

Ejemplo para la elaboración de Pre-proyecto Doctoral

Durante la elaboración del preproyecto doctoral, el aspirante deberá de dar respuesta a los siguientes cuestionamientos:

- 1.- ¿Cuál es el problema a resolver?
- 2.- Específicamente ¿Cómo se piensa atacar el problema?
- 3.- ¿Qué resultados se piensan obtener?
- 4.- ¿Cuál es la aportación del estudio al conocimiento actual en el tema?, es decir ¿Qué innovación presenta el trabajo en este campo de estudio?
- 5.- ¿Cuál es el plan de desarrollo del trabajo durante la etapa total del tiempo de estudio? (incluyendo cronograma)

Nota: El pre-proyecto se entregará en forma electrónica al correo mpereda@geociencias.unam.mx el día indicado en el calendario de actividades de aspirantes al Posgrado y posteriormente se hará la presentación del mismo ante el Comité de Admisión.

Tiempos que se manejarán para la presentación de los trabajos ante el Comité de Admisión:

- 5 a 10 min. máximo para una presentación personal (resumen breve del CV)
- 10 a 20 min. máximo para la presentación del trabajo de investigación (artículo, tesis, investigación, etc.)
- 20 a 30 min. máximo para la presentación del preproyecto doctoral
- Se manejará un máximo de 50 minutos entre la exposición de la investigación y el preproyecto, dándole un mayor tiempo al preproyecto.

- PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN
DOCTORAL

MECANISMOS DE MIGRACIÓN DE AGUA TERMAL Y
ELEMENTOS QUÍMICOS DISUELTOS EN EL AGUA
SUBTERRÁNEA DE LA PORCIÓN NORESTE DE LA
CUENCA DE LA INDEPENDENCIA, GUANAJUATO

ASPIRANTE: _____

DIRECTOR: _____

Posgrado en Ciencias de la Tierra



Centro de Geociencias, UNAM

Fecha: _____

CONTENIDO

1	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	1
1.1	Introducción	1
1.2	Planteamiento del problema	1
1.3	Justificación	2
1.4	Hipótesis de trabajo	2
1.5	Selección del área de estudio	2
1.6	Contribución científica del trabajo doctoral	4
1.7	Objetivos	4
1.7.1	Objetivo General	4
1.7.2	Objetivos específicos	4
1.8	Financiamiento	4
1.9	Comité Tutorial	4
2	PLAN DE TRABAJO	4
2.1	1er. Semestre	4
	Asignaturas a cursar	4
2.1.1	Unidad Teórica A. Controles físicos y químicos asociados a la temperatura del agua subterránea en medios granulares y fracturados	4
2.2	2o. Semestre	5
2.2.1	Trabajo de investigación A. Composición fisicoquímica del agua subterránea en la zona noreste de la Cuenca de la Independencia	5
2.3.1	Unidad teórica B. Técnicas estadísticas de análisis de datos y modelos de equilibrio termodinámico	5
2.3.2	Trabajo de investigación B. Análisis multivariado de datos y modelación geoquímica del agua subterránea en el área de investigación	5
2.3	3er. Semestre	6
2.3.3	EXAMEN DE CANDIDATURA	6
2.4	4o. Semestre	6
	Actividades de investigación, redacción de artículo científico y tesis	6
2.5	5o. Semestre	6
	Actividades de investigación, someter artículo científico y tesis	6
2.6	6o. Semestre	6
3	CALENDARIO DE ACTIVIDADES	7
4	REFERENCIAS	8

1 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

MECANISMOS DE MIGRACIÓN DE AGUA TERMAL Y ELEMENTOS QUÍMICOS DISUELTOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DE LA PORCIÓN NORESTE DE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA, GUANAJUATO

1.1 Introducción

En los últimos 20 años se han identificado diversos problemas de calidad del agua subterránea en el centro y norte de México. Entre ellos existen numerosos casos de fluorosis dental en los estados de Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas, principalmente, (Medellín-Milán et al., 1993; Carrillo et al., 1996; Carrillo et al, 2002) y posibles casos de cáncer asociado al arsénico (Vega-Gleason, S., 2001).

