la potencialidad del acuífero, se compararon los volúmenes totales de la recarga y de la extracción de las aguas subterráneas de forma temporal (anual), con el fin de determinar las reservas potenciales reguladoras, sin tomar en cuenta las reservas permanentes (Herrera, 2002). Analizando la recarga total anual de las aguas subterráneas que se produce en la subcuenca de 8,28x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año y comparándola con la explotación actual de aproximadamente 1,28x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año, se tiene un balance positivo de 7x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año. Esto indica que existe un potencial hídrico subterráneo es relativamente alto en la subcuenca, donde la explotación actual representa aproximadamente el 15,5% del recurso temporal, es decir, existe un 84,5% de excedente de agua subterránea (Herrera, 2009).

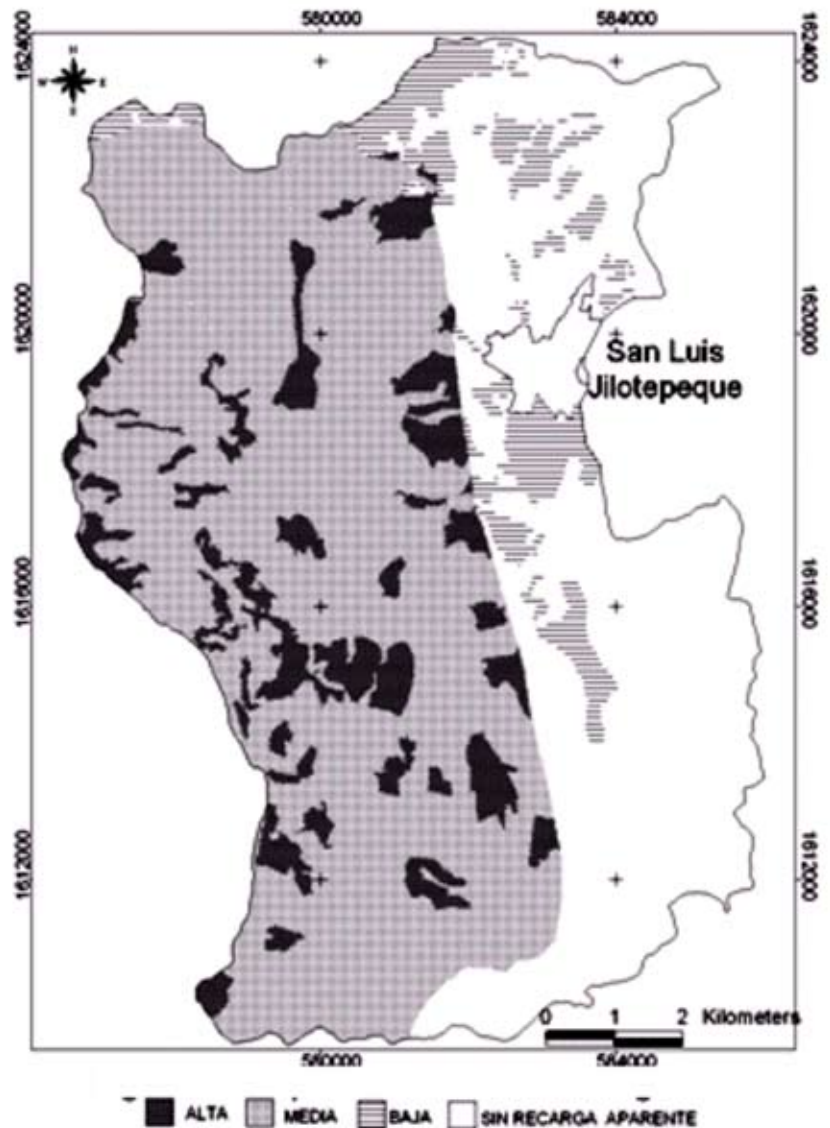


FIGURA 2. Mapa de áreas de recarga hídrica.

## CONCLUSIONES

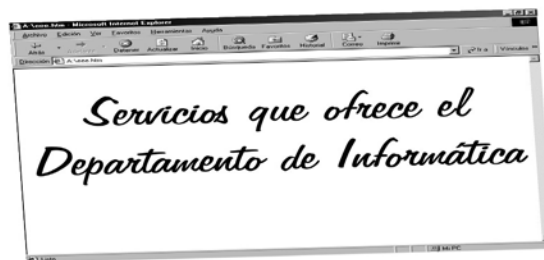
- La geología del área de estudio consiste principalmente de rocas volcánicas y rocas sedimentarias. La unidad volcánica esta formada por rocas fracturadas que constituyen la zona saturada y forman el acuífero local. La unidad sedimentaria, esta constituida por rocas detríticas que representan un acuífero en la base del acuífero, y por rocas carbonatadas, que es la unidad estratigráfica antigua que puede formar acuíferos más profundos.
- Los parámetros hidrogeológicos presentan valores de transmisividad y conductividad hidráulica bajos, con un coeficiente de almacenamiento típico de un acuífero confinado.

- En la subcuenca se distinguen dos unidades geomorfológicas: el horst de Pinula representado por la Montaña Pinula, constituye el 65% de la subcuenca y es donde existe una alta permeabilidad que favorece la infiltración. La unidad del graben de Ipala que aunque tiene una topografía plana, presenta suelos arcillosos con muy baja infiltración.
- La recarga total anual de las aguas subterráneas que se produce en la subcuenca de 105 km<sup>2</sup>, es mayor de ocho millones de metros cúbicos por año y tiene lugar principalmente en las partes altas de la subcuenca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHOQUE, J. y L. RODRÍGUEZ: Determinación de la descarga superficial y la recarga mediante modelos de balance. Recarga de acuíferos, En: **VI Congreso Argentino de Hidrogeología**, pp. 23–32, Argentina, 2009.
- DÍAZ, M. L.: El agua, un bien común, meritorio y estratégico su manejo por cuenca hidrográfica, En: **III Congreso latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas**, pp. 278, Libro de resúmenes, Perú, 2003.
- FRANCKE, C.S.: Manejo integral de cuencas hidrográficas, CONAP, En: **Seminario taller “Manejo ambiental de cuencas, visión y perspectivas”**, Chile, 2002.
- FUENTES, M. J.: *Determinación de principales áreas de recarga hídrica natural y de la calidad del agua en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz*, 199pp., **Tesis (en opción al título de Máster en Manejo de Suelo y Agua)**, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.
- HERRERA, I. I.: *Hidrogeología Práctica*, 345pp., Primera edición, Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2002.
- HERRERA, I. I.: Estudio hidrogeológico de la parte norte de la caldera del lago de Atilán, Guatemala, En: **Congreso Internacional de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos**, Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos (CARA), Nicaragua, 2005.
- HERRERA, I. I.: *Determinación de las áreas principales de recarga hídrica y propuesta de aprovechamiento sostenible del agua subterránea, superficial y de lluvia en la subcuenca de los ríos Pansigüís y Cushapa, Jalapa*, 165pp., Informe Final, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT) y Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.
- HERRERA, I. I., E. OROZCO, y A. PADILLA: *Guía para el manejo de cuencas hidrográficas*, 135pp., Primera edición, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.
- GUATEMALA, INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN): *Monografía de San Luis Jilotepeque*, 40pp., Jalapa, Guatemala, (monografía), 2004.
- GUATEMALA, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE): *Censos nacionales, XI de Población y VI de Habitación*, República de Guatemala, 2002.
- SCHOSINSKY, G. y M. LOSILLA: “Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual”, *Revista Geológica de América Central*, 23: 43-55, 2000.

## Universidad Agraria de La Habana



### Diseño y montaje de Proyectos de Redes Diseño y montaje de Proyectos de Informática Educativa

#### Cursos

Diseño de Páginas WEB  
Programación bajo ambiente WEB  
Programación bajo ambiente Windows  
Sistema de información geográfica  
Diseño de multimedia  
Teleclases

Para mayor información: E\_mail: lilibeth@isch.edu.cu