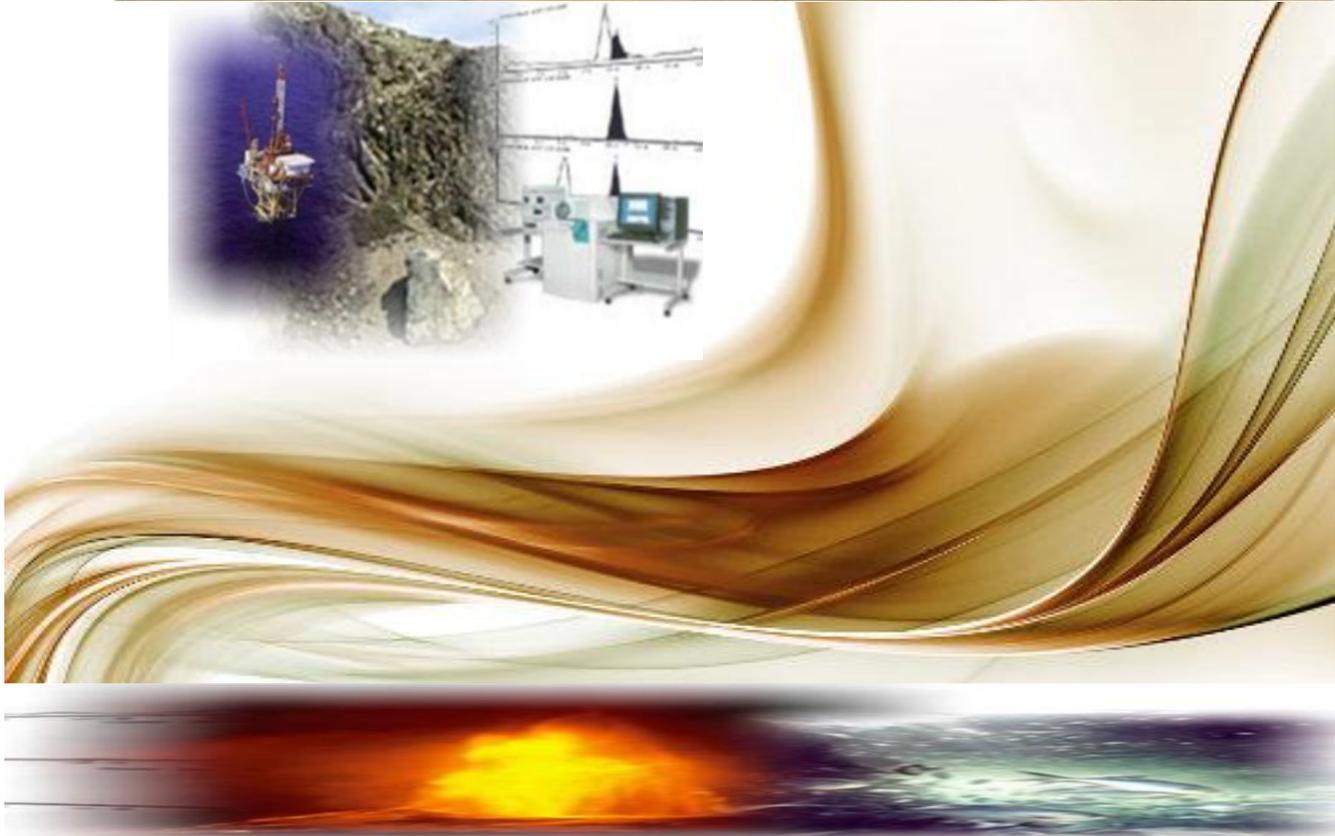
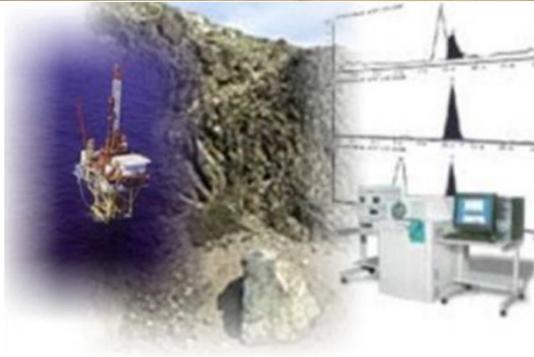


# XXII Congreso Nacional de Geoquímica

1 al 5 de octubre de 2012 en Coatzacoalcos, Veracruz, México.

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Campus Coatzacoalcos  
Instituto Nacional de Geoquímica A.C.



**Actas INAGEQ**  
Volumen 18, No. 1, Año 2012

**EDITORES**

Sara NUÑEZ CORREA

Carlos Arturo GONZALEZ VICENCIO

Facultad de Ciencias Químicas

Universidad Veracruzana. Campus Coatzacoalcos

2012

Primera Edición Octubre 2012

**ISBN: PENDIENTE**

Impreso en México

El formato es responsabilidad de los editores y el contenido de los resúmenes y artículos de sus respectivos autores.

## **COMITÉ ORGANIZADOR**

### **COORDINADORES**

M en C. Carlos A. González Vicencio  
Dra. Sara Núñez Correa  
Dr. Jorge Andaverde Arredondo

### **COMITÉ CIENTÍFICO**

Dra. Concepción Barrera Domínguez  
Dr. Luis Felipe Sánchez Díaz  
M. en C. Roberto Carlos Moreno  
Dr. Hugo Pérez Pastenes  
M. en C. María del Carmen Cuevas Díaz

### **COLABORADORES**

L. P. Enrique Trinidad Pérez  
Ing. Graciela Viveros Cubillos  
Ing. Roberto Sánchez Cortez  
L.C. Paola Morales Rodríguez  
Dr. Oswaldo Guzmán López  
Ing. Gilberto Linares Balcázar  
Dr. Miguel Ángel Ríos Enríquez

## PRÓLOGO

El presente volumen digital de *Actas INAGEQ* tiene como principal objetivo concentrar los trabajos presentados durante el XXII Congreso Nacional de Geoquímica. Con este importante evento, la Comunidad Geoquímica Mexicana celebra el vigésimo segundo aniversario de la creación del Instituto Nacional de Geoquímica, A.C. (INAGEQ). Durante estos veintidos años, el INAGEQ se ha encargado de promover y divulgar nacionalmente las aportaciones científicas en las diferentes áreas de la Geoquímica, así como apoyar significativamente la educación y la formación de recursos humanos en las mismas áreas.

La Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Veracruzana, Campus Coatzacoalcos, tiene el enorme gusto de haber sido nombrado sede del XXII Congreso Nacional de Geoquímica. Con el fin de resaltar la relevancia de este evento, el Comité Organizador programó una serie de conferencias invitadas, dadas por especialistas destacados sobre algún tema relevante en Geoquímica. Estas ponencias se presentarán adicionalmente a los trabajos tradicionales que conforman las diferentes sesiones del Congreso. Esperamos que todas estas contribuciones, además de remarcar el carácter científico de nuestra asociación y reunión anual, tengan un efecto positivo y formativo entre la comunidad de estudiantes de licenciatura y posgrado que participan en nuestro Congreso.

Todas estas contribuciones científicas describen temas geoquímicos de actualidad que se desarrollan en las principales instituciones de investigación de nuestro país. Los trabajos presentados en el XXII Congreso Nacional de Geoquímica se dividieron en las siguientes sesiones: Agua, Rocas y Suelo, Biogeoquímica, Metales, Modelado y simulación y una sesión especial de *HOMENAJE PÓSTUMO AL DR. IGNACIO TORRES ALVARADO*.

Finalmente, a nombre del Comité Organizador del Congreso, agradecemos a la mesa directiva del INAGEQ Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez (CIE, UNAM), Dr. Bodo Weber (CICESE), Dr. Mahendra P. Verma (IIE) el apoyo y confianza para para la organización y el desarrollo del Congreso en nuestras instalaciones. Asimismo, manifestamos nuestro agradecimiento a la M.C. Mirna Guevara García (CIE, UNAM), por su apoyo durante la preparación de del evento.

Comité Editorial del Congreso  
*Dra Sara Núñez Correa, M. en C. Carlos A. González Vicencio.*

**La Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Campus Coatzacoalcos** en colaboración con el Instituto Nacional de Geoquímica A.C., organizan el **XXII Congreso Nacional de Geoquímica (INAGEQ)**, que se llevará a cabo en la Unidad de Servicios Bibliotecarios y de Informática (USBI) del **1 al 5 de octubre de 2012 en Coatzacoalcos, Veracruz, México.**

#### **MESA DIRECTIVA INAGEQ 2010-2012**

Presidente: Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez (UNAM)

Secretario: Dr. Bodo Weber (CICESE)

Tesorero: Dr. Mahendra P. Verma (IIE)

#### **OBJETIVOS**

- i.* Agrupar los geoquímicos del país así como los profesionales relacionados con las Ciencias de la Tierra;
- ii.* Promover el estudio y solución de problemas relacionados con la Química de la Tierra;
- iii.* Fomentar la interacción entre instituciones y grupos de trabajo, mediante programas de cooperación científica nacional e internacional;
- iv.* Mantener a los geoquímicos de México en comunicación mutua y con sus colegas del exterior, fomentando y apoyando las actividades de docencia y la formación de recursos humanos de calidad de nuestro país;
- v.* Fomentar y apoyar el estudio de la Geoquímica en México;
- vi.* Difundir las aportaciones geocientíficas, fomentar intercambio de ideas y experiencias entre los geoquímicos del país.

#### **TEMAS**

- Biogeoquímica
- Petrología
- Vulcanología
- Geoquímica ambiental
- Geoquímica analítica
- Geoquímica inorgánica
- Geoquímica isotópica
- Geoquímica marina
- Geoquímica orgánica
- Geoquimiometría
- Hidrogeoquímica
- Interacción fluido-roca
- Modelado geoquímico
- Procesos geoquímico-metalúrgicos
- Control de calidad en las Ciencias de la Tierra
- Geoquímica de sistemas hidrotermales
- Exploración Geoquímica
- Geocronología
- Geoquímica sedimentaria
- Temas relacionados.

## CONTENIDO

	<i>Página</i>
PROGRAMA GENERAL	1
CONFERENCIAS MAGISTRALES, Programa	2
Semblanza Académica, Dr. Carlos H. ÁVILA BELLO	3
Semblanza Académica, Dr. Edgar R. SANTOYO GUTIERREZ	4
Semblanza Académica, Dra. Yareni PERRONI	5
Semblanza Académica, Dr. Surendra P. VERMA	6
Dr. Ignacio S. TORRES ALVARADO (1964-2012) <i>In Memoriam</i>	7
CM1 AGUA, SUELO, VEGETACIÓN Y POBLACIÓN: HACIA LA SUSTENTABILIDAD DE LA SUBCUENCA DEL RÍO HUAZUNTLAN, VERACRUZ Dr. Carlos H. Ávila Bello   Vicerrector UV- Coatzacoalcos	8
CM2 LOS SISTEMAS DE ROCA SECA CALIENTE: UNA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE OPORTUNA A CONSIDERAR EN EL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DE LA GEOTERMIA Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez   Centro de Investigación en Energía, UNAM	9
CM3 BIOGEOQUÍMICA DEL SUELO EN DOS DESIERTOS MEXICANOS: UNA MIRADA AL FUNCIONAMIENTO DEL ECOSISTEMA A TRAVÉS DEL CICLAJE DE ELEMENTOS ESENCIALES Dra. Yareni Perroni   Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, UV	14
CM4 LA CIENCIA DE GEOQUIMIOMETRÍA QUE NACIÓ EN MÉXICO Y ALGUNAS ACCIONES PENDIENTES Dr. Surendra P. Verma   Centro de Investigación en Energía, UNAM	15
A-1 TRANSFERENCIA SUELO-PLANTA DE METALES PESADOS EN PARCELAS REGADAS CON AGUA RESIDUAL EN EL VALLE DEL MEZQUITAL <i>Mario Cayetano, Christina Siebe</i>	21
A-2 DISTRIBUCIÓN DE ISOTOPOS ESTABLES A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS DE BAJA CALIFORNIA <i>Thomas Kretzschmar, Theresa Frommen</i>	22
A-3 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS IONES MAYORITARIOS DEL AGUA DE MAR Y DE SU COMPORTAMIENTO CON EL AVANCE DEL PROCESO DE EVAPORACIÓN <i>Rosangel C. Moreno, Armando J. Ramírez, Carlos E. Yanes</i>	23
A-4 EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTO DEL ARROYO "LA VACA" <i>Abril E. Gutiérrez, Beatriz A. Candelario, Martha E. Sandoval-Rojas, Luis Felipe Sánchez-Díaz, María Del Carmen Cuevas-Díaz</i>	24
A-5 SISTEMAS DE FLUJO SUBTERRÁNEO Y CONTENIDO DE FLUORURO EN TENEXTEPANGO MORELOS, CUAUTLA <i>Gricelda G. Varela-González, Magdalena Espinoza-Jaramillo, Rafael Huizar Álvarez</i>	25
A-6 $^{18}\text{O}$ , $^2\text{H}$ y $^{34}\text{S}$ EN EL DISTRITO MINERO DE TAXCO, MÉXICO <i>Azucena Dótor-Almazan, Ma. Aurora Armienta, Olivia Cruz, Alejandra Aguayo, Nora Cenicerros</i>	26
R-1 MICROTEXTURAS EN ARENAS DE LAS PLAYAS DE TECOLUTLA, NAUTLA Y VERACRUZ, EN EL GOLFO DE MÉXICO: IMPLICACIÓN DE UN PALEOAMBIENTE <i>Natalhy Pineda-Olmedo, John S. Armstrong-Altrin</i>	29
R-2 ASPECTOS PALEOAMBIENTALES DE LAS ROCAS SILICLÁSTICAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR DE LA SIERRA CUESTA EL INFIERNO (MUNICIPIO DE ALDAMA, CHIHUAHUA), MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE BIOMARCADORES <i>Luz Stephanie Montaño, Kinardo Flores, Yulemi González, Juan Carlos Durán, Jesús Martín Torres, Carlos Esquivel y Alfredo Meneses</i>	30

R-3	GEOQUÍMICA INORGÁNICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS DEL AFLORAMIENTO DECA - PARQUE CRETÁCICO EN LA SIERRA CUESTA “EL INFIERNO”, MUNICIPIO DE ALDAMA, CHIHUAHUA (MÉXICO): CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PROCEDENCIA <i>Yulemi González Moreno, Kinardo Flores, John S. Armstrong-Altrin, Luz Stephanie Montaño, Màrius Ramírez, José Luis Cadena</i>	37
R-4	GEOQUÍMICA ORGÁNICA APLICADA A ROCAS PERTENECIENTES AL JURASICO MEDIO EN UNA PORCION DEL RIO HUEHUETLA, HIDALGO (MÉXICO): IMPLICACIONES PALEOAMBIENTALES <i>Lisbeth A. Badillo, Kinardo Flores, Carlos Esquivel, Juan Carlos Durán</i>	43
R-5	EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SUELO EN EL AREA DE LA ANTIGUA ESTACION FERROVIARIA MEDIAS AGUAS <i>Jorge L. Montero, Octaviano Cuello, Martha E. Sandoval, María Del C. Cuevas D., Luis Felipe Sánchez D.</i>	49
R-6	EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS DEL MUNICIPIO DE NANCHITAL, VERACRUZ, POR DERRAMES Y/O FUGAS DE HIDROCARBUROS <i>Yadira Martínez Bailey, M. en C. María del Carmen Cuevas Díaz</i>	50
R-7	MEDICIONES DE 222RN EN FALLA GEOLÓGICA EN LA IZTAPALAPA, D.F <i>Faustino Juárez, Guillermo Espinosa, Pedro G. Reyes, Víctor H. Espíndola</i>	55
R-8	GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS RECIENTES DE LA PLAYA DE TAMIAHUA, GOLFO DE MÉXICO: IMPLICACIONES SOBRE SU PROCEDENCIA <i>Héctor Jesús Tapia Fernández, John S. Armstrong-Altrin</i>	63
R-9	EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DEL LAGO DE CHAPALA <i>María de Jesús González Guadarrama, Ruth Esther Villanueva-Estrada, Rosa María Prol-Ledesma, Fabiola Mendiola López</i>	64
R-10	CATHODOLUMINESCENCE AND EDS-XRF ASSEMBLY FOR ANALYSIS OF SOIL SAMPLES <i>Rufino Lozano, Donald J. Marshall, Travis A. Johnson, Patricia Girón, Pablo Peñaflo</i>	70
B-1	FORMAS DE CRECIMIENTO DE VEGETACIÓN EN DUNAS COSTERAS Y SU RELACIÓN A ELEMENTOS MAYORES EN UNA PLAYA DE TAMAULIPAS, MÉXICO <i>Victor Hugo Herrera Morales, Juan José Kasper Zubillaga</i>	76
B-2	CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESERVADOS EN MADERA FÓSIL DEL GENÉRO <i>Javelinoxylon deca</i> (Malvaceae s.l.) DEL AFLORAMIENTO DECA-PARQUE CRETÁCICO, MUNICIPIO DE ALDAMA, CHIHUAHUA (MÉXICO) <i>Delia Mendoza, Kinardo Flores, Emilio Estrada, Juan Carlos Durán, Jesús Martín Torres, Carlos Esquive</i>	77
B-3	USO DE BIOMARCADORES EN SEDIMENTOS HOLOCENOS DE LA CIÉNEGA DE TONIBABI, SONORA, MÉXICO Y SU CORRELACIÓN CON POLEN Y DIATOMEAS FÓSILES <i>Iván Espinoza-Encinas, Kinardo Flores-Castro, Francisco A. Paz-Moreno, Ma. Cristina Peñalba-Garmendia</i>	82
B-4	COMPOSICIÓN DEL BITUMEN EXTRAIDO DE CONÍFERA PRESERVADA EN SEDIMENTOS DEL CRETÁCICO SUPERIOR DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE: REPORTE PRELIMINAR <i>Kinardo Flores, Jesús Martín Torres, Emilio Estrada, Juan Carlos Durán, Noé Piedad, Francisco Paz, Rogelio Monreal</i>	84
M-1	BIOACCESIBILIDAD DE PLOMO EN SUELO DE PASIVOS AMBIENTALES METALÚRGICOS HISTÓRICOS <i>Yolanda Rodríguez, Leticia Carrizales, Roberto Briones-Gallardo, Antonio Cardona, Israel Razo</i>	90
M-2	EL USO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO PARA LA ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN <i>Leticia Torres, Juan F. Cárdenas, María de Guadalupe Moctezuma, Víctor Manuel Martínez, Ismael Acosta</i>	91
M-3	INFLUENCIA DEL ÁREA SUPERFICIAL DE LA GOETITA EN LAS REGIONES DE PREDOMINIO DE ESPECIES ADSORBIDAS Y PRECIPITADAS DE As(V) EN PRESENCIA DE Pb(II) <i>Katherine Vaca-Escobar, Mario Villalobos</i>	97
M-4	MECANISMOS DE INMOVILIZACIÓN DE Cr (VI) POR PROCESOS SUPERFICIALES EN ÓXIDOS DE HIERRO SINTÉTICOS Y NATURALES <i>Villacís-García Milton y Villalobos Peñalosa Mario</i>	98

	DETERMINACIÓN DE LA ASOCIACIÓN MINERALÓGICA DE ARSÉNICO EN MUESTRAS SÓLIDAS AMBIENTALES EMPLEANDO EXTRACCIÓN SECUENCIAL	99
M-5	<i>Andrea Haro-Nava, Alejandro Rodríguez, Israel Razo, Antonio Cardona, Carmen Ojeda-Escamilla, Roberto Briones-Gallardo</i>	
	BIOACCESIBILIDAD DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TOXICOS EN JALES MINEROS Y EN SUELOS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINERO-METALÚRGICOS	100
M-6	<i>Flavio López Velecela, Mario Villalobos y Francisco Martín Romero</i>	
	TIERRAS RARAS EN EL YACIMIENTO DE Fe DE CERRO DEL MERCADO, DURANGO, MÉXICO	101
M-7	<i>Jorge Antonio Sánchez-Lázaroa; Noé Piedad-Sánchez, José Luis Cadena-Zamudio, Eduardo González-Partida, Pascual Bartolo-Pérez, Iliana Margarita De la Garza-Rodríguez, Isabel Aracely Facundo-Arzola, María Gloria Rosales-Sosa, Kinardo Flores-Castro, Rodolfo Corona-Esquivel</i>	
	ALÚMINA COMO CATALIZADOR PARA LA PRODUCCIÓN DE OLEFINAS	105
M-8	<i>María C. Barrera, José Escobar, Ary D. Espinoza</i>	
	DR. IGNACIO S. TORRES ALVARADO, EN MEMORIAM - UNA VISTA PERSONAL DE UNA COLABORACIÓN DE 25 AÑOS	111
H-1	<i>Thomas Kretzschmar</i>	
	DR. IGNACIO S. TORRES ALVARADO AS FRIEND AND SCIENTIFIC COLLABORATOR ABOUT THE EARLY HISTORY OF THE TRANS MEXICAN VOLCANIC BELT	112
H-2	<i>Matthias Hinderer</i>	
	CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS DE EQUILIBRIO DE FLUIDOS TERMALES: MANANTIALES EN LA REGIÓN CENTRO-ESTE DE SONORA, MÉXICO	114
H-3	<i>Erika Almirudis-Echeverría, Ignacio Torres-Alvarado, Edgar Santoy, Mirna Guevara-García, Francisco A. Paz-Moreno</i>	
	ESTUDIOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DE ROCAS VOLCÁNICAS Y SU APLICACIÓN POTENCIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ROCAS ALTERADAS HIDROTERMALMENTE EN ÁREAS GEOTÉRMICAS	120
H-4	<i>Kailasa Pandarinath, Rajashekaraiah Shankar, Ignacio S. Torres-Alvarado, Anish Kumar Warriar</i>	
	EXPERIMENTOS DE INTERACCIÓN FLUIDO-ROCA BAJO CONDICIONES DE ESTADO QUASI-ESTABLE: PRIMEROS ESFUERZOS ENCAMINADOS A PREDECIR EL TIEMPO ÓPTIMO DE LA REACCIÓN	121
H-5	<i>Daniel Pérez-Zárate, Ignacio Torres-Alvarado, Mirna Guevara, Edgar Santoyo</i>	
	¿QUÉ NOS DICEN EDADES MODELO TDM ACERCA DE LA EVOLUCIÓN CORTICAL DEL BLOQUE MAYA?	122
MS-1	<i>Bodo Weber</i>	
	METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN <i>IN SITU</i> DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA DEL SUELO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR	124
MS-2	<i>Oscar Silva-Aguilar, Jorge Andaverde, Artemio Benitez-Fundora</i>	
	GeoSys.Chem: OBJECT ORIENTED PROGRAMMING FOR GEOCHEMICAL MODELING OF GEOTHERMAL SYSTEMS	131
MS-3	<i>Mahendra P. Verma</i>	
	SIMULACIÓN DE LA AFECTACIÓN TÉRMICA DE LA FORMACIÓN POR EFECTO DE LA PERFORACIÓN DE UN POZO (ANÁLISIS DE FONDO DE POZO)	137
MS-4	<i>Jorge Wong, Jorge Andaverde</i>	
	EVALUACIÓN OBJETIVA DE LAS PRUEBAS DE DISCORDANCIA PARA DATOS UNIVARIADOS USANDO SIMULACIÓN TIPO MONTE CARLO	142
MS-5	<i>Mauricio Rosales-Rivera, Lorena Díaz-González, Surendra P. Verma, y Alfredo Quiroz-Ruiz</i>	
	GEOTERMOMETRÍA DE SOLUTOS Y GASES: UN ESTUDIO GEOQUIMIOMÉTRICO COMPARATIVO PARA EVALUAR SU EFICIENCIA EN LA PREDICCIÓN DE TEMPERATURAS DE POZOS GEOTÉRMICOS	143
MS-6	<i>Christian García-López, Kailasa Pandarinath y Edgar Santoyo</i>	

## PROGRAMA GENERAL

Horario	LUNES 1	MARTES 2	MIÉRCOLES 3 <i>Homenaje póstumo al Dr. Ignacio S. Torres Alvarado</i>	JUEVES 4	VIERNES 5
8:30 - 9:00	Registro	Registro	Registro/Facturas	Excursión Geológica	
9:00 - 9:30	<b>Inauguración</b>	<b>Dra. Yareni Perroni</b> Inst. de Inv. Forestales, UV "Biogeoquímica del suelo en dos desiertos mexicanos: una mirada al funcionamiento del ecosistema a través del ciclaje de elementos esenciales"	<b>Dr. Surendra P. Verma</b> Centro de Investigación en Energía, UNAM "La Ciencia de Geoquimiometría que nació en México y algunas acciones pendientes"		
9:30 - 10:00	<i>Autoridades UV e INAGEQ</i>				
10:00 - 10:20	<b>Dr. Carlos H. Ávila Bello</b> Vicerector UV- Coatzacoalcos	B-1	H-1		
10:20 - 10:40	"Agua, suelo, vegetación y población: hacia la sustentabilidad de la subcuenca del río Huazuntlán, Veracruz"	B-2	H-2		
10:40 - 11:00		Receso	Receso		
11:00 - 11:20	A-1	B-3	H-3		
11:20 - 11:40	A-2	B-4	H-4		
11:40 - 12:00	A-3	M-1	H-5		
12:00 - 12:20	Coktel de Bienvenida Grupo Jarocho	M-2			
12:20 - 12:40		M-3	ASAMBLEA		
12:40 - 13:00					
13:00 - 15:00	COMIDA	COMIDA	COMIDA		
15:00 - 15:20	<b>Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez</b> Centro de Investigación en Energía, UNAM	M-4	MS-1		
15:20 - 15:40	"Los sistemas de roca seca caliente: una fuente de energía renovable oportuna a considerar en el programa de exploración de la geotermia"	M-5	MS-2		
15:40 - 16:00		M-6	MS-3		
16:00 - 16:20	A-4	M-7	MS-4		
16:20 - 16:40	A-5	M-8	MS-5		
16:40 - 17:00	A-6		MS-6		
17:00 - 17:20	Receso	Receso	<b>CLAUSURA</b>		
17:20 - 17:40	R-1	R-6	Evento Cultural <b>TEATRO</b> USBI-Coatzacoalcos		
17:40 - 18:00	R-2	R-7			
18:00 - 18:20	R-3	R-8			
18:20 - 18:40	R-4	R-9			
18:40 - 19:00	R-5	R-10			
20:00			<b>CENA</b>		

## SESIONES:

A: Agua

R: Rocas y suelo

B: Biogeoquímica

M: Metales

H: Homenaje

MS: Modelado y Simulación

CM: Conferencia Magistral

## CONFERENCIAS MAGISTRALES

- Lunes 1 de octubre (10:00 am)

**Dr. Carlos H. Ávila Bello** (Vicerrector, Región Coatzacoalcos, UV)

"Agua, suelo, vegetación y población: hacia la sustentabilidad de la subcuenca del río Huazuntlán, Veracruz"

- Lunes 1 de octubre (15:00 pm)

**Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez** (Centro de Investigación en Energía, UNAM)

"Los sistemas de roca seca caliente: una fuente de energía renovable oportuna a considerar en el programa de exploración de la geotermia"

- Martes 2 de octubre (09:00 am)

**Dra. Yareni Perroni** (Inst. de Inv. Forestales, UV)

"Biogeoquímica del suelo en dos desiertos mexicanos: una mirada al funcionamiento del"

- Miércoles 3 de octubre (09:00 am)

**Dr. Surendra P. Verma** (Centro de Investigación en Energía, UNAM)

"La Ciencia de Geoquimiometría que nació en México y algunas acciones pendientes"

- Miércoles 3 de octubre

† *Homenaje póstumo al* **Dr. Ignacio S. Torres Alvarado**

**Semblanza Académica****Dr. Carlos H. Ávila Bello**

Egresó de la carrera de Agronomía de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco en 1982. Realizó estudios de Maestría en Botánica en el Colegio de Postgraduados en 1992.