En los estados de San Luis Potosí y Guanajuato, la extracción de agua subterránea en acuíferos granulares de origen vulcano-lacustre y en rocas volcánicas fracturadas a partir de la segunda mitad del siglo XX han mostrado una variación progresiva en sus propiedades físicas y químicas (Carrillo et al, 1989; Carrillo et al., 2001; Carrillo et al, 2002; CEASG,1999; CEAG,2002; CNA, 1992; Flores et al., 2006; Ortega-Guerrero et al, 2002; Ortega-Guerrero; 2008; Ramos et al, 2003, etc.). Entre las variaciones más importantes se encuentran el incremento de la temperatura y pH, mientras que los iones de sodio, bicarbonatos, fluoruros y arsénico total, entre otros, han mostrado un incremento progresivo.

La interpretación de este fenómeno se asocia a la presencia de una interfase de agua termal-agua fría ubicada a cierta profundidad en el subsuelo (en el contacto geológico entre el acuífero granular y el volcánico fracturado, o por debajo de ésta), en condiciones naturales; y que por efecto de la extracción excesiva del acuífero inmediato que es el granular se generan, tanto conos regionales de abatimiento piezométrico, como conos transitorios durante el bombeo individual de los pozos más profundos (Carrillo et al., 1996; Carrillo et al, 2002; Ortega-Guerrero; 2008). La disminución de la columna de agua fría del acuífero granular, de más de 100 m de altura genera una reducción de la presión a la que están sujetos los flujos intermedios y regionales que son de mayor temperatura y que, por efecto de densidad, inducen un movimiento ascendente desde la interfase., similar a un cono invertido. Se ha visto que este cono invertido evoluciona con el tiempo, afectando progresivamente la calidad de los pozos en la zona; limitando su uso para consumo humano y agrícola (Ortega-Guerrero et al 2002, Carrillo et al, 2002; Ortega-Guerrero; 2008,) con sus consecuentes efectos sociales, económicos y al ambiente.

1.2 Planteamiento del problema

El agua subterránea representa la principal fuente de abastecimiento para consumo humano, agrícola e industrial por lo que estas variaciones en la composición química representan un problema científico de gran interés ya que los mecanismos que lo controlan no han sido evaluados. Por otro lado, las implicaciones en la salud, sociales, económicas y ambientales en este momento ya representan una situación crítica para la cual aún no se han planteado soluciones. Desde el punto de vista científico, existen varios aspectos de interés, entre los que destacan el origen del termalismo, los controles termodinámicos y de solubilidad de los elementos químicos presentes en los minerales de las rocas existentes en el subsuelo, los mecanismos de transferencia de calor y de transporte de las fases minerales disueltas en los flujos intermedios y regionales y su ascenso a porciones superiores del acuífero y que se manifiestan en un progresivo incremento de temperatura y elementos traza en el agua extraída por los pozos.

Tradicionalmente, los modelos numéricos de comportamiento de los acuíferos se manejan considerando condiciones isotérmicas y en ocasiones condiciones de homogeneidad e isotropía del medio geológico. Este manejo dista de las condiciones reales de los acuíferos del centro y norte del país; ya que el fenómeno de termalismo involucra efectos de densidad y de un equilibrio termodinámico transitorio. Adicionalmente, en la zona de estudio, uno de los acuíferos es de tipo fracturado; lo que implica que los procesos de flujo y transporte son mucho más complejos.

Debido a estos motivos, se requiere un nuevo esquema de evaluación de los procesos que causan este fenómeno de enriquecimiento de temperatura y composición química, para condiciones particulares de extracción del agua subterránea, uno en medio granular y otro en medio fracturado, aportando los elementos necesarios para un manejo sustentable de los acuíferos en estas regiones.

1.3 Justificación

Con base en la revisión de literatura científica, no existen experiencias de investigación similares a las que predominan en el centro y norte del país. De igual manera, no quedan claros los procesos involucrados en la transferencia de masa y energía en medios granulares y fracturados saturados, sujetos a extensa explotación. Los controles en la disolución de minerales en rocas volcánicas y sus productos de alteración requieren de un mayor entendimiento.

Los modelos conceptuales existentes (Carrillo et al., 2002; Ortega, 2008) se encuentran limitados a un solo evento de datos o períodos cortos de evolución química por lo que es necesario contar con datos geoquímicos que permitan establecer la evolución geoquímica de estos sistemas para confirmar o establecer nuevos modelos conceptuales.

Los datos generados por Ortega, 2002: Ortega, 2008, en la denominada Cuenca de la Independencia, localizada al noreste del estado de Guanajuato, serán el punto de referencia para realizar nuevos muestreos en zonas seleccionadas, a detallar el modelo conceptual y evaluar con mayor precisión los procesos termodinámicos involucrados a través de modelos numéricos de tipo físico y de transferencia de masa.

1.4 Hipótesis de trabajo

Como consecuencia de la extracción del agua subterránea en acuíferos granulares que sobreyacen a acuíferos fracturados de origen volcánico, se generan pérdidas de presión superiores a 10 kg/cm^2 , lo que da lugar a que flujos intermedios y regionales de agua termal asciendan buscando un nuevo equilibrio de cargas hidráulicas. Desde el punto de vista químico muchos de los compuestos disueltos en el agua termal ingresarán al acuífero granular superior con nuevas condiciones de equilibrio termodinámico. Debido al descenso progresivo de los niveles en el acuífero granular, el ingreso de agua termal estará sujeto a condiciones también transitorias.

1.5 Selección del área de estudio

Se seleccionó la porción noreste de la Cuenca de la Independencia en el estado de Guanajuato, ya que en ella existe una amplia serie de investigaciones hidrogeológicas desde 1998 a la fecha y serán de gran utilidad para el desarrollo de la presente propuesta de tesis doctoral.

La Cuenca de la Independencia, o Cuenca Alta del Río de La Laja se localiza en las proximidades de tres provincias geológicas: La Sierra Madre Occidental, el Eje Neovolcánico Transmexicano y la Sierra Madre Oriental. Se encuentra ubicada a aproximadamente 100 km al sur del valle de San Luis Potosí y comprende un área de 6840 km^2 de extensión. Es tributaria de la Cuenca Lerma-Chapala. De acuerdo a la morfología e hidrología superficial de la zona es una cuenca exorreica con sólo una salida, en la boquilla de la Presa de Allende, junto a San Miguel de Allende, Guanajuato (Ortega-Guerrero, 2008).

Debido a la explotación constante e intensiva de los acuíferos en la zona, el principal río de la región, La Laja, cuyo escurrimiento era perenne, actualmente es intermitente presentándose sólo durante la época de lluvias (Ortega-Guerrero, 2001).

Geológicamente, en la Cuenca de la Independencia, CI, las unidades litológicas observadas se dividen en: complejo basal y cubierta cenozoica (Nieto-Samaniego et al., 1996; Pérez-Venzor et al., 1996). El complejo basal está compuesto por rocas vulcanosedimentarias de edad Cretácico Inferior, relacionadas al Terreno Guerrero y también asociadas a una secuencia de arcos insulares (Chiodi et al., 1988; Ortiz-Hernández et al., 1991; Lapierre et al., 1992; Elías-Herrera y Ortega-Gutiérrez, 1998) y la cubierta cenozoica está compuesta por rocas volcánicas de composición predominantemente riolítica, y sedimentos cuya edad va del Eoceno al Mioceno Temprano, relacionadas a la evolución de la Sierra Madre Occidental y la Mesa Central y por rocas volcánicas intermedias a máficas asociadas a la fase temprana del Eje Neovolcánico y sedimentos con edades del Mioceno Tardío al Plioceno Tardío (Aranda et al., 1989; Pasquaré,

et al., 1991; Nieto-Samaniego, 1992; Ferrari et al., 1994; Hasenaka et al., 1994; Aranda y McDowell, 1998).

La actividad volcánica alterna con períodos de intensa erosión y sedimentación que rellena las fosas tectónicas, conformando el actual acuífero granular en su parte media

Desde el punto de vista hidrogeológico existen al menos dos acuíferos principales, uno de tipo fracturado en rocas volcánicas de composición riolítica que comprende lavas e ignimbritas principalmente y otro de tipo granular constituido por depósitos lacustres y vulcanoclásticos. Las rocas huésped del acuífero fracturado aflora principalmente en las montañas que delimitan la cuenca y en conjuntos volcánicos Terciarios que se extienden hacia su interior (Ortega-Guerrero, 2008).

El acuífero granular cubre parcialmente al acuífero fracturado en el interior de la cuenca, con espesores medios de 50 y 100 metros y sólo en cuatro zonas relacionadas a fosas tectónicas, alcanza espesores de 300 a 400 metros. Aproximadamente el 80% de los pozos se ubican en el acuífero granular y el 20% en el acuífero fracturado (Ortega-Guerrero, 2001). Ambos acuíferos se explotan en la cuenca de manera individual o mixta ya que existe continuidad hidráulica entre ellos (Ortega-Guerrero, 2001).

Las zonas de recarga en encuentran ubicadas en las sierras principales y en porciones del acuífero granular; mientras que la zonas de descarga principal corresponden a las proximidades del Río La Laja, donde existen suelos ricos en sílice y remanentes de grandes extensiones de freatofitas. Se definen también, sistemas de flujo local, intermedio y regional; los locales con tiempos de residencia de meses a unos cuantos años, los intermedios de cientos de años y los regionales de miles de años. Cada sistema presenta condiciones químicas distintivas y de temperatura dependiendo de su interacción con las rocas del subsuelo (Ortega-Guerrero, 2008).

A partir de la década de los años 50, se ha venido incrementando la explotación del agua subterránea, principalmente para riego de una forma constante, aunque se hayan hecho 3 decretos de veda desde entonces. Como consecuencia de esto, las profundidades de los niveles piezométricos originales (50 a 130 m) fueron incrementándose y, al parecer en algunos lugares se han alcanzado profundidades de más de 200 m. Se encuentran 4 principales depresiones en los niveles de abatimiento ubicadas, la más grande en el centro-noreste de la cuenca, dos en las proximidades de Dolores Hidalgo y otra al Norte de San Miguel de Allende. Actualmente existen 2,750 pozos en la zona con un volumen de extracción aproximado total de 750 millones de m³ / año (Ortega-Guerrero, 2008).

La principal preocupación acerca de la calidad del agua subterránea extraída de acuíferos superficiales es la de que haya sido contaminada por distintas actividades antropogénicas. Usualmente, los contaminantes vertidos en la superficie del suelo llegan a los acuíferos menos profundos. Sin embargo, el deterioro en la calidad del agua en condiciones de una extracción excesiva se produce por flujos verticales provenientes de acuíferos a mayores profundidades, en los cuales se halla la presencia de flujos regionales con constituyentes químicos indeseables. En México, los primeros pozos construidos presentaban una buena calidad del agua a niveles superficiales. Debido al desarrollo de la agricultura intensiva, se introdujeron sustancias que provocaron incrementos de salinidad y sodio, alterando la alcalinidad y pH del suelo (Carrillo et al., 1996)

En cuencas cercanas, como la de San Luis Potosí, el deterioro en la calidad del agua ha provocado preocupación tanto entre los ciudadanos como entre las autoridades. Se han detectado casos con ciertos grados de fluorosis dental en el 84% de la población con edades comprendidas entre los 6 y 30 años de edad. El 34% de los niños con edades entre 11 y 13 años presentan fluorosis severa. Esta intrusión de fluoruros en el agua subterránea, originalmente se trataba de explicar por la presencia de fertilizantes y en menor grado por la composición de las rocas volcánicas (Price, 2007).

Ortega (2008) identifica cuatro áreas dentro de esta cuenca donde se presentan concentraciones hasta diez veces mayores a los límites permisibles para consumo humano para los elementos sodio, arsénico y flúor, estableciendo un modelo conceptual para la zona que presenta las mayores anomalías geoquímicas a partir de las tendencias de la explotación del acuífero y del análisis geoquímico del agua subterránea en esta zona. Debido a que esta zona cuenta con información de tipo geológico, geofísico, químico e isotópico, así como de la

tendencia de la explotación; es un área propicia y accesible para realizar investigaciones de mayor detalle de acuerdo con la estrategia de este anteproyecto doctoral.

1.6 Contribución científica del trabajo doctoral

La contribución científica de este trabajo se enfoca a dos aspectos principales:

- La evolución geoquímica debido a la modificación de los sistemas de flujo en una cuenca unitaria por una fuerte actividad antropogénica en la porción noreste de la Cuenca de la Independencia
- Los mecanismos de migración de agua termal y su nuevo equilibrio termodinámico con elementos químicos como el sodio, fluoruro y arsénico desde un acuífero fracturado hasta un acuífero granular superior en la región donde Ortega (2008) ha identificado las mayores concentraciones de estos elementos y donde existe una alta densidad de información.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Establecer y evaluar los mecanismos de migración de la interfase de agua termal-agua fría y migración de solutos hacia el acuífero granular superior

1.7.2 Objetivos específicos

Actualizar la base de datos acerca de las condiciones de temperatura y contenidos iónicos del agua subterránea en la porción noreste de la Cuenca de la Independencia, tanto del acuífero granular como del fracturado.

Identificar la evolución geoquímica del sistema entre 2001 y 2009.

Desarrollar un modelo geoquímico particular para las condiciones específicas de la zona de estudio a través de la evaluación de diferentes escenarios de transferencia de calor y transporte de compuestos prioritarios por sus efectos en la salud, el ambiente y actividades productivas, como la agricultura.

Determinar las condiciones iniciales y de frontera para el modelo.

Realizar predicciones de comportamiento de la temperatura en el agua subterránea y de migración de solutos para identificar los escenarios en los cuales el cambio en la calidad del agua subterránea afecte a la población y a tierras de cultivo en contacto directo con ella.

1.8 Financiamiento

Para el proyecto se someterán propuestas a PAPIIT ó CONACYT. Para la manutención de la alumna será por beca CONACYT

1.9 Comité Tutoral

Anotar:

Nombre del Investigador (Tutor), entro de Adscripción Laboral.

Nombre del Investigador (Tutor), entro de Adscripción Laboral.

Nombre del Investigador (Tutor), entro de Adscripción Laboral.

2 Plan de Trabajo

A continuación se describen las actividades que se realizarán durante el Programa de Doctorado, organizadas por semestre.

2.1 1er. Semestre

Debido a que uno de los objetivos de la investigación, es desarrollar un modelo que explique los mecanismos que rigen la migración de agua y los solutos presentes en los acuíferos, tanto superficial como profundo para la zona de interés, se deben dominar los aspectos teóricos que definen el movimiento del agua subterránea en diferentes medios geológicos, identificando el efecto de la temperatura debido a que, generalmente las aguas relacionadas con sistemas de flujo locales tienen una temperatura menor que las de sistemas de flujo más profundos, como los intermedios, y las temperaturas de éstas a su vez, son menores que las pertenecientes a sistemas de flujo regionales. También se deberá conocer el comportamiento de los conos de abatimiento que se presentan en el nivel freático.

Asimismo, para modelar las condiciones presentes en la zona de estudio, se deben identificar los aspectos termodinámicos que controlan la solubilidad y transferencia de masa de fases sólidas con el agua subterránea.

Para la parte experimental del segundo semestre, explicada posteriormente, se deberán dominar los métodos de campo, laboratorio y modelado geoquímico.

Por tales motivos, durante el primer semestre, se cursarán las asignaturas de Hidrogeología y Geoquímica de las aguas subterráneas (Dra. Ma. Aurora Armienta) indicadas por el comité académico.

En una fase previa de investigación realizada por Ortega (2008) en la Cuenca de la Independencia, se obtuvo que el anión dominante en el agua subterránea es el HCO_3^- y los cationes dominantes son el Na^+ y el Ca^{2+} . con saturación respecto a la biotita y al cuarzo, cercana a la saturación y sobresaturada respecto a Albita, Fluorita, Caolinita y Calcita. Se encontraron diversos elementos traza (Se, Sb, V, Cr, Mo, Re, Pb, Cu, Cd, Co y Zn). Se obtuvieron resultados en especiaciones geoquímicas que pueden indicar la infiltración de flujos termales en los pozos de extracción de agua. Con el fin de confirmar esta hipótesis para la zona noreste de la CI y como una herramienta previa para establecer la evolución geoquímica del sistema, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

Revisión de literatura científica, cursos de hidrogeoquímica y comportamiento físico del agua subterránea (hidrogeología)

2.1.1 Unidad Teórica A. Controles físicos y químicos asociados a la temperatura del agua subterránea en medios granulares y fracturados

Revisión de artículos científicos en revistas especializadas para establecer los aspectos teóricos que determinan el movimiento y dinámica del flujo subterráneo bajo diferentes condiciones de temperatura; así como los controles termodinámicos de equilibrio geoquímico de diversas especies minerales en función de la temperatura.

2.2 2o. Semestre

Con los resultados obtenidos en el trabajo de investigación A, se realizarán los trabajos del segundo semestre cuyas actividades fundamentales son la revisión de literatura para el manejo estadístico de datos, modelación geoquímica y análisis de reacciones químicas de equilibrio basadas en el modelo acuoso de pares de iones o asociación de iones.

2.2.1 Trabajo de investigación A. Composición fisicoquímica del agua subterránea en la zona noreste de la Cuenca de la Independencia

Muestreo y análisis químico de 50 pozos en los que Ortega (2008) registró las concentraciones más altas en cuanto a arsénico, fluoruros y sodio en la zona noreste de la cuenca. Se realizarán mediciones de parámetros físicos en campo, en particular de la temperatura. Se determinarán los iones principales presentes y elementos traza.

2.2.2 Unidad teórica B. Técnicas estadísticas de análisis de datos y modelos de equilibrio termodinámico

Se revisará la literatura relacionada a los métodos de análisis estadístico para datos geoquímicos y factores asociados al comportamiento químico del agua subterránea en función del tiempo y del espacio.

2.2.3 Trabajo de investigación B. Análisis multivariado de datos y modelación geoquímica del agua subterránea en el área de investigación

A partir de los resultados fisicoquímicos de las muestras recogidas en el área de estudio, desarrollar el análisis estadístico de variables químicas múltiples y su relación con aspectos físicos de los acuíferos. Se establecerán tendencias espaciales de la evolución de la temperatura y químicos comparándolos con los resultados del período 1998-2001 con el fin de identificar y evaluar termodinámicamente los cambios en la composición química del agua subterránea de la zona noreste de la CI. Se realizará la modelación geoquímica de las muestras analizadas y se obtendrá la matriz de coeficientes de correlación tanto para los resultados químicos como para la especiación geoquímica obtenida.

2.3 3er. Semestre

2.3.1 Revisión de las Unidades Teóricas y Trabajos de Investigación y solicitud de jurado para examen de candidatura.

2.3.2 Presentación del Examen de Candidatura.

2.4 4o. Semestre

Para la Cuenca de la Independencia, Ortega (2008) ha propuesto un modelo conceptual que explicaría la movilización del iAs y del Flúor. En este modelo el acuífero granular se asocia principalmente a flujos locales, a excepción de las proximidades del Río La Laja y el acuífero volcánico fracturado se asocia a flujos intermedios y regionales. En condiciones naturales, se presenta la posición del nivel freático cercana a la superficie del terreno, y a cierta profundidad, la interfase con el agua termal. Cuando se reduce la carga hidráulica en el acuífero granular, se forma progresivamente un cono regional de abatimiento que se va extendiendo y profundizando con el incremento de los volúmenes de extracción de agua. En este planteamiento, se tiene la hipótesis de que, con el desarrollo del cono piezométrico, la forma y posición de la interfase evolucionaría con el tiempo formando un cono invertido de agua termal, de menor densidad, rica en iAs, F⁻, HCO₃⁻, Na⁺ y Li⁺, que avanzaría progresivamente hacia arriba.

Durante este semestre, se pretende desarrollar un modelo que explique, específicamente para la parte noreste de la CI, la presencia de compuestos que originalmente no se encontraban presentes en el agua de extracción, partiendo de la hipótesis planteada anteriormente, y que puede corroborar el modelo conceptual planteado para la Cuenca, o que dicha presencia sea originada por otros mecanismos termodinámicos y/o fisicoquímicos que se podrían explicar con los resultados de los trabajos de investigación o teóricos previos desarrollados en esta investigación.

Las actividades durante este semestre serán la revisión de literatura científica, elaboración de un modelo conceptual de flujo y migración de especies químicas, construcción de escenarios y pruebas.

2.5 5o. Semestre

Actividades: Elaboración de un artículo científico para ser publicado en una revista arbitrada como parte de los requisitos del Posgrado y continuación de la investigación doctoral.

2.6 6o. Semestre

Conclusión y defensa de tesis

3 CALENDARIO DE ACTIVIDADES

Actividad	1er. sem	2o. sem	3er. sem	4o. sem	5o. sem	6o. sem
Asignatura a cursar: Geoquímica de las aguas subterráneas						
Asignatura a cursar: Hidrogeología						
Desarrollo de la Unidad Teórica A.						
Desarrollo del Trabajo de investigación A.						
Desarrollo de la Unidad teórica B.						
Desarrollo del Trabajo de investigación B.						
Redacción de tesis						
Examen de Candidatura						
Redacción de artículo científico y trabajo de tesis						
Defensa de tesis y examen de grado						

4 REFERENCIAS

Aranda-Gómez, J.J., Aranda-Gómez, J.M., Nieto-Samaniego, A.F., 1989, Consideraciones acerca de la evolución tectónica durante el Cenozoico de la Sierra de Guanajuato y la parte meridional de la Mesa Central: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, v. 8, no. 1, p. 33-56.

Aranda-Gómez, J.J. and McDowell, F.W., 1998, Paleogene extension in the southern Basin and Range Province of Mexico-Syn-depositional tilting of the Eocene red beds and Oligocene volcanic rocks in the Guanajuato mining district: *International Geology Review*, 40:116-134.

Carrillo-Rivera J.J., Armienta, M.A. 1989. Diferenciación de la contaminación inorgánica de las aguas subterráneas del valle de la ciudad de San Luis Potosí, México. *Geofísica Int. México*. 28(4):763-783.

Carrillo-Rivera, J.J., Cardona, A., Moss, D. 1996. Importance of the vertical component of groundwater flow: a hydrogeochemical approach in the valley of San Luis Potosí, México. *J. of Hydrology* 185: 23-44

Carrillo-Rivera JJ, Cardona A & Hergt T. 2001. Inducción de agua termal profunda a zonas someras: Aguascalientes, México. *Revista Latinoamericana de Hidrología* 1(1): 41–53

Carrillo-Rivera, J.J., Cardona-Benavides, A., Edmonds, W.M., 2002, Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosi basin, Mexico: *Journal Hydrology*, 261, 24-47.

Chiodi M., Monod O., Busnardo R., Gaspard D., Sánchez A. And Yta M. 1988. Une discordance ante albiennne datée par une faune d'ammonites at brachiopodes de type Téthysien au Mexique Central. *Geobios* 21. P. 125-135

Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), 2002. Definición de red para la caracterización y monitoreo de calidad química de agua subterránea de la zona de estudio León: Guanajuato, Gto., México, Universidad de Guanajuato, Contrato realizado para la CEASG, reporte inédito, 76 pp.

Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG). 1999. Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del río Laja-San Felipe. Documentos del Plan Estatal Hidráulico de Guanajuato. Estudio realizado por Ingeniería Geológica computarizada. Gto, México, 141 pp.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 1992. Diagnóstico de las condiciones geohidrológicas actuales y de las alternativas de operación del acuífero de la Cuenca Alta del río Laja, estado de Guanajuato. Consultores en Geología, S.A. de C.V. Gerencia Regional Lerma-Balsas de la Comisión Nacional del Agua, México, D.F. 108 p.

Elías-Herera M. and Ortega-Gutierrez, F. 1998. The Early Cretaceous Arperos oceanic basin (western Mexico). Geochemical evidence for a seismic ridge formed near a spreading center – Comment. *Tectonophysics* 292. p 321-326.

Ferrari L., Garduño V. H., Pasquarè G., and Tibaldi A. 1994. Volcanic and tectonic evolution of central Mexico: Oligocene to present. *Geofísica Internacional*. 33(1):91-105

Flores-Márquez, E.L., Jiménez-Suárez, G., Martínez-Serrano, R.G., Chávez, R., Silva-Pérez, D. 2006. Study of geothermal water intrusion due to groundwater exploitation in the Puebla Valley aquifer system, Mexico. *Hydrogeology Journal* 14: 1216–1230

Hasenaka T., Yosida T., Ishikawa K. Y Ramos – Salinas A. 1994. Actividad Volcánica de la región de La Ordeña, México. *Geoquímica y Mineralogía de las rocas volcánicas del inicio de la actividad volcánica del Cinturón Volcánico Mexicano*. Informe de Investigación del Centro de Investigaciones de Ciencias Nucleares. Japón. 27(1):27-40

Lapierre H., Tardy M., Coulon C., Ortiz – Hernández E., Bourdier J.-L., Martínez – Reyes J. Et Freyrier C. 1992. Caractérisation, genèse et évolution géodynamique du terrain de Guerrero (Mexique Occidental). *Can. J. Earth Sci.* 29. P. 2478-2489.

Medellin-Milán, P., Alfaro-De la Torre, MC., De Lira-Santillán, A.G., Nieto-Ahumada, B and Sarabia-Meléndez, I. 1993. Fluorides in drinking water its correlation with parameters of the

- aquifer and effect on dental health in the City of San Luis Potosí, Mexico. Proc. Water Qual. Tech, Conf. Vol. 2. , AWWA. ASCE, pp 1011-1021
- Nieto-Samaniego, A. F.; García-Dobarganes Bueno J. E. y Aguirre-Maese, A. L., 1992, Interpretación estructural de los rasgos geomorfológicos principales de la Sierra de Guanajuato, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 10(1): 1-5.
- Nieto-Samaniego, A.F., Macias-Romo, C. and Alanís-Álvarez, S.A., 1996, Nuevas edades isotópicas de la cubierta volcánica cenozoica de la parte meridional de la Mesa Central, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 13(1): 117-122.
- Ortega-Guerrero, M.A., 2001. Estudio del acuífero del Río La Laja, municipios de Dolores Hidalgo, San Miguel de Allende, y San Felipe. Reporte Interno, Instituto de Geología, 30 Universidad Nacional Autónoma de México, mapas y texto.
- Ortega-Guerrero, A., Grajeda, O.A., Vázquez-Alarcón, A., Villalobos, S., Muñoz-Ramos, J.J., Zamudio, B, Martínez, J.G., Hurtado, B., Vargas, P., Castellanos, J.Z., Enríquez, S.A. 2002. Changes in the quality of groundwater for agricultural use in Guanajuato. Terra: 161-170
- Ortega-Guerrero M. Adrián. 2008. Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Aceptado para publicación
- Ortiz-Hernández, L.E., Chiodi, M., Lapierre, H., Monod, O., Calvet, P., 1991, El arco Intraoceánico alóctono (Cretácico Inferior) de Guanajuato: Características petrográficas, geoquímicas, estructurales e isotópicas del complejo filoniano de las lavas basálticas asociadas; implicaciones geodinámicas. Revista del Instituto de Geología, Vol. 9. No. 2, 126-145.
- Pasquaré, G., Ferrari, L., Garduño, V. H., Tibaldi, A., and Vezzoli, L., 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacán, México: Geological Society of America, Map and Chart Series, MCH 072, 1 sheet, 21p.Text.
- Pérez-Venzor, J.A., Aranda-Gómez, J.J., McDowell, F.W. y Solorio-Munguia, J.G.,1996, Bosquejo de la evolución geológica del volcán Palo Huérfano, Guanajuato: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 13: 174-183.
- Price, Michael.2007. Agua subterránea. Edit. Limusa, México, 330 pp.
- Ramos-Leal, J.A., González-Morán, T., Durazo-Lozano, J., 2003. La inversión del gradiente hidráulico y sus efectos en la hidrogeoquímica de dos grupos bien diferenciados en la zona de La Muralla, Guanajuato, México: Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), Revista Geofísica, 59, 5-17.
- Vega Gleason, S. 2001. Riesgo sanitario ambiental por la presencia de arsénico y fluoruros en los acuíferos de México. Comisión Nacional del Agua, Gerencia del Saneamiento y Calidad del Agua, México D.F.