

## Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua

**Clave del Proyecto:** 148167

**Convocatoria:** S0013-2010-02

**Demanda:** Evaluación de la calidad del agua subterránea que subyace a la Ciudad de Mérida y su impacto en la zona costera del estado de Yucatán

**Título:** EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA QUE SUBYACE A LA CIUDAD DE MÉRIDA Y SU IMPACTO EN LA ZONA COSTERA DEL ESTADO DE YUCATÁN



**Responsable Técnico:** Dr. Eduardo Graniel Castro (QEPD), Dr. Germán Giácoman Vallejos

**Institución:** Universidad Autónoma de Yucatán

**Instituciones Participantes:** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México; RWTH-Aachen - INSTITUTE OF HYDROGEOLOGY, Alemania. MARTIN LUTHER UNIVERSITY HALLE, INSTITUTE OF GEOSCIENCES, Alemania

**Entidad Federativa:** Yucatán

**Monto Autorizado:** \$12,251,000.00

**Tiempo de Ejecución:** 2011-2016

**Objetivo:** (Máximo 800 caracteres)

El objetivo general de esta propuesta es conocer las condiciones de calidad del agua del acuífero y zonas de descargas naturales, así como su estructura y dinámica para plantear acciones de conservación del recurso hídrico en una zona, permitiéndonos identificar las posibles o principales fuentes de contaminación; propiciando así un reordenamiento equilibrado en el desarrollo y crecimiento poblacional y económico, que minimice los impactos al acuífero, así como al entorno ecológico del sistema terrestre, de transición y marino adyacente. Siendo sus objetivos específicos los siguientes: ¿ Conocer las características y distribución de los materiales del subsuelo, estableciendo la posición del nivel freático, la interfase salina o zona de mezcla, así como las variaciones de carsticidad en el subsuelo por medio de perfiles geoeléctricos realizados con el método de Tendidos Electromagnéticos (TEM<sub>2</sub>s) ¿ Establecer una Red de Monitoreo instrumentada diseñada ex profeso para conocer las condiciones hidrodinámicas del flujo subterráneo y de la calidad del agua en espacio y tiempo. ¿ Determinar la calidad del agua subterránea en la zona de estudio a diferentes profundidades y evaluar la calidad del agua con los datos obtenidos en estudios anteriores. ¿ Identificar las diversas empresas asentadas en la zona de estudio, cuantificando y mapeando la carga contaminante vertida por ellas al acuífero. ¿ Conocer cómo incide o interactúa la calidad del agua subterránea que subyace a la Ciudad de Mérida con el agua que se descarga a la zona de transición y al mar. ¿ Conocer el impacto de las descargas de agua residual inyectada en la zona de interfase salina. ¿ Obtener la dirección y velocidades de flujo de las aguas del subsuelo a diferentes profundidades mediante la aplicación de trazadores. ¿ Elaborar una base de datos de usuarios de aguas nacionales subterráneas y descargas de aguas residuales emplazadas en la zona de estudio. ¿ Elaboración de un Sistema de Información Geográfica, mediante el cual se pueda consultar de manera fácil y ordenada, la información histórica y actual obtenida de la red de monitoreo. ¿ Elaborar los modelos matemático de flujo subterráneo y de transporte de contaminantes, para simular diferentes escenarios respecto a los parámetros que conforman la carga contaminante. ¿ Planteamiento de una estrategia para la preservación del recurso hídrico en la zona de estudio.

## (Máximo 1,200 caracteres)

### Resumen:

El agua, un recurso indispensable para las actividades de cualquier población, se ha convertido en un bien público y social cuya conservación requiere un esfuerzo constante de investigación científica, de formación tecnológica y de discusión política. Mérida está ubicada al sureste de México y al norte de la Península de Yucatán, a 32 km al sur de la costa. La densidad de la población varía de los niveles semi-rurales de 2 personas/Ha a más de 110 personas/Ha en algunas zonas con fraccionamientos de recursos económicos medios, la densidad media del centro y los suburbios principales es de aproximadamente 35 personas/Ha y en las áreas residenciales principales el rango está entre 50-100 personas/Ha; teniendo una densidad promedio de 48.21 hab/Km<sup>2</sup>. Aunque existen numerosos pozos privados y pozos de abastecimiento (industriales y comerciales), la mayoría del suministro de agua potable en la ciudad es proporcionado por la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY). Existen tres campos de pozos que suministran el agua a la ciudad, localizados en las afueras de sus límites; estos proporcionan cerca de las dos terceras partes del suministro medio diario (aproximadamente 242,000 m<sup>3</sup>/d). El otro tercio del agua es proporcionado por 30 pozos individuales o duales, localizados dentro de la ciudad. La política de la JAPAY es que a futuro desaparezcan los pozos urbanos y suburbanos, reemplazándolos por otro campo de pozos más protegido de la contaminación urbana debido a su localización y fuera de los límites de la ciudad. Se considera que el 40 % del suministro total de agua potable se pierde en el sistema de distribución. La zona de estudio se ubica en la porción noroeste del Estado de Yucatán, se ubica entre los paralelos 20° 52' y 21° 18' de latitud norte, y entre 89° 32' y 89° 50' de longitud oeste. El clima predominante es tropical húmedo cálido con una temperatura media de 27 °C y una precipitación promedio anual de 1000 mm. Desde el punto de vista geológico está constituido por una secuencia potente de sedimentos calcáreos de origen marino del Terciario Reciente, la cuenca marina en que se depositaron estos sedimentos ha sido relacionada con la falla transformante que dio origen al Golfo de México. El principal rasgo fisiográfico de la península esta representado por la Sierria de Ticul, con una extensión aproximada de 110 km, esta orientada ONO-ESE, con una elevación máxima de 275 snmm y esta constituida por calizas cristalinas, dolomitizadas y silicificadas del Eoceno Inferior. En todo el estado se carece de corrientes superficiales debido a las características del subsuelo cárstico, a la topografía y a las condiciones climáticas; así gran parte de la precipitación pluvial se evapotranspira (80 %) y el resto se infiltra al subsuelo a través de fracturas, oquedades y conductos cársticos en las calizas (20 %), siguiendo diferentes trayectorias de flujo controladas principalmente por el desarrollo del carst. La dirección general del flujo subterráneo en el plano horizontal se presenta en forma radial del centro del estado hacia la línea de costa que circunda la península, incluyendo las colindancias de los estados de Campeche y Quintana Roo. Los flujos preferenciales ocurren principalmente en aquellos horizontes del acuífero que están fracturados y/o cártificados y que existe una correlación entre las direcciones de máxima conductividad hidráulica y las orientaciones del desarrollo preferencial de las cavidades de disolución. Debido a las condiciones geológicas imperantes el acuífero es considerado como libre, excepto en una franja estrecha paralela a lo largo de toda la costa, lo que lo hace confinado. En la ciudad no existe un sistema de drenaje de aguas residuales, toda el agua residual se dispone directamente al subsuelo a través de tanques sépticos, sumideros, letrinas y en algunos sectores existen colectores locales conectados a pozos profundos, a través de los cuales se inyecta el agua residual a la parte salina (del acuífero) que subyace a la zona de agua dulce; el agua pluvial es vertida al acuífero por medio de pozos de absorción de 15-18 m de profundidad, haciendo así que los índices de contaminación se incrementen lentamente en los últimos años debido al alto crecimiento urbano en Mérida. Las descargas industriales y hospitalarias se vierten al subsuelo por medio de la inyección de sus efluentes a pozos profundos; estas descargas en la mayoría de los casos contienen residuos tóxicos peligrosos, que algunas veces son inyectados sin tratamiento apropiado a cuevas y cenotes abandonados; por lo que el subsuelo de las áreas urbanas se encuentra sujeto a una carga muy pesada de solutos y organismos microbiológicos, así como de sustancias tóxicas, como el caso de pesticidas, herbicidas, fertilizantes y de materia orgánica. La presencia de contaminantes en el sistema subterráneo resulta un peligro potencial a la salud humana y al ambiente, debido a que el agua subterránea es el principal medio de abastecimiento de agua potable en la península. En los últimos años se han identificado cambios químicos en la calidad del agua subterránea de la zona de la ciudad de Mérida, según los análisis químicos de muestras de agua de pozos someros y profundos localizados estratégicamente en una red de observación que abarca la zona urbana y sus alrededores. Debido a que las aguas subterráneas son la principal fuente de abastecimiento para todos los usos en el estado y principalmente en el litoral costero de Yucatán, entonces, cualquier sustancia que sea vertida al subsuelo de la zona de estudio va a ir a descargar al mar y en su trayectoria hacia él puede afectar a los sistemas de aprovechamiento. Por lo que se requiere conocer el grado de afectación al acuífero de esas sustancias o si la recarga no supera con mucho la extracción del acuífero, pueden presentarse problemas con la calidad del agua subterránea en las costas por los casos de intrusión salina. El comportamiento de los contaminantes en el sistema subterráneo indica que existe una dispersión muy importante de estos en el agua. Resultando así que el principal problema que se tiene en Yucatán y en especial en Mérida, es el comprender la dispersión de los solutos en el agua subterránea y el papel que juegan las características particulares que presenta el subsuelo cárstico, ya que existen muchas fisuras y conductos de disolución, los que permiten el libre paso de los solutos al agua. La determinación de los coeficientes de dispersividad longitudinal y transversal, son muy importantes, por lo que sí se conocen y entienden los procesos de transporte de solutos, más fácil será conocer la distribución espacial de los mismos en el medio geológico y cual sería el posible impacto de estos en el agua subterránea; para lo cual se necesita, sin embargo, conocer los parámetros hidráulicos del subsuelo (conductividad hidráulica, porosidad, coeficientes de almacenamiento, espesores) para entender la hidrodinámica de los fluidos involucrados. En los últimos años, la prueba de inyección de trazadores se ha utilizado para determinar la conexión hidráulica subterránea entre cuencas superficiales, la velocidad y dirección del movimiento del agua; para el análisis del comportamiento y distribución de los agentes contaminantes y la forma de distribución de las aguas de recarga.

**(Máximo 400 caracteres)**

¿ Una Red de Monitoreo Instrumentada, nivelada y segura que permita la medición periódica y permanente de la cantidad y calidad del agua que subyace los límites actuales de la ciudad de Mérida y zonas conurbadas. ¿ Reporte con análisis descriptivo, cualitativo y cuantitativo de la estructura del Acuífero en estudio realizado con base a la geofísica realizada en 10 secciones geoeléctricas en sitios previamente definidos. ¿ Caracterización espacial y temporal de la calidad del agua subterránea en la poligonal de estudio. ¿ Plano de riesgo de la zona piloto con ubicación de empresas que aprovechan aguas nacionales y descargan aguas residuales. ¿ Identificación de los puntos de descarga del acuífero, cuantificación de sus caudales y determinación de la calidad del agua. ¿ Plan de monitoreo de los pozos de observación en las estaciones del año. ¿ Propuesta de planteamiento de estrategias y acciones de conservación del agua subterránea, de las zonas de transición y de la zona costera. ¿ Un Sistema de Información Geográfica para el seguimiento y despliegue de información recopilada. ¿ Modelos matemático de previsión de las condiciones del agua subterránea para diferentes escenarios ¿ Trabajos de tesis a nivel licenciatura y postgrado. ¿ Difusión de los resultados en congresos nacionales e internacionales. ¿ Publicaciones de los resultados en revistas nacionales e internacionales ¿ Formación de Recursos Humanos

**Resultados Esperados:**

**(Máximo 400 caracteres)**

1. Conocer las características y distribución de los materiales del subsuelo, estableciendo la posición del nivel freático, la interfase salina o zona de mezcla, así como las variaciones de carsticidad en el subsuelo por medio de perfiles geoeléctricos realizados con el método de Tendidos Electromagnéticos (TEM¿s) 2. Establecer una Red de Monitoreo instrumentada diseñada ex profeso para conocer las condiciones hidrodinámicas del flujo subterráneo y de la calidad del agua en espacio y tiempo. 3. Determinar la calidad del agua subterránea en la zona de estudio a diferentes profundidades y evaluar la calidad del agua con los datos obtenidos en estudios anteriores. 4. Identificar las diversas empresas asentadas en la zona de estudio, cuantificando y mapeando la carga contaminante vertida por ellas al acuífero. 5. Conocer cómo incide o interactúa la calidad del agua subterránea que subyace a la Ciudad de Mérida con el agua que se descarga a la zona de transición y al mar. 6. Conocer el impacto de las descargas de agua residual inyectada en la zona de interfase salina. 7. Obtener la dirección y velocidades de flujo de las aguas del subsuelo a diferentes profundidades mediante la aplicación de trazadores. 8. Elaborar una base de datos de usuarios de aguas nacionales subterráneas y descargas de aguas residuales emplazadas en la zona de estudio. 9. Elaboración de un Sistema de Información Geográfica, mediante el cual se pueda consultar de manera fácil y ordenada, la información histórica y actual obtenida de la red de monitoreo. 10. Elaborar los modelos matemático de flujo subterráneo y de transporte de contaminantes, para simular diferentes escenarios respecto a los parámetros que conforman la carga contaminante. 11. Planteamiento de una estrategia para la preservación del recurso hídrico en la zona de estudio. 12. Elaboración de tesis por estudiantes de Licenciatura y Maestría 13. Elaborar artículos a enviar a revistas nacionales e internacionales.

**Productos Comprometidos:**

**(Máximo 400 caracteres)**

Presentación de Ponencias Orales y Posters en Congresos Nacionales e Internacionales. Trabajos de Tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado. Artículos científicos en revistas indexadas. Esposición ante organismos de la administración pública como el "Consejo de Cuenca de la Península" y el "Comité Técnico de la Zona Metropolitana de Yucatán".

**Mecanismo de Divulgación**

**(Máximo 400 caracteres)**

**Sitios WEB o Repositorio**

NO