Estudios doctorales en agroecología (2000-2003) en el Colegio de Postgraduados.

Investigador del Centro de Botánica del Colegio de Postgraduados en el proyecto La Dinámica de la Milpa en Yucatán, bajo las órdenes del Maestro Efraím Hernández Xolocotzi.

Fue investigador titular en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

Investigador titular y profesor del Colegio de Postgraduados, colaborando en la elaboración del Programa de Postgrado en Agroecología.

Profesor-investigador de la carrera de Ing. Agrónomo de la UAM-Xochimilco.

En 2004 ingresó como profesor de tiempo completo a la Universidad Veracruzana.

Actualmente se desempeña como Vicerrector de esa casa de estudios en la región Coatzacoalcos-Minatitlán-Acayucan-Huazuntlán.

En esa universidad mantiene un equipo de investigación con docentes y estudiantes, desarrollando proyectos, para los que se han obtenido al menos tres diferentes financiamientos por más de siete millones de pesos, cuyos objetivos están encaminados a estudiar el manejo de los recursos naturales (milpa, solares, bosques, selvas, suelo y agua) por los pueblos popolucas y nahuas en la Sierra de Santa Marta, dentro de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, con base en el enfoque de sistemas complejos.

Ha publicado 19 artículos científicos y de divulgación en revistas nacionales y extranjeras; siete capítulos de libro; ha participado en 37 diferentes congresos nacionales e internacionales y ha sido invitado a impartir ocho conferencias magistrales. Del mismo modo ha dirigido 16 tesis, entre licenciatura y maestría.

Es miembro de la Sociedad Botánica de México, de la Society for Economic Botany, de la Academia Nacional de Ciencias Forestales; de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad; del Directorio Nacional de Expertos en Bioseguridad y lo fue del Sistema Nacional de Investigadores (de 2003 a 2005).

Ratificado como profesor PROMEP en 2012. Es miembro del Comité Editorial de *La Palabra y El Hombre*, revista emblemática de la Universidad Veracruzana, así como árbitro y miembro de comités de diferentes revistas científicas mexicanas e internacionales. Colaboró por espacio de seis años con *Lunes en la Ciencia* del periódico *La Jornada*. Actualmente colabora con la revista *Este País*.

**Semblanza Académica****Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez**

En 1980 obtuvo la Licenciatura en Ing. Química en la Facultad de Ciencias Químicas e Industriales de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, en donde también concluyó sus estudios de Maestría en Ingeniería Química en 1987. Realizó una especialización en administración de la investigación en la Universidad de Salford, Inglaterra (1996), y los estudios Doctorado en Energía Térmica en la misma universidad inglesa (1994-1997).

Sus principales líneas de investigación están centradas en la evaluación de sistemas geotérmicos para la producción de energía eléctrica, particularmente en lo que se refiere a estudios avanzados de geoquímica, geoquimiometría y simulación numérica de procesos (físicoquímicos y de transferencia de calor). En estas líneas de investigación ha realizado contribuciones científicas muy importantes en el desarrollo de nuevas herramientas geotermométricas y metodologías geoquímicas, geoquimiométricas y computacionales para el mejor aprovechamiento de los recursos geotérmicos y la estimación más confiable de las reservas energéticas disponibles en estos sistemas geotérmicos.

Es Investigador Nacional Nivel II, por el Sistema Nacional de Investigadores y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, de la Academia Nacional de Ingeniería, de la Academia de Ciencias de Morelos, así como de varias asociaciones científicas tanto nacionales como internacionales. Actualmente es el Presidente de la asociación científica Instituto Nacional de Geoquímica (INAGEQ). En el año 1993, recibió el Premio "AL MERITO PROFESIONAL" Medalla Emiliano Zapata, otorgado por el Gobierno del Estado de Morelos.

Como parte de su obra científica, ha publicado 100 trabajos de investigación, 50 de ellos son artículos internacionales indizados publicados en revistas internacionales del "Science Citation Index", 26 artículos de memorias in-extenso con arbitraje de expertos publicados para congresos internacionales, 15 en revistas nacionales, 2 libros, 6 capítulos de libros, 1 diccionario científico, así como alrededor de 90 presentaciones en congresos nacionales e internacionales. Su obra científica ha recibido cerca de 700 citas, 550 de ellas externas.

Como parte de su actividad académica también participa en el arbitraje de artículos científicos para revistas indizadas de alto prestigio internacional incluidas en el SCI. Ha participado en varios proyectos de investigación internacional. Ha sido Editor Invitado para la edición de volúmenes especiales sobre geoquímica y energías renovables para revistas internacionales. En 2010, fue nombrado Editor Científico en la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas (RMCG), revista indizada en el SCI. Es evaluador de proyectos científicos y tecnológicos para el CONACyT de México y recientemente nombrado miembro del Comité Técnico del Sistema Estatal de Investigador, establecido por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos (CECyTEM).

Desde el 2003 funge como Coordinador del Grupo de Investigación de Geoenergía en el CIE-UNAM. Ha sido Miembro del Consejo Interno del CIE (como invitado desde 2003) y Coordinador e Integrante de la Comisión para la Creación de la Licenciatura de Ingeniería en Energías Renovables. Actualmente desempeña el cargo de Secretario Académico en el Centro de Investigación en Energía de la UNAM.

## Semblanza Académica

### Dra. Yareni Perroni

Es profesora investigadora del Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA) de la Universidad Veracruzana. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel 1) y Profesor con Perfil Deseable por PROMEP.

Es bióloga egresada con honores de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Estudió el doctorado en el Instituto de Ecología, A.C. (INECOL) en el programa de Ecología y Manejo de Recursos Naturales. En su tesis doctoral exploró los mecanismos de conservación de nitrógeno en el suelo de islas de fertilidad en un ecosistema semiárido y la relación del suelo fértil con la riqueza de especies vegetales.

Fue becaria posdoctoral en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), UNAM en el marco del proyecto: Mecanismos de disponibilidad de nitrógeno y fósforo del suelo en un desierto del norte de México.

Ha recibido la nominación al “más sobresaliente artículo publicado en el 2006” propuesto por los editores de la revista *Journal of Vegetation Science*.

Es profesora invitada regularmente al curso de campo que se imparte en las materias de Ecología y Método de Investigación de Campo en la Licenciatura en Biología de la BUAP y en la sección de *Biogeoquímica y Energética del Ecosistema* en la Maestría y Doctorado en Ciencias del INECOL.

Ha impartido los cursos de Manejo de Poblaciones y Comunidades, Introducción al Diseño de Experimentos y Exploración de Datos en la Universidad Veracruzana.

Ha impartido diversas pláticas en diferentes instituciones como en Ciencias Biológicas de la UAT, Tlaxcala; el Centro de Investigaciones Biológicas de la UAEH, Hidalgo, y el Max- Planck Institut für Biogeochemie, Alemania.

## Semblanza Académica

### Dr. Surendra P. Verma

Licenciatura (B.Sc.) y Maestría (M.Sc.) de la Universidad de Agra, Agra, India (1963 y 1965, respectivamente); Doctorado (Ph. D.) en 1971, Instituto Indú de Ciencias, Bangalore, India; Especialización en Geotermia, del Instituto Internacional de la Investigación Geotérmica, Pisa, Italia, en 1970.

Actualmente, es Investigador Titular C (máxima categoría) en el "Centro de Investigación en Energía" de la "Universidad Nacional Autónoma de México" (Temixco, Morelos), la máxima categoría en la UNAM desde 1981; y cuenta con el máximo nivel del PRIDE D. Es también Investigador Nacional por el "Sistema Nacional de Investigadores" desde su creación en 1984. Fue Investigador Nacional nivel 2 durante 1984-1987, pero ocupó el máximo nivel 3 desde 1987 hasta el año 2013 (renovable).

Geoquímico: dedicado principalmente al estudio de los volcanes and campos geotérmicos, así como investigación en la Geoquímica Analítica y más recientemente en la Estadística. Ha publicado más de 320 artículos. Aproximadamente 130 de ellos son en revistas internacionales de *Science Citation Index* e incluyen 3 trabajos en la revista *NATURE*. Unos 100 trabajos se encuentran como capítulos de libro, en revistas arbitradas mexicanas, españolas, indias y norteamericanas, y como reseña de libro, o como Memorias de Congreso arbitradas. Así mismo, cuenta con unos 10 números especiales de revistas arbitradas editados. Los 80 trabajos restantes son en revistas no-arbitradas o en memorias de congresos. En 2005, ha escrito un libro sobre Estadística Básica que se ha empleado como libro de texto para cursos de posgrado. De igual manera, su obra cuenta con más de 3100 citas bibliográficas (totalmente externas) por colegas que no forman parte de autoría de su propia obra.

Ha supervisado 32 tesis de Licenciatura; 6 de Maestría; y 6 de Doctorado (en México, estudiantes de las Geociencias iban a estudiar su doctorado afuera del país hasta hace pocos años), así como ha participado con 2 becarios posdoctorados. De manera similar, ha presentado ~100 pláticas invitadas en diferente instituciones y ~210 ponencias orales en reuniones científicas. Así mismo, ha enseñado ~65 cursos a nivel licenciatura, profesional y posgrado.

Es (o ha sido) Miembro de varias asociaciones científicas. Fue Editor (de Geoquímica) de la "*Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*" (incluida en *Science Citation Index*) durante 2004-2010. Fue Presidente Fundador de la Asociación "Instituto Nacional de Geoquímica" (1990-1993) y Miembro del Comité Editorial de la revista "*Journal of South American Earth Sciences*" (1990-1996). Fue Editor Asociado de la revista "*Geofísica Internacional*" hasta 2005; Referee para las propuestas de investigación de la "*National Science Foundation*" (U. S. A.) y Conacyt (Mexico); Referee de revistas nacionales e internacionales; Editor Huésped de varios números especiales, incluyendo dos (uno publicado en 1991 y otro en 1999) de una revista de *Elsevier (Journal of Volcanology and Geothermal Research)*. Fue Miembro del Comité de Evaluación (1998-2000) del Área I (esta área incluye a Física, Astronomía, Matemáticas, Ciencias de Materiales, Química Inorgánica y Ciencias de la Tierra) del "Sistema Nacional de Investigadores" en México y ocupó el puesto del Presidente de esta Comisión en el año 2000.

Ha sido Profesor o Investigador Visitante en U. S. A. (University of Minnesota; University of Rhode Island; United States Geological Survey), Alemania (Max-Planck Institut für Chemie; Universität Mainz; Universität Trier), Italia (Universitá di Pisa; Istituto Internazionale per le Recherche Geotermiche), España (Universidad Complutense de Madrid; Museo Nacional de Ciencias Naturales), e India (Indian Institute of Science; National Geophysical Research Institute; Banaras Hindu University; Rajasthan University).

Ganador de la Beca de Mérito del Estado de Uttar Pradesh (1959-1961), Beca de Mérito Nacional (1961-1965), and Beca del Indian Institute of Science (1965-1969) en India; Beca del Gobierno de Italia (1970) en Italia; y Alexander von Humboldt Stiftung (1986-1988) en el Max-Planck Institut für Chemie en Alemania.

**Dr. Ignacio S. Torres Alvarado (1964-2012) *In Memoriam***

La comunidad geocientífica mexicana recibió el 15 de Enero la triste noticia de la pérdida de Ignacio, Nacho como le llamábamos todos sus amigos. Sucedió de manera repentina, a consecuencia de una intervención quirúrgica. Deja a su esposa Gabriella y a sus dos pequeños hijos, Paola de siete años y Gabo de 4 años.

Un investigador inquieto que tenía entre sus principales líneas de investigación la generación de herramientas computacionales para la solución de problemas geocientíficos; estudios de interacción agua-roca centrados en la geoquímica y mineralogía del proceso de alteración hidrotermal en campos geotérmicos mexicanos y estudios sobre origen de volcanes, con el objetivo principal de interpretar datos geoquímicos e isotópicos para la creación de modelos petrogenéticos que coadyuvaran al conocimiento sobre el origen y evolución de las rocas volcánicas en nuestro país (en especial en el Cinturón Volcánico Mexicano), y el análisis de su relación con los recursos geoenergéticos derivados.

Investigador Titular del Centro de Investigación en Energía UNAM desde 1997 e Investigador Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores. Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, Sociedad Geológica Mexicana, Instituto Nacional de Geoquímica (miembro vitalicio), Asociación Geotérmica Mexicana, International Geothermal Association y la International Association of Geochemistry and Cosmochemistry que le otorgó el reconocimiento *Friend of Water-rock Interaction Award* en 2010.

Un pensador crítico, con ideas firmes en lo social, político y científico. Deseaba poder aportar su granito de arena para mejorar la educación en este país y lo logró ampliamente al participar en el proyecto de la Licenciatura de Ingeniería en Energía Renovables de la UNAM del cual fue nombrado Coordinador Académico en Julio de 2011.

Nació el 17 de septiembre de 1964 en Torreón, Coahuila. Siendo muy pequeño su familia cambió de residencia al estado de Morelos donde cursó su educación básica y educación media. Estudió la preparatoria en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y la carrera de Ingeniero Geólogo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM (1982-1987), recibió Mención Honorífica por su trabajo de tesis y la medalla Gabino Barreda por el promedio de calificaciones más alto de su generación. Realizó estudios de especialización en Alemania (1988-1989) y en 1996 obtuvo el grado de Doctor, aprobado con la calificación Magna cum laude, en el Instituto de Mineralogía, Petrología y Geoquímica de la Universidad Eberhad-Karls, Tubinga, R. F. Alemana.

Describir a Nacho no es difícil, una persona abierta, un amigo incondicional, un colega formidable, un ser humano extraordinario. Siempre entusiasta, con un tono de voz muy serio pero bromista a la primera oportunidad. Lo recordaremos siempre por su gran don de gentes y su amable sonrisa. Nacho amaba la vida al aire libre y será recordado como un gran geólogo, pero sobre todo, como un gran amigo.

*Mirna Guevara García y Edgar Santoyo Gutiérrez*

## AGUA, SUELO, VEGETACIÓN Y POBLACIÓN: HACIA LA SUSTENTABILIDAD DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO HUAZUNTLÁN, VERACRUZ

Dr. Carlos H. Ávila Bello

*Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria, Universidad Veracruzana, Km. 4.5 Carretera Costera del Golfo Acayucan-Catemaco, 96026, Acayucan, Ver., México.*

### RESUMEN

La subcuenca del río Huazuntlán, ubicada en la sierra de Santa Marta, al sur de Veracruz, abastece agua a ciudades como Acayucan, Jáltipan, Cosoleacaque, Coatzacoalcos y Minatitlán, entre otras. Ahí, las actividades agropecuarias y la presión socioeconómica externa a ellas, han contribuido a la fragmentación de la vegetación, erosión y el deterioro de la calidad del agua. Los objetivos del presente trabajo fueron conocer el estado de calidad del agua y los recursos asociados a ella en la región. Se determinaron en algunos sitios niveles altos de turbidez y coliformes fecales en cuerpos de agua y, en otros, niveles de erosión superiores a 2,000 ton/ha-año. Existen áreas de vegetación de alta diversidad biológica, con una densidad superior a 2,000 árboles ha<sup>-1</sup>, sin embargo, la cobertura de selva mediana subperennifolia y bosque caducifolio ha disminuido en más de 60%, mientras que los pastizales han aumentado más de 400%. La población, altamente marginada, crece a un ritmo anual de 3.02%, representando una mayor presión en términos de uso directo de los recursos. El cambio de uso de suelo genera compactación del suelo y pérdida de diversidad biológica, menor filtración de agua y recarga de los acuíferos y mayores escurrimientos superficiales, provocando deslaves e inundaciones en la parte baja de la cuenca, como se observó en el periodo de lluvias de 2010. Dados tales resultados, se proponen esquemas de uso sustentable de los recursos naturales; establecimiento de prácticas productivo-conservacionistas; la valoración de los recursos naturales; construcción de observatorios rurales; inversión en educación y ciencia, y modificación de las políticas de manejo de los recursos naturales, especialmente se debe detener la introducción y promoción de la ganadería.

## LOS SISTEMAS DE ROCA SECA CALIENTE: UNA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE OPORTUNA A CONSIDERAR EN EL PROGRAMA DE EXPLOTACIÓN DE LA GEOTERMIA

Dr. Edgar Santoyo

*Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/n, Centro, Temixco, Morelos 62580; e-mail: [esq@cie.unam.mx](mailto:esq@cie.unam.mx)*

### INTRODUCCIÓN

La energía de la Tierra, mejor conocida como energía geotérmica o geotermia, es una energía renovable, prácticamente inagotable, con una madurez tecnológica sólida, limpia, versátil y útil para generar electricidad, entre otras múltiples aplicaciones de uso directo. Debido a que sus emisiones se componen principalmente de vapor de agua, su uso no presenta riesgo ambiental para nuestro planeta.

Hoy en día, la geotermia contribuye con sólo el ~0.4% de la generación eléctrica mundial con una capacidad total instalada de ~10,715 MW<sub>e</sub> y una producción total de ~67,246 GWh<sub>e</sub>/año a una eficiencia promedio de ~6.3GWh/MW<sub>e</sub> (Santoyo y Barragán-Reyes, 2010; Bertani, 2012). Esta contribución es lograda a través de la explotación comercial de los sistemas hidrotermales de alta temperatura, que constituyen una fracción muy pequeña de la inmensa cantidad de energía disponible en la Tierra. De esta forma, el uso de la energía geotérmica se ha concentrado en áreas en donde se disponen fluidos (agua y vapor) a alta presión y temperatura, acompañados por un sistema geotérmico con una permeabilidad de roca adecuada para su explotación y recarga. Sin embargo, existe una cantidad inmensa de energía geotérmica en zonas de roca seca y de muy baja permeabilidad, que pueden ser alcanzadas con proyectos económicos y tecnologías modernas de perforación a profundidades de hasta 5 km (MIT, 2006).

Este tipo de sistemas geotérmicos de roca seca caliente (en inglés "Hot Dry Rock", HDR), también conocidos como "sistemas geotérmicos mejorados" (en inglés "Enhanced Geothermal Systems", EGS), se caracterizan por tener, como fuente de calor, a la roca seca caliente (con temperaturas entre 500°C y 650°C), una baja porosidad y un número limitado de fracturas naturales. Estas características peculiares se reflejan por un contenido prácticamente nulo de fluidos y una baja permeabilidad de las rocas que dominan en estos sistemas, lo que finalmente impide que existan en condiciones favorables para una explotación natural o convencional (IEA, 2011).

Los sistemas EGS se caracterizan por presentar procesos de transferencia de calor predominantemente conductivos. Un recurso EGS es susceptible de aprovechamiento si reúne los siguientes requerimientos fundamentales:

1. Una fuente de calor, que provea una densidad energética de alto grado dentro del subsuelo o la Tierra. Esta fuente de calor debe generar calor, en una forma mucho más rápida, que en la que pueda disiparla, causando de este modo que la temperatura de la roca se incremente hasta un punto en donde el flujo de calor que sale alcance un equilibrio con la tasa de generación. El origen del calor presente en la roca seca puede ser atribuido a tres fuentes posibles: (i) áreas volcánicas en zonas de subducción (choque de placas), donde el magma actúa como fuente primaria de calor y suele proveer el calor a la roca circundante; (ii) áreas relacionadas con zonas de rift, caracterizadas por una estructura de graben continental (Kappelmeyer

- et al., 1991); y (iii) áreas en donde los procesos de decaimiento natural de isótopos radioactivos proveen la masa de roca caliente, p. ej., los granitos (Kruger *et al.*, 1992);
2. Una capa de roca, de considerable espesor y baja conductividad térmica, que permita aislar térmicamente el calor del sistema (p. ej., secuencias sedimentarias, limolitas, carbonaceas o de compuestos de carbón);
  3. Un reservorio o yacimiento interconectado, ya sea por el fracturamiento de la formación (natural o artificial) o la porosidad de las rocas, a través del cual pueda circular el fluido transportador de calor; y
  4. Un fluido de transmisión de calor (agua, aire o gas) que permita extraer el calor de la roca seca caliente, y transportarlo hacia la superficie para su aprovechamiento.

Este tipo de recursos geotérmicos, a diferencia de los hidrotermales, pueden ser encontrados casi en cualquier parte del mundo. Se pueden encontrar a profundidades más cercanas de la superficie en regiones en donde exista una mayor presencia de procesos de decaimiento natural de isótopos radiactivos (p. ej., el Sur de Australia), o donde haya procesos geológicos activos que den lugar a regiones con un esfuerzo tectónico más favorable (p. ej., en el Oeste de los Estados Unidos de América, EUA).

En provincias tectónicas continentales estables, en donde los gradientes de temperatura ( $< 15^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ) y la permeabilidad exhiban valores muy bajos, y en donde además se tengan regiones de esfuerzos tectónicos menos favorables, las profundidades de los sistemas de roca seca caliente serán significativamente mayores, lo que impactará en el desarrollo económico de proyectos relacionados con su explotación (a través de la producción de electricidad u otros usos directos).

### **TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA SU APROVECHAMIENTO**

Las tecnologías, que se desarrollan actualmente en algunos países para el aprovechamiento de los recursos HDR, se encuentran todavía en fase de demostración y requieren de innovación para su comercialización. La explotación de estos recursos requiere técnicamente de la creación de una red de fracturas en la roca y la inyección de fluidos para el aprovechamiento de la energía almacenada (Fig. 1).

Con la creación de la red de fracturas se busca generar grandes áreas de intercambio de calor en la región en donde se encuentra la fuente de calor o la roca seca caliente (Gnatus and Khutorskoy, 2010). El fracturamiento artificial de la formación se logra generalmente mediante tratamientos hidráulicos, térmicos o químicos (Huenges, 2010). Este proceso de fracturamiento tiene también por objetivo incrementar la permeabilidad mediante la apertura de fracturas pre-existentes, así como la creación de nuevas fracturas.

La energía térmica se extrae mediante el bombeo de un fluido de transferencia de calor, típicamente agua (aunque podría ser aire o un gas, como el  $\text{CO}_2$ ), a través de un pozo, cuya tubería de inyección se deja colgada en la región de la roca fracturada seca caliente (Pruess, 2008). Una vez calentado el fluido de inyección, éste es bombeado nuevamente hacia la superficie a través de un pozo de producción para su conversión a electricidad en una planta de energía. Una vez aprovechado el calor del fluido extraído, éste es recirculado nuevamente hacia abajo para repetir el ciclo de intercambio de calor.

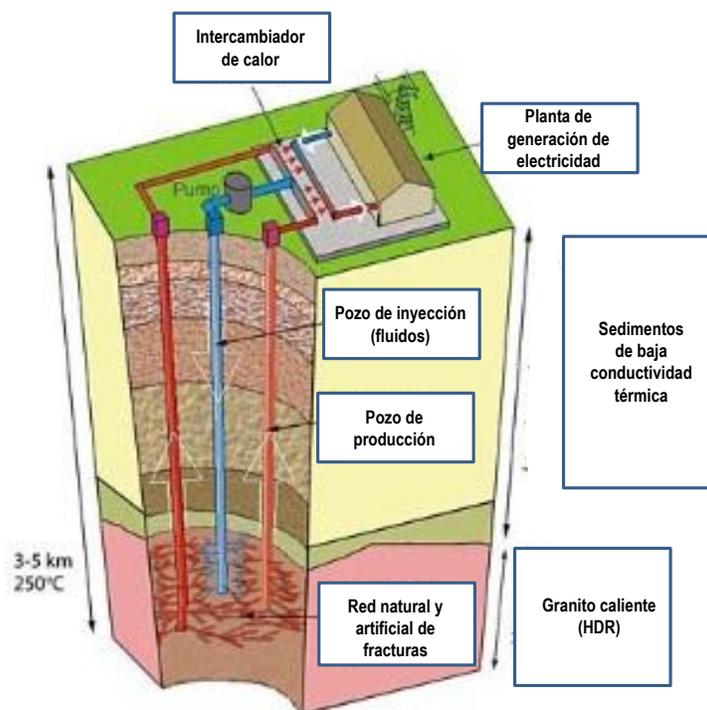


Fig. 1 Diagrama esquemático de un sistema geotérmico de roca seca caliente

En la superficie, el medio de transferencia de calor (generalmente agua caliente) se utiliza en una planta de ciclo binario que puede operar como un ciclo orgánico Rankine o Kalina para la generación de electricidad y/o para ser utilizado en la calefacción de viviendas o edificios (Chamorro-Camazón, 2009).

### PROYECTOS EGS ACTUALMENTE EN DESARROLLO

Entre los sistemas EGS que se encuentran actualmente bajo estudio destacan el proyecto científico piloto de Soultz-sous-Forêts, Francia, el cual se encuentra a punto de instalar la primera central geotermoeléctrica de este tipo de 1,5 MWe (Kappelmeyer *et al.*, 1991). A partir del 2011, 20 proyectos EGS están en desarrollo o bajo discusión en varios países de la Unión Europea (Tenzer, 2001). Asimismo, importantes proyectos de investigación HDR están también en marcha en los EUA y Australia (MIT, 2006; Tester *et al.*, 2007).

En los EUA, se ha incluido recientemente un programa nacional de investigación y desarrollo sobre iniciativas de energías limpias con grandes perspectivas de exploración y explotación de estos sistemas (MIT, 2006; Tester *et al.*, 2007). Por su inmenso potencial y su distribución prácticamente uniforme en toda la superficie terrestre, se estima que tan sólo en territorio de los Estados Unidos de Norteamérica, para el 2050 podrían obtenerse en alrededor de 100 GW<sub>e</sub> (MIT, 2006).

En Australia, en el 2010, 50 empresas han establecido un número importante de licencias de exploración de energía geotérmica. Este país cuenta actualmente con el proyecto EGS más grande en el mundo, que contempla la instalación de la primera planta demostrativa de 25 MW<sub>e</sub>, la cual se lleva a cabo en la cuenca Cooper de Australia. Se estima que esta cuenca tendrá un potencial geotérmico de este tipo para generar electricidad con una capacidad entre 5 GW<sub>e</sub> y 10 GW<sub>e</sub> (Hillis *et al.*, 2004).

Existen otros proyectos experimentales EGS que se están llevando a cabo en los programas geotérmicos de exploración de Reino Unido, Francia, Japón, Suecia, Suiza, Alemania, China, India, entre otros (Tenzer, 2001;

Chandrasekharam y Chandrasekhar, 2010). Finalmente, en México, existen ya algunos estudios encaminados a explorar la posibilidad de explotar el sistema HDR de Acoculco, Puebla (Lorenzo Pulido *et al.*, 2011).

### PRINCIPALES OBSTÁCULOS DE EXPLOTACIÓN DE LOS SISTEMAS EGS

Los sistemas EGS, por el momento no son económicamente viables, ya que existen algunos obstáculos técnicos que afectan su explotación. Entre estos obstáculos destacan:

- (i) la disolución y precipitación de minerales de la roca, que pueden causar obstrucción o taponamientos en la formación y así afectar el flujo del fluido desde el fondo hacia la superficie;
- (ii) grandes requerimientos de potencia para mantener el agua circulando en el sistema pozo inyector-pozo productor;
- (iii) pérdidas de agua en el sistema de circulación;
- (iv) Tamaño del yacimiento inadecuado que limita los procesos eficientes de transferencia de calor;
- (v) Los problemas de micro-sismicidad que pueden causar los trabajos de fracturamiento, y que están siendo discutidos actualmente en la literatura (Giardini, 2009); y
- (vi) el alto costo de las perforaciones profundas ( $\approx 5$  km).

No obstante estos obstáculos y/o limitaciones, se reconoce ampliamente que el desarrollo y la aplicación de los sistemas EGS para la cogeneración de electricidad y calefacción de distritos se espera que sean llevados a cabo en el futuro.

El diseño de los sistemas de conversión de energía asociados con el aprovechamiento de los recursos HDR requiere además de criterios de: rentabilidad económica, eficiencia termodinámica en el uso del recurso y evaluación de impactos ambientales generados durante su ciclo de vida completo, los cuales conjuntamente constituyen un punto clave para la aceptación pública de estos proyectos de energía HDR (Santoyo-Castelazo *et al.*, 2011; Gerber y Maréchal, 2012).

### CONCLUSIONES

Estudios científicos recientes relacionados con el desarrollo de técnicas mejoradas de exploración y explotación para nuevas generaciones de sistemas geotérmicos (HDR o EGS) muestran que, a mediano plazo, la generación geotermoeléctrica se podría convertir en una pieza clave dentro del abanico energético mundial.

En el marco de la posible explotación de los EGS y en respuesta a la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, se propone también el uso de este gas como fluido de transmisión de calor, en lugar de agua, lo que paralelamente lograría el secuestro geológico de CO<sub>2</sub> como un beneficio secundario adicional y prometedor de estos sistemas.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Mtra. Mirna Guevara García por el apoyo técnico brindado en la compilación de literatura y en la preparación del material gráfico de la presentación de este trabajo, así como al proyecto UNAM (DGAPA-PAPIIT IN-115611).

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertani, R. (2012), Geothermal power generation in the world 2005–2010, update report. *Geothermics*, Vol. 41, pp. 1–29.
- Chamorro-Camazón, C. (2009), Energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos. Estado actual y perspectivas a nivel mundial. *Dyna*, Vol. 84, pp. 44-51.

- Gerber, L., Maréchal, F. (2012) Environomic optimal configurations of geothermal energy conversion systems: Application to the future construction of Enhanced Geothermal Systems in Switzerland. *Energy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.06.068> (in press).
- Giardini, D. (2009) Geothermal quake risks must be faced. *Nature*, Vol. 462, pp. 848-849.
- Gnatus, N.A., Khutorskoy, M.D. (2010) Hot dry rocks: An inexhaustible and renewable source of energy. *Lithology and Mineral Resources*, Vol. 45, pp. 593-600.
- Hillis, R.R., Hand, M., Mildren, S., Morton, J., Reid, P., Reynolds, S. (2004) Hot dry rock geothermal exploration in Australia. In: *Proceedings of the PESA Eastern Australasian Basins Symposium II*, Adelaide, September 19-22, pp. 413-421.
- Huenges, E. (2010) *Geothermal Energy Systems: Exploration, Development, and Utilization*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, ISBN: 978-3-527-40831-3, 445 p.
- International Energy Agency, IEA (2011), Technology roadmap – Geothermal heat and power. *International Energy Agency*, OECD/IEA, Paris, France, 45 p. Disponible en la página Web: [www.iea.org](http://www.iea.org).
- Kappelmeyer, O., Gerard, A., Schloemer, W., Ferrandes, R., Rummel, F., Benderitter, Y. (1991) European HDR project at Soultz-sous-Forêts: general presentation. *Geothermal Science and Technology*, Vol. 2, pp. 263-289.
- Kruger, P., Hicks, T.W., Willis-Richards, J. (1992) The potential for thermal energy extraction from Cornish granite. *Geothermal Resources Council, Transactions*, Vol. 16, pp. 465-472.
- Lorenzo Pulido, C., Flores Armenta, M., Ramírez Silva, G. (2011) Caracterización de un yacimiento de roca seca caliente en la zona geotérmica de Acoculco, Pue. *Geotermia*, Vol. 24, pp. 59-69.
- Massachusetts Institute of Technology, MIT (2006), "The future of geothermal energy: impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st century, MIT, 372 p. *Scientific Report* Downloaded from the International Web Page: ([http://www1.eere.energy.gov/geothermal/future\\_geothermal.html](http://www1.eere.energy.gov/geothermal/future_geothermal.html)).
- Pruess, K. (2008) Enhanced Geothermal Systems (EGS): Comparing water and CO<sub>2</sub> as heat transmission fluids. In: *Proceedings of the Geothermal Energy Utilization Conference*, Southern Methodist University, Dallas, TX, USA, June 17-18, 19 p.
- Santoyo E., Barragán-Reyes, R.M. (2010), Energía geotérmica. En: Volumen Especial sobre Energías Alternativas (abril-junio 2010) *Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, Vol. 61(2), pp. 40-51.
- Santoyo-Castelazo E, Gujba H, Azapagic A. (2011) Life cycle assessment of electricity generation in Mexico. *Energy*, Vol. 36, pp. 1488-1499.
- Tenzer, H. (2001) Development of Hot Dry Rock Technology (Chapter 3.1). In: *Proceedings of the International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy*, 14 p.
- Tester, J.W., Anderson, B.J., Batchelor, A.S., Blackwell, D.D., DiPippo, R., Drake, E.M., Garnish, J., Livesay, B., Moore M.C., Nichols, K., Petty, S., Toksoz, M.N., Veatch, R.W., Baria, R., Augustine, C., Murphy, E., Negraru, P., Richards, M. (2007) Impact of enhanced geothermal systems on US energy supply in the twenty-first century. *Phil. Trans. R. Soc. A*, Vol. 365, pp. 1057-1094.
- Torres, V., Arellano, V., Barragán, R.M., González, E., Herrera, J.J., Santoyo, E., Venegas, S. (1993) Geotermia en México, México. *Programa Universitario de Energía*, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM (ISBN-968-36-3444-3), 161 p.

## BIOGEOQUÍMICA DEL SUELO EN DOS DESIERTOS MEXICANOS: UNA MIRADA AL FUNCIONAMIENTO DEL ECOSISTEMA A TRAVÉS DEL CICLAJE DE NUTRIMENTOS ESENCIALES

Dra. Yareni Perroni Ventura

*Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana  
Avenida de las Culturas Av. de las Culturas Veracruzanos No. 101 Col. Emiliano Zapata C. P. 91090 Xalapa, Veracruz,  
México. Teléfono (228) 842-27-73. Correo electrónico: [yperroni@uv.mx](mailto:yperroni@uv.mx)*

### RESUMEN

Desde el enfoque de la biogeoquímica del ecosistema, los almacenes o reservorios de elementos esenciales como el carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) constituyen la estructura del ecosistema. Reservorios se consideran principalmente al suelo, el material parental, el agua, la atmósfera y la biota. Los flujos de movimiento de C, N y P entre reservorios constituyen el funcionamiento del ecosistema. En este sentido, la biogeoquímica es una herramienta poderosa para conocer el funcionamiento del ecosistema. Este trabajo presenta dos estudios de caso en ecosistemas con poca disponibilidad de agua: islas de fertilidad en el semi-desierto de Zapotitlán Salinas en el Valle de Tehuacán Puebla y el sistema pastizal-matorral del desierto del Valle de Cuatro Ciénegas de Carranza, Coahuila.

En las islas de fertilidad de Zapotitlán Salinas se responde la pregunta sobre ¿Cómo se afecta la acumulación y retención de N en el suelo bajo la copa de dos especies de leguminosas *Parkinsonia preacox* y *Prosopis laevigata*? Los resultados indican que el procesamiento conjunto de N y C en el suelo constituye un mecanismo importante de retención de N en estas islas de fertilidad. Se hipotetiza que la energía generada durante el procesamiento del C por la microbiota heterótrofa es la que permite, a su vez, el procesamiento del N y el enriquecimiento de su reservorio en el suelo. Donde *P. laevigata* tiene la capacidad de acumular y retener mayor concentración de N en el suelo en comparación con *P. preacox*. Lo anterior debido a diferencias en la calidad de la hojarasca, los exudados radiculares y otros restos vegetales que producen distintas especies de plantas formadoras de islas de fertilidad. Esas diferencias interespecíficas en el procesamiento de N podrían tener implicaciones en términos ecológicos y evolutivos. En términos ecológicos, diferencias en los almacenes de N generados pueden traducirse en diferencias en la identidad y en la cantidad de especies asociadas a cada isla de recursos. En términos evolutivos, diferentes genotipos de especies formadoras de islas pueden tener diferentes capacidades de procesar el N a partir de interacciones C-N.

En el sistema matorral-pastizal de Cuatro Ciénegas, Coahuila se responde a la pregunta ¿Cuál es la distribución del P disponible en el suelo y qué mecanismos podrían estar involucrados en esta distribución?. Los resultados indican una mayor concentración de P en fracciones teóricamente no disponibles a la biota. Sin embargo hay evidencia de una influencia biológica y geoquímica en la dinámica del P disponible en el suelo.

Un interés de este trabajo es realizar comparaciones entre ambos estudios de caso en el sentido de un funcionamiento del ecosistema al extremo de la disponibilidad de agua (Cuatro Ciénegas, Coahuila; 191 mm promedio al año) respecto a otro más húmedo (Zapotitlán Salinas; 390 mm promedio al año).

## LA CIENCIA DE GEOQUIMIOMETRÍA QUE NACIÓ EN MÉXICO Y ALGUNAS ACCIONES PENDIENTES

Surendra P. Verma

*Departamento de Sistemas Energéticos, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Priv. Xochicalco s/no., Col. Centro, Apartado Postal 34, Temixco, Morelos 62580, México*  
[spv@cie.unam.mx](mailto:spv@cie.unam.mx)

### USO Y JUSTIFICACIÓN DE GEOQUIMIOMETRÍA

La palabra "Geoquimiometría" fue usada y propuesta por Verma (2005), por vez primera, con el objeto de representar la combinación de la Estadística con la Geoquímica. Esta palabra fue incluida en el título de su libro sobre la Estadística Básica para el Manejo de Datos Experimentales. Con el fin de justificar el uso de la Geoquimiometría y marcar el nacimiento de la nueva Ciencia, varios aspectos importantes y novedosos, como las reglas de redondeo para la presentación final de datos en reportes, tesis, artículos y cualquier otro documento, las pruebas de discordancia y de significancia, diferentes tipos de regresiones lineales así como la importancia de errores en la optimización de experimentos y la naturaleza "finita" de todos los experimentos, fueron abordados.

Más recientemente, Verma (2012a; en un artículo en inglés), definió la Geoquimiometría ("*Geochemometrics*") en forma análoga a la Quimiometría ("*Chemometrics*") como la Ciencia que resulta por la combinación de la Estadística, las Matemáticas y la Computación con la Geoquímica. De esta forma, el nacimiento de esta Ciencia en México fue reforzado con los nuevos conceptos que se señalan a continuación.

Verma (2012a) presentó numerosos conceptos básicos o temas que la geoquimiometría debe cubrir; así mismo, abordó temas de la calidad de datos, regresiones, métodos robustos, métodos basados en valores discordantes, pruebas de significancia, propagación de errores o incertidumbres en diagramas mediante simulación Monte Carlo, coeficiente de correlación lineal, modelado petrogenético, y geotermometría.

En este trabajo (Verma, 2012a), nuevas ecuaciones para la propagación de las incertidumbres en el trabajo analítico fueron propuestas; de manera similar, se presentaron procedimientos nuevos sobre cómo calcular y reportar la sensibilidad y el límite de detección de los experimentos analíticos.

De manera similar, se propuso que el coeficiente convencional de correlación lineal, aunque útil para datos no-composicionales, no debe ser usado para la interpretación de datos geoquímicos. Debido a que los datos composicionales representan un sistema cerrado restringido por suma unitaria constante y los diagramas ternarios imponen la restricción adicional de suma unitaria a cualquier tipo de datos experimentales, estos diagramas vuelven a ser inapropiados estadísticamente para el manejo de los datos experimentales, sean de tipo composición o de cualquier otro tipo de datos continuos, incluyendo datos sobre variables físicas que generalmente pertenecen a campos abiertos. La propagación de errores mediante la simulación Monte Carlo se reportó, por vez primera, con el fin de ilustrar la inconveniencia de usar estos diagramas ternarios para datos composicionales.

Es importante señalar que el método Monte Carlo practicado por Verma (2012a) se difiere de muchos otros por su alta precisión y exactitud. Esto ha sido ampliamente documentado en trabajos de simulación de valores críticos más precisos y exactos para las pruebas de discordancia y significancia (Verma y Quiroz-Ruiz, 2006a, 2006b, 2008, 2011; Verma et al., 2008; Cruz-Huicochea y Verma, 2012; Verma y Cruz-Huicochea, 2012), mismos que han permitido un avance sustancial, no solo en la geoquimiometría sino también en muchos campos de las ciencias e ingenierías.

Así mismo, Verma (2012a) propuso un diagrama bivariado alternativo basado en la transformación-logarítmica natural para reemplazar (o al menos, complementar) los diagramas ternarios. Finalmente, algunos temas adicionales de investigación fueron identificados, en particular, aquellos aplicables a todos los campos de las ciencias e ingenierías.

La palabra Geoquimiometría, o su equivalente en inglés *Geochemometrics*, ha sido usada en algunos otros estudios, por ejemplo, por los integrantes del grupo de Geoenergía del Centro de Investigación en Energía, UNAM, entre ellos, por Díaz-González et al. (2008).

### DETALLES NOVEDOSOS DE LA PONENCIA

En esta presentación sobre la nueva Ciencia Geoquimiometría, abundaré sobre los aspectos más sobresalientes de este artículo (Verma, 2012a). Podría ser de mayor interés para los geoquímicos los temas de límites de detección (ver la metodología presentada por Verma, 2012a) y los diagramas de discriminación tectonomagmáticas multi-dimensionales (Agrawal et al., 2004, 2008; Verma et al., 2006; Agrawal y Verma, 2007; Verma y Agrawal, 2011; Verma et al., 2012).

En esta ponencia, ambos aspectos, tanto los límites de detección como los diagramas de discriminación, serán tratados brevemente. Además, se comentará sobre un aspecto aún más novedoso de las probabilidades (posteriores) para cada muestra individual, lo cual hace que ya no es necesario graficar los datos en los diagramas, sino que un simple (o complejo) cálculo de las probabilidades para cada campo tectónico y para cada muestra nos permite decidir sobre las inferencias tectónicas para un grupo de muestras de un determinado sitio o área geológica (Verma, 2012b). Se ilustrará el uso de las probabilidades mediante aplicaciones a rocas graníticas de Portugal y España (Verma, 2012b) y rocas ácidas arqueanas de Australia, Brasil, Canadá, India y Sud-África (Verma y Verma, 2012). Los diagramas han sido usados y evaluados también por Sheth (2008) y Pandarinath y Verma (2012).

Como se comentó en los trabajos arriba citados (p. ej., Verma, 2012a), la restricción de campo cerrado y suma constante fue superada por transformación logarítmica de relaciones de elementos obtenidas por un denominador común. Por ejemplo, en el caso de los diagramas de discriminación multi-dimensionales basados en elementos mayores (p. ej., Verma et al., 2006), fue usado el  $(\text{SiO}_2)_{\text{adj}}$  como el denominador común, donde el suscrito <sub>adj</sub> significa que los datos de las concentraciones ajustadas por el programa SINCLAS (Verma et al., 2002, 2003). Es importante mencionar también que existe ya un programa que facilita la aplicación de los diagramas de discriminación (TecD por Verma y Rivera-Gómez, 2012), mientras que la actualización de este programa para el cálculo de probabilidades y otros tipos de magmas debe realizarse.

Hace mucho, Chayes (1960) había señalado explícitamente el problema en usar el coeficiente de correlación lineal ( $r$ ; ver Verma, 2005 o algún otro libro; Verma, 2012a) para variables composicionales con suma constante ya que existe un sesgo para las correlaciones negativas, lo cual afecta seriamente a la toma de decisiones en diagramas binarios como de tipo Harker (diagramas de cualquier elemento contra el  $\text{SiO}_2$ ). No fue hasta que John Aitchison publicó una serie de artículos (Aitchison, 1981, 1982, 1983, 1984a, 1984b), culminando en su famoso libro sobre el análisis estadístico de datos composicionales (Aitchison, 1986; con más de 1100 citas en el *Science Citation Index*), cuando se logró a obtener una metodología adecuada para corregir este defecto o problema de datos composicionales. En pocas palabras, es la transformación logarítmica de relaciones de concentraciones de elementos, la que nos permite superar el problema de la suma constante (Verma et al., 2010).

## TRANSFORMACIONES "LOG" REQUERIDAS

Esta transformación ampliamente usada por el grupo de Geoenergía del CIE-UNAM fue llamado de tipo "*additive-log-ratio*" (alr, relación-log-aditiva) por Aitchison (1982). Este investigador también introdujo otro tipo de transformación llamado "*centred-log-ratio*" (clr, relación-log-centrada). Más recientemente, Egozcue et al. (2003) introdujeron aún otro tipo de transformación logarítmica, la cual ellos llamaron de tipo "*isometric-log-ratio*" (ilr, relación-log-isométrica). Muchos autores, entre ellos Pawlowsky-Glahn y Egozcue (2006), han abogado en favor de la última transformación ilr.

La transformación clr ha sido usada por algunos investigadores, por ejemplo, Gorelikova et al. (2006) en el estudio de la mineralización en la parte más oriental de Rusia. La clásica transformación alr ha sido usada, además del grupo de Geoenergía de CIE-UNAM en sus propuestas de diagramas de discriminación tectonomagmática y la sustitución de diagramas ternarios, en los estudios geoquímicos, por ejemplo, de fumarolas de la Isla de Vulcano en Italia (Buccianti et al., 2006a), o de sedimentos en Lituania (Reyment, 2006). Conceptos y consideraciones adicionales se pueden encontrar en otros trabajos (y en las referencias citadas allí), por ejemplo, Barrabés y Mateu-Figueras (2006), Buccianti et al. (2006b), Daunis-I-Estadella et al. (2006), Egozcue y Pawlowsky-Glahn (2006), Martínez-Fernández y Thió-Henestrosa (2006), Ó.Kovács et al. (2006), Thomas y Aitchison (2006), y Van der Boogaart and Tolosana-Delgado (2006).

## ROCAS SEDIMENTARIAS

Weltje (2006), por su parte, evaluó la propuesta de Dickinson (*Dickinson model* con diagramas ternarios; p. ej., Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson, 1982; Dickinson et al., 1983; entre otros, con más de 1300 citas totales) mediante la transformación alr y propuso modificaciones a este procedimiento clásico muy usado en la geoquímica de rocas sedimentarias. Weltje (2006) también presentó varios diagramas bi-variados con la recomendación final de un diagrama  $\ln(Q/F)-\ln(Q/L)$  para la discriminación de tres tipos de proveniencia A, B, y C, que son *Continental Block*, *Magmatic Arc*, y *Recycled Orogen*, respectivamente, y donde Q significa la proporción (o porcentaje) de granos totales de cuarzo (suma de cuarzo mono-cristalino y cuarzo poli-cristalino), F se refiere a granos totales de feldespato (suma de plagioclasa y feldespato alcalino), y L indica granos totales fragmentos líticos inestables (suma de fragmentos tipo volcánico o meta-volcánico y sedimentario o meta-sedimentario).

En el trabajo por Weltje (2006), que, por cierto, citó el de Armstrong-Altrin y Verma (2005) sobre la crítica de diagramas de discriminación, no se aclaró en qué forma la recomendación de Aitchison (1986) de usar un denominador común fue adoptada para obtener alr o clr. La naturaleza multi-variable de los datos composicionales requiere de un denominador común (Agrawal y Verma, 2007) aunque la transformación ilr no se basa en un denominador común (Pawlowsky-Glahn y Egozcue, 2006). Sin embargo, la propuesta de reemplazar los diagramas ternarios por diagramas bi-variado de tipo alr propuesto por Verma (2012b), o de otro tipo clr o ilr, podrían ser más recomendable, siempre y cuando se pueda establecer una base completa de datos petrográficos. Y esto sería de gran utilidad para el área de las rocas sedimentarias.

En consecuencia, esta labor podría resultar en una nueva metodología corregida para el modelo de Dickinson, siempre y cuando se pueda seguir con la metodología de Armstrong-Altrin y Verma (2005) y Verma (2010) de compilación de una base mundial de datos, su aplicación en los diagramas ya existentes y la propuesta de uno o más nuevos diagramas multi-dimensionales de discriminación.

## CONSIDERACIONES FINALES

Finalmente, debo admitir que no me está claro porque la Ciencia Química, tampoco la Quimiometría, no han adoptado estos aspectos estadísticos tan importantes (ver, p. ej., Miller y Miller, 2005, donde no hay ni la mención de los trabajos clásicos de John Aitchison).

Sin embargo, estoy seguro que una revolución en el manejo estadístico adecuado o correcto de datos composicionales está por venir, y afortunadamente, nosotros ya estamos formando parte de esta novedad mundial. Espero que más geoquímicos se unan con nosotros para lograr un avance significativo en la Geoquimiometría - la Ciencia que nació en México (Verma, 2005; Díaz-González et al., 2008; Verma, 2012a), cuyas recomendaciones ya han sido incorporadas en los nuevos diagramas multi-dimensionales de discriminación tectonomagmáticos (Verma et al., 2006, 2010, 2012; Agrawal y Verma, 2007; Agrawal et al., 2008; Verma y Agrawal, 2011; Verma, 2010, 2012b; Verma y Verma, 2012). ¡Y por fortuna todavía hay mucho más que hacer!

## REFERENCIAS

- Agrawal, S., and Verma, S.P., 2007, Comment on "Tectonic classification of basalts with classification trees" by Pieter Vermeesch (2006): *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 71, p. 3388-3390.
- Agrawal, S., Guevara, M., and Verma, S.P., 2004, Discriminant analysis applied to establish major-element field boundaries for tectonic varieties of basic rocks: *International Geology Review*, v. 46, p. 575-594.
- Agrawal, S., Guevara, M., and Verma, S.P., 2008, Tectonic discrimination of basic and ultrabasic rocks through log-transformed ratios of immobile trace elements: *International Geology Review*, v. 50, p. 1057-1079.
- Aitchison, J., 1981, A new approach to null correlations of proportions: *Mathematical Geology*, v. 13, p. 175-189.
- Aitchison, J., 1982, The statistical analysis of compositional data (with discussion): *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology)*, v. 44, p. 137-177.
- Aitchison, J., 1983, Principal component analysis of compositional data: *Biometrika*, v. 70, p. 57-65.
- Aitchison, J., 1984a, Statistical analysis of geochemical compositions: *Mathematical Geology*, v. 16, p. 531-564.
- Aitchison, J., 1984b, Reducing the dimensionality of compositional data set: *Mathematical Geology*, v. 16, p. 617-635.
- Aitchison, J., 1986, *The statistical analysis of compositional data*: London, New York, Chapman and Hall, 416 p.
- Armstrong-Altrin, J.S., and Verma, S.P., 2005, Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings: *Sedimentary Geology*, v. 177, p. 115-129.
- Barrabés, E., and Mateu-Figueras, G., 2006, Is the simplex open or closed? (some topological concepts), in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 203-206.
- Buccianti, A., Tassi, F., and Vaselli, O., 2006a, Compositional changes in a fumarolic field, Vulcano Island, Italy: a statistical case study, in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 67-77.
- Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., 2006b, Frequency distribution and natural laws in geochemistry, in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 175-189.
- Chayes, F., 1960, On correlation between variables of constant sum: *Journal of Geophysical Research*, v. 65, p. 4185-4193.
- Cruz-Huicochea, R., and Verma, S.P., 2012, New critical values for F and their use in the ANOVA and Fisher's F tests for evaluating geochemical data: *Journal of Iberian Geology*, in press.
- Daunis-I-Estadella, J., Barceló-Vidal, C., and Buccianti, A., 2006, Exploratory compositional data analysis, in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 161-174.
- Díaz-González, L., Santoyo, E., and Reyes-Reyes, J., 2008, Tres nuevos geotermómetros mejorados de Na/K usando herramientas computacionales y geoquimiométricas: aplicación a la predicción de temperaturas de sistemas geotérmicos: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 25, p. 465-482.
- Dickinson, W.R., 1982, Compositions of sandstones in Circum-Pacific subduction complexes and fore-arc basins: *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, v. 66, p. 121-137.

- Dickinson, W.R., and Suczek, C.A., 1979, Plate tectonics and sandstone compositions: *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, v. 63, p. 2164-2182.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A., and Ryberg, P.T., 1983, Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting: *Geological Society of America Bulletin*, v. 94, p. 222-235.
- Egozcue, J.J., and Pawlowsky-Glahn, V., 2006, Compositional data and their analysis: an introduction, in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 145.
- Egozcue, J.J., Pawlowsky-Glahn, V., Mateu-Figueras, G., and Barceló-Vidal, C., 2003, Isometric logratio transformations for compositional data analysis: *Mathematical Geology*, v. 35, p. 279-300.
- Gorelikova, N., Tolosana-Delgado, R., Pawlowsky-Glahn, V., Khanchuk, A.I., and Gonevchuk, V., 2006, Discriminating geodynamical regimes of tin ore formation using trace element composition of cassiterite: the Sikhote' Alin cas (far eastern Russia), in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 43-57.
- Martín-Fernández, J.A., and Thió-Henestrosa, S., 2006, Rounded zeros: some practical aspects for compositional data, in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 191-201.
- Miller, J.N., and Miller, J.C., 2005, *Statistics and chemometrics for analytical chemistry*: Essex CM20 2JE, England, Pearson Prentice Hall, 271 p.
- Ó.Kovács, L., Kovács, G.P., Martín-Fernández, J.A., and Barceló-Vidal, C., 2006, Major-oxide compositional discrimination in Cenozoic volcanites of Hungary, in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 11-23.
- Pandarínath, K., and Verma, S.K., 2012, Application of four sets of tectonomagmatic discriminant function based diagrams to basic rocks from northwest Mexico: *Journal of Iberian Geology*, in press.
- Pawlowsky-Glahn, V., and Egozcue, J.J., 2006, Compositional data and their analysis: an introduction, in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 1-10.
- Reyment, R.A., 2006, On stability of compositional canonical variate vector components, in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 59-66.
- Sheth, H.C., 2008, Do major oxide tectonic discrimination diagrams work?: evaluating new log-ratio and discriminant-analysis-based diagrams with Indian Ocean mafic volcanics and Asian ophiolites: *Terra Nova*, v. 20, p. 229-236.
- Thomas, C.W., and Aitchison, J., 2006, Log-ratios and geochemical discrimination of Scottish Dalradian limestones: a case study, in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 25-41.
- Van der Boogaart, K.G., and Tolosana-Delgado, R., 2006, Compositional data analysis with 'R' and the package 'compositions', in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 119-127.
- Verma, S.K., and Verma, S.P., 2012, Identification of Archaean plate tectonic processes from multidimensional discrimination diagrams and probability calculations: *International Geology Review*, in press, DOI:10.1080/00206814.2012.693246.
- Verma, S.K., Pandarínath, K., and Verma, S.P., 2012, Statistical evaluation of tectonomagmatic discrimination diagrams for granitic rocks and proposal of new discriminant-function-based multi-dimensional diagrams for acid rocks: *International Geology Review*, v. 54, p. 325-347.
- Verma, S.P., 2005, *Estadística básica para el manejo de datos experimentales: aplicación en la Geoquímica (Geoquimiometría)*: México, D.F., UNAM, 186 p.

- Verma, S.P., 2010, Statistical evaluation of bivariate, ternary and discriminant function tectonomagmatic discrimination diagrams: *Turkish Journal of Earth Sciences*, v. 19, p. 185-238.
- Verma, S.P., 2012a, Geochemometrics: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 29, p. 276-298.
- Verma, S.P., 2012b, Application of multi-dimensional discrimination diagrams and probability calculations to acid rocks from Portugal and Spain: *Comunicações Geológicas*, in press.
- Verma, S.P., and Agrawal, S., 2011, New tectonic discrimination diagrams for basic and ultrabasic volcanic rocks through log-transformed ratios of high field strength elements and implications for petrogenetic processes: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 28, p. 24-44.
- Verma, S.P., and Cruz-Huicochea, R., 2012, Alternative approach for precise and accurate Student's t critical values and application in science and engineering: *Journal of Iberian Geology*, in press.
- Verma, S.P., and Quiroz-Ruiz, A., 2006a, Critical values for six Dixon tests for outliers in normal samples up to sizes 100, and applications in science and engineering: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 23, p. 133-161.
- Verma, S.P., and Quiroz-Ruiz, A., 2006b, Critical values for 22 discordancy test variants for outliers in normal samples up to sizes 100, and applications in science and engineering: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 23, p. 302-319.
- Verma, S.P., and Quiroz-Ruiz, A., 2008, Critical values for 33 discordancy test variants for outliers in normal samples of very large sizes from 1,000 to 30,000 and evaluation of different regression models for the interpolation of critical values: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 25, p. 369-381.
- Verma, S.P., and Quiroz-Ruiz, A., 2011, Corrigendum to Critical values for 22 discordancy test variants for outliers in normal samples up to sizes 100, and applications in science and engineering [Rev. Mex. Cienc. Geol., 23 (2006), 302-319]: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 28, p. 202.
- Verma, S.P., and Rivera-Gómez, M.A., 2012, New computer program TecD for tectonomagmatic discrimination from discriminant function diagrams for basic and ultrabasic magmas and its application to ancient rocks: *Journal of Iberian Geology*, in press.
- Verma, S.P., Torres-Alvarado, I.S., and Sotelo-Rodríguez, Z.T., 2002, SINCLAS: standard igneous norm and volcanic rock classification system: *Computers & Geosciences*, v. 28, p. 711-715.
- Verma, S.P., Torres-Alvarado, I.S., and Velasco-Tapia, F., 2003, A revised CIPW norm: *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, v. 83, p. 197-216.
- Verma, S.P., Guevara, M., and Agrawal, S., 2006, Discriminating four tectonic settings: five new geochemical diagrams for basic and ultrabasic volcanic rocks based on log-ratio transformation of major-element data: *Journal of Earth System Science*, v. 115, p. 485-528.
- Verma, S.P., Quiroz-Ruiz, A., and Díaz-González, L., 2008, Critical values for 33 discordancy test variants for outliers in normal samples up to sizes 1000, and applications in quality control in Earth Sciences: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 25, p. 82-96.
- Verma, S.P., Pandarinath, K., and Verma, S.K., 2010, Statistically correct methodology for compositional data in new discriminant function tectonomagmatic diagrams and application to ophiolite origin: *Advances in Geosciences, v. 27 Solid Earth Science*, p. 11-22.
- Weltje, G.J., 2006, Ternary sandstone composition and provenance: an evaluation of the 'Dickinson model', in Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., and Pawlowsky-Glahn, V., eds., Compositional data analysis in the Geosciences: from theory to practice: *The Geological Society of London Special Publication*, v. 264, p. 79.

## TRANSFERENCIA SUELO-PLANTA DE METALES PESADOS EN PARCELAS REGADAS CON AGUA RESIDUAL EN EL VALLE DEL MEZQUITAL

Mario Cayetano \*, Christina Siebe

*Departamento de Edafología, Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.*

\*[maqic\\_1986@hotmail.com](mailto:maqic_1986@hotmail.com)

### RESUMEN

En el Valle del Mezquital se usa agua residual para riego agrícola desde 1912 (De la Cruz Campa, 1965), con lo cual aumentó la productividad debido al aporte de nutrientes y materia orgánica (Siebe, 1998). Sin embargo, también se aportan contaminantes como metales pesados (Siebe y Cifuentes, 1995) que se acumulan en el medio ambiente y con el tiempo se transfieren a los seres vivos a través de la cadena alimenticia. Por ello el objetivo de este trabajo fue determinar las concentraciones de Pb, Cd, Cu y Zn en grano de maíz y alfalfa en suelos regados con agua residual por diferentes lapsos de tiempo, al igual que la concentración de metales extractables con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  1M del suelo. Se calcularon los factores de transferencia suelo-planta (FT) y se determinó el rendimiento en masa seca para calcular la cantidad de metales pesados que los cultivos extraen del suelo. Los resultados muestran que hay un incremento lineal de la concentración de los metales en los tejidos vegetales en función del tiempo bajo riego. Las concentraciones de metales están por debajo de los límites máximos permisibles (WHO, 1996). El FT disminuye con el tiempo bajo riego el cual se ajusta también a una regresión lineal. No se detectaron cambios entre la concentración medida por Siebe en 1991 y las determinadas en este estudio. El balance de masas indica que entra más metal con el agua de riego del que extraen las plantas, lo cual explica el aumento lineal en las concentraciones de metales pesados en los suelos que se han observado en estudios previos.

### CONCLUSIONES

La concentración del metal en el cultivo se incrementa con el tiempo bajo el riego. El consumo de alfalfa y grano de maíz no representa un riesgo para la salud. Se incorpora más metal con el agua del que pueden extraer las plantas. La capacidad amortiguadora del suelo impide que el metal sea absorbido por la planta.

### REFERENCIAS

1. Sibe, C. 1998. Nutrient inputs to soils and their uptake by alfalfa through long-term irrigation with untreated sewage effluent in Mexico: Soil Use and Management, 13, 1-5.
2. Siebe, Ch. y Cifuentes, E. 1995. Environmental impact of wastewater irrigation in central México: An Overview. Int. J. Environ. Health Res. Vol. 5, pp. 161-173.
3. WHO. 1996. Trace elements in human nutrition and health. World Health Organisation. Geneva.

## DISTRIBUCIÓN DE ISOTOPOS ESTABLES A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS DE BAJA CALIFORNIA.

Thomas Kretzschmar <sup>a\*</sup>, Theresa Frommen <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Geología, CICESE, Carret. Ensenada-Tijuana No 3819, Ensenada 22860, Baja California, México

<sup>b</sup> Grupo de Hidrogeología, Freie Universität Berlin, Malteserstr 74-100, 12249 Berlin, Alemania.

\* [tkretzsc@cicese.mx](mailto:tkretzsc@cicese.mx)

### RESUMEN

El clima en Baja California es principalmente árido a semiárido y la evapotranspiración potencial es para la mayor parte del año por encima de la precipitación lo cual limita la recarga del agua subterránea. La demanda de agua en estas zonas por la agricultura es muy alta, por ejemplo en el Valle de Guadalupe, para lo cual la comprensión del balance hidrológico es esencial como base para a la gestión y manejo sustentable del recurso hídrico. El estudio muestra una visión general de la distribución de los isótopos estables (oxígeno e hidrógeno) en las aguas superficiales y subterráneas en Baja California. Un total de 125 muestras fueron estudiadas, procedentes de diversos proyectos en los últimos años en Baja California y se pueden dividir en 5 grupos a) Valle de Guadalupe, b) San Antonio de las Minas, c) La Misión, d) Santo Tomas y e) sur de Baja California.

### CONCLUSIONES

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  para el Valle de Guadalupe se encuentran entre -5.0 ‰ y -7.0 ‰ para  $\delta^{18}\text{O}$  y entre -46 ‰ y -32 ‰ para  $\delta\text{D}$ . En San Antonio de las Minas  $\delta^{18}\text{O}$  se encuentra entre -5.7 ‰ y del -5,3 ‰ y  $\delta\text{D}$  entre -36 ‰ y -34 ‰, mientras La Misión muestra valores entre -6,0 ‰ y -3,9 ‰ para  $\delta^{18}\text{O}$  y entre -38 ‰ y -28 ‰ para  $\delta\text{D}$ . El efecto de la altitud el área de estudio resultó en una disminución en  $\delta^{18}\text{O}$  entre -0.22 ‰ y -0,25 ‰ para cada 100 metros (Thomas, 2010). La mayor parte de los datos se encuentran en o cerca del LGAM (línea global de agua meteórica) sin embargo para San Antonio de las Minas la influencia de procesos de evaporaciones visible. Las aguas termales muestran una disminución de los isótopos pesados. El valor para el exceso de deuterio es menor que para la LGAM, lo cual indica que la humedad relativa para la formación de las nubes sobre el océano era menor del 80%.

Con el fin de crear LLAM (línea local de agua meteórica) para de Baja California, todos los resultados de los pozos y manantiales fríos fueron usados por la falta de valores de muestras de precipitación a largo plazo. Para los datos de Baja California resulta la siguiente LLAM:  $\delta\text{D} = 7,29 + 4,24 \times \delta^{18}\text{O}$ . Esta LLAM separa en pendiente e intersección de la LGAM, sin embargo es similar a la LLAM de Chihuahua que cuenta con dos estaciones meteorológicas de la IAEA en un clima semiárido parecido. Así se usó esta LAM como referencia para la LLAM de Baja California. Debido a la similitud de las dos LLAM y que otros estudios del agua subterránea local en México han demostrado que el agua subterránea es generalmente cerca de la lluvia es muy similar (Horst et al, 2007; Mahlkecht et al, 2006) la LLAM Baja California, que se basa sólo en muestras de agua subterránea, si puede fungir como referencia para futuras investigaciones.

### REFERENCIAS

1. Horst A., Mahlkecht, J., Merkel, B. J., Estimating groundwater mixing and origin in an overexploited aquifer in Guanajuato, Mexico, using stable isotopes ( $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ). *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 43 (4): 323-338. (2007).
2. Mahlkecht, J., Garfias-Solis, J., Aravena, R., Tesch, R., Geochemical and isotopic investigations on groundwater residence time and flow in the Independence Basin, Mexico. *Journal of Hydrology*, 324 (1-4): 283-300, (2006).
3. Thomas, W.M., *Mountain block recharge in the Santo Tomás Valley, Baja California, México*. (2010).

## DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS IONES MAYORITARIOS DEL AGUA DE MAR Y DE SU COMPORTAMIENTO CON EL AVANCE DEL PROCESO DE EVAPORACIÓN

Rosangel C. Moreno <sup>a</sup>, Armando J. Ramírez <sup>a</sup>, Carlos E. Yanes <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Apartado 3895, Caracas 1010-A. Teléfonos: 58-212-6051539; Fax: 58-212-6051154.

Correos electrónicos: [rosangel.moreno2@gmail.com](mailto:rosangel.moreno2@gmail.com); [cyanes@strix.ciens.ucv.ve](mailto:cyanes@strix.ciens.ucv.ve)

### RESUMEN

El comportamiento de las especies mayoritarias del agua de mar cuando ésta es evaporada, fue estudiado con el fin de predecir y reproducir algunos procesos hidrogeoquímicos que involucran mezclas de agua salada con agua fresca, concentración de agua salada, o reacción de agua salina con un sustrato sólido, como es el caso de las aguas de formación o de salmueras. Se destaca el comportamiento de algunos iones del grupo de los halógenos como el bromuro y cloruro, y del catión magnesio, dada su utilidad para definir procesos hidrogeoquímicos asociados a las aguas de formación u otros tipos de agua que se generan en los programas de la industria petrolera, especialmente en los de producción de hidrocarburos.

Las metodologías utilizadas para el análisis de las aguas y las sales precipitadas en el proceso fueron: volumétricas para determinar la concentración de cloruro y la alcalinidad (Método de Mohr y ácido/base, respectivamente); Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado para los cationes; Cromatografía Iónica para determinar bromuro y sulfato; y DRX para identificar los minerales precipitados durante el proceso.

De la presente investigación se puede destacar que el ion bromuro se comporta conservativamente a lo largo de todo el proceso de evaporación estudiado; mientras que los otros iones, incluyendo el magnesio y el potasio, formaron parte de las distintas sales precipitadas. Por otro lado, los minerales evaporíticos más abundantes precipitados por el proceso de evaporación correspondieron a calcita, yeso y halita en proporción de 1,2%, 17% y 73% respectivamente, quedando un 8,8% restante como sales de magnesio y potasio. Este comportamiento claramente sugiere que el ion bromuro puede ser empleado como indicador geoquímico para definir procesos de evaporación o de mezclas de aguas de origen marino o asociadas con este tipo de aguas, en vez de magnesio; ion este que ha sido ampliamente sugerido para ser utilizado como indicador en varios estudios previos.

### REFERENCIAS

1. Holland H.D. (1984). The chemical evolution of there atmosphere and oceans.Princeton Series in Geochemistry. Princeton, N.J.
2. McCaffrey, M.A., Lazar, B., y Holland, H. D. (1987). The evaporation path of seawater and the coprecipitation of  $Br^-$  and  $K^+$  with halite.Journal of SedimentaryPetrology, v. 57, No. 5, p. 928-937.
3. Méndez, B. (2007). Geoquímica e isotopía de aguas de formación (salmueras petroleras) de campos mesozoicos de la cuenca del sureste de México: implicación en su origen, evolución e interacción agua-roca en yacimientos petroleros. Trabajo especial para obtener el título de Doctor en Ciencias (Hidrogeoquímica). Centro de geociencias. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México.
4. Stumm, W. y Morgan, J. (1970) Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters. John Wiley & Sons, Inc. USA. 583p.

## EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTO DEL ARROYO “LA VACA”

Abril E. Gutiérrez <sup>a</sup>, Beatriz A. Candelario <sup>a</sup>, Martha E. Sandoval-Rojas <sup>a</sup>, Luis Felipe Sánchez-Díaz, María Del Carmen Cuevas-Díaz <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto Tecnológico de Minatitlán, Boulevard Institutos Tecnológicos s/n, Colonia Buena Vista Norte, Minatitlán, Ver., C.P. 96848.

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, campus Coatzacoalcos, 96538, Veracruz, México.

\* [adribet\\_77@hotmail.com](mailto:adribet_77@hotmail.com)

### RESUMEN

La calidad del agua superficial en ríos y corrientes de agua, lagos, estanques y humedales puede ser afectada significativamente por las actividades agrícolas, industriales y de extracción minera y energética. El sitio en estudio abastecía de diesel y daba mantenimiento a los trenes sin ningún tipo de medida de seguridad originando el vertido de distintos contaminantes, afectando así el lugar encontrándose dentro de esta zona impactada, el arroyo “La Vaca” y pozos aledaños. El objetivo de este trabajo es evaluar la calidad del agua y sedimento del arroyo ubicado en el ejido Medias Aguas, Municipio de Sayula de Alemán, Veracruz.

Para determinar la calidad del agua se recolectaron muestras de agua con base a la NOM-014-SSA1-1993. El muestreo del sedimento, se llevó a cabo tomando una muestra por cada sitio en áreas con menos perturbaciones de agua. Posteriormente se realizó una serie de análisis con base en el método estándar (1985) y normas mexicanas, se determinaron los parámetros como DBO<sub>5</sub>, Coliformes fecales y totales, nitratos fosforo, dureza, sólidos disueltos entre otros. Para la caracterización de sedimento al no existir en México un criterio ni norma para regular la calidad de un sedimento (Amezcuca y González, 2007) se determinó: pH, textura, materia orgánica, nitrógeno y fósforo e hidrocarburos totales de petróleo (HTP).

Algunos de resultados más relevantes de las muestra de agua obtenidos fueron para DBO<sub>5</sub> 78.7 mg/L, DQO 117.5 mg/L Sólidos Totales 815.5 mg/L y Coliformes totales 150-4800 NMP, lo cual indican que los valores no rebasan los límites máximos permisibles de la NOM-0127-SSA1-1994 a excepción de los Coliformes totales. En relación al sedimento los resultados se evaluaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 obteniéndose como resultado 20771.68 mg/kg S.S de TPH's, de fósforo se obtuvieron 6.56 g/kg S.S indicando que se aun se encuentran presencia de ciertos contaminantes que pueden dañar la calidad del agua.

De los anterior se concluye que el agua del arroyo no es apta para uso agrícola y ni ganadera ya que se está viendo afectada por la presencia de ciertos contaminantes.

### REFERENCIAS

- Análisis de agua. NMX-014-SSA1-1993. *Procedimiento sanitario para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados*, (2001).
- Amezcua M.A y González M.C. *Propuesta de un índice numérico para evaluar la calidad del sedimento influenciado por la industria petrolera*, (2007).

## SISTEMAS DE FLUJO SUBTERRÁNEO Y CONTENIDO DE FLUORURO EN TENEXTEPANGO MORELOS, CUAUTLA

Gricelda G. Varela-González<sup>a</sup>, Magdalena Espinoza-Jaramillo<sup>b</sup>, Rafael Huizar Alvarez<sup>c\*</sup>

<sup>a,b</sup> Posgrado en Ciencia de la Tierra, UNAM.

<sup>c\*</sup> Departamento de Geología Regional Instituto de Geología, UNAM, Cd Universitaria, Coyoacán, 04510 México.

\* huizar@unam.mx

### RESUMEN

En la planicie de Tenextepango Morelos, el agua subterránea se obtiene de un acuífero intergranular que está formado por sedimentos no consolidados de arenas gravas arcilla y conglomerados.

En esta la región el contenido de fluoruro en el agua subterránea varía de 0.5 a 1.9 mg/L, y está causando un problema de fluorosis dental en la población local constituyendo un problema de salud pública.

En el año 2009, se reporta los primeros casos de fluorosis dental en la población de Tenextepango, sin embargo, no hay información referente a las fuentes y procedencia del fluoruro en el agua que consume la población. Por esta razón, se realizó un estudio cuyos objetivos fueron; r: (i) identificar los sistemas de flujo de agua subterránea en la región y (ii) qué sistema de flujo subterráneo es el que causa la fluorosis.

Para cubrir esos objetivos fue necesario obtener el contenido de elementos mayores y menores en el agua subterránea, la temperatura del agua en campo, el contenido en el agua de isótopos estables y tritio. Asimismo, se obtuvo la dirección del gradiente hidráulico en la zona.

Esta información muestra, que el agua subterránea fluye de noreste a suroeste desde las laderas de las sierras Nevada y Chichinautzin ubicadas al noreste del área de estudio. El contenido de  $\delta^{18}\text{O}$ , sugiere la presencia de dos sistemas de flujo de agua subterránea. El sistema A, es un agua enriquecida en  $\delta^{18}\text{O}$ , que se recarga a una altitud posible de unos 2000 msnm, y es captado en los pozos Palo Blanco, Salitre, Chinameca 5 y E. Zapata. El Sistema B, con un menor contenido de  $\delta^{18}\text{O}$  respecto al anterior, recargándose a unos 2600 msnm y es extraída en los pozos, Jaloxtoc, Tenextepango, Longaniza.

Contenido de tritio de  $2.4 \pm 0.6$  (TU) en el agua del Sistema A, sugiere una infiltración relativamente reciente asociado con un flujo local, cuya temperatura es  $24.5$  a  $25.2^\circ\text{C}$ . Mientras que en el sistema B, el contenido de tritio es  $<0.8 \pm 0.6$  (TU) y tiene una temperatura de  $25.1^\circ\text{C}$  a  $35^\circ\text{C}$ , esto sugiere un mayor tiempo de residencia asociado a un flujo de tipo intermedio.

El contenido de fluoruro es mayor en la parte noreste de la región de interés, principalmente en los pozos Tenextepango, Jaloxtoc y Longaniza que extraen agua del sistema de flujo de tipo intermedio.

## PROCESOS DE MOVILIZACIÓN DE METALES PESADOS EN EL DISTRITO MINERO DE TAXCO; EVIDENCIAS ISOTÓPICAS ( $^{18}\text{O}$ , $^2\text{H}$ y $^{34}\text{S}$ ) EN AGUAS FLUVIALES

Azucena Dótor-Almazán<sup>a</sup>, Ma. Aurora Armienta<sup>b\*</sup>, Olivia Cruz<sup>b</sup>, Alejandra Aguayo<sup>b</sup>, Nora Cenicerros<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación S/N, Ciudad Universitaria, México, D.F., 04510, México

<sup>b</sup> Laboratorio de Química Analítica, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México D.F., México

\* [victoria@geofisica.unam.mx](mailto:victoria@geofisica.unam.mx)

### INTRODUCCIÓN

Taxco es un distrito minero localizado al Sur de México en el estado de Guerrero. Cuenta con una historia de extracción de minerales ricos en Cu, Pb, Zn, Ag y Au (principalmente como sulfuros) que ha producido extensos depósitos de jales muchos de ellos ubicados en las riberas de ríos y arroyos, y ha generado lixiviados con altos contenidos de metales que se han introducido a los ríos del distrito: Taxco y Cacalotenango. El distrito de Taxco ha sido evaluado ambientalmente principalmente a través de la determinación de la concentración de metales en distintas matrices y su especiación. A pesar de que la caracterización química en sitios contaminados es una herramienta poderosa, existen procesos como la evaporación y fuentes de proveniencia de metales, así como fenómenos de oxidación-reducción que no pueden detallarse con ella, por lo que se consideró importante analizar isótopos estables en esta zona. De esta manera, se determinaron las relaciones isotópicas de  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^2\text{H}/\text{H}$  y  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  en muestras de agua y sulfatos disueltos, respectivamente, con el propósito de entender y conocer el comportamiento isotópico-ambiental del área además de evidenciar la variación isotópica con respecto a la época de secas y lluvias, y finalmente poder identificar los procesos involucrados durante la distribución y movilización de metales en el área.

### SECCIÓN EXPERIMENTAL Y/O FUNDAMENTO TEÓRICO

Se obtuvieron cinco muestras de agua provenientes de los ríos Taxco y Cacalotenango durante la época de secas y 5 en la de lluvias para la determinación de las razones isotópicas de  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^2\text{H}/\text{H}$  y  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ . Las determinaciones isotópicas fueron realizadas en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), perteneciente a la UNAM. El sulfato disuelto en las muestras de agua se precipitó con una solución saturada de  $\text{BaCl}_2$  y se recuperó filtrando con membranas de celulosa de  $0.45\ \mu\text{m}$ . Una vez recuperado el sulfato se secaron en estufa a  $75^\circ\text{C}$  durante 24 h y la determinación de  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  se efectuó en la Universidad de Arizona, USA (Laboratory of Isotope Geochemistry, Department of Geoscience).

Los resultados isotópicos de las muestras de agua se expresan en notación delta por mil ( $\delta\text{‰}$ ) con respecto al estándar V-SMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water) para el  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  y con respecto al estándar de la Troilita del Cañón del Diablo (CDT, por sus siglas en inglés) para el  $^{34}\text{S}$ .

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados isotópicos de las muestras de agua fueron predominantemente negativos acentuándose de acuerdo a la época de muestreo, de esta manera, en la época de secas el rango para los valores  $\delta^{18}\text{O}$  fue de -9.25‰ a -7.72‰ y para el  $\delta^2\text{H}$  de -74.70‰ a -67.50‰. En época de lluvias se obtuvieron rangos para el  $\delta^{18}\text{O}$  entre -10.65‰ y -9.57‰, y para el  $\delta^2\text{H}$  de -74.70‰ a -67.50‰. Al compararse el  $\delta^{18}\text{O}$  con el  $\delta\text{D}$  se obtuvo una pendiente inferior ( $\delta\text{D}= 3.99$ ) a la Línea Meteórica Mundial (LMM,  $\delta\text{D}= 8 * \delta^{18}\text{O}+10$ ) [3] para la época de secas indicando un fuerte proceso de evaporación favorecido por las condiciones climáticas del área puesto que la época en la cual se realizó el muestreo coincide con el mes más cálido de la estación además de una escasa precipitación. Durante la época de lluvias la pendiente obtenida fue  $\delta\text{D}= 6.11$ , observándose un ligero aumento, lo que indica que existe un importante aporte de agua meteórica hacia los ríos de la zona y muestra que la evaporación es un proceso que continúa aunque en menor proporción. Otro de los procesos que representa el ligero aumento de la pendiente es la dilución debido al aumento considerable del flujo en los ríos Taxco y Cacalotenango que se refleja en concentraciones no detectables de metales durante esta época. Por otro lado, los valores de exceso de Deuterio ( $\delta$ -excess) fueron positivos para ambos periodos estacionales variando entre 1.4‰ y 8.3‰ en secas y de 7.9‰ a 10.5‰ en lluvias. Estas variaciones en los valores de  $\delta$ -excess corresponden a las variaciones, principalmente, en la humedad relativa ( $h$ ) en donde los valores positivos más bajos (secas) indican que  $h$  es menor al 25%, mientras que el aumento en  $h$  (<75%) durante la época de lluvias se refleja en los valores más positivos de  $\delta$ -excess. En ambos casos el  $\delta$ -excess por debajo de 12‰ confirma los procesos de evaporación en el área [1].

Los resultados de  $^{34}\text{S}$  en los sulfatos disueltos de las muestras de agua fluctuaron entre -6.8 y +2.2 en secas y de -5.4 a -0.6 en época de lluvias y caen dentro del rango de valores  $\delta^{34}\text{S}$  para los sulfuros del distrito [2], pirita de vetas (-4.0‰ a 0.9‰), pirita de mantos (0.1‰ a 5.9‰), esfalerita de vetas (0.0‰ a 3.2‰ y de -4.3‰ a -0.7‰), esfalerita de mantos (1.5‰ a 3.2‰ y de -4.1‰ a -0.9‰) y galena de vetas (-5.5‰ a -1.4‰), lo que sugiere que el azufre de los sulfatos contenidos en el agua proviene de la oxidación de los sulfuros de la mineralización. Al graficar el  $\delta^{34}\text{S}$  contra el  $\delta^{18}\text{O}$  se evidencian dos procesos que exhiben patrones de distribución de acuerdo a la época de muestreo. En la época de secas, las muestras de agua mostraron un patrón de distribución amplio y heterogéneo indicando que existe un proceso de erosión de la cuenca que incluye materiales como rocas y sulfuros de la mineralización hospedados en ellas, suelos, depósitos de jales. Durante la época de lluvias, la distribución de las muestras tuvo un patrón más definido y homogéneo sugiriendo que los materiales erosionados durante la época de secas fueron transportados hacia los ríos y consecuentemente mezclados.

## CONCLUSIONES

Las pendientes obtenidas de la comparación de  $^{18}\text{O}$  con  $^2\text{H}$  corresponden principalmente a Líneas Locales de Evaporación (LLE) tanto para la época de secas (LLES) como para la época de lluvias (LLELL) expresadas por las ecuaciones  $\delta\text{D}= 3.99*\delta^{18}\text{O}-29.02$  y  $\delta\text{D}= 6.11*\delta^{18}\text{O}-9.69$ , respectivamente. El aumento en la pendiente de la LLELL indica además un proceso de dilución durante la época de lluvias ocasionado por un aumento considerable en el flujo de los ríos Taxco y Cacalotenango. El  $\delta$ -excess confirma los procesos de evaporación-dilución y pone en evidencia que estos fenómenos están controlados adicionalmente por factores como cambios en la humedad relativa y cambios estacionales.

El análisis de  $^{34}\text{S}$  evidenció un primer proceso de oxidación de los sulfuros provenientes de la mineralización que contribuyen en la formación de sulfatos secundarios. Otro de los procesos identificados al comparar  $^{18}\text{O}$  vs

$^{34}\text{S}$  fue la erosión-acarreo-mezcla de los materiales que constituyen a la cuenca, proceso que se refleja en los metales determinados en el agua de los ríos, detectados principalmente en forma particulada para ambos periodos de muestreo.

Finalmente, la distribución de los metales está condicionada a procesos físicos de erosión y transporte de partículas que contienen metales y su movilización depende principalmente de los procesos de oxidación de los sulfuros del área.

### AGRADECIMIENTOS

La autora Azucena Dótor-Almazán agradece al CONACyT la beca doctoral otorgada para la realización de la presente investigación.

### REFERENCIAS

1. Clark I. and Fritz P., *Environmental isotopes in hydrogeology*, Lewis Publisher, Boca Raton, (1997).
2. Camprubí A., González-Partida E., Torres-Tafolla E. *Journal of Geochemical Exploration*. 89, 33. (2006).
3. Craig H., *Science*. 133, 1702 (1961).

## MICROTEXTURAS EN ARENAS DE LAS PLAYAS DE TECOLUTLA, NAUTLA Y VERACRUZ, EN EL GOLFO DE MÉXICO: IMPLICACIÓN DE UN PALEOAMBIENTE

Natalhy Pineda-Olmedo, John S. Armstrong-Altrin

*Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, 04510, México D.F., México.*

[natalhy\\_shell@hotmail.com](mailto:natalhy_shell@hotmail.com)

### RESUMEN

De los estudios iniciados por Krinsley y Donahue (1968); y Le-Ribault (1975), el análisis de las microtexturas ha cobrado interés como una técnica útil para el estudio de los sedimentos con la finalidad de determinar la procedencia de los granos de arena, mecanismos de transporte y ambiente de depósito a través del tiempo. Este estudio de microtexturas se realizó para obtener información sobre los procesos mecánicos y químicos que actúan sobre los granos durante su transporte y después de su depósito. Se colectaron 15 muestras en cada una de las playas de Tecolutla, Nautla y Veracruz; por medio del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), se identificaron 18 microtexturas agrupadas de acuerdo a su origen: mecánico (10), mecánico/químico (4) y químico (4). Dentro de las microtexturas de origen mecánico se muestran fracturas concoidales y fracturas escalonadas rectas y arqueadas típicas de granos derivados de rocas cristalinas. Los contornos angulares y sub-angulares asociados con las fracturas escalonadas indican que estos sedimentos experimentaron un rápido transporte y depósito. Las fracturas en forma de "V" así como los rasguños rectos y arqueados son característicos de ambientes marinos. En las microtexturas de origen químico, algunos granos muestran diatomeas atrapadas y microtexturas tales como glóbulos y películas de sílice, que sugieren que estos granos son derivados de ambientes saturados de sílice. De igual forma se identificó una microtextura por disolución química: las cavidades por disolución de formas circulares y sub-circulares que también indican que se formaron por procesos químicos en áreas tropicales como las zonas de intermarea de la playa.

Los granos de arenas de las playas de Tecolutla y Veracruz presentan texturas análogas, indican que son suministradas por granos provenientes de rocas cristalinas, transportados por procesos fluviales y eólicos, subsecuentemente estos granos son depositados en ambientes marinos. Mientras que los granos de Nautla son transportados principalmente por procesos fluviales para ser retrabajados en las zonas de intermarea y finalmente ser depositados en ambientes marinos.

### REFERENCIAS

- Krinsley, D.H. and Donahue, J., 1968. Environmental interpretations of sand grain surface textures by electron microscopy. *Geological Society of America Bulletin*, v. 79, p. 743-748.
- Le-Ribault, 1975. L'exoscopie. *Methodeet applications: Compagnie Francaise des petroles*. v. 12, p. 231.

## ASPECTOS PALEOAMBIENTALES DE LAS ROCAS SILICICLÁSTICAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR DE LA SIERRA CUESTA EL INFIERNO (MUNICIPIO DE ALDAMA, CHIHUAHUA), MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE BIOMARCADORES.

Luz Stephanie Montaña<sup>1\*</sup>, Kinardo Flores<sup>1\*\*</sup>, Yulemi González<sup>1</sup>, Juan Carlos Durán<sup>2</sup>, Jesús Martín Torres<sup>3</sup>, Carlos Esquivel<sup>4</sup> y Alfredo Meneses<sup>5</sup>

1. Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Laboratorio de Geoquímica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.
2. Posgrado de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria s/n, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.
3. Área Académica de Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.
4. Centro de Investigaciones Biológicas. Laboratorio de Paleontología. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.
5. Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

\* [stephanie.montano.geolamb@gmail.com](mailto:stephanie.montano.geolamb@gmail.com), \*\* [kinardo\\_flores@hotmail.com](mailto:kinardo_flores@hotmail.com)

### INTRODUCCIÓN

La especialidad de la Geoquímica Orgánica en que se fundamenta este estudio se centra en la identificación e interpretación de *biomarcadores*, que son compuestos orgánicos complejos procedentes de organismos vivos. Principalmente están constituidos de carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre y nitrógeno, entre otros. Estos forman parte de la materia orgánica sedimentaria (Eglinton *et al.*, 1964; Eglinton y Calvin, 1967).

Estos compuestos conservan la estructura de sus moléculas precursoras (de origen biogénico), que se pueden identificar a través del registro geológico, lo que permite hacer inferencias sobre la naturaleza de la materia orgánica alojada en las rocas y sedimentos y otras características como la madurez, condiciones paleoambientales prevaletientes, nivel de oxidación de la cuenca, etc.

### LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área se encuentra al NE del estado de Chihuahua, en las inmediaciones del Desierto Chihuahuense y dentro de la propiedad del DECA-Parque Cretácico A.C. Para llegar al área de estudio se conduce por la carretera federal #16 (Chihuahua–Ojinaga) hasta la ciudad de Aldama, que dista 30 km de la capital. Arribando a esta, se continúa con rumbo a Ojinaga hasta llegar al entronque que comunica a la comunidad de Potrero El Llano y Chorreras (20 km) que es de terracería transitable todo el año y se continúa por espacio de 28 km hasta la entrada de la propiedad del DECA. El área que comprende ésta investigación se enmarca por las coordenadas geográficas: 28°48'7.32" N, 105°34'27.66" W y 28°49'13.21" N, 105°32'37.69" W (Figura 1).

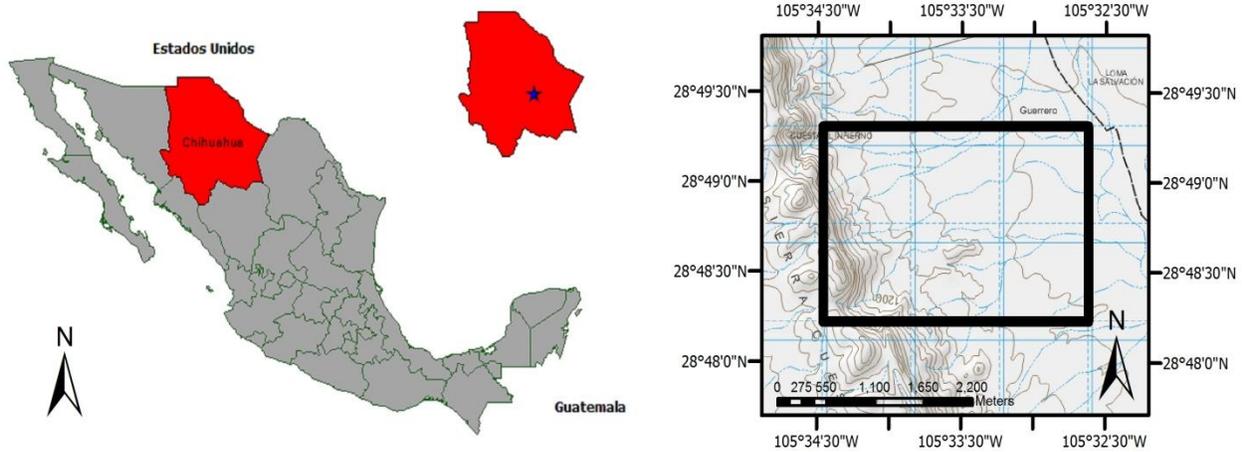


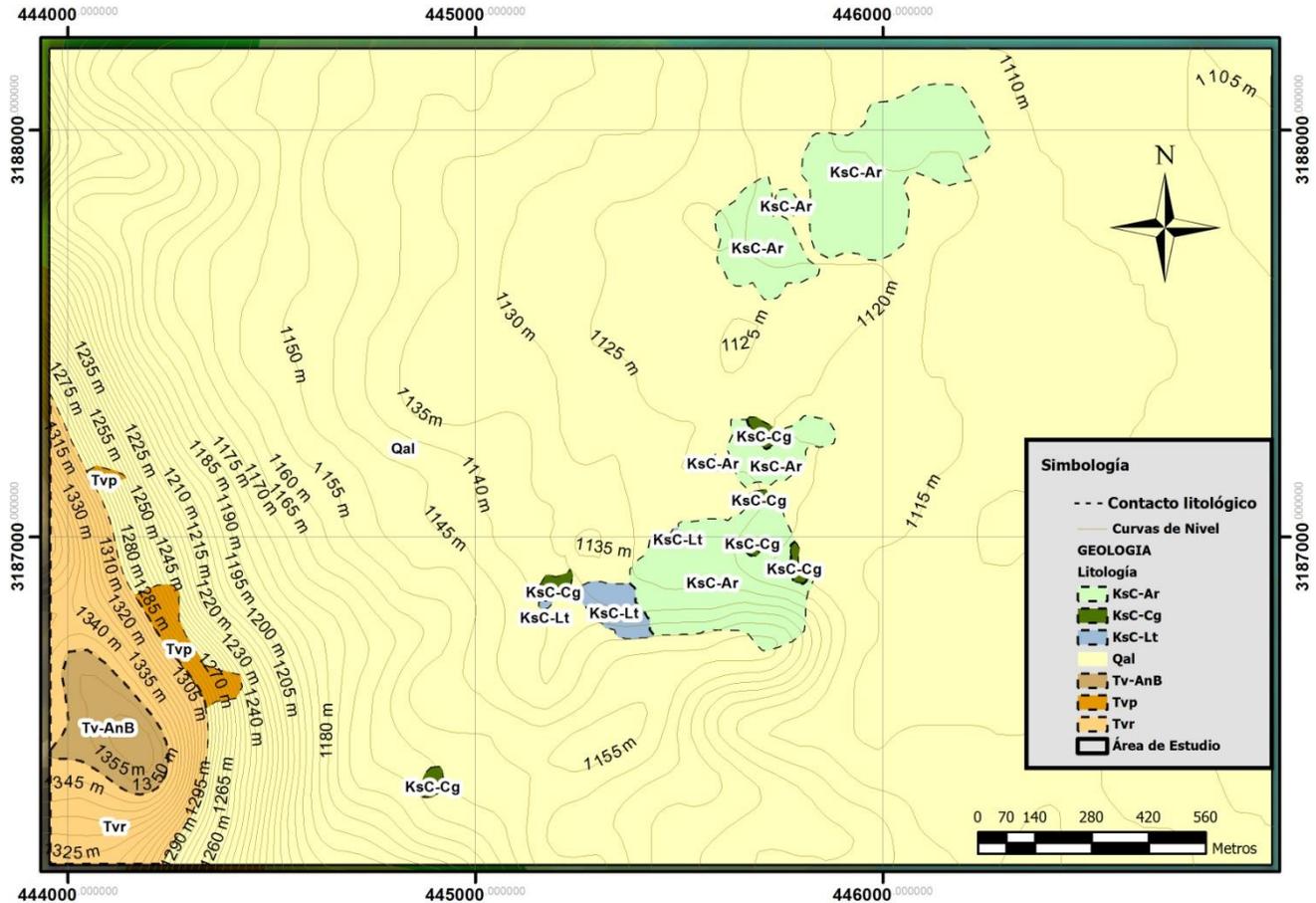
Figura 1. Plano de localización del área de estudio.

## GEOLOGÍA

La columna litológica medida está conformada, desde base a cima, por alternancia de areniscas de grano fino a medio (poco consolidadas), con areniscas compactas de grano medio, bien clasificadas y de color gris claro al corte y cuyos estratos varían de 5 a 25 cm de espesor. Conforme asciende la columna la secuencia cambia de areniscas a areniscas conglomeráticas y a conglomerados polimícticos, constituidos por clastos centimétricos de morfología subredondeada a redondeada y color ocre-amarillento (visiblemente oxidados). Esta litología siliciclástica es la que presenta mayoritariamente el material paleontológico, tanto de origen animal como vegetal (Flores-Castro *et al.*, 2011).

Posteriormente y sobreyaciendo al paquete sedimentario anterior, se depositan lutitas que al contacto con las areniscas conglomeráticas y los conglomerados, presentan evaporitas (yesos) asociadas a fracturas y planos de estratificación (reprecipitación) y conforme se asciende en la secuencia, aparecen en mayor proporción los sedimentos arcillosos de color rojizo y disminuyen las evaporitas.

Hacia la cima de la secuencia, se deposita finalmente un potente espesor de conglomerado polimíctico, el cual cubre los sedimentos arcillosos, y a la vez subyacen a materiales volcánicos paleógenos (toba ácida caolinizada, flujos de lavas riolíticas y andesítico-basálticas), (Oviedo-Padrón, 2008; Oviedo-Padrón *et al.*, 2010) (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa geológico del área de estudio. Explicación: KsC-Ar= alternancia de arenisca poco compacta con arenisca consolidada, KsC-Cg= arenisca conglomerática y conglomerado polimítico, KsC-Lt= lutita, lutita yesífera y limolita, Qal= relleno aluvial intermontano, Tv-AnB= lava andesítico-basáltica, Tvp= toba caolinizada de composición ácida, Tvr= lava riolítica.

## METODOLOGÍA

Se realizaron dos visitas al campo para reconocimiento del área de estudio y para la obtención de muestras de roca y sedimento de los diferentes estratos y niveles más característicos del afloramiento. Durante estas visitas se obtuvieron 45 muestras, las cuales se envolvieron primeramente con papel aluminio y después se depositaron en bolsas de polietileno, las cuales fueron debidamente identificadas. De estas muestras se seleccionaron 15 significativas y correspondientes a cambios en la sedimentación para definir un perfil sedimentario; posteriormente fueron preparadas en el laboratorio y finalmente destinadas a extracción secuencial de la fracción soluble de la materia orgánica sedimentaria (bitumen).

En el laboratorio, las muestras seleccionadas fueron trituradas primeramente y después pulverizadas en un mortero de ágata de marca *Fritsch* (modelo *Pulverisette 2*), hasta quedar completamente disgregadas, obteniendo así 150 g de cada una de ellas. Posteriormente se colocaron cada una en un matraz florencia de 1000 ml al que se le agregaron 375 ml de disolventes orgánicos [Hexano ( $C_6H_{14}$ ), Acetato de Etilo (AcOEt) y

Metanol (CH<sub>3</sub>OH), grado HPLC] para abarcar un amplio rango de polaridad. A continuación las muestras se sometieron a reflujo continuo en un sistema de recirculación termoregulado (Figura 3) por espacio de 55 h para cada uno de los disolventes, obteniendo así tres submuestras.



Figura 3. Detalle de la extracción secuencial en sistema termoregulado.

Una vez concluido el tiempo de reflujo, se procedió a filtrar a gravedad las muestras para separar el sedimento del disolvente utilizando papel filtro *Whatman #40*. A continuación, se concentraron los extractos de bitumen respectivos de cada disolvente utilizando un rotavapor, el cual se recuperó con la ayuda de pipetas Pasteur en viales de 8 ml previamente pesados y etiquetados. Se procedió entonces a dejar evaporar el disolvente restante a temperatura ambiente y después fueron pesados una vez más para obtener el peso final del extracto (Flores-Castro *et al.*, 2011).

Finalmente, los extractos fueron analizados mediante un cromatógrafo de gases *Hewlett-Packard Agilent 5973 Network*, acoplado a un Espectrómetro de Masa *Hewlett Packard 6890N* (Figura 4) del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Como resultado de este análisis se obtuvieron los cromatogramas correspondientes, los cuales se compararon con la base de datos *Wiley138* y su interpretación fue soportada con bibliografía existente.



**Figura 4.** Cromatógrafo de Gases-Masa, HP-Agilent.

## RESULTADOS PRELIMINARES Y DISCUSIÓN

Como resultado preliminar se muestra el cromatograma de gases-masa de la muestra STE-010 (Figura 5), el cual se obtuvo del extracto obtenido con Acetato de Etilo como disolvente; dicha muestra corresponde a un conglomerado polimíctico masivo situado en el contacto con las areniscas conglomeráticas que envolvían nódulos de arena bien clasificada de 50 a 100 cm de diámetro.

### **Compuestos mayoritarios**

- *Alcanos*

En el cromatograma de gases-masa correspondiente al extracto de Acetato de Etilo de la muestra STE-010 se observa una distribución bimodal de alcanos alifáticos ( $m/z=85$ ):  $nC_{15}$  al  $nC_{21}$  y del  $nC_{22}$  al  $nC_{30}$ , con claro predominio del  $nC_{22}$  y  $nC_{24}$ , característica que denota la presencia de plantas superiores de origen continental (Tissot y Welte, 1984). Con respecto a la presencia de alcanos de bajo peso molecular  $nC_{15}$  al  $nC_{19}$ , éstos podrían sugerir el hábitat de comunidades de organismos menos evolucionados como algas de ambientes marinos y/o lacustres (Gelpi *et al.*, 1970; Tissot y Welte, 1984).

### **Compuestos traza**

- *Isoprenoides*

Son claras las señales de Pristano ( $Tr= 11.16$  min) y Fitano ( $Tr= 12.24$  min), (~90%,  $m/z= 85$ ). Biomarcadores que proceden del fitilo (cadena lateral de la clorofila) y que se producen debido a reacciones diagenéticas propias del medio ambiente en el cual se depositaron los sedimentos: oxidantes (Pristano), anóxicas (Fitano), (Peters y Moldowan, 1993).

- *Cicloalcanos*

Ciclododecano (Tr= 9.51 min). Aunque este compuesto ha sido descrito para condiciones paleoambientales de alta temperatura (Müürisepp *et al.*, 1994), también es diagnóstico de la presencia de algas, situación que se corrobora con los alcanos de bajo peso molecular citados anteriormente.

- *Alcoholes*

1-octanol, 2-butil- (Tr= 8.90 min). La presencia de este compuesto en los procesos diagenéticos sedimentarios es característico de la degradación anaeróbica del nonilfenol (Chang *et al.*, 2008).

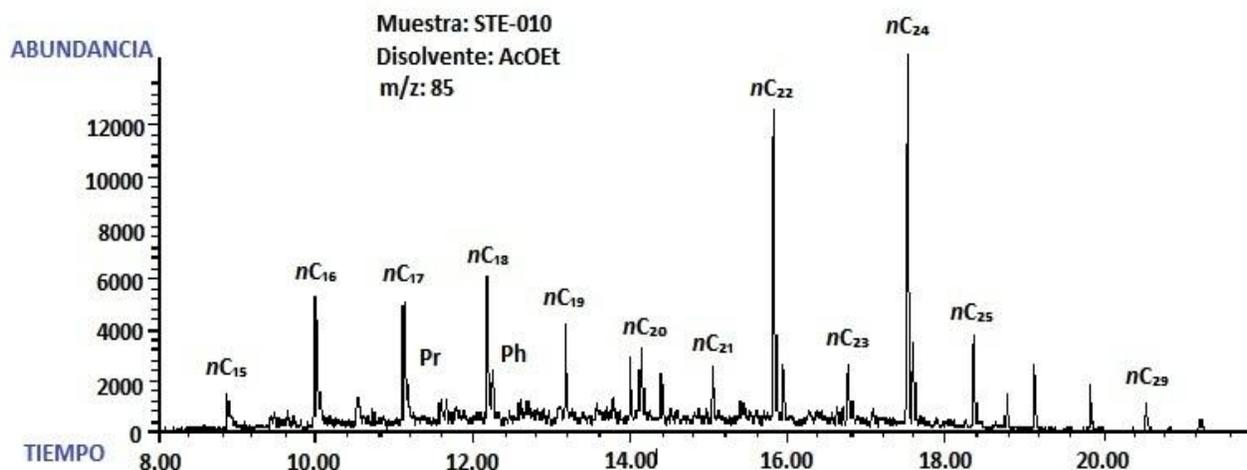


Figura 5. Cromatograma de gases-masa correspondiente al extracto de Acetato de Etilo (AcOEt) de la muestra STE-010.

## REFERENCIAS

- Chang, B. V., Lu, G. S. y Yuan, S. Y. (2008) Anaerobic degradation of nonylphenol in subtropical mangrove sediments. Department of Microbiology, Soochow University, Taipei, Taiwan, p. 1.
- Eglinton, G. y Calvin, M. (1967) Chemical fossils. *Scientific American*, v. 261, p. 32-43.
- Eglinton, G., Scott, P. M., Besky, T., Burlingame, A. L. y Calvin, M. (1964) Hydrocarbons of biological origin from a one-billion-year-old sediment. *Science*, v. 145, p. 263-264.
- Flores-Castro, K., Montañó, S., González, Y., Estrada-Ruiz, E., Esquivel, C., Torres-Valencia, J. M., Carrillo, E., Derma, J., Ángeles-Cruz, C. A. y Duran-Álvarez, J. C. (2011) Geoquímica orgánica aplicada a madera fósil del género *Javelinoxylon* depositada en sedimentos del Cretácico Superior de la Sierra Cuesta El Infierno, Aldama, Chihuahua (MEXICO). *Actas INAGEQ*, v. 17, n. 1, p. 49-53.
- Gelpi, E., Schneider, H., Mann, J. y Oro, J. (1970) Hydrocarbons of geochemical significance in microscopic algae. *Pythochem*, v. 9, p. 603-612.
- Müürisepp, A. M., Urov, K., Liiv, M. y Sumberg, A. (1994) A comparative study of non-aromatics hydrocarbons from kukersite and *Dictyonema* Shale semicoking oils. *Oil Shale*, v. 11, p. 211-216.

10. Oviedo-Padrón, E.G. (2008) Tectónica de la Sierra Cuesta El Infierno, Chihuahua y su relación con el levantamiento de Plomosas. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Geociencias. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Tesis de Maestría en Ciencias.
11. Oviedo-Padrón, E.G., Aranda-Gómez, J.J., Chávez-Cabello, G., Molina-Garza, R.S., Iriondo, A., González-Becerra, P.C., Cervantes-Corona, J.A. y Solorio-Munguía, J.G. (2010) Tectónica de la sierra Cuesta El Infierno y su posible relación con fallas reactivadas cerca del levantamiento de Plomosas, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. v. 27, n. 3, p. 389-411.
12. Peters, K. E. y Moldowan, J. M. (1993) *The Biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Ed. Prentice Hall, New Jersey, p. 141.
13. Tissot, B. y Welte, D. H. (1984) *Petroleum formation and occurrence*. 2ed Edition, Springer Verlag, p. 699.

## GEOQUÍMICA INORGÁNICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS DEL AFLORAMIENTO DECA - PARQUE CRETÁCICO EN LA SIERRA CUESTA “EL INFIERNO”, MUNICIPIO DE ALDAMA, CHIHUAHUA (MÉXICO): CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PROCEDENCIA

Yuletmi González Moreno<sup>1\*</sup>, Kinardo Flores<sup>1\*\*</sup>, John S. Armstrong-Altrin<sup>2</sup>, Luz Stephanie Montaña<sup>1</sup>,  
Màrius Ramírez<sup>1</sup>, José Luis Cadena<sup>1</sup>

1. Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Laboratorio de Geoquímica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

2. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria s/n, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

\* [yuletmi28@hotmail.com](mailto:yuletmi28@hotmail.com), \*\* [kinardo\\_flores@hotmail.com](mailto:kinardo_flores@hotmail.com)

### INTRODUCCIÓN

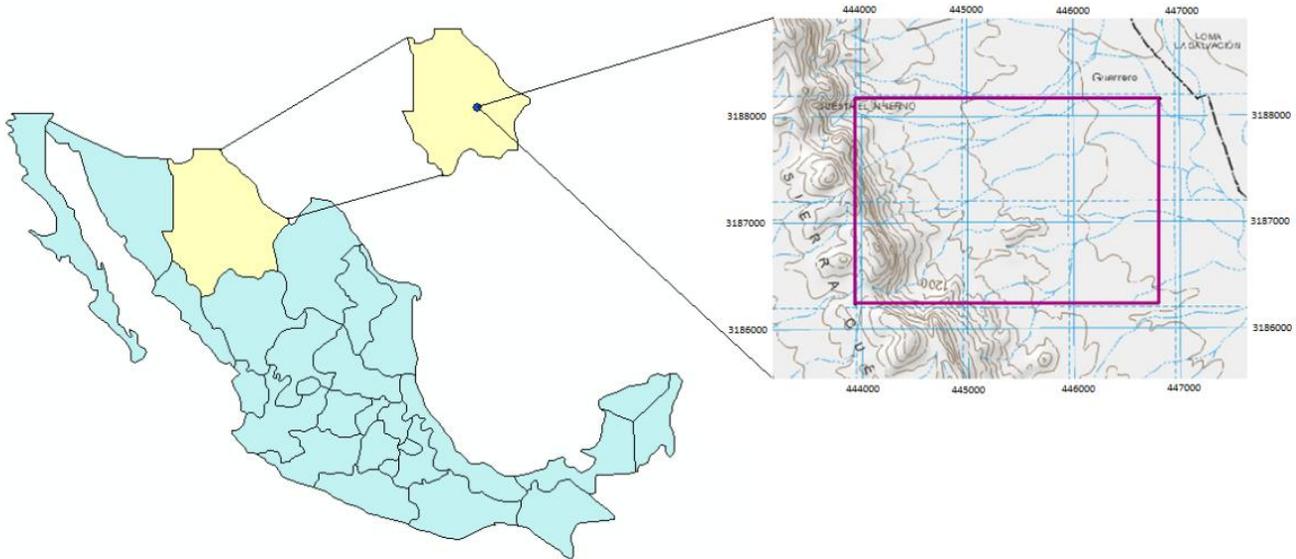
La Geoquímica estudia la composición química de la Tierra desde su origen, distribución y evolución de los elementos que constituyen nuestro Planeta y de como éstos están relacionados con los minerales formadores de minerales y rocas, además de los productos derivados de ellas.

La aplicación de herramientas geoquímicas y petrográficas determina, por ejemplo, la composición química y mineralógica de los sedimentos y las rocas sedimentarias, además de sus rasgos texturales y petrogenéticos que posteriormente son evaluados estadísticamente, con el fin de encontrar tendencias y firmas geoquímicas relacionadas con un contexto tectónico prevaleciente y que a su vez, tiene concordancia con el tiempo del depósito de los sedimentos procedentes de la erosión de rocas precursoras (protolitos).

Para el caso de los estudios de procedencia de sedimentos terrígenos, estas técnicas han complementado enormemente la información obtenida por medio de la petrografía. En los últimos años, se han llevado a cabo un gran número de estudios sobre la composición química de las rocas detríticas (elementos mayores, trazas y tierras raras) y de los cambios que ocurren a lo largo del ciclo sedimentario, con el objetivo de entender la relación que existe entre la composición de la roca que dio origen al sedimento y la de la roca que resulta de la litificación de este (Taylor y McLennan, 1985; Bathia y Crook, 1986; Roser y Korsch, 1986, 1988; McLennan, 1989; Armstrong-Altrin, 2004; Liu *et al.*, 2007).

### LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área se localiza al NE del estado de Chihuahua, formando parte del *Desierto Chihuahuense*, para llegar a la zona de estudio se toma la carretera federal # 16 (Chihuahua – Ojinaga) hasta la ciudad de Aldama. Se continúa hasta arribar al entronque que comunica a la comunidad de Potrero El Llano – Chorreras. Posteriormente se prosigue por espacio de 28 km por camino de terracería, siendo transitable todo el año, hasta el entronque y entrada a la propiedad del DECA - Parque Cretácico. El área de estudio queda comprendida por las coordenadas geográficas: 28°48'7.32" N, 105°34'27.66" W y 28°49'13.21" N, 105°32'37.69" W. (Figura 1).



**Figura 1.** Plano de localización del área de estudio.

## GEOLOGÍA

Estrada-Ruiz (2011) correlaciona las rocas sedimentarias clásticas, motivo de este estudio, a la Formación San Carlos (*Coniaciano-Maastrichtiano*) descrita originalmente por Vaughan (1900), mediante la diagnosis y clasificación de maderas fósiles que contienen éstos sedimentos, además de numerosos restos óseos correspondientes a dinosaurios herbívoros y carnívoros.

La columna litológica medida en el área de estudio presenta hacia la base una alternancia de estratos medios a gruesos de areniscas poco consolidadas, con areniscas compactas de grano medio, bien clasificadas de 5 a 25 cm de espesor y que muestran una marcada estructura laminar paralela. Petrográfica y geoquímicamente correspondieron con grauwacas.

A continuación la secuencia cambia de areniscas a areniscas con alternancias de conglomerados, cuyos clastos varían de 1 a 5 centímetros de diámetro y que comúnmente exhiben estratificación paralela. Posteriormente se presentan conglomerados polimícticos con clastos de 2 a 10 centímetros de morfología subredondeada a redondeada y color ocre-amarillento (visiblemente oxidados). Esta litología siliciclástica es la que presenta mayoritariamente el material paleontológico, tanto de origen animal como vegetal. (Figuras 2 y 3).



**Figura 2.** Areniscas con laminación paralela



**Figura 3.** Areniscas con alternancia de conglomerados

Posteriormente se deposita discordantemente un paquete de lutita y lutita-limosa que al contacto con las areniscas conglomeráticas y los conglomerados presentan evaporitas (yesos) asociados a fracturas y planos de estratificación. Conforme se asciende en la secuencia arcillosa, las evaporitas desaparecen y los sedimentos arcillosos de color rojizo predominan (Flores-Castro *et al.*, 2011).

Finalmente, la cima de la secuencia está representada por un potente espesor de conglomerado polimíctico de color amarillo claro a rojizo, compuesto por clastos provenientes de rocas volcánicas y sedimentarias redondeados a subredondeados, cuyos fragmentos oxidados presentan diámetro centimétrico a decimétrico. Éstos cubren los sedimentos arcillosos y a la vez subyacen a una secuencia de rocas volcánicas, principalmente de composición félsica a andesítica-basáltica, que en algunos sitios se encuentran intercaladas con sedimentos clásticos continentales y depósitos epiclásticos (Oviedo-Padrón, 2008; Oviedo-Padrón, 2010).

## METODOLOGÍA

Se realizaron dos visitas al área de estudio obteniendo un total de 45 muestras de roca y sedimento de los diferentes estratos que conforman el afloramiento del DECA - Parque Cretácico A.C. Las muestras fueron envueltas con papel aluminio y posteriormente colocadas en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas.

En el laboratorio se seleccionaron 15 muestras representativas del perfil medido y se pulverizaron en el equipo *Pulverisette II* de la marca *Fritsch* con mortero y pistilo de ágata, hasta reducir el tamaño de partícula hasta malla 200, obteniendo así 40 g de cada una de ellas (Figuras 4 y 5). Posteriormente fueron enviadas a los laboratorios ActLabs en Ontario, Canadá, para ser analizadas por el método: *Total IDENT Code 4E lithoresearch* que incluyó el análisis de alta resolución de elementos mayores y trazas, incluidas las tierras raras.



**Figura 4.** Equipo Pulverisette II



**Figura 5.** Aspecto del pulverizado de la muestra

## RESULTADOS PRELIMINARES

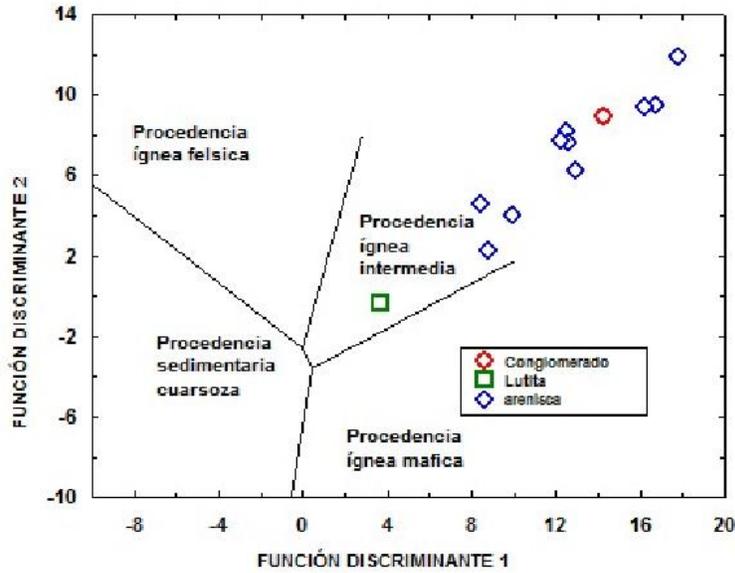
Para poder discriminar la roca fuente, se utilizó el trabajo de Roser y Korsch (1988), en el cual se calculan funciones discriminantes con base en la concentración de elementos mayores:

Función discriminante 1 =  $(-1.773 \cdot \text{TiO}_2) + (0.607 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + (0.760 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) + (-1.500 \cdot \text{MgO}) + (0.616 \cdot \text{CaO}) + (0.509 \cdot \text{Na}_2\text{O}) + (-1.224 \cdot \text{K}_2\text{O}) + (-9.090)$ .

Función discriminante 2 =  $(0.445 \cdot \text{TiO}_2) + (0.070 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + (-0.250 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) + (-1.142 \cdot \text{MgO}) + (0.438 \cdot \text{CaO}) + (1.475 \cdot \text{Na}_2\text{O}) + (-1.426 \cdot \text{K}_2\text{O}) + (-6.861)$ .

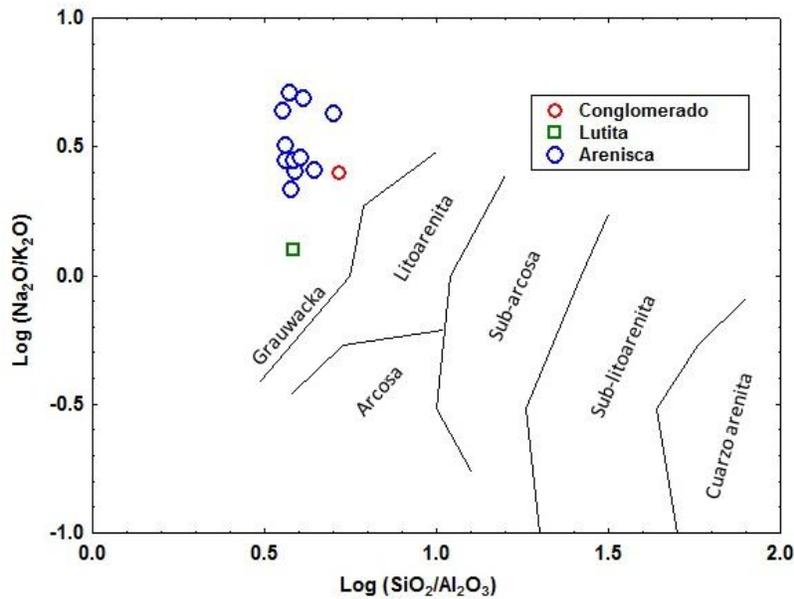
Según el autor, éstas funciones permiten hacer una discriminación de la roca protolito, la cual puede ser identificada en cuatro grandes grupos de acuerdo a su composición químico-mineralógica: *ígneas máficas*, *ígneas intermedias*, *ígneas félsicas* y *procedencia sedimentario cuarzosa*.

Al realizar el cálculo de las funciones discriminantes con base en los resultados de química de roca total de las 15 muestras analizadas correspondientes al perfil de las areniscas del DECA - Parque Cretácico, el diagrama mostró que los litotipos pre-existentes tienen tendencia a la composición ígnea intermedia (Figura 6).



**Figura 6.** Diagrama de función discriminante para procedencia de sedimentos (Roser y Korsch, 1988)

Por otra parte, utilizando el diagrama de clasificación de areniscas terrígenas de Pettijohn *et al.*, (1972) y rediseñado por Herron (1988), se pudieron clasificar las rocas siliciclásticas del DECA - Parque Cretácico como grauwacas.



**Figura 7.** Diagrama de clasificación de sedimentos terrígenos:  $\log (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  vs  $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ . Pettijohn *et al.*, (1972); Herron (1988).

**REFERENCIAS**

1. Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I, Verma, S.P. and Ramasamy, S. (2004). Geochemistry of sandstones from the Upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*, v. 74, n. 2, p. 285-297.
2. Bathia, M.R. and Crook, K.A.W. (1986). Trace element characteristics of graywackes and tectonic discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.* v. 92. p. 181-193.
3. Estrada-Ruiz, E. and Hugo I. Martínez-Cabrera. (2011). A new Late Cretaceous (Conacian-Maastrichtian) *Javelinoxylon* wood from Chihuahua, Mexico. *IAWA Journal*, v. 32, n. 4, p. 521-530.
4. Flores-Castro, K., Montañó, S., González, Y., Estrada-Ruiz, E., Esquivel, C., Torres-Valencia, J. M., Carrillo, E., Derma, J., Angeles-Cruz, C. A. y Duran-Álvarez, J. C. (2011). Geoquímica orgánica aplicada a madera fósil del género *Javelinoxylon* depositada en sedimentos del Cretácico Superior de la Sierra Cuesta El Infierno, Aldama, Chihuahua (MEXICO). *Actas INAGEQ*, v. 17, n. 1, p. 49-53.
5. Herron, M.M. (1988). Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sed. Petrol.*, v. 58, p. 820-829.
6. Liu, S. Lin, G., Liu, Y., Zhou, Y., Gong, F. y Yan, Y. (2007). Geochemistry of Middle Oligocene–Pliocene sandstones from the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin (Eastern China): Implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Geochemical Journal*, v. 41, p. 359 – 378.
7. McLennan, S. M. (1989). Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *in*: Lipi, B. R. y McKay, G. A. (eds.). *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements: Reviews in Mineralogy*. v. 21. p. 169-200.
8. Oviedo-Padrón, E.G. (2008). Tectónica de la Sierra Cuesta El Infierno, Chihuahua y su relación con el levantamiento de Plomosas. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Geociencias. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Tesis de Maestría en Ciencias.
9. Oviedo-Padrón, E.G., Aranda-Gómez, J.J., Chávez-Cabello, G., Molina-Garza, R.S., Iriondo, A., González-Becerra, P.C., Cervantes-Corona, J.A. y Solorio-Munguía, J.G. (2010). Tectónica de la sierra Cuesta El Infierno y su posible relación con fallas reactivadas cerca del levantamiento de Plomosas, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. v. 27, n. 3, p. 389-411.
10. Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and Siever, R. (1972). *Sand and sandstones*. Springer-Verlag, New York
11. Roser, B. P. y Korsch, R. J. (1986). Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. *Journal of Geology*. v. 94. p. 635-650.
12. Roser, B. P. y Korsch, R. J. (1988). Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*. v. 67. p. 119-139.
13. Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1985). *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford.
14. Vaughan, T.W. (1900). Reconnaissance in Rio Grande coal fields of Texas: United States Geological Survey Bulletin, 164, 73-88.

## GEOQUÍMICA ORGÁNICA APLICADA A ROCAS SEDIMENTARIAS DEL JURASICO MEDIO EN EL AFLORAMIENTO "AZTLÁN" EN HUEHUETLA, HIDALGO (MÉXICO): IMPLICACIONES PALEOAMBIENTALES

Lisbeth A. Badillo<sup>1\*</sup>, Kinardo Flores<sup>1\*\*</sup>, Carlos Esquivel<sup>2</sup>, Juan Carlos Durán<sup>3</sup>, Noé Piedad<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Laboratorio de Geoquímica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo.*

<sup>2</sup>*Centro de Investigaciones Biológicas. Laboratorio de Paleontología. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo.*

<sup>3</sup>*Posgrado de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria s/n, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.*

<sup>4</sup>*Facultad de Metalurgia. Universidad Autónoma de Coahuila, Carretera 57 km 5 Norte, CP. 25710. Monclova, Coahuila de Zaragoza.*

e-mail's: [nely\\_blu@hotmail.com](mailto:nely_blu@hotmail.com)\*, [kinardo\\_flores@hotmail.com](mailto:kinardo_flores@hotmail.com)\*\*

### INTRODUCCION

La presencia de materia orgánica en las cuencas sedimentarias recientes es fruto de la actividad biológica autóctona, así como de la deposición de *detritus* de procedencia exterior. La preservación de estos aportes a lo largo del tiempo depende de los procesos diagenéticos iniciales, que comportan transformaciones químicas y microbiológicas ligadas en general a las condiciones de acidez y potencial *redox* del medio, así como de su historia térmica. La caracterización de la materia orgánica sedimentaria en términos moleculares, constituye uno de los objetivos principales de la Geoquímica Orgánica moderna lo que permite obtener información valiosa sobre la naturaleza de los aportes orgánicos a los sedimentos, las características de los ambientes deposicionales y el grado de maduración térmica (Albaigés y Grimalt, 1987).

Este trabajo pretende obtener información biogeoquímica paleoambiental mediante técnicas de extracción secuencial de bitumen en rocas del Jurásico Medio de la región de Huehuetla, Hidalgo, en la Sierra Madre Oriental.

### LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO

El área de estudio se localiza en el municipio de Huehuetla al NE del estado de Hidalgo. Para llegar al área de estudio partiendo de la ciudad de Pachuca, se conduce por la carretera federal n. 130 hasta la ciudad de Tulancingo. Se prosigue a tomar el entronque a San Alejo rumbo a Metepec (carretera n. 51), posteriormente, se sigue el recorrido por la n. 53 pasando por Tenango de Doria, hasta llegar al río Huehuetla y el afloramiento está próximo al barrio Aztlán (Fig. 1). El área se encuentra delimitada por las coordenadas 20°28'30.80"N, 98°5'38.80"W y 20°27'41.00"N, 98°4'49.00"W.

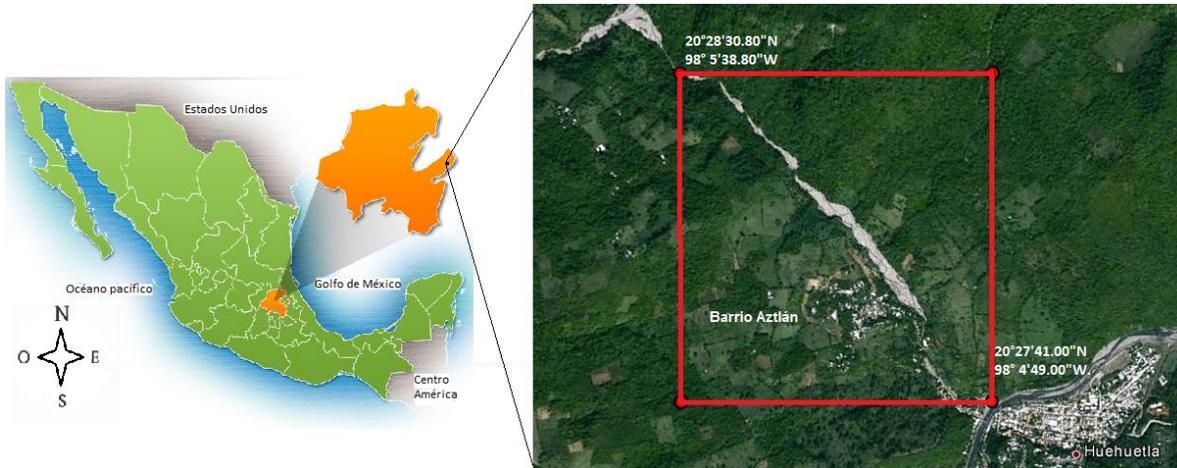


Fig. 1. Mapa de localización del área de estudio.

## GEOLOGIA

Regionalmente los afloramientos del Jurásico Medio fueron reportados por Cantú-Chapa (1971) en la Serie Huasteca y referidos a la Formación Cahuassas, Tepexic y Santiago en la región de Huehuetla, Hidalgo; sitio donde se enfoca este trabajo estratigráfico y geoquímico.

La columna litológica medida de base a cima revela una alternancia de estratos de areniscas de coloración verde y rojiza, consolidadas, de grano medio a fino y que van desde los 11 hasta los 159 cm de espesor. Ocasionalmente exhiben estratificación cruzada y paralela con lentes de arenisca conglomerática oligomítica (Fig. 2).

Posteriormente se deposita un paquete de limolita, que tiende a masiva de coloración café oscuro y que cambia a una alternancia de estratos de caliza fosilífera con intercalaciones de limolita. En este punto de la columna se observan abundantes bivalvos retrabajados que van disminuyendo en cantidad conforme se asciende en la columna litológica carbonatada.

Sobreyaciendo a los carbonatos se presenta un potente espesor de lutitas negras carbonosas de aspecto antracítico y físil que incluyen concreciones de caliza que a su vez presentan amonites piritizados y pirita diseminada formando aros relacionados al borde de las concreciones. Alternando a este paquete, se observan estratos de caliza de 9 a 15 cm de espesor con vetillas de calcita (Fig. 3).



Fig. 2. Sección correspondiente a las areniscas, donde se observa la laminación cruzada (superior derecha) y el estrato de arenisca conglomerática-oligomictica (inferior derecha).



Fig. 3. Lutitas negras con la presencia de concreciones.

Hacia la cima se presenta una alternancia de limolita y caliza que incluye amonites del género *Procerites* sp. Siemiradzki, 1898, que son índices del Batoniano Inferior (Esquivel-Macías, comunicación personal), *apcticus* (Fig. 4) y concreciones. Finalmente, hacia la cima de la secuencia cambia a caliza masiva, coronando las cimas de esta sierra.



Fig. 4. Se observa parte del material encontrado en el área de estudio (de izquierda a derecha: amonite de la especie *Procerites* sp. Siemiradzki, 1898, y *apcticus*). Escala gráfica correspondiente a 1 cm.

## METODOLOGÍA

Se colectaron un total de 12 muestras de aproximadamente 0.5 kg de los horizontes y cambios litológicos representativos de la sección, las cuales se envolvieron primeramente con papel aluminio y después se depositaron en bolsas de polietileno debidamente identificadas.

En el laboratorio de Geoquímica de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo se trituró y pulverizaron las muestras con el equipo *Fritsch* modelo *Pulverisette 2*. Se preparo una porción de 120g de cada una de las muestras y posteriormente se colocaron en un matraz balón de 1000ml al que se le agregaron 300ml de disolventes orgánicos: Hexano ( $C_6H_{14}$ ), Acetato de etilo ( $C_4H_8O_2$ ) y metanol ( $CH_3OH$ ), grado HPLC. A continuación fue sometido a reflujo por espacio de 53 hrs en un sistema de recirculación termoregulado (Fig. 5).



Fig.5. Montaje del experimento: sistema de reflujo en extracción secuencial de bitumen.

Una vez concluido el tiempo de reflujo, la muestra de roca fue separada del disolvente mediante filtración a gravedad y el extracto así obtenido se concentró empleando un rotavapor. El bitumen resultante se introdujo en un vial de 8ml mediante una pipeta Pasteur el cual fue previamente pesado y rotulado. Posteriormente el extracto se pesó tras dejar evaporar el exceso de disolvente a temperatura ambiente. Finalmente los extractos fueron analizados en un cromatógrafo de gases *Hewlett-Packard Agilent 5973 Network* con el sistema de inyección 7683B, acoplado a un Espectrómetro de Masa *Hewlett Packard 6890N* del Instituto de Ingeniería, UNAM. Los compuestos orgánicos que forman parte de los extractos, fueron tentativamente identificados al compararlos con la base de datos *Wiley138* y su interpretación biogeoquímica paleoambiental fue soportada con bibliografía existente.

## RESULTADOS PRELIMINARES

El cromatograma de gases-masa (Fig. 6), permitió identificar los siguientes compuestos orgánicos en la muestra E1, correspondiente a una caliza fosilífera con un intervalo de tiempo de retención de 10 a 22 minutos, siendo el octadecano y tetracosano los de mayor predominio.

### Compuestos mayoritarios:

Alcanos: Los alcanos alifáticos presentes muestran una distribución del  $nC_{17}$  a  $nC_{30}$ , donde la señal predominante corresponde a  $nC_{18}$  y  $nC_{24}$ .

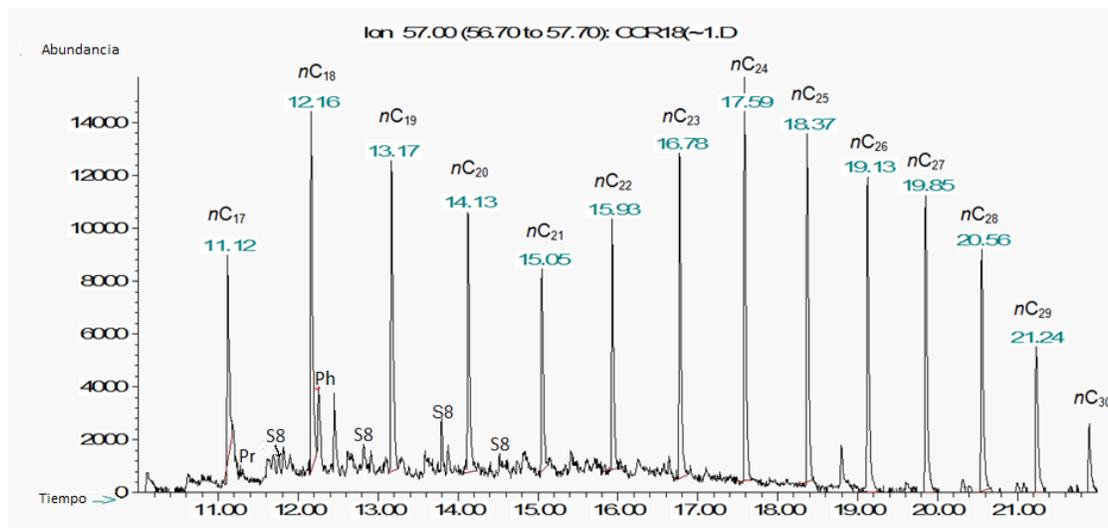


Fig. 6. Cromatograma de gases del extracto E1 hexano M/Z 57, presentando una distribución bimodal.

### Compuestos orgánicos a nivel traza:

2,6,10,14-Tetrametil Hexadecano (Fitano) y 2,6,10,14-Tetrametil Pentadecano (Pristano): certifican la presencia de plantas superiores, fitoplancton y organismos fotoautotróficos. (Peters, Walters y Moldowan, 2005); así como un ambiente deposicional reductor a anóxico y de alta salinidad (Peters, y Moldowan, 1993).

Azufre molecular: Los sulfuros son producidos por bacterias sulfuroreductoras, bajo condiciones altamente reductoras a anóxicas (Peters y Moldowan, 1993).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albaigés, J., y Grimalt, J., 1987. Contribución de la Geoquímica Orgánica a la reconstrucción de paleoambientes y procesos diagenéticos. Departamento de Química Ambiental. Centro de Investigación y Desarrollo (C.S.I.C), Barcelona, Acta Geológica Hispánica, t. 21-22, p. 577-583.
- Cantú-Chapa, A., 1971. La Serie Huasteca (Jurásico Medio-Superior) del Centro Este de México, Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de exploración del I.M.P., Artículos Técnicos, p. 17-40.
- Peters, K.E., y Moldowan, J.M., 1993. The Biomarker Guide. Ed. Prentice-Hall, Inc. p. 363.
- Peters, K.E., Walters, C.C. y Moldowan, J.M., 2005. The Biomarker Guide. Volumen 2. Ed. Cambridge University Press. p. 499.

## EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SUELO EN EL AREA DE LA ANTIGUA ESTACION FERROVIARIA MEDIAS AGUAS

Jorge L. Montero <sup>a\*</sup>, Octaviano Cuello <sup>a</sup>, Martha E. Sandoval <sup>a</sup>, María Del C. Cuevas D <sup>b.</sup>, Luis Felipe Sánchez D. <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto Tecnológico de Minatitlán, Blvd. Institutos Tecnológicos s/n Col. Buenavista Norte, Minatitlán, Veracruz 96848

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, campus Coatzacoalcos, 96538, Veracruz, México.

\* [george\\_monteroa@hotmail.com](mailto:george_monteroa@hotmail.com)

### INTRODUCCION

Como consecuencia de varios siglos de actividad minera en México y posteriormente debido a la industria de la química básica, petroquímica y de refinación del petróleo, se han producido cantidades difíciles de cuantificar de residuos peligrosos. Una de las empresas paraestatales que ha contribuido a la contaminación de aguas y suelos, es Ferrocarriles Nacionales de México (FNM); la principal razón por la que la empresa ha provocado la contaminación de suelos es por el almacenamiento inadecuado de residuos y combustibles como creosota y aceites gastados<sup>1</sup>. La estación Medias Aguas ofrecía el servicio de abastecimiento de diesel ya que se contaba con un tanque elevadizo de almacenamiento con una capacidad de 50,000 litros. Los residuos generados se vertían a un sistema de desagüe, y a través de canaletas de concreto eran arrastrados y expulsados a los terrenos aledaños al taller de reparación en una zona baja inundable. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del suelo en el área de la antigua estación ferroviaria Medias Aguas para determinar el uso adecuado del mismo. Es importante estudiar las características particulares del suelo para determinar el grado y distribución de la contaminación, y consecuentemente, aplicar alguna de las tecnologías de remediación existentes.<sup>2</sup>

### METODOLOGIA

El ejido Medias Aguas se localiza en las coordenadas geográficas 17°40'12"N 95°01'44"O 17.67, -95.02889, a una altitud de 40 m.s.n.m. Con una Población de 1,123 personas (INEGI 2010). Basándose en la información previa del sitio y en la norma NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 se realizó un muestreo dirigido en las zonas aledañas al taller de mantenimiento de FNM y en puntos cercanos al cuerpo de agua que fluye de sur a norte paralelo a las vías férreas. En total se tomaron 10 muestras a una profundidad de 40 cm, se depositaron en bolsas de plástico y frascos de vidrio y se transportaron en contenedores con hielo. Se extendieron en charolas, se secaron a temperatura ambiente durante 7 días y se tamizaron con malla del No. 10. Para la caracterización los parámetros que se analizaron fueron: pH, humedad, materia orgánica, densidad real y aparente, textura y los HTP's mediante el método de reflujo micro-soxhlet.

### RESULTADOS

Las muestras de suelo analizadas presentaron en su mayoría, una textura de migajón arenoso y migajón arcillo-arenoso; La porosidad del suelo oscila entre media y alta, la materia orgánica total fue de 7.093% para la muestra tomada en el sitio cercano a la descarga del taller; por otra parte los HTP's medidos fueron de 10,433.8 mg HTP's/Kg suelo seco el valor más bajo, mientras que el más alto fue de 27,589 mg HTP'S/Kg suelo seco.

## CONCLUSIONES

Los TPH's sobrepasan los límites permisibles para un suelo de uso agrícola. Los contaminantes persistieron debido a las características del suelo.

## REFERENCIAS

1. Volke T., Velasco J.A, *Tecnologías de Remediación para suelos contaminados*, INE-SEMARNAT, México, (2002).
2. Fernández L.C., Rojas N.G, Roldán T.G., *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*, IMP,INE-SEMARNAT, México.

## EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS DEL MUNICIPIO DE NANCHITAL, VERACRUZ, POR DERRAMES Y/O FUGAS DE HIDROCARBUROS

Yadira Martínez Bailey, M. en C. María del Carmen Cuevas Díaz

*Ing. Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, campus Coatzacoalcos, 96538, Veracruz, México.*  
[ariday\\_2502@hotmail.com](mailto:ariday_2502@hotmail.com)

### INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos tienen el poder de causar daños sumamente graves en humanos, como puede ser algún tipo de cáncer, por ejemplo. De ahí la necesidad de emitir información para influir en la minimización de los derrames de hidrocarburos. Una variedad de sustancias peligrosas contaminantes puede eliminarse mediante distintas tecnologías; una de ellas es la biorremediación, como una opción sumamente innovadora para reducir los efectos de pesticidas, herbicidas, petróleo y sus derivados y metales pesados, entre otros.

### RESUMEN

En México, la industria petrolera ocupa uno de los principales lugares de importancia por los beneficios económicos que genera; sin embargo, sus actividades son también una fuente notable de contaminantes que pueden ocasionar daños significativos al medio ambiente. Esta industria, entre su vasta infraestructura, cuenta con una amplia red de ductos para la distribución y conducción de productos petroleros que se distribuye a todo lo largo del país y que atraviesa importantes zonas urbanas, industriales, agropecuarias y naturales. Las fallas en el mantenimiento y operación de los ductos, el manejo inadecuado de algunos materiales y la toma clandestinas ocasionan de manera frecuente fugas y derrames de estos compuestos en muchas regiones del país, sobre todo en el sureste de México donde se concentra la mayor producción de petróleo.

De acuerdo a los dictámenes emitidos por la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los productos del petróleo, como la gasolina, el diesel y otros hidrocarburos, son los principales contaminantes liberados durante las emergencias ambientales a partir del 2002. El petróleo crudo ocupó el cuarto lugar de los contaminantes más frecuentemente emitidos, con un reporte de 92 emergencias de un total de 749. En 2003, las fugas en ductos (de petróleo y productos similares) fueron las emergencias ambientales más frecuentes (más de 100 casos), seguidas de las volcaduras de carros tanque (63 casos); sin embargo, para los siguientes tres años este patrón se invirtió y las fugas en ductos se ubicaron en una segunda posición (menos de 60 casos por año). Con relación a la ubicación de las emergencias, el estado de Veracruz fue el más afectado, con 117 incidentes, seguido de los estados de Tamaulipas (75), Oaxaca (69), Hidalgo (54) y Puebla (50). Estas cinco entidades concentraron casi el 50% de las emergencias ocurridas entre 2003 y 2006 [Cram et al., 2007].

En el 2007, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), realizó un monitoreo de la calidad del suelo, sedimento, etc., en varios municipios de la zona sur del estado de Veracruz, considerando en este proyecto de investigación, los municipios de Coatzacoalcos, Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Ixhuatlán del Sureste, Agua Dulce, Cosoleacaque, Minatitlán y Moloacán (con una superficie total de 1776 Km<sup>2</sup>). Esta zona fue seleccionada considerando la alta densidad de instalaciones petrolera que alberga, en particular de ductos; la diversidad de ecosistemas que presenta, incluyendo los humedales y los manglares, la variedad de actividades económicas que se desarrollan en ella y su compleja dinámica socioeconómica, derivada del desarrollo petrolero y de otras características específicas de dicha región.

Resultados obtenidos por la UASLP, demostraron que la mayor concentración de hidrocarburos y el mayor impacto ambiental se encontraban en los suelos del municipio de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río.

Algunos de los derrames de hidrocarburos que han ocurrido en los últimos 7 años en el municipio de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río se citan a continuación.

El 22 de diciembre del 2004 se registró un derrame de petróleo en el río Coatzacoalcos a la altura del municipio de Nanchital. Este derrame pudo evitarse, pero por negligencia y descoordinación del personal de PEMEX no se suspendió el bombeo de crudo, a pesar de que hubo un incendio y explosión en la central de bombeo de Mazumiapan, a 120 Km de distancia del lugar del derrame. Tampoco la empresa actuó con celeridad para evitar el derrame hacia el río y la costa. En consecuencia, el derrame de 5 mil barriles de petróleo crudo contaminó el arroyo de Tepeyac (300 m), el río Coatzacoalcos (20 Km) y las playas de Coatzacoalcos y Congregación de Allende (7 Km.).

Otro suceso ocurrió el 18 de octubre del 2005 donde se registró un derrame de petróleo, se vertieron 200 barriles de petróleo crudo en el kilómetro 4+500, de la carretera el Chapo, del Ejido Pollo de Oro, en el ducto de 30 pulgadas tramo Nuevo Teapa-Poza Rica. De acuerdo al reporte de la dirección municipal de Protección civil en Nanchital, el incidente se registró a las 9:45 horas del mismo día y fue controlado por personal técnico de Pemex-Refinación, quienes suspendieron de inmediato el flujo de la tubería y colocaron un cárcamo para la recuperación del producto. El hidrocarburo afectó un área de 100 metros cuadrados en zona baja inundable y un escurrimiento de dos kilómetros hacia el arroyo, al cual no llegó, dadas las acciones implementadas. No hubo daños directos a la población, en virtud de que se localiza en una zona despoblada (PEMEX, 2005).

Otro derrame de hidrocarburo en Nanchital fue provocado por vándalos que rompieron la válvula de un ducto, el 07 de Diciembre de 2011. El intento de robo de combustible en la válvula de seccionamiento del oleoducto de 30 pulgadas de Nuevo Teapa-Poza Rica ubicada en la explanada deportiva José María Morelos y Pavón del municipio de Nanchital, ocasionó un derrame de hidrocarburos en una extensión de aproximadamente 100 metros, lo que propició que el área quedara bajo el resguardo del Ejército. De acuerdo a Protección Civil municipal, la fuga dejó una mancha de crudo de una extensión de aproximadamente 100 metros, quedando pendiente el daño ocasionado al área, pues los fuertes vientos provocaron que los olores se propagaran alrededor de la ciudad, principalmente en el fraccionamiento Guadalupe Tepeyac que es el más cercano a la unidad deportiva, por lo que estudiantes de una escuela fueron desalojados de su plantel.

La serie de derrames de hidrocarburos en los últimos años, en el de Nanchital, han provocado graves daños a la estructura del suelo en este municipio.

## **JUSTIFICACION**

Por lo planteado en los antecedentes, se torna de importancia conocer el estado actual de la contaminación de los suelos del municipio de Nanchital, por fugas y/o derrames de hidrocarburos.

## **METODOLOGÍA**

- Búsqueda de información sobre características generales de los hidrocarburos de petróleo en libros, revistas, entre otros.
- Caracterizar un Marco Físico y Socioeconómico del Municipio de Nanchital, con información proporcionada por INEGI, Biblioteca Municipal, etcétera.
- Investigar los sitios de derrames en el municipio de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, tomando en cuenta información de los últimos años, proporcionada por PEMEX, periódicos, revistas, etcétera.

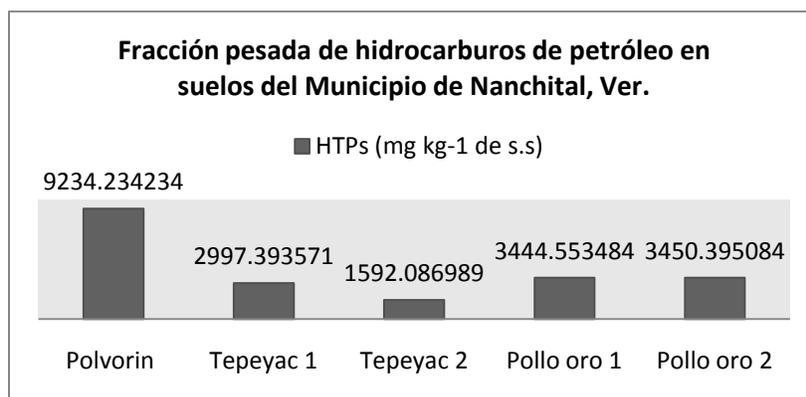
- Verificar la base de datos del monitoreo en suelos del municipio de Nanchital, Ver., que llevo la UASLP en el año 2007.
- Determinar los puntos de muestreo, considerando la ubicación y el grado de afectación de los sitios dañados por los hidrocarburos, así mismo tomado en cuenta el monitoreo realizado por UASLP en el 2007 y definir la red de muestreo.
- Llevar a cabo el muestro de los puntos de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
- Determinar la concentración de hidrocarburo en el suelo, de acuerdo a la NOM-138-SEMARNAT/SS 2003.
- Realizar la medición de parámetros en laboratorio, como lo son: pH, textura, densidad aparente, densidad real, fosforo, nitrógeno, materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, según la norma NOM-021-SEMARNAT-2000.
- Comparar los límites permisibles establecidos en la Normatividad Mexicana, con los datos obtenidos en laboratorio y realizar una comparación de los resultados actuales y con los obtenidos en el 2007.
- Evaluar si existe una evolución en la contaminación de los suelos del Municipio de Nanchital de acuerdo al monitoreo 2007, y definir la disminución de estos contaminantes.

## RESULTADOS

Resultados de la fracción de hidrocarburos según la norma NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. En la Tabla 1.1 podemos observar los resultados de TPH fracción pesada en suelos, respectivamente podemos apreciar como en su mayoría las muestras se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de Fracción de Hidrocarburos especificados en la norma NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 para zonas de suelo de uso predominante industrial que está permitido 6,000 mg/kg; excepto la muestra polvorín, que se encuentra por encima del límite permisible.

**Tabla 1.1** Resultados de TPH en suelo

ID Muestra	HTPs (mg kg <sup>-1</sup> de s.s)
Polvorín	9234.234234
Tepeyac 1	2997.393571
Tepeyac 2	1592.086989
Pollo oro 1	3444.553484
Pollo oro 2	3450.395084

**Gráfica 1.1** Fracción Pesada de HTP en suelo.

Resultados del análisis fisicoquímico, según la norma NOM-021-SEMARNAT-2000.

Tabla 1.2 resultados Fisicoquímicos

ID MUESTRA	pH	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )		Porosidad (%)
		Real	Aparente	
Polvorín	6.786 ± 0.03	2.0459 ± 0.004	0.9139 ± 0.0002	55.3296
Tepeyac 01	6.76 ± 0.015	2.9929 ± 0.0015	1.13202 ± 0.0002	62.1764
Tepeyac 02	6.99 ± 0.005	2.55 ± 0.0015	1.0114 ± 0.00072	60.3341
Pollo de Oro 01	6.71 ± 0.005	2.7163 ± 0.0002	0.9817 ± 1E-4	63.8585
Pollo de Oro 02	6.91 ± 0.005	2.74 ± 5.75 E-5	1.046 ± 0.00015	61.8248

Tabla 1.3 Resultados Fisicoquímicos

ID MUESTRA	Textura			
	%Arenas	% Arcillas	%limos	T triangulo
Polvorín	89.2	8.8	2	Arena
Tepeyac 01	90.8	3.2	6	Arena
Tepeyac 02	83.2	4.8	12	Arena migajón
Pollo de Oro 01	75.6	2.4	22	Arena migajón
Pollo de Oro 02	88.8	5.2	6	Arena

Tabla 1.4 Resultados Fisicoquímicos

ID MUESTRA	Materia Orgánica (%)	Humedad (%)	Porosidad (%)	Conductividad Eléctrica (Msiems)
Polvorín	22.0033 ± 0.057	91.12	55.3296	0.1426 ± 0.002
Tepeyac 01	0.2664 ± 0.707	76.98	62.1764	0.1317 ± 0.001
Tepeyac 02	5.9679 ± 0.45	70.499	60.3341	0.1463 ± 0.001
Pollo de Oro 01	1.4809 ± 0.15	83.01666667	63.8585	0.1696 ± 0.0005
Pollo de Oro 02	1.9809 ± 0.288	81.08666667	61.8248	0.1432 ± 0.0005

## CONCLUSIONES

En general la evaluación realizada en los suelos del municipio de Nanchital, resulto ser satisfactoria, ya que solo uno de los puntos muestreados se encontró valores de HTP's que están por encima de la norma NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, los demás cumplen con las especificaciones de la misma.

Y en la comparación con el monitoreo en suelos que realizó la UASLP en el año 2007 en el municipio de Nanchital, la concentración de los HTP's disminuyo en su totalidad, lo que indica que hubo una evolución en los suelos del municipio. Con respecto a las características fisicoquímicas demuestran que los suelos de este municipio, se encuentran en condiciones óptimas para su utilización.

## REFERENCIAS

1. Boulding. T. R. (1994). *Description and sampling of contaminated soils: A field manual*. Lewis Publisher. 2en ed. Bloomington, Indiana. pp. 3-65 a 3-70.
2. Cram, S. R., Aguirre, M., Hernández, N., Martínez, O., Oropeza, J. A., Quintero, O., Salmerón, I., Sommer, M. A. (2007). *Elaboración de una Metodología para la Identificación de Sitios Ambientalmente Sensibles a los Efectos por Derrames de Hidrocarburos* (INE/ A1-009/2007).
3. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
4. Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
5. Petróleos Mexicanos (2005). Informe 2005: Seguridad, salud y medio ambiente. Dirección Industrial y Protección Ambiental.
6. Petróleos Mexicanos (2008). Informe 2008: Seguridad, salud y medio ambiente. Dirección Industrial y Protección Ambiental.

## MEDICIONES DE 222RN EN FALLA GEOLÓGICA EN LA IZTAPALAPA, D.F

Faustino Juárez<sup>1\*</sup>, Guillermo Espinosa<sup>2</sup>, Pedro G. Reyes<sup>3</sup>, Víctor H. Espíndola<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Circuito Exterior Ciudad Universitaria, México D.F. Cp.04510

Graduate PhD Student . Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México  
Instituto Literario No. 100. Estado de México, 50000, México.

<sup>2</sup> Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Circuito Exterior Ciudad Universitaria, México D.F. Cp.04510

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México,  
Instituto Literario No. 100. Estado de México, 50000, México .

\* [tino@geofisica.unam.mx](mailto:tino@geofisica.unam.mx)

### INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en una zona de fallas activas ubicadas al oriente de la Ciudad de México, concretamente en la Calzada Ignacio Zaragoza, en donde estas fallas son notorias en forma de vados sobre la misma calzada en la zona del Peñón Viejo, en donde se monitoreo con detectores sólidos de trazas como son los plásticos de CR-39.

Durante este monitoreo ocurrieron sismos de grado mayor a 6 grados Richter, lo que se puede observar en los valores de radón obtenidos. El radón es un gas radiactivo natural, el cual es producto del decaimiento radiactivo del radio, este elemento se encuentra en todos los materiales geológicos en mayor o menor medida. Dependiendo del tipo de roca se tiene una compactación determinada lo cual indica que el fracturamiento por esfuerzo está en función del grado de energía que se suministre esta energía se da de forma natural en un sismo con lo que se presentan fisuras en la superficie o internas.

Este fracturamiento favorece dos puntos importantes para la migración de radón a la superficie estos son: rompimiento de la estructura de los granos que contiene los átomos de radón y la formación como tal de fisuras que permiten la migración del radón liberado de las rocas a la superficie.

### SECCIÓN EXPERIMENTAL

Se definió como área inicial de monitoreo la región oriente de la Delegación Iztapalapa de la Cd. De México , concretamente en el cerro llamado el Peñón del Márquez y la falla lateral al mismo sobre la Calzada Ignacio Zaragoza Fig.1 y 2.

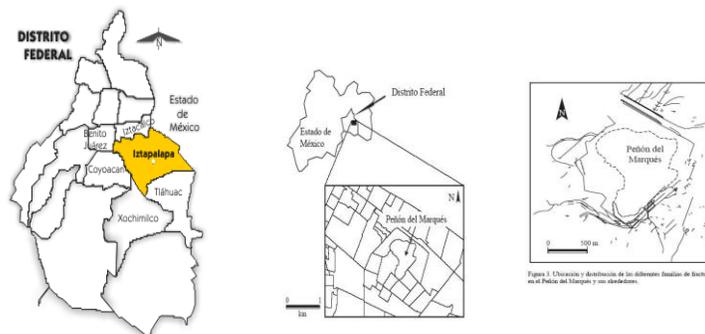


Fig.1 Zona de monitoreo en el D.F.



**Fig.2** Vista del Peñón del Márquez y falla geológica sobre calzada Ignacio Zaragoza.

Al inicio de esta investigación se colocaron los detectores dentro de los dispositivos de tubo como se observa en la Fig. 3.



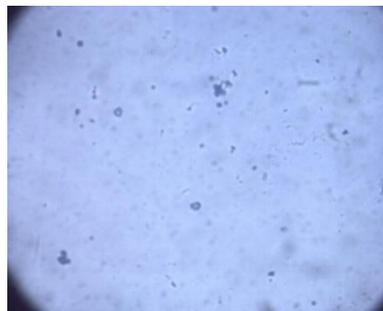
**Figura 3.** Dispositivo con el CR-39 y colocación en el punto de monitoreo

### **ATAQUE Y REVELADO DE LAS TRAZAS NUCLEARES EN EL CR-39.**

La metodología utilizada para el revelado de las trazas en los DTS consistió de los siguientes pasos: ataque químico, caracterización y cuantificación de las trazas. El ataque químico se realizó con una solución de KOH 6.25 molar, a una temperatura de  $60 \pm 1$  °C por 16 horas. Este proceso está bien establecido con un protocolo que es altamente confiable (Espinosa, 1994). El sistema de detección se calibró en el Oak Ridge National Laboratory (ORNL-EE.UU.).

Esta calibración se certifica cada año en el ORNL, y verificar cada 6 meses en la cámara de radón. Los detectores se contaron automáticamente con un Sistema de Análisis de Imagen Digital (DIAS) (Espinosa et al, 1986; Gammage y Espinosa, 1997) y se analizaron los datos de forma automática mediante el uso de una PC, con Microsoft Excel®, el factor de conversión es de 100 t/cm<sup>2</sup> es equivalente a 20 Bq/m<sup>3</sup>.

El revelado de los detectores se realizó como se describió anteriormente utilizando un baño maría para mantener la temperatura en el rango adecuado (fig. 4).



**Fig.4** Baño María para el ataque químico del CR-39. **Fig. 5.** Área de conteo de las trazas nucleares en el DTNS. Después del ataque se procedió a contar el número de trazas en cada detector, el área de conteo de muestra para un detector en la Fig.5.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los tubos instalados en la falla de Zaragoza se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 1.

**Tabla 1.-** Radón en la falla de Calzada I. Zaragoza.

jul-sep 2010			
Tubos	Trazas prom.	Trazas /mm <sup>2</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
1	9	26	5
2	10	29	6
3	14	40	8
4	12	34	7
oct-dic 2010			
Tubos			
1	23	66	13
2	18	51	10
3	15	43	9
4	17	49	10
ene-mar 2011			
Tubos			
1	17	49	10
2	14	40	8
3	22	63	13
4	19	54	11
may-jun 2011			
Tubos			
1	33	94	19

Tubos	Trazas prom.	Trazas /mm <sup>2</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
2	46	131	26
3	43	123	25
4	36	103	21
jul-sep 2011			
Tubos			
1	22	63	13
2	40	114	23
3	32	91	18
4	42	120	24
oct-dic 2011			
Tubos			
1	32	91	18
2	34	97	19
3	44	126	25
4	54	154	31
ene-mar 2012			
Tubos			
1	198	566	113
2	234	669	134
3	122	349	70
4	256	731	146

Correlación de las mediciones de  $R_n$  en la falla con la actividad sísmica.

La actividad sísmica fue determinada por el Servicio Sismológico Nacional, en la Tabla 2, se muestra la sismicidad a partir de la fecha de inicio del monitoreo en la falla de la calzada Ignacio Zaragoza, sobre la superficie de esta avenida se nota el efecto de la actividad sísmica como se ve en la fig. 6.

Fig. 6. Deformación de las vías del metro cerca de la estación Peñón Viejo.



Fig. 6. Deformación de las vías del metro cerca de la estación Peñón Viejo.

Otro cambio causado y por esta actividad en la falla en que se había colocado los tubos con los detectores fue el ensanchamiento de la grieta y la generación de otra fisura a 1m de la primera pero de forma paralela a la misma como se puede ver en la figura 7.



Fig. 7. Ensanchamiento de la grieta des pues de la actividad sísmica.

Tabla 2. Actividad sísmica con eventos mayores a 5.5 (SSN-UNAM, jun.2012).

Evento	Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof.(Km)	Mag.	Zona
<a href="#">1</a>	2012-05-01	17:43:35	14.11	-93.16	40	6.1	126 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS
<a href="#">2</a>	2012-05-01	11:37:59	18.2	-101.01	51	5.6	40 km al SUROESTE de CD ALTAMIRANO, GRO
<a href="#">3</a>	2012-04-12	02:15:49	28.78	-113.43	10	6.8	109 km al NORESTE de GUERRERO NEGRO, BCS
<a href="#">4</a>	2012-04-12	02:05:59	28.79	-113.43	15	6.0	111 km al NORESTE de GUERRERO NEGRO, BCS
<a href="#">5</a>	2012-04-11	17:55:10	17.9	-103.06	16	6.4	79 km al OESTE de LA MIRA, MICH
<a href="#">6</a>	2012-04-02	12:36:42	16.27	-98.47	10	6.0	45 km al OESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX
<a href="#">7</a>	2012-03-26	12:12:56	10.4	-104.4	10	6.1	NORESTE de la DORSAL DEL PACÍFICO
<a href="#">8</a>	2012-03-26	11:48:45	10.12	-104.29	10	5.6	NORESTE de la DORSAL DEL PACÍFICO
<a href="#">9</a>	2012-03-20	12:02:50	16.42	-98.36	15	7.4	29 km al SUR de OMETEPEC, GRO

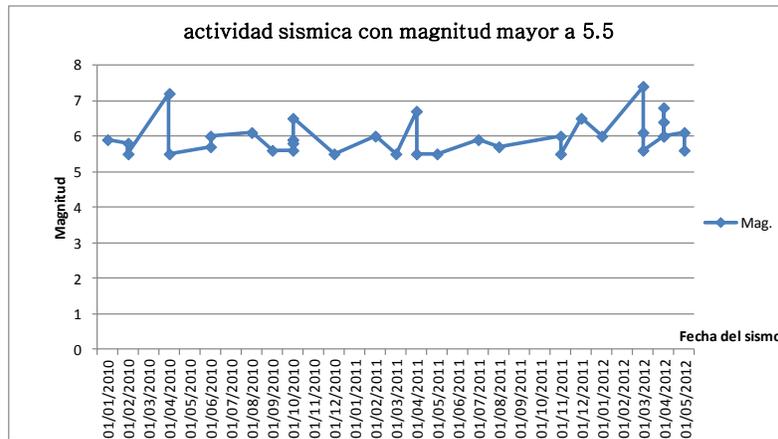
<a href="#">10</a>	2012-01-21	12:47:15	14.74	-93.24	16	6.0	86 km al SUROESTE de MAPASTEPEC, CHIS
<a href="#">11</a>	2011-12-10	19:47:25	17.84	-99.98	58	6.5	53 km al NOROESTE de ZUMPANGO DEL RIO, GRO
<a href="#">12</a>	2011-11-17	07:31:10	14.52	-92.42	20	5.5	34 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS
<a href="#">13</a>	2011-11-01	06:31:57	19.79	-109.35	5	6.0	348 km al SUR de CABO SAN LUCAS, BCS
<a href="#">14</a>	2011-08-13	02:33:09	14.58	-94.88	16	5.7	181 km al SUR de SALINA CRUZ, OAX
<a href="#">15</a>	2011-07-26	12:44:18	25.08	-109.6	10	5.9	100 km al SUROESTE de LOS MOCHIS, SIN
<a href="#">16</a>	2011-05-05	08:24:07	16.61	-98.91	11	5.5	55 km al OESTE de OMETEPEC, GRO
<a href="#">17</a>	2011-04-26	06:07:28	16.71	-99.69	7	5.5	29 km al SURESTE de ACAPULCO, GRO
<a href="#">18</a>	2011-04-07	08:11:22	17.2	-94.34	167	6.7	83 km al SUROESTE de LAS CHOAPAS, VER
<a href="#">19</a>	2011-03-27	00:20:55	14.24	-92.76	16	5.5	82 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS
<a href="#">20</a>	2011-02-25	07:07:27	17.73	-95.21	135	6.0	32 km al SUROESTE de SAYULA DE ALEMAN, VER
<a href="#">21</a>	2010-12-20	11:21:41	13.31	-89.76	20	5.5	298 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS
<a href="#">22</a>	2010-10-21	12:53:11	24.62	-109.43	8	6.5	103 km al NORESTE de LA PAZ, BCS
<a href="#">23</a>	2010-10-20	01:58:16	24.74	-109.44	5	5.8	110 km al NORESTE de LA PAZ, BCS
<a href="#">24</a>	2010-10-19	23:15:35	24.67	-109.26	10	5.6	122 km al NORESTE de LA PAZ, BCS
<a href="#">25</a>	2010-10-19	23:09:45	24.7	-109.3	15	5.9	120 km al NORESTE de LA PAZ, BCS
<a href="#">26</a>	2010-09-14	18:32:01	21.43	-106.07	10	5.6	94 km al SUROESTE de V HIDALGO(EL NUEVO), NAY
<a href="#">27</a>	2010-08-23	21:11:55	18.44	-107.23	10	6.1	295 km al SUROESTE de CIHUATLAN, JAL
<a href="#">28</a>	2010-06-30	02:22:27	16.22	-98.03	8	6.0	13 km al SUR de PINOTEPA NACIONAL, OAX
<a href="#">29</a>	2010-06-14	23:26:58	32.87	-115.84	16	5.7	36 km al NOROESTE de SANTA ISABEL, BC
<a href="#">30</a>	2010-04-18	08:30:59	14.26	-92.52	16	5.5	61 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS
<a href="#">31</a>	2010-04-04	17:40:41	32.54	-115.36	10	7.2	18 km al SURESTE de MEXICALI, BC
<a href="#">32</a>	2010-02-23	04:52:15	15.92	-91.12	21	5.5	102 km al SURESTE de LAS MARGARITAS, CHIS
<a href="#">33</a>	2010-02-08	18:47:40	15.9	-96.86	37	5.8	23 km al ESTE de PUERTO ESCONDIDO, OAX
<a href="#">34</a>	2010-01-18	09:40:31	13.85	-90.67	124	5.9	185 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS

Con los datos de sismicidad proporcionados, se procedió a graficar la magnitud del sismo y la fecha (Tabla 3) en la cual se presentó el sismo (ver grafica 1).

Tabla 3.- Fecha e intensidad del sismo

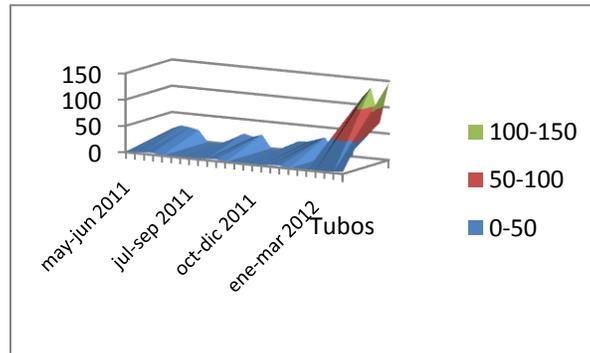
Fecha	Mag.
01/05/2012	6.1
01/05/2012	5.6
12/04/2012	6.8
12/04/2012	6
11/04/2012	6.4
02/04/2012	6
26/03/2012	6.1
26/03/2012	5.6
20/03/2012	7.4
21/01/2012	6
10/12/2011	6.5
17/11/2011	5.5
01/11/2011	6
13/08/2011	5.7
26/07/2011	5.9
05/05/2011	5.5
26/04/2011	5.5
Fecha	Mag.
07/04/2011	6.7
27/03/2011	5.5
25/02/2011	6
20/12/2010	5.5
21/10/2010	6.5
20/10/2010	5.8

19/10/2010	5.6
19/10/2010	5.9
14/09/2010	5.6
23/08/2010	6.1
30/06/2010	6
14/06/2010	5.7
18/04/2010	5.5
04/04/2010	7.2
23/02/2010	5.5
08/02/2010	5.8
18/01/2010	5.9



Gráfica 1.- Actividad Sísmica a partir de 2010

La grafica de las concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  obtenidas, se muestran en la grafica 2.



Grafica 2.- Monitoreo de  $^{222}\text{Rn}$  a partir de Julio de 2010 en la falla de la Calzada I. Zaragoza.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la falla, presentan una correlación entre la actividad sísmica y el incremento en la concentración de  $^{222}\text{Rn}$ . Dado que el método presentado en este trabajo es pasivo, no se puede observar con precisión el momento del incremento de la emanación de radón, sin embargo en términos generales, la zona de estudio es un buen punto de monitoreo pasivo y activo de Rn, que puede dar mayor información si se llevan a cabo mediciones tanto de sismicidad colocando un sismómetro en el punto y continuar con los detectores de radón en la configuración empleada y en la medida de lo posible colocar detectores activos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para realizar este estudio.

Se agradece el apoyo técnico a José I. Golzarri.

## REFERENCIAS

1. Espinosa, G., (1994). Trazas Nucleares en Sólidos. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. ISBN: 968-36-4219-5.
2. Espinosa G. and Gammage R.B. (1993). Measurement Methodology for Indoor Radon Using Passive Track Detectors. *Appl. Radiat. Isot.* 44, 719-723
3. Espinosa, G. , Gammage R. B. (1998). Indoor radon concentration survey in Mexico. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 236, Nos 1 2 22~229.
4. Espinosa, G., Golzarri, J.I., Gamboa, I., Tommasino, L. and Griffith, R. (1986). Digital image counting system for nuclear track detectors. *Nucl. Traces Radiat. Meas.* 12, 235-239.
5. Fjeld, R.A., Jones, M.D. and Bivens, N. (1990). Screening survey of indoor Rn-222 in South Carolina. *Health Physics*, 59, pp. 217–223.
6. Gammage R. B. and Espinosa G. (1997). Digital Imaging System for Track Measurements. *Radiat. Meas.* 28, 835.
7. Garbesi, K., Robinson, A L., Sextro, R G and Nazaroff, W W. (1999). Radon entry into houses: the importance of scale-dependent permeability. *Health Phys* 77(2):183-91.
8. Gunby, J.A., Darby, S., Miles, J., Green, B. and Cox, D. (1993). Factors affecting indoor radon concentrations in the United Kingdom. *Health Physics*, 64, pp. 2–12.
- 9.

**GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS RECIENTES DE LA PLAYA DE TAMIAHUA, GOLFO DE MÉXICO:  
IMPLICACIONES SOBRE SU PROCEDENCIA**

Héctor Jesús Tapia Fernández <sup>a\*</sup>, John S. Armstrong-Altrin <sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, 04510, México D.F., México.*

\* [tapfegeologia@hotmail.com](mailto:tapfegeologia@hotmail.com)

El estudio de la geoquímica de los sedimentos costeros es relevante, ya que los elementos mayores y elementos traza pueden ser usados para definir la roca fuente de los mismos, las condiciones de intemperismo así como el ambiente tectónico donde se encuentra ubicado el ambiente de depósito. La playa de Tamiahua se encuentra en la porción norte del estado de Veracruz, dentro de las coordenadas 21°17'03'' latitud norte y 97° 25'44'', situada en la llanura costera del Golfo de México. La geología regional está conformada hacia el oeste por la secuencia de rocas sedimentarias de edad Mesozoica de la Sierra Madre Oriental, consistente en facies de calizas, margas y lutitas depositadas en cuencas oceánicas antiguas, mientras que hacia la llanura costera del Golfo se encuentra una secuencia detrítica de un episodio regresivo que evidencia el levantamiento orogénico Laramide durante comienzos del Terciario, conformado por facies de conglomerados y areniscas, y algunos depósitos flysch (turbiditas), finalizando cerca de la costa con la presencia de depósitos arenosos eólicos y marinos no consolidados depositados durante el Pleistoceno y Holoceno.

La geoquímica de elementos mayores indican que la playa de Tamiahua presenta gran porcentaje de sílice con un promedio de 90.27 %; también los valores de alúmina (promedio de 5.7 %), evidencian la procedencia de rocas félsicas. Los valores de  $Na_2O$  y  $K_2O$  muestran la presencia de silicatos como Feldespato K y Plagioclasa. La clasificación geoquímica de los sedimentos usando tanto los diagramas de Pettijohn *et al.* (1972) así como el de Herron (1988) sitúan a las arenas de Tamiahua como sub-arcosas. Así mismo las arenas por su contenido en sílice presentan gran madurez. Los diagramas de discriminación de procedencia muestran que los sedimentos proceden de rocas sedimentarias cuarzosas, posiblemente de las rocas sedimentarias presentes en el área de estudio consistente de areniscas y conglomerados. Finalmente con el uso del diagrama de Roser y Korsh (1986) el ambiente tectónico del ambiente de depósito determinado fue el de un margen continental pasivo.

**REFERENCIAS**

1. Herron, M.M., Geochemical classifications of terrigenous sands and shales from core or log data, Jour. Sediment. Petrol., v.58, pp. 820-82, (1988).
2. Pettijohn, F.J., Potter, P.E. y Sieber, R., Sand and Sanstone, Springer-Verlag, New York, 618 p, (1972).
3. Roser, B.P. y Korsh, R.J., Detemination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites determined using discrimination function analysis of major-element data, Chem. Geol., v. 67, pp. 119-139, (1986).

## CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS DEL LAGO DE CHAPALA

María de Jesús González Guadarrama<sup>a\*</sup>, Ruth Esther Villanueva Estrada<sup>b</sup>, Rosa María Prol Ledesma,  
Fabiola Mendiola López<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>b</sup> Departamento de Recursos Naturales, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>c</sup> Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

\* [chuy41284@yahoo.com.mx](mailto:chuy41284@yahoo.com.mx)

### INTRODUCCIÓN

El estudio de sistemas lénticos se vuelve vital cuando se entiende que de ellos depende el desarrollo de diferentes ecosistemas, pero también se han hecho muy indispensables para desarrollar actividades antrópicas como son el desarrollo urbano, la práctica de agricultura, ganadería además de la industria. De aquí que se han dado algunas interacciones en las cuales parece dejarse de lado que un sistema léntico no posee la dinámica ideal para no acumular desechos o bien eliminarlos con facilidad, por eso se vuelve una necesidad el estudio de las condiciones de un lago.

Dentro del aporte natural de metales pesados en sedimentos lacustres se puede considerar que existen diversas fuentes. Entre estas fuentes encontramos los aportes por ríos, los aportes generados por el intemperismo de la propia zona y la presencia de fuentes hidrotermales, los cuales dan un incremento en elementos como son arsénico (Villanueva-Estrada et al., 2012), azufre, metales básicos y preciosos (Ag, Au, Cu, Zn Pb, entre otros) principalmente (Canet et al., 2005; Canet y Prol-Ledesma, 2006; Prol-Ledesma et al., 2002; 2004).

Para describir el grado de contaminación de un lago, se requieren evaluar los datos de producción primaria (clorofila), parámetros fisicoquímicos (conductividad, temperatura, pH) y químicos (elementos mayores y traza) que ocurren en la columna de agua; así como también es necesario conocer las características propias del sedimento, tales como la velocidad de sedimentación, características mineralógicas, granulométricas, composición química (elementos mayores y traza).

También en los lagos se puede apreciar las modificaciones provocadas por la actividad humana, los cuales se reflejan, tanto en el tamaño de grano como en la composición química. Entre los metales que se han detectado en diversos lagos del mundo encontramos al plomo, mercurio, arsénico, níquel, cobre, zinc, cobalto, hierro, principalmente (Urrutia et al., 2002), siendo que varios de ellos son considerados como elementos esenciales, pero en exceso tienden a ser muy tóxicos a la biota.

La movilidad de los metales traza dependerán también de la cantidad de materia orgánica y carbonatos en el sedimento, ya que existe cierta afinidad química y física a estos componentes importantes que definen un sedimento.

El estudio de la caracterización granulométrica y química de los sedimentos es indispensable porque representa un reservorio final de los metales traza en disolución y que también está en función de la dinámica del cuerpo de agua. Para describir los sedimentos, es preciso caracterizarlos mediante elementos como son: madurez, tamaño de grano, curtosis, formas, composición elemental, materia orgánica, clasificación.

Es importante destacar que en lagos no se ha estudiado en demasía la alteración que se puede dar en sedimentos por la influencia de sistemas hidrotermales, así que será importante encontrar las principales características de sistemas hidrotermales lacustres. Hay algunos trabajos donde reportan la presencia de volcanes en sistemas lacustres. De Ronde et al. (2002) estudió el sistema lacustre del Lago Taupo, Nueva Zelanda, y observaron aportaciones de los elementos Mn (540ppm), As (42ppm), Ba (533ppm), S (234ppm), Zn (42ppm) en altas concentraciones y Sb (0.8ppm), Tl (0.4ppm), and Mo (1.8ppm) en menor proporción. Renaut et al. (2002), presentan resultados de la geoquímica de sedimentos del Lago Baringo en Kenia, el cual está dentro de un rift y hay influencia de actividad hidrotermal. Estos autores encuentran que un fenómeno recurrente es la presencia de Si, proveniente de fósiles.

El Lago de Chapala se podría considerar como uno de los más estudiados en México, sin embargo los estudios se han enfocado a la columna de agua, encontrando pocas publicaciones científicas sobre la química de los sedimentos (Estrucplan on line, 2009). Rosales-Hoz et al. (2000), en los cuales realizan el proceso de extracción secuencial y determinación de los metales: Cu, Cr, Ni, Pb, Co, Zn. Concluyen que el mayor enriquecimiento de metales pesados y elementos mayores se produce en la zona de descarga del Río Lerma; también realizan análisis textural de los sedimentos del Lago de Chapala y determinan que en el fondo del lago se encuentran arcillas principalmente. Trujillo Cárdenas et al. (2005), determinó la concentración total de algunos elementos traza y sugieren que es necesario monitorear la concentración de Cd y Cr, debido a las altas concentraciones que éstos autores reportan, mencionan que pueden provenir de los desechos urbanos de la Ciudad de Guadalajara.

El Lago de Chapala es considerado un lago de origen tectónico, ya que se encuentra en un graben, ubicado dentro del Rift Cítala. Alrededor del lago hay presencia de actividad hidrotermal. Estas manifestaciones hidrotermales se localizan en San Juan Cosalá (ribera norte), dentro de centros de recreación, los cuales se utilizan para fines balneológicos. En su interior se reporta un sistema de manantiales hidrotermales sublacustres conocidos como los gorgos, que dan lugar a dos isletas, una chapopotera y otra rica en lodos (Zárate 2005).

En el lago de Chapala desemboca el Río Lerma, el cual recorre los estados de México, Michoacán, Querétaro, Guanajuato y finalmente llegando a Jalisco. Se podría suponer que el sedimento presente en el Lago de Chapala corresponde a la litogenia de todos los lugares donde pasa el Río Lerma y como consecuencia mostraría gran variedad, pero la existencia de múltiples cuerpos de represa (Cotler 2005) a lo largo del río permite suponer que realmente los sedimentos encontrados en el lago, no serán realmente un reflejo de lo que ocurre a lo largo del Río Lerma, sino más bien de lo que ocurre dentro del lago y algunas interacciones con la región más próxima. De igual forma el agua tiene una salida natural que corresponde al Río Santiago.

De allí que para el estudio de sedimentos existen 3 áreas muy interesantes, la región de desembocadura del río Lerma, la salida hacia el río Santiago y la región de los manantiales hidrotermales.

## **SECCIÓN EXPERIMENTAL**

Se realizó un muestreo en abril del presente año, que corresponde con el fin del estiaje. El cual se presenta a continