

Sesión Regular

# **GEOHIDROLOGÍA**

Organizador:

Rogelio Vázquez González

GEOH-1

### ESTIMACIÓN REGIONAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN UNA ZONA SEMI-ÁRIDA

Mata Martínez Martha Adriana y Carrera Hernández Jaime J.  
 División de Geociencias Aplicadas, IPICYT  
 adriana.mata@ipicyt.edu.mx

Actualmente en todos los países del mundo se trabaja en mejorar la manera de administrar los recursos hídricos. Con el aumento en la producción de alimentos para sostener a la población humana preservando el equilibrio e integridad del medio ambiente se requiere de mayor precisión en la forma de cuantificar los componentes del ciclo hidrológico, incluyendo la Evapotranspiración (ET). En términos globales, la Evapotranspiración (ET) de la superficie consume aproximadamente el 60% de la precipitación media. Por lo tanto es indispensable contar con información confiable de las tasas de ET, pues estas son un factor determinante en la recarga y descarga de los acuíferos. Las técnicas convencionales para estimar la ET basadas principalmente en mediciones de campo proveen resultados con poca incertidumbre para áreas homogéneas, pero no son aplicables a escala regional donde existe una gran variedad de paisajes y en donde la teledetección es la única manera factible para estimar la ET. En este trabajo se utilizó una metodología para estimar la variación espacial e intraanual de la ET en una región semi-árida de México, la cual consiste en aplicar secuencialmente una serie de ecuaciones a cada píxel de la imagen de satélite para realizar un balance de energía de la superficie y de esta manera calcular la ET. Esta metodología fue desarrollada por Allen et al. (2007) en la Universidad de Idaho en Estados Unidos para ser aplicada en regiones con climas áridos y semi-áridos y con superficies de topografía irregular. Ha sido aplicada en la determinación del consumo de agua de la vegetación, en la optimización de la cantidad de agua que es irrigada a los campos agrícolas, en la planeación y regulación de los derechos del agua y en la estimación del agotamiento de los acuíferos. Sin embargo, no ha sido reportada su aplicación y validación en México. Entre los datos de entrada además de las imágenes de satélite, es necesario contar con la distribución espacial de la temperatura mínima, un modelo digital de elevación, el mapa de uso de suelo y datos climatológicos como la velocidad del viento y la precipitación. Los resultados de esta investigación contribuirán al desarrollo de un modelo hidrogeológico de la región de estudio, debido a que normalmente la ET y la infiltración son desconocidas; si se pueden determinar las tasas de ET puede derivarse la estimación de la recarga como un residual. Este balance hídrico de la cuenca del Valle de San Luis Potosí pueden ser utilizados para tomar decisiones críticas con respecto a la administración y planeación de los recursos hídricos.

GEOH-2

### IMPORTANCE OF THE VADOSE ZONE TO DEVELOP RECHARGE INDICES

Carrera Hernández Jaime J.<sup>1</sup>, Mendoza Carl<sup>2</sup>,  
 Devito Kevin<sup>2</sup>, Smerdon Brian<sup>3</sup> y Petrone Richard<sup>4</sup>

<sup>1</sup> División de Geociencias Aplicadas, IPICYT

<sup>2</sup> University of Alberta, Canada

<sup>3</sup> CSIRO

<sup>4</sup> Wilfrid Laurier University, Canada

jaime.carrera@ipicyt.edu.mx

Numerical experiments of the unsaturated zone were developed using different water table depths and soil textures to investigate groundwater recharge dynamics. This approach was used because on this region, unsaturated zone storage and vertical flow dominates, rather than lateral flow or runoff due to the region's sub-humid climate and deep glacial sediments.

The experiments consisted of one-dimensional simulations, which were variably discretized at both the top and bottom, while the water table was fixed at the bottom. These simulations used net daily climatological flux (P-ET) as the top boundary condition, and fixing the water table at 2, 4, 6 and 12 metres in order to obtain fluxes at the water table (i.e. recharge/upflux) using ten different soil textures. The developed soil moisture profiles illustrate how the soil's storage capacity impacts recharge, as more water is kept within the soil when it has low saturation values, in particular for deep water tables. Strong interaction between shallow water tables (i.e. 2 m) and atmospheric variability is observed on all materials, an interaction that is reduced when the vadose zone thickens, particularly after a dry cycle, as a series of positive net atmospheric fluxes are needed to reduce soil moisture storage for recharge to occur. During the driest cycle in record, recharge was constant (# 7 mm/month) for 19 years when the water table was located at a depth of 12 m on medium and fine textured soils, increasing only after the soil gained enough moisture to allow the wetting fronts to become recharge. As will be discussed, the results obtained with these simulations can offer a guideline to develop recharge indices which consider antecedent soil moisture for a given year.

GEOH-3

### DETERMINACIÓN DE LA RECARGA, EN ZONAS EXTENSAS, SEMIÁRIDAS, Y POCO EXPLORADAS, UTILIZANDO INFORMACIÓN GEOLÓGICA Y PRECIPITACIÓN

Mendoza Cázares Edgar Yuri  
 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA  
 edgar\_mendoza@tlaloc.imta.mx

En la gestión del agua subterránea es indispensable evaluar el valor de la recarga, con el objeto de garantizar la explotación sustentable del recurso hídrico. La recarga, de un acuífero, es definida como el volumen de agua que atraviesa la zona no saturada e ingresa al almacenamiento del acuífero.

Existen tres mecanismos principales de recarga: 1) Recarga Directa: es la cantidad de agua subterránea que se suma al almacenamiento de un acuífero producto de un exceso de humedad del suelo y un déficit de la evapotranspiración. La percolación, del agua, es de forma vertical y directa a través de las capas del subsuelo. 2) Recarga indirecta: Percolación del agua, al nivel freático, a través de las capas que cubren el cauce del agua superficial. 3) Recarga localizada: Forma intermedia de la recarga subterránea, resultado de la concentración de agua superficial, en ausencia de canales bien definidos.

Los acuíferos identificados del este del Estado de Chihuahua, se caracterizan por: ubicarse en zonas de escasa precipitación (semiárida a árida), contar con extensas áreas y poca información geohidrológica. Tomando en cuenta las características, anteriormente indicadas, se propone una metodología sencilla, cuya principal suposición es la existencia de un equilibrio entre el agua que se infiltra y el agua que sale de forma natural del acuífero. Para calcular el valor de la recarga, se requiere de estimar el valor promedio anual de la precipitación, la geología superficial y el área de cada unidad.

Debido a que se trabaja en regiones extensas, el procedimiento utiliza información digital, escala 1:250,000, de la geología superficial y el valor estimado de precipitación anual (krigeado). Los datos se agrupan en mallas regulares que punto a punto se multiplican por: el valor de la precipitación promedio anual, el área del grupo litológico y un coeficiente de infiltración (porcentaje de la precipitación destinado a la recarga, por grupo litológico), calculado por medio de la aportación hidráulica por unidad litológica (Sanz, 2002).

El valor de la recarga se expresa mediante la fórmula:

$$R = A_i * PI * C_i$$

donde:

R = Recarga

A<sub>i</sub> = Área, por grupo litológico;

PI = Precipitación promedio anual;

C<sub>i</sub> = Coeficiente de infiltración.

Los resultados preliminares de la recarga (en un acuífero poroso, tipos libre, con bombeo incipiente y escasa información geohidrológica), muestran las zonas de mayor recarga y cuantifican el volumen que aporta cada grupo litológico (Sedimentos aluviales: grava, arenas; Conglomerados; Areniscas; Calizas y Dolomías; Margas, limos y arcillas y Otras rocas, ígneas). El grupo de Calizas es el que aporta mayor volumen a la recarga, seguido de los aluviales y conglomerados. Los datos son congruentes con lo reportado en la literatura (Sanz, 1991, 2002). Es necesario argumentar, con mayor precisión, el coeficiente de infiltración aplicado a cada grupo litológico, debido a que los valores no son calculados en las mismas condiciones que Sanz (1991), sin embargo el porcentaje es útil para realizar un primer cálculo de la recarga en acuíferos extensos, con bombeo incipiente y nula información geohidrológica.

GEOH-4

### ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS VARIACIONES DE NIVEL PIEZOMÉTRICO EN UN CONJUNTO DE POZOS DE MONITOREO UBICADOS EN LA ZONA DEL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO PRIETO

Fuentes Arreazola Mario Alberto y Vázquez González Rogelio  
 División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
 mfuentes@cicese.mx

La zona geotérmica del Valle de Mexicali, se localiza en la cuenca de Salton, donde el escalonamiento en dirección noreste de la fallas Cucapá, Cerro Prieto e Imperial, originan una sub-cuenca de origen tectónico de aproximadamente 5 km de espesor, rellena de sedimentos marinos y continentales del terciario – cuaternario. Es posible diferenciar dos horizontes principales: Sedimentos Clásticos Consolidados donde se ubica el yacimiento geotérmico actual y los Sedimentos Clásticos No Consolidados conteniendo el acuífero superficial.

Dentro de los muchos aspectos a investigar en esta zona, uno de los más importantes es la interacción entre ambas unidades geohidrológicas, lo que motivó a la implementación e instrumentación de un conjunto de pozos de monitoreo en el acuífero superficial presente en el campo geotérmico; por lo que en este trabajo se presentan los resultados del análisis espectral de la base de datos,

producto del registro semi-continuo de la variación de nivel piezométrico para el periodo 2003 – 2008.

Para identificar las componentes determinísticas y estocásticas de la base de datos, se aplicaron las técnicas de análisis autocorrelatorio y espectral. La primera ilustra la variación en el dominio del tiempo, mientras que la segunda, lo hace en el dominio de la frecuencia. La implementación de estas técnicas tiene la finalidad de identificar en el espectro resultante del análisis clásico de Fourier, la mayor parte de los posibles fenómenos naturales y antropogénicos que generan las variaciones de nivel piezométrico en los pozos de monitoreo.

GEOH-5

#### EXPLORACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA UTILIZANDO MÉTODOS GEOFÍSICOS EN EL ALTIPLANO POTOSINO: ACUÍFERO DE MATEHUALA

González Piña Juan Manuel  
División de Geociencias Aplicadas, IPICYT  
briseida.lopez@ipicyt.edu.mx

En el estado de San Luis Potosí, la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo de las principales ciudades lo constituye el agua subterránea. Debido a las condiciones climáticas e hidrogeológicas éste recurso cada vez se extrae de los acuíferos a mayores profundidades.

Para el caso del acuífero de Matehuala, éste opera bajo un régimen de extracción que ha acelerado el abatimiento de los niveles de agua y ha encarecido los costos de bombeo; situación que no solo prevalece sino que presenta una tendencia creciente que pone en riesgo el abastecimiento y la calidad del agua potable para las poblaciones que de él dependen.

A nivel regional la unidad más antigua que ha sido reportada pertenece al Cretácico Inferior y corresponde a la Formación Taraises, la cual está compuesta por calizas arcillosas de baja conductividad hidráulica. La formación Taraises está cubierta por calizas de estratificación delgada, pertenecientes a la Formación Tamaulipas Inferior, también del Cretácico Inferior. Sobre estas unidades se encuentra la Formación El Abra del Cretácico Medio, que es una de las unidades más importantes desde el punto de vista hidrogeológico en la región. Unidades del Cretácico Superior, Formaciones Indidura y Caracol, formados por lutitas y margas con baja conductividad hidráulica, se encuentran cubriendo las rocas del Cretácico Medio. Las principales cuencas de la región se encuentran cubiertas por material terrígeno de edad terciaria.

Para llevar a cabo esta investigación se realizaron trabajos de exploración hidrogeofísica, Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) en parte del acuífero de Matehuala, de los cuales se obtuvieron los valores de resistividad eléctrica, potencial espontáneo y cargabilidad del terreno. Los datos de resistividad eléctrica fueron procesados con el software IX1D que nos ayudó a obtener las resistividades verdaderas y espesores de las capas, lo cual se utilizó para crear perfiles geoeléctricos que nos da una idea del comportamiento del terreno y nos dan una imagen muy cercana a la realidad de las características y condiciones del subsuelo.

Con esto podemos determinar las zonas apropiadas para la creación de pozos de explotación del acuífero y la distribución de los mismos para que abastezcan a la población de Matehuala y las zonas aledañas que se ven necesitadas del valioso líquido.

Los resultados de los sondeos eléctricos muestran un conglomerado a poca profundidad que se vuelve más grueso en la parte central del perfil, alcanzando un espesor máximo de 85 m con resistividades que van de los 129 a 219 ohm-m. Por debajo de esta capa se detectó un horizonte de lutitas que solo se presenta en la parte central del valle, con una resistividad de 8 a 14 ohm-m. Subyaciendo a esta último horizonte se encontró una capa de calizas con buen espesor y características apropiadas para el almacenamiento de agua, con valores de resistividad que oscilan entre 81 y 159 ohm-m. Por último tenemos una caliza poco fracturada con valor de resistividad de 1297 ohm-m.

GEOH-6

#### AVANCES DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA MEDIANTE MÉTODOS GEOFÍSICOS DE LA FRACCIÓN NORTE DEL ACUÍFERO VALPARAÍSO

Pasillas Pasillas Dania Isaura y Vázquez González Rogelio  
División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
dpasilla@cicese.mx

Ante la problemática con el suministro del recurso vital más importante en el mundo y al contraste regional entre el desarrollo demográfico y la disponibilidad de agua en México, surge la necesidad de realizar estudios enfocados a cuantificar y analizar la existencia de agua en el subsuelo, con la finalidad de generar un aprovechamiento sustentable. El presente trabajo está enfocado a analizar la región suroeste del estado de Zacatecas, donde se analizaron y realizarán investigaciones geofísicas e hidrogeológicas en el área del acuífero Valparaíso con clave ZAC04 de la Región Hidrológica

número 12, específicamente en la mitad de la porción superficial que lo cubre, la cual corresponde a la subcuenca hidrológica "Río San Mateo" con clave RH12Ka, enmarcada en coordenadas geográficas de 22°42'00" - 23°07'00" latitud norte y 103°11'00" - 104°44'00" longitud Oeste, aproximadamente. El proyecto está enfocado a caracterizar la estructura subterránea de tal superficie, inferir las condiciones hidrogeológicas, identificar factores y características físico-químicas del agua que se extrae, así como establecer la relación entre el recurso y la geología del lugar.

Para el análisis y evaluación del acuífero, la etapa inicial consistió en la recopilación de información disponible, obtenida en proyectos realizados con anterioridad en la zona, tal como; hidrogeología, geología regional, local y estratigráfica, datos aeromagnéticos, sondeos eléctricos verticales (SEV's), además de antecedentes de norias y escurrimientos superficiales del acuífero (análisis de calidad de agua y pruebas de bombeo). Dicha información se obtuvo en instituciones como CEAPA, INIFAP, INEGI y SGM.

Posteriormente se realizó la integración, análisis e interpretación de los datos disponibles, utilizando algoritmos de interpretación unidimensional para los sondeos eléctricos y la correlación de las anomalías magnéticas y el marco geológico presente. El estudio conjunto de la información se realiza utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), a manera de identificar zonas con deficiencias de datos relevantes y obtener un panorama general del área. Con la finalidad de programar trabajos de campo, para complementar la información y lograr los objetivos.

GEOH-7

#### MODELO 3D DEL DISTRITO LAS TABLAS A PARTIR DE DATOS AEROMAGNÉTICOS: IMPLICACIONES EN SU CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Batista Rodríguez José Alberto<sup>1</sup>, Caballero Alberto<sup>2</sup>, Pérez Flores Marco Antonio<sup>3</sup> y Camacho Ortégón Luis Fernando<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería, UADEC

<sup>2</sup>Universidad de Panamá

<sup>3</sup>División de Ciencias de la Tierra, CICESE

jabatistar@yahoo.com

Se presenta un modelo 3D del Distrito Las Tablas, obtenido a partir de la inversión 3D de datos aeromagnéticos, utilizando la información de geología de superficie, pozos de agua potable y topografía para constreñir el modelo. Se muestran las principales características tectónicas, variaciones de profundidades y espesores de los grupos litológicos. El modelo determina la ubicación, límite, formas y profundidades de la sub-cuenca hidrogeológica de los ríos Mensabé y Salado, y de las cuencas sedimentarias que la conforman. También evidencia las relaciones existentes entre la tectónica y estas cuencas, sugiriendo las probables zonas de ubicación de los acuíferos, las relaciones entre ellos, y sus respectivas zonas de recargas, descargas y de probables contaminación antrópica. Las fallas identificadas en el modelo constituyen los principales conductos de recargas, descargas y de probable contaminación antrópica de los acuíferos. Las características geológicas y geométricas presentes en el modelo 3D, constituyen elementos básicos para planificar posteriores estudios hidrogeológicos, geofísicos y ubicaciones de pozos de agua potable.

GEOH-8

#### DISEÑO ÓPTIMO DE UNA RED DE MONITOREO PARA EL BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA ZONA CENTRO DEL PAÍS

Núñez Hernández Elsa Yolanda y Herrera Zamarrón Graciela  
Instituto de Geofísica, UNAM  
elsa.nunez6@yahoo.com.mx

El diseño óptimo de redes de monitoreo del agua subterránea tradicionalmente ha tenido como objetivo obtener una buena estimación de la carga hidráulica en un acuífero. Este objetivo se puede conseguir con la aplicación de diferentes métodos. Los métodos geoestadísticos se centran en minimizar la incertidumbre del error de la estimación de la carga hidráulica. Sin embargo, cuando se introduce como criterio de optimización minimizar la incertidumbre del balance de agua subterránea entonces, por lo general no basta con obtener una buena estimación de la carga hidráulica, ya que otras variables pueden intervenir en el balance. Por lo anterior, una red de monitoreo óptima para estimar la carga hidráulica, no necesariamente es óptima para calcular el balance del agua. La presente investigación tiene por objetivo proponer una metodología para el diseño óptimo de redes de monitoreo para el balance de aguas subterráneas. La metodología utiliza simulación estocástica secuencial Gaussiana para generar realizaciones de la carga hidráulica condicionadas con datos, un filtro de Kalman y optimización. En esta plática se presentarán los avances en la investigación.

GEOH-9

### APLICACIÓN DEL MODELO FHP EN LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN MEDIOS CON POROSIDAD VUGULAR Y FRACTURADO

Mota Córdova Angélica y Contreras Pérez Juan  
 División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
 amota@cicese.mx

El fenómeno de difusión de contaminantes generalmente se modela resolviendo ecuaciones diferenciales definidas en un medio macroscópico continuo. La solución de estas ecuaciones es continua y suave. Estas características no siempre se presentan en la naturaleza. Este trabajo tiene como objetivo presentar un modelo computacional basado en la difusión microscópica de partículas. El fenómeno está gobernado por colisiones entre ellas.

Aquí utilizamos el modelo FHP o modelo de celosías de gas. El modelo de celosías de gas simula en dos dimensiones el movimiento de partículas en una red hexagonal. El modelo evoluciona de acuerdo a reglas locales de interacción entre las partículas. Las reglas locales cumplen las leyes de conservación de energía, densidad y momento. En simulaciones con números grandes de partículas su comportamiento converge a la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes.

Otra ventaja es que el modelo FHP tiene la capacidad de incorporar sólidos y se puede generar un medio poroso de forma natural. Por lo tanto se puede simular los detalles de flujo y transporte en los espacios del medio poroso.

Se analizó el comportamiento del modelo de celosías. Se encontró que los sistemas de partículas tienen fuertes efectos dinámicos que no son anticipados por la ecuación de difusión clásica.

El modelo se aplicó a un problema de infiltración de aguas superficiales contaminadas. Los contaminantes utilizados en el modelo se asumen conservativos (sin reacciones). La simulación numérica considera un medio estratificado dividido en dos regiones: una zona superior con estructura vugular y una zona inferior con estructura fracturada. En la zona vugular el flujo se dispersa en forma de ondas difusivas y en la zona fracturada el flujo se canaliza a través de las fracturas.

La solución numérica difiere fuertemente de la solución de la ecuación de difusión de Richards la cual es empleada usualmente para simular el flujo en medios porosos.

GEOH-10

### LA MODELACIÓN NUMÉRICA COMO HERRAMIENTA EN LA EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL SISTEMA ACUÍFERO DEL VALLE DE SAN LUIS POTOSÍ

López Álvarez Briseida y Ramos Leal José Alfredo  
 División de Geociencias Aplicadas, IPICYT  
 briseida.lopez@ipicyt.edu.mx

La historia de la ciudad San Luis Potosí (SLP) se remonta al siglo XVI, región en pugna entre los conquistadores españoles y los grupos nativos. Esta región era diversa tanto en grupos étnicos nómadas como en su clima, flora y fauna, geografía y relieve. El ejemplo de este escenario era la subregión conocida como el Gran Tunal (hoy Valle de SLP). Con el proceso de pacificación y colonización de los nativos, el descubrimiento de recursos mineros (yacimientos de oro y plata) en el llamado Cerro de San Pedro y la presencia de cuerpos de agua en el valle, fue fundada la ciudad nombrada San Luis Minas del Potosí, el 13 de Noviembre de 1592. A partir de éste periodo se da inicio a los dos primeros usos de suelo (urbano y minero).

La minería fue el principal detonador del crecimiento y desarrollo de la nueva población, y además la causa de grandes modificaciones del entorno. Una segunda actividad económica que más adelante representaría un factor de impacto importante en la calidad del agua no solo superficial sino subterránea, fue la agricultura; la cual, se desarrollaba dentro de la zona urbano a través de huertos a partir del siglo XVII. El tercer uso de suelo fue el industrial, que surgió de manera importante en la segunda mitad del siglo XX.

Hasta mediados del siglo pasado los cambios sufridos en el Valle de SLP habían sido relativamente paulatinos. Sin embargo, a cuatro siglos de la fundación de la ciudad se han experimentado cambios muy drásticos en los usos de suelo impactando en gran medida el sistema hidrogeológico en los últimos 50 años. Este trabajo está enfocado a evaluar el impacto que ha generado la actividad antropogénica sobre el sistema acuífero del Valle SLP desde inicios de la fundación de la ciudad hasta la actualidad.

GEOH-11

### DESARROLLO DE SOFTWARE LIBRE PARA LA MODELACIÓN DE FLUJO SUBTERRÁNEO POR MEDIO DE LA HERRAMIENTA DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) GRASS Y EL MODELO MATEMÁTICO MODFLOW

Chang Martínez Tania Oyuki y Carrera Hernández Jaime J.  
 División de Geociencias Aplicadas, IPICYT  
 angeles.martinez@ipicyt.edu.mx

Para conocer el comportamiento de un sistema de flujo subterráneo es necesario conocer las ecuaciones que lo describen, así como también las variables necesarias para resolverlas. Los métodos para resolver dichas ecuaciones son de carácter numérico, por lo que es necesario utilizar herramientas computacionales. En este trabajo se busca desarrollar un software libre que haga uso de dos herramientas que se encuentran disponibles en la web, por una parte el software Open Source Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) GIS que, por medio de Sistemas de Información Geográfica (GIS en inglés) permite crear, manipular y visualizar mapas de datos georeferenciados, teniendo como ventaja que los datos se encuentran en un plano o el espacio, representados por un mapa que cumple las características de una malla cuadrículada (grid). Por otra parte se tiene un código libre, MODFLOW, que resuelve las ecuaciones de flujo subterráneo por medio del método de diferencias finitas, método en el cual es necesario tener un mallado (grid). MODFLOW esta escrito en Fortran y es de libre acceso. El módulo que se busca crear en este trabajo pretende integrar MODFLOW con GRASS GIS por medio de una interfaz gráfica, la cual permitirá que los datos guardados en GRASS sean los parámetros de entrada para el modelo de flujo utilizado por MODFLOW. Las ventajas que tiene el módulo es que sera de código libre, para hacer el modelo de flujo no sera necesario hacer la conversión de formatos necesarios para ambos softwares por lo tanto el proceso de modelación será más eficiente.

GEOH-12

### MODELO DE FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ACUÍFERO EL SAUZ-ENCINILLAS, USANDO VISUAL MODFLOW

Pinales Munguía Adán, Rubio Arias Héctor, Peralta Segovia Irma,  
 Martínez Rubio Javier, Blas Silverio Efrain y Martínez Rodríguez Maclen  
 Facultad de Ingeniería, UACH  
 apinales@uach.mx

Se construyó un modelo de flujo del agua subterránea del acuífero El Sauz-Encinillas. La simulación hidrodinámica se efectuó mediante el código de computadora MODFLOW, desarrollado en el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS). El procesamiento de los datos de entrada – salida del simulador se realizó en el ambiente gráfico del paquete Visual MODFLOW v. 4.2

En este diseño la región del modelo se sitúa entre las coordenadas UTM 3°194,500 a 3°283,000 de latitud norte y 330,000 a 399,500 de longitud este. El área total del modelo es 2853.6 km<sup>2</sup>.

La discretización espacial en diferencias finitas en el modelo hidrodinámico del acuífero, consta de 177 filas, 139 columnas y 2 capas. Las filas y columnas están orientadas conforme a los ejes cartográficos. Las celdas de la malla son cuadradas de 500 m de lado.

Se definieron dos periodos de esfuerzo hidrológico, el primero se extiende desde diciembre de 1978 hasta junio de 1990, con una duración de 4201 días y el segundo comprende desde el final del primero hasta mayo de 2008, con una duración de 6544 días, en total el periodo de calibración va de diciembre de 1978 a mayo de 2008 con una duración de 10745 días.

Los parámetros hidráulicos del modelo son la conductividad hidráulica (K) y los parámetros de almacenamiento, que son el rendimiento específico (Sy) que opera en la primera capa bajo condiciones freáticas, y el almacenamiento específico (Ss) que opera en la segunda.

Para la calibración del modelo hidrodinámico se utilizaron los datos piezométricos proporcionados por la CONAGUA, de la Gerencia estatal del estado de Chihuahua, particularmente la Gerencia Técnica. Los puntos de observación de la carga hidráulica están en función de las características constructivas del pozo, y en el caso de este acuífero se especificaron en la capa 1 del modelo. El periodo de calibración se extiende desde diciembre de 1978 (condiciones iniciales) hasta mayo de 2008 (10,745 días).

Los resultados de la calibración para enero de 1983 y mayo de 2008, se cuantificaron a través del error medio el cual fue de alrededor de 3 m en ambas fechas y la RECM (Raíz del Error Cuadrático Medio) Normalizada fue de tan sólo 3.4 y 3.0 %, respectivamente. Este último estadístico es el cociente expresado en términos porcentuales de la RECM y la PTCS (Pérdida Total de Carga en el Sistema). Esta última es la diferencia entre la mayor y la menor de las cargas observadas.

GEOH-13

### ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD ACUÍFERA DE LA PORCIÓN NORESTE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, APLICANDO LA METODOLOGÍA AVI

Pinales Munguía Adán, Ibarra Alarcón Cesar, Villalba María de Lourdes, Royo Ochoa Miguel, De la Garza Aguilar Rodrigo y Espino Valdés María  
*Facultad de Ingeniería, UACH*  
 apinales@uach.mx

Dentro del proyecto titulado "Monitoreo de la disponibilidad y calidad del agua superficial y subterránea de los acuíferos Chihuahua-Sacramento y El Sauz-encinillas", financiado por FOMIX-CONACYT-GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, con clave de registro CHIH-2008-C02-91739, se elaboró un mapa de vulnerabilidad a la contaminación acuifera.

Este mapa abarca los acuíferos: Valle de Juárez, Valle del Peso, Aldama-El Cuervo, Laguna Tres Castillos, Laguna de Tarabillas, Los Lamentos y El Cuarenta, que se ubican en la porción noreste del estado de Chihuahua y dentro de las coordenadas geográficas 29° 31' 07" a 31° 47' 02" de latitud norte y 104° 27' 29" a 106° 37' 21" de longitud este, y ocupan una área de 20,971 km<sup>2</sup>.

Para la construcción del mapa de vulnerabilidad a la contaminación acuifera se utilizó el método AVI (Van Stempvoort et al. 1992). El AVI es un método para cuantificar la vulnerabilidad natural de un acuífero por medio de la resistencia hidráulica vertical (CT) al pasar los flujos de agua por diferentes estratos de suelos que sobreyacen el acuífero. La resistencia hidráulica es un factor que indica el tiempo aproximado del caudal del flujo vertical del agua que atraviesa la zona no saturada por unidad de gradiente de carga.

Los resultados obtenidos utilizando la metodología mencionada nos muestran que cinco de los siete acuíferos estudiados se encuentran casi en su totalidad con excepción de unas pequeñas porciones aisladas que se encuentran dentro ellos con un índice de vulnerabilidad muy alto como es el caso de los acuíferos: El Cuarenta, Aldama-El Cuervo, Los Lamentos, Laguna Tres Castillos y Laguna de Tarabillas.

Los dos acuíferos restantes Valle de Juárez y Valle del Peso, también tienen zonas de vulnerabilidad muy altas pero a excepción de los anteriores también tienen zonas amplias de baja y muy baja vulnerabilidad a la contaminación dentro de sus acuíferos.

GEOH-14

### VARIACIÓN PIEZOMÉTRICA Y VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO ALTO ATOYAC, OAXACA

Belmonte Jiménez Salvador Isidro<sup>1</sup>, Bautista Perdomo Jensen Mauricio<sup>1</sup> y Campos Enríquez Oscar<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, IPN  
<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM  
 sbelmont@prodigy.net.mx

Se realizó un análisis de la variación o evolución piezométrica y la estimación de índices de vulnerabilidad a la contaminación del sistema acuífero ubicado en la subcuenca Alto Atoyac ubicada en la región Valles Centrales de Oaxaca, que comprende tres valles; Etlá, Tlacolula y Zaachila. Se trata de un acuífero de origen tectónico, granular, y donde las firmas estructurales más importantes son las fallas de Oaxaca y Siempreviva.

Se revisaron y sistematizaron los datos piezométricos de un periodo de nueve años, del 2001 al 2009. Los mapas obtenidos muestran áreas donde ya existen conos de abatimiento debido a la sobreexplotación, como son los casos de los valles de Etlá y Zaachila. En el primero se han medido abatimientos hasta de 35 m, haciéndose cada vez más extensa la zona afectada.; mientras que en el segundo el abatimiento ha sido de 10 m, también ampliándose el radio del cono de abatimiento en los últimos años, sin embargo se infiere que no ha sido mayor debido a que es la zona que recibe las aguas superficiales y subterráneas de los tres valles mencionados. Por su parte, el valle de Tlacolula aún no presenta conos de abatimiento, aunque en general se trata de un acuífero de características hidrogeológicas particulares, predominando la presencia de materiales de textura arcillosa.

La fuerte disminución de estos niveles piezométricos aunado a las escasas acciones que se han realizado para revertir este proceso en la subcuenca estudiada, ha provocado que se pretenda abastecer a la ciudad de Oaxaca y zonas conurbadas de fuentes superficiales localizadas a casi 100 km de distancia con los consiguientes problemas ambientales, sociales y políticos. También se presentan resultados de la determinación de índices de vulnerabilidad de este sistema acuífero usando el método DRASTIC para el mismo periodo analizado para la piezometría, donde se delimitan zonas con riesgo a que el agua subterránea sea contaminada por fuentes superficiales.

GEOH-15

### AGRIETAMIENTO SUPERFICIAL EN LA VECINDAD DE UN POZO, DEBIDO AL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO POR BOMBEO

Jiménez Suárez Gabriel<sup>1</sup>, Flores Márquez Leticia<sup>2</sup>, Teutli León Margarita<sup>1</sup>, Posada Sánchez Ana<sup>1</sup>, Villagran Arroyo Edgar<sup>1</sup> y Jiménez Santander Hilda<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, BUAP  
<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM  
<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería Química, BUAP  
 gajizu@gmail.com

Se presenta un modelo basado en la teoría de la consolidación unidimensional de Karl Terzaghi para explicar el agrietamiento del terreno por el abatimiento del nivel del agua subterránea en el perímetro de influencia de un pozo en un acuífero libre detrítico que sobreyace a un acuitardo formado por arcillas o arcillas limosas compresibles.

La principal hipótesis del modelo es que los asentamientos verticales de diferente magnitud del acuitardo, crean en el acuífero libre, un campo de esfuerzos y deformaciones de tensión en las zonas más distantes del pozo. Debido a que la resistencia a la tensión de los materiales térreos es muy pequeña, el acuífero libre se agrieta en la superficie.

El abatimiento del nivel freático disminuye la presión hidrostática y aumenta el esfuerzo intergranular en el acuífero libre, en la siguiente proporción 1t/m<sup>2</sup> (9.78 kn/m<sup>2</sup>) por cada metro lineal de abatimiento del nivel del agua, el abatimiento del nivel del agua adopta la forma de la parábola de Dupuit, en consecuencia este incremento no es constante, sino que aumenta uniformemente a medida que se acerca al pozo.

El incremento de esfuerzo que ocurre en el acuífero libre también se transmite al acuitardo de acuerdo a la distribución de esfuerzos de la teoría de la elasticidad. El incremento de esfuerzos sobre el acuitardo no es uniforme es mayor en la vecindad del pozo y disminuye conforme se aleja del pozo. Debido al incremento de esfuerzo el acuitardo está sujeto a un proceso de consolidación (disminución de volumen a través del tiempo) que depende de la magnitud del incremento de esfuerzos, parámetros de compresibilidad y del espesor del acuitardo. En consecuencia la disminución de volumen del acuitardo tiene mayor magnitud cerca del pozo y disminuye conforme se aleja de él, . El asentamiento no uniforme en el acuitardo genera asentamientos no uniformes en el acuífero libre y se forma una depresión en la superficie que origina grietas de tensión en la frontera del radio de influencia del pozo.

El modelo contribuye a comprender el mecanismo de subsidencia en un acuífero con n pozos, cuyos radios de influencia se traslapan.

Resultados preliminares del modelo reportan una fuerte diferencia entre los asentamientos del acuitardo en la frontera con el pozo y los asentamientos del acuitardo en la frontera del radio de influencia del pozo.

GEOH-16

### PROCESOS DE MEZCLA E INTERACCIÓN AGUA ROCA EN ACUÍFEROS INTERMONTANOS DE LA HUASTECA POTOSINA

Morán Ramírez Janete, Ramos Leal José Alfredo, López Álvarez Briseida y Carranco Lozada Simón Eduardo  
 División de Geociencias Aplicadas, IPICYT  
 janete.moran@ipicyt.edu.mx

La Sierra Madre Oriental está formada por un sistema montañoso con importantes estructuras geológicas regionales desarrolladas en rocas carbonatadas muy fracturadas de la Formación El Abra, lo que facilita la recarga de acuíferos. A nivel regional la recarga se produce al Oeste, en la Sierra Madre Oriental y localmente en sierras como Palmillas, La Colmena y El Abra, en tanto que, la descarga regional es hacia el este en la zona de la Huasteca. Los valles intermontanos del Valle del Salto, se localizan muy cerca de la zona de descarga regional. En esta región se identificaron tres miembros extremos relacionados al flujo local, intermedio y regional que definen procesos de mezcla ternaria en el agua subterránea. La aplicación de métodos hidrogeoquímicos contribuyó a determinar el origen del agua y los procesos que ocurren en el acuífero. El modelo de mezcla de los valles intermontanos, indica que del total de la recarga que se produce, el flujo local aporta el 68.3%; el flujo intermedio, el 12.3% y el regional, 19.4%. La modelación directa muestra que en el acuífero ocurre mezcla con interacción agua-roca y la modelación inversa que la precipitación y/o disolución de calcita, yeso y dolomita, son principales procesos que ocurren en acuífero de los valles intermontanos.

GEOH-17

### HIDROGEOLOGÍA Y PROCESOS DE MEZCLA EN EL ACUÍFERO DE VILLA DE REYES, SAN LUIS POTOSÍ

Ramos Leal José Alfredo<sup>1</sup>, Morán Ramírez Janete<sup>1</sup>, López Álvarez Briseida<sup>1</sup>, Carranco Lozada Simón Eduardo<sup>1</sup> y Santacruz de León Germán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>División de Geociencias Aplicadas, IPICYT

<sup>2</sup>Colegio de San Luis, A.C.

jalfredo@ipicyt.edu.mx

El Valle de San Luis Potosí, se localiza en la parte central de México, pertenece a lo que se denomina el altiplano potosino, se caracteriza por ser una zona árida con altas temperaturas, baja precipitación y elevada evapotranspiración. Estas condiciones climáticas reducen la recarga de los acuíferos y agudizan el problema de abastecimiento de agua subterránea en la región. Con datos de hidrogeoquímica se identificaron cuatro facies Hidrogeoquímicas corresponden al tipo Ca-Na+K-HCO<sub>3</sub>, Na+K-Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub> y Ca-SO<sub>4</sub>. A partir de esta caracterización se identificó como zona de recarga (Graben de Bledos) y principales flujos profundos que proceden de Villa de Reyes y Sierra de Zaragoza los cuales alimentan al acuífero en la parte sur del valle de San Luis Potosí. La dirección del flujo regional es SW-NE, a través del graben de Villa de Reyes, por lo que el control estructural es muy importante en la hidrodinámica del acuífero. La presencia de materiales arcillosos en el graben de San Luis Potosí hacia la parte norte del área de estudio también puede estar contribuyendo al control del flujo subterráneo. En la configuración de la piezometría puede observarse recarga inducida por algunas obras civiles como son presas y bordos para agua.

En esta región se identificaron tres miembros extremos relacionados al flujo local, intermedio y regional que definen procesos de mezcla ternaria en el agua subterránea. La aplicación de métodos hidrogeoquímicos contribuyó a determinar el origen del agua y los procesos que ocurren en el acuífero. El modelo de mezcla ternaria, indica que el mayor aporte a los pozos de extracción se da por los flujos someros con un 50%, flujos profundos de Villa de Reyes aporta un 27% y solo un 15% lo aportan los flujos procedentes de la Sierra de Álvarez.

La modelación directa muestra que en el acuífero ocurre mezcla con interacción agua-roca y la modelación inversa que la precipitación y/o disolución de calcita, yeso, dolomita y fluor, son principales procesos que ocurren en el acuífero.

GEOH-18

### HIDROQUÍMICA DEL AGUA DE MANANTIALES EN LA CUENCA DEL RÍO DUERO, MICHOACÁN

Silva García José Teodoro, Ochoa Estrada Salvador y Nava Velázquez Jaime

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Michoacán, IPN

tsilva09@hotmail.com

La cuenca se localiza al noroeste del estado de Michoacán y pertenece a la subregión hidrológica Bajo Lerma. Geológicamente predomina un ambiente volcánico sedimentario destacando estructuras de tipo estratovolcán. Este volcanismo es causante de la formación de valles fluviales parcialmente cerrados delimitando igualmente la región lacustre de la Ciénega de Chapala. Entre abril y mayo del 2011, se obtuvieron un total de 52 muestras de agua, para su análisis químico, provenientes de un igual número de manantiales, tomando al momento de la colecta, con un conductímetro portátil, datos como temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y pH; adicionalmente y utilizando un HIDROLAB se obtuvieron datos de alcalinidad, nitratos, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y boro. Una vez validados los datos del laboratorio se hizo una rápida clasificación de los resultados usando diagramas de Piper, Stiff y Schoeller, mediante el programa Rockware AqQA versión 1.1 (Rokware Inc. Golden, Colorado, USA). Los resultados obtenidos indican la existencia de prácticamente 3 facies hidroquímicas: bicarbonatadas de magnesio, calcio y sodio. En aguas de reciente infiltración, la concentración cationes de calcio es mayor que la del magnesio ésta que la de sodio, en cuanto a aniones la secuencia es bicarbonatos mayor que sulfatos y cloruros. Las muestras analizadas en su totalidad corresponden a aguas bicarbonatadas, 38 de magnesio, once de calcio y dos muestras de sodio, por lo que se puede decir que son aguas que no han tenido mucho tiempo de contacto, es decir que son de reciente infiltración.

GEOH-19

### SANEAMIENTO INTEGRAL DE UNA CUENCA: EL CASO DEL RÍO DUERO, MICHOACÁN

Silva García José Teodoro, Moncayo Estrada Rodrigo, Ochoa Estrada Salvador y Nava Velázquez Jaime

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Michoacán, IPN

tsilva09@hotmail.com

La cuenca del río Duero se ubica en el noroeste del estado de Michoacán. Tiene una superficie de 253,129 ha, e incluye 21 municipios. El río Duero, único afluente continuo que alimenta el lago de Chapala, recorre en dirección sureste-noroeste 75 km en línea recta, tiene 21 entradas o aportes principales de agua (manantiales, ríos y drenes), siendo de aproximadamente 8m<sup>3</sup>/s el aporte de manantiales. La problemática dentro de la cuenca es diversa, destacan aspectos de degradación y pérdida del suelo; una clara disminución en la cubierta vegetal, relacionado con los problemas de pérdida de suelo y poca retención de agua y menor recarga de acuíferos. Esta disminución se explica sobre todo por la deforestación para cambio de uso del suelo con fines agrícolas, frutícolas o ganaderos. Al referimos al agua subterránea, el principal problema que se presenta es la gran cantidad de pozos y la sobreposición entre ellos, encontrando hasta 20 pozos por áreas de 4 km<sup>2</sup>, lo que acelerar fenómenos de sobreexplotación. En la cuenca hay trece sitios de disposición final de basura sin control alguno, definidos como tiraderos a cielo abierto. Se corroboraron un total de 88 puntos de descarga directas al río de aguas residuales cuyo origen son en esencia aguas domésticas de las distintas poblaciones. En algunos sitios sólo se encontraron la presencia del gusano tubifex que delata la gran contaminación con materia orgánica. En términos generales, el cauce del río tiende a empeorar en su calidad, pasando de bueno en La Cañada a moderado en el valle de Guadalupe, a malo en el valle de Zamora y con una recuperación a moderado en la parte de la ciénega de Chapala. Nueve focos rojos fueron definidos. El proyecto nace como respuesta a las peticiones y demandas establecidas por parte de los usuarios del recurso hídrico a lo largo de la cuenca. Estas demandas, estuvieron relacionadas con la problemática de la calidad del agua, que impacta una importante actividad económica a nivel estatal en el sector agrícola con el cultivo de frutillas, hortalizas y granos, que incluyen productos de exportación (i. e., fresa). Se integro un programa detallado de acciones a 12 años, encaminado a lograr el saneamiento integral del río Duero y su cuenca en el estado de Michoacán.

GEOH-20

### IDENTIFICACIÓN DE MEZCLA TERNARIA EN UN ACUÍFERO INTERMONTANO EN LOS LÍMITES DE LOS ESTADOS DE SAN LUIS POTOSÍ E HIDALGO

Carranco Lozada Simón Eduardo

División de Geociencias Aplicadas, IPICYT

simon.carranco@gmail.com

El área de estudio se encuentra en los límites de San Luis Potosí y el estado de Hidalgo en las proximidades la Sierra Madre Oriental (SMO), cuya porción montañosa formada por anticlinales y sinclinales tienen una orientación preferencial N-S y un sistema de fallas y fracturas con orientación E-W que controlan el flujo subterráneo hacia el Golfo de México. En la región existen acuíferos intermontanos confinados por acuitados. Con los resultados de la química del agua y diagrama de Piper se identificó como principal facie la bicarbonatada cálcica y los diagramas de dispersión muestran tres miembros extremos que evidencian un proceso de mezcla ternaria. El primer miembro extremo corresponde al agua de lluvia donde sus concentraciones en estroncio y cloruro son muy bajas, en el segundo miembro extremo su contenido de estroncio es mucho mayor comparado con los otros dos miembros extremos, el tercer miembro extremo se diferencia por su contenido alto de cloruros y estroncio, para conocer la concentración del aporte de cada miembro extremo se realizó un algoritmo matemático para determinar la fracción de mezcla que corresponde a cada uno de los miembros extremos.

GEOH-21

### CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO EL SAUZ-ENCINILLAS, CHIHUAHUA, MÉXICO

Pinales Munguía Adán, Villalba María de Lourdes, Royo Ochoa Miguel, De la Garza Aguilar Rodrigo, Tonche Ramos Javier y Franco Estrada Berenice

Facultad de Ingeniería, UACH

apinales@uach.mx

El acuífero El Sauz-Encinillas, se encuentra localizado en la porción central del estado de Chihuahua y al norte de la capital del Estado, entre las coordenadas geográficas 28° 52' 07" a 29° 40' 29" de latitud norte y 106° 02' 19" a 106° 44' 35" de longitud oeste. Este acuífero es una de las principales fuentes de agua potable a la ciudad de Chihuahua, aportando alrededor de 22.5 hm<sup>3</sup>/año.

El acuífero El Sauz-Encinillas se aloja principalmente en materiales de tipo granular y fracturado, y se considera de tipo libre.

Las zonas topográficas más altas se presentan al poniente del área de estudio desde la sierra Rusia hasta la Mesa Arroyo Hondo, con elevaciones de alrededor de 2800 msnm, mientras que al oriente las elevaciones fluctúan entre los 1800 y 2000 msnm. La zona con menor elevación topográfica se ubican en la porción norte, con valor de alrededor de 1520 msnm y corresponde a la Laguna de Encinillas.

El flujo subterráneo regional del acuífero El Sauz-Encinillas para el año de 2008, se dirige principalmente desde las sierras y hacia el valle. Dentro del valle se presenta dos direcciones principales de flujo, la primera de ellas se dirige a una depresión natural del terreno que corresponde a la Laguna de Encinillas, y la segunda se dirige al sur del acuífero, el cual es capturado por los pozos que se encuentran emplazados en esa porción. Es de hacer notar que la depresión que se encontró en el año de 1998 y comparada con la del 2008, se extendió en aproximadamente 12 km más hacia el norte, desde las localidades de La Cuadra, y hasta El Paraíso.

En la configuración de la elevación del nivel estático para el año de 2008, se tiene que la elevación mínima se presenta al norte del acuífero, por los alrededores de la Laguna de Encinillas con valor de alrededor de 1520 msnm. Los valores máximos se observan al sureste del acuífero por la localidad de El Establo y San Pedro, con valor de alrededor de 1550 msnm.

En la configuración de la profundidad al nivel estático para el año de 2008, se tienen profundidades máximas de alrededor de 105 m, que ocurren precisamente al suroeste del acuífero por la localidad El Mirador. En general la profundidad aumenta desde la porción central del valle y hacia las sierras. Las profundidades se encuentran entre 2 y 100 m.

En la evolución del nivel estático en el periodo comprendido entre los años de 1996 y 2008 se tienen abatimientos máximos de alrededor de 16 m en las porciones centro-poniente y sur del acuífero, y recuperaciones de hasta 2 m al norte del acuífero, por el oriente de la Laguna de Encinillas.

Al menos en el periodo 1978 a 2008, las salidas del acuífero ocurrieron principalmente por bombeo en pozos y en menor medida por evaporación desde el nivel freático y evapotranspiración de la vegetación freatofita. En este acuífero operaron 396 pozos, con una extracción de 134.3 hm<sup>3</sup>/año.

GEOH-22

### COMPOSICIÓN ISOTÓPICA, RECTA METEÓRICA Y EFECTO DE ALTURA EN LAS ESTRIBACIONES COSTERAS DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL, CENTRO DE VERACRUZ

Durazo Jaime<sup>1</sup>, Pérez Quezadas Juan<sup>2</sup>, Cortés Alejandra<sup>1</sup> y Cervantes Pérez Juan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>Centro de Ciencias de la Tierra, UV  
durazo@geofisica.unam.mx

Durante 2007, 2008 al 2009 se muestreó la precipitación acumulada de junio a agosto en 16 sitios de las estribaciones costeras de la Sierra Madre Oriental, al centro del Estado de Veracruz. Se les midió su composición isotópica, del 18O y del 2H (per mil versus Vienna SMOW). En dicha región la precipitación es causada básicamente por el aire húmedo proveniente del Golfo de México asociado a los vientos alisios y al paso de ondas tropicales u otros fenómenos como depresiones y ciclones tropicales. Prototipo para estudiar dicho fenómeno es una cuesta que asciende en 100 km del puerto de Veracruz a la cumbre del volcán Cofre de Perote, a 4.282 km snm. En ésta, La Cuesta, concurren planicies calurosas y semiáridas de la costa; páramos de alta montaña; y un sector intermedio boscoso, semitemplado, lluvioso, con frecuentes neblinas, donde se ubica Xalapa, capital del Estado. Tres son los objetivos del presente estudio: i) Justificar que los valores del 18O y del 2H de las muestras medidas se aproximan a los de la composición isotópica media de la precipitación en las altitudes correspondientes de La Cuesta. Con estos valores cuasiestables, ii) inferir dos relaciones que caracterizan a la precipitación media local: la línea meteórica, i.e., covariación de del 2H y del 18O; y el efecto de altitud, i.e., variación de del 18O (ó del 2H) con la altitud "z" del sitio llovido. Finalmente, para estas relaciones, iii) plantear la extensión de sus dominios geográficos de validez. Resultados:

- Línea meteórica: Por inferencia: del 2H = 7.4 del 18O + 7. La validez de esta firma isotópica pudiera extenderse a la precipitación de toda la región central de la República Mexicana, incluyendo el altiplano y las costas del Golfo y el Pacífico.

- Efecto de altitud: Si la variación observada de del 18O(función de z) en toda La Cuesta,  $0 < z < 4.8$  km snm, se aproxima globalmente como lineal, entonces  $d(\text{del } 18\text{O})/dz = \# 2.1 \text{‰} \text{ km}^{-1}$ . Este valor es igual al del altiplano en el centro de México y es frecuente en la literatura, por lo se considera "normal". Sin embargo, la variación de del 18O(función de z) no es lineal; se comporta anómala pero sistemática en altitudes z del sector intermedio de La Cuesta, con  $d(\text{del } 18\text{O})/dz > 0$ . Anomalías en el efecto de altitud no estaban documentadas en México, aunque ocurren en otros ambientes tropicales entre mar y montaña donde pueden ser ecológicamente importantes.

GEOH-23 CARTEL

### ANÁLISIS COMPARATIVO CON ENFOQUE GEOFÍSICO, GEOHIDROLÓGICO Y GEOLÓGICO DE LOS ACUÍFEROS DEL VALLE DE GUAYMAS, COSTA DE HERMOSILLO Y LOS BAGOTES

Martínez Retama Silvia<sup>1</sup>, Morales Montaña Mariano<sup>1</sup>,  
Mondragón Mondragón Reynaldo<sup>2</sup> y Vega Granillo Eva Lourdes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Sonora

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI  
smartinez@ciencias.uson.mx

Las fuentes tradicionales de abastecimiento de agua en el estado de Sonora se han visto reducidas, debido a su aridez y escasa precipitación. Debido a lo anterior, se han realizado varios estudios geológicos, geofísicos y geohidrológicos para determinar la disponibilidad de agua subterránea. Sin embargo los acuíferos se han estudiado en forma independiente y no se ha analizado la relación existente entre ellos. Por otro lado, la información se encuentra dispersa, lo cual hace difícil su estudio y consulta. Por lo anterior, se considera necesario un análisis, comparación e interpretación de las zonas estudiadas en forma integral.

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis comparativo de los acuíferos de Los Bagotes, Costa de Hermosillo y del Valle de Guaymas, con enfoque geológico, geofísico y geohidrológico, a fin de establecer la relación entre sus modelos conceptuales.

Los acuíferos en estudio se ubican dentro de la Región Hidrológica Sonora Sur (RH9). Los dos primeros se localizan al poniente y al suroeste de la Ciudad de Hermosillo, respectivamente; mientras que el del Valle de Guaymas se sitúa en la Cuenca del Río Mátape, al sur de la ciudad.

El estudio se inició con una revisión bibliográfica. Después se realizó el análisis y clasificación de la información geológica, geofísica y geohidrológica disponible. Posteriormente se diseñó la estructura de la base de datos y se incorporó la información. Se presenta la base de datos en forma de tablas mostrando las variables definidas así como su relación.

Los tres acuíferos son de tipo granular, formados por depósitos aluviales compuestos de boleas, gravas, arenas y arcilla. Son de tipo libre, con espesor promedio de 200 m. Sus modelos conceptuales son similares, con diferencias en la continuidad y espesor de la capa arcillosa que les subyace. En los tres casos, el basamento cristalino está caracterizado por fosas y pilares orientados principalmente NW-SE, lo cual puede reflejar una relación con la apertura del golfo de California.

GEOH-24 CARTEL

### MODELACIÓN NUMÉRICA DE FLUJO Y TRANSPORTE DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SAN JOSÉ DE GUAYMAS, SONORA, MÉXICO, UTILIZANDO EL PROGRAMA SEAWAT

Taylor Castillo An Ho Antonio<sup>1</sup>, Hughes Joseph<sup>2</sup> y Martínez Retama Silvia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División de Ciencias Exactas y Naturales, UNISON

<sup>2</sup>U.S. Geological Survey, USGS, USA  
anh.taylorc@correoa.uson.mx

El acuífero del Valle de San José de Guaymas se encuentra ubicado en la Región Hidrológica 9 Sonora Sur, Subcuenca 9C Río Mátape-San Marcial, y ocupa una área de 1214.27 km<sup>2</sup> sobre una planicie costera del Sur del Estado de Sonora, abarcando parcialmente a los municipios de Guaymas y Empalme.

El objetivo del presente trabajo es diseñar, correr y calibrar un modelo de flujo y transporte para el acuífero del Valle de San José de Guaymas. Para tal efecto, se utilizó el programa de simulación SEAWAT.

El programa SEAWAT es una versión acoplada de MODFLOW y MT3DMS diseñado para simular el transporte y el flujo de agua subterránea de densidad variable. La versión más reciente de SEAWAT, llamada SEAWAT versión 4, incluye la capacidad de simular el transporte de múltiples especies de soluto y de calor simultáneamente. Lo anterior es posible debido a un enfoque simple que aprovecha la analogía matemática entre transporte de soluto y calor. Por lo tanto, se puede simular la evolución espacial y temporal de la temperatura mediante la definición de calor como especie adicional en MT3DMS. Con este enfoque, el transporte de masa de un soluto y calor es producto de una concentración y de temperatura. El flujo de las aguas subterráneas es acoplado con transporte principalmente a través de la densidad del fluido, que se calcula en SEAWAT versión 4 en función de uno o más de las concentraciones de soluto y de temperatura. Los efectos de las variaciones de la viscosidad del fluido también pueden representarse mediante una de varias opciones para la relación viscosidad a temperatura y concentración de soluto.

La determinación del modelo conceptual se elaboró a partir de estudios geológicos, geofísicos e hidrogeoquímicos previos. Esta información se incorporó al programa mediante la discretización espacial y temporal. En el proceso de modelado se hizo énfasis en la determinación de las zonas de interface salina y temperatura, a fin de caracterizar su comportamiento

## GEOH-25 CARTEL

**GEOLOGÍA E HIDROESTRATIGRAFÍA EN EL ACUÍFERO LAGUNA EL DIABLO, ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO**

Royo Ochoa Miguel<sup>1</sup>, Chávez Aguirre Rafael<sup>2</sup>, Martínez Leyva Pedro<sup>2</sup>, Pinales Munguía Adán<sup>2</sup>, Espino Valdés María<sup>2</sup>, De la Garza Aguilar Rodrigo<sup>2</sup>, Royo León Miguel<sup>2</sup>, Alva Valdivia Luis Manuel<sup>3</sup>, Urrutia Fucugauchi Jaime<sup>3</sup>, González Rangel José Antonio<sup>3</sup>, Cordero De los Ríos Perla Ivonne<sup>2</sup> y Acosta Chávez Raúl<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Secretaría de Investigación y Posgrado, UACH

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, UACH

<sup>3</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

mroyoo\_2000@yahoo.com

La zona de estudio se localiza en la porción central del estado de Chihuahua, al oeste de la Sierra de Peña Blanca, al oriente del poblado el Sauz, y aproximadamente 50 km al norte de la ciudad de Chihuahua; fisiográficamente pertenece a la provincia de Cuencas y Sierras, en esta área se ubica el acuífero Laguna El Diablo.

El área de estudio representa una cuenca hidrográfica de forma elongada, con su eje mayor de rumbo N-S, de tipo endorreico; en cuya zona central, alimentada por escasos arroyos, se origina la Laguna del Diablo; la cuenca de la laguna El Diablo se distribuye principalmente en una llanura intermontana de pendiente suave, cuya mayor superficie se sitúa a una altitud variable entre los 1545 y 1575 msnm

El ambiente geológico dominante en el área de estudio es de naturaleza volcánica, sobre un basamento calcáreo que aflora en la porción sur del área, el volcanismo está representado principalmente por una secuencia de unidades litológicas de composición riolítica y de textura variable, pues están expuestas unidades de carácter piroclástico como tobas e ignimbritas con notable textura eutaxítica, intercaladas con delgados intervalos compuestos por sedimentos continentales granulares de tipo conglomerático

La sección volcánica expuesta en el área de estudio, se considera de edad Paleoceno-Eoceno en su base, pero hacia su cima, se torna más joven; Eoceno-Oligoceno. En las elevaciones aledañas, es posible observar estructuras de falla normales, a veces reflejadas por escarpes, o bien por el cambio litológico brusco y directo con rocas calcáreas del Cretácico Inferior. Las partes bajas de la cuenca, se componen de sedimentos aluviales y lagunares de edad Cuaternaria, compuestos por conglomerados y sedimentos de grano fino en las zonas lagunares.

De forma general, se distinguen tres unidades hidroestratigráficas que originan dos medios porosos principales: uno granular y otro fracturado; el primero de ellos es con mucho el más importante y más estudiado pues constituye normalmente el acuífero productor, y el segundo de ellos funciona hidrogeológicamente como área de recarga.

Para la comprensión de la geología del subsuelo del área de estudio fue muy importante la exploración geofísica desarrollada en el valle de la Laguna El Diablo, con la cual se trazaron cinco secciones. Una interpretación tentativa de las secciones geofísicas de resistividad sugiere la presencia de cinco unidades.

## GEOH-26 CARTEL

**MODELADO Y CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS EN LA ZONA TRANSFRONTERIZA DEL ESTADO DE CHIHUAHUA POR MEDIO DE MÉTODOS SÍSMICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS**

Ramírez Villazana Oscar, Dena Ornelas Oscar Sotero, Vega Saucedo Graciela Anahel y Hernández Longoria Karla María  
Instituto de Ingeniería y Tecnología, UACJ  
oramirez.villazana@gmail.com

Ciudad Juárez se ubica en la zona norte del estado de Chihuahua donde predomina un clima seco extremo con un bajo promedio de precipitación anual de 100 a 300 mm. (INEGI, 2002). Esto provoca que la escasez de agua contraste notablemente con sus altos índices de crecimiento urbano.

Razón por la cual se llevaron a cabo una serie de estudios de refracción sísmica, sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TEM) y gravimetría terrestre con el objetivo de encontrar nuevas fuentes de extracción de este vital recurso en el área de la sierra del Presidio y la sierra de Sapelló, ubicadas al sur y al suroeste de Ciudad Juárez respectivamente. Se llevaron a cabo 8 tendidos sísmicos orientados de Noroeste a Sureste, 25 TEM's, y 189 estaciones gravimétricas con el fin de identificar posibles zonas de fracturamiento que puedan contener agua.

La interpretación geofísica en conjunto localizan tres posibles zonas de fracturamiento, dos de estas se localizan en las faldas de la sierra del Presidio y una en la sierra de Sapelló.

## GEOH-27 CARTEL

**ESTUDIOS GEOFÍSICOS Y GEOLÓGICOS PARA RECARGA DE ACUÍFEROS EN LA ZONA NORTE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA**

Moncada Gutierrez Manuel, Dena Ornelas Oscar Sotero y Leyva Aguilar Jesús Elias  
Instituto de Ingeniería y Tecnología, UACJ  
mmoncada.gutierrez@gmail.com

La región transfronteriza de Ciudad Juárez, está ubicada en la parte norte del estado de Chihuahua, esta región se caracteriza por tener un clima muy seco templado y un bajo promedio de precipitación anual de 300 mm (INEGI, 2002), además de una casi nula presencia de aguas superficiales perennes. La relativa escasez de lluvias, ha provocado que el nivel estático descienda en un promedio de 1.5 m anuales en algunos acuíferos, aunado a lo anterior, el exceso de escurrimientos durante el verano son desaprovechados por una deficiente infraestructura hidráulica sumados con el acelerado crecimiento poblacional.

La problemática anterior demanda una constante búsqueda de alternativas para no solo localizar, sino diseñar una adecuada red de infiltración que permita re-inyectar artificialmente al acuífero aprovechando los recursos hídricos en la región.

Este estudio está enfocado en aplicar estudios de gravimetría y sondeos electromagnéticos (TEM) para la localización y caracterización de fracturas, fallas geológicas a diferentes profundidades, profundidad de la roca caliza, así como discontinuidades en el paquete estratigráfico y determinar la localización y grado de factibilidad de las zonas de recarga del sistema de acuíferos de la región.

Como resultados se obtuvieron mapas de anomalía de Bouguer completa y residual, las cuales, junto con los sondeos electromagnéticos muestran que en la zona de estudio llamada el Barreal, el basamento se encuentra a más de 300 m por lo cual se vislumbra difícil implementar una recarga favorable en el 60% de la subcuenca de dicha área, ya que el sistema de fallas del basamento está por debajo del nivel estático. Sin embargo el 30% del área de estudio presenta condiciones de fallas y fracturas para proceder con estrategias de infiltración de escurrimientos pluviales al acuífero en las estribaciones de la Sierra de Juárez en la Subcuenca el Jarudo y la parte Noroeste de la Subcuenca el Barreal.

## GEOH-28 CARTEL

**CAMBIOS DE NIVEL DE AGUA REGISTRADOS CON LOS PIEZÓMETROS EN EL VALLE DE MEXICALI Y SU RELACIÓN CON PROCESOS SISMOTECTÓNICOS DE LA ZONA**

Glowacka Ewa<sup>1</sup>, Vázquez González Rogelio<sup>1</sup>, García Hernández Antonio<sup>2</sup>, Pérez Adriana<sup>3</sup>, Sarychikhina Olga<sup>1</sup> y Nava Pichardo Alejandro F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División de Ciencias de la Tierra, CICESE

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

<sup>3</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

glowacka@cicese.mx

El monitoreo del nivel piezométrico de un acuífero, es una actividad básica para entender los diferentes procesos geohidrológicos que se desarrollan en una región. Modificaciones en la recarga, el volumen de extracción o la ubicación de los aprovechamientos hidráulicos, producen cambios en el nivel del acuífero y las direcciones de flujo. Otros fenómenos que tienen influencia en el comportamiento geohidrológico, están relacionados con eventos sísmicos y procesos de deformación del terreno. El monitoreo sistemático y continuo del nivel del acuífero en una red de pozos de monitoreo, permite estudiar la respuesta del sistema hidrológico a estos fenómenos y entender la influencia espacial y temporal de los mismos.

La red de monitoreo de pozos de Mexicali ha estado en operación desde el 2003 de manera prácticamente continua, y consiste de 4 - 7 pozos equipados con medidores de registro continuo Solinst Levellogger programados para registrar los datos del nivel de agua y temperatura con intervalo de muestreo de 5 minutos. También se cuenta con los datos de dos barómetros para el registro de la presión y la temperatura ambiente con el intervalo de muestreo parecido. La mayoría de los pozos tienen profundidad de 150 m. Analizando los datos de nivel de agua en los pozos, se observa que algunos sismos registrados en el Valle de Mexicali han causado el cambios abruptos de nivel de agua, seguidos por la recuperación lenta hasta al nivel, generalmente, anterior; fenómeno relacionado con la respuesta del nivel de agua a la redistribución sísmogénica del campo de tensión (Sarychikhina et al., 2009). También se ha notado (Glowacka et al., 2007) que algunos eventos de slip asísmico, reportados en la falla Saltillo, en el Valle de Mexicali, están acompañados por cambios del nivel de agua.

En el presente trabajo estamos procesando datos registrados por los piezómetros durante los años 2003 - 2010, con la meta de encontrar cambios en nivel de agua y analizar si su presencia está relacionada con la ocurrencia de sismos o eventos de slip asísmico. El procesamiento incluye ordenamiento de base de datos, unificación de frecuencia de muestreo, compensación barométrica, corrección de tiempo local a tiempo UTC, y cálculo de la primera derivada de nivel compensado. Para identificar si un cambio de nivel observado está relacionado con un sismo se hace búsqueda de los sismos en los catálogos



de RESNOM y SCSN; y para identificar eventos de slip asísmico se compara los resultados con registros de grietómetros y inclinómetros instalados en la zona de estudio.

El trabajo fue realizado gracias al soporte CONACYT para el proyecto 45997-F, 105907, y a becas de Academia Mexicana de las Ciencias para Verano Científico.

GEOH-29 CARTEL

#### **GROUNDWATER VULNERABILITY MAPPING OF MEXICO CITY DRINKING WATER AQUIFER**

Hernández Espriú José Antonio<sup>1</sup>, Macías González Héctor<sup>1</sup>,  
Sánchez León Eduardo Emilio<sup>1</sup>, Macías Medrano Sergio  
Enrique<sup>1</sup>, Goya Sánchez Jessica<sup>1</sup> y Ramos Leal José Alfredo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, UNAM

<sup>2</sup>División de Geociencias Aplicadas, IPICYT  
ahespru@dictfi.unam.mx

The aim of the project is to generate the first groundwater vulnerability (GWV) map of Mexico City, showing the spatial distribution of the aquifer areas most likely to be contaminated by any compound and in particular by hydrocarbons (HC).

The first step was to integrate a wide amount of spatial information of the City in a Geographical Information System (ArcGIS 9.3). A database containing 600 HC pollution sources and 615 extraction wells was created, fed with previous available information, 5 months of intensive fieldwork and Google Earth verification. This database already has important technical information of each contaminant source such as HC volume storage capacity, facility age, historic reports of previous environmental studies, constructive characteristics of extraction wells among others.

The second phase was to generate a GWV map. Taking advantage on the benefits of using a GIS, we chose to use a counting and weighting spatial variables overlay system, applying the traditional DRASTIC methodology, considering 7 different variables that make up the acronym that gives its name to the process: Depth to groundwater piezometric level (D), Recharge (R), lithology of the Aquifer or Aquifer media (A), Soil type (S), Topographic gradient (T), lithology of the vadose zone (I) and hydraulic Conductivity of the aquifer (C). For the characterization of each variable, it was necessary to make a deep analysis and correlation of 372 boreholes, recent piezometric data and the interpretation of 35 pumping tests, among other information.

Preliminary results of the GWV show DRASTIC index values ranging from 53.8 to 145.9 [dimensionless], whereas the methodology involves a minimum of 23 and a maximum of 230. The spatial distribution of the GWV suggests that only specific areas at the slopes of the Santa Catarina Sierra can be included in the very high vulnerability class. However, the upper and middle zones of Tlalpan, Milpa Alta, Xochimilco, Coyoacán, Tlahuac and Iztapalapa entities are located in high vulnerability class. This implies that industrial and human activities poorly controlled in these areas could contribute negatively in groundwater quality. According to this preliminary results, 22%, 34.8%, 29.8%, 13.2% and 0.09% of the study area (Mexico City) have very low, low, moderate, high and very high GWV, respectively.

The third stage (currently under development), consists in the modification of DRASTIC methodology, including the effect of land subsidence as a variable to consider in GWV. To achieve this, maps showing the spatial variations of land subsidence rate measured with InSAR images are being generated, for an observed period of time from 2003 to 2007.

We consider that mapping GWV represents a powerful management tool for the main source of drinking water in the city, where 13.9 m<sup>3</sup>/s of water are being extracted for human consumption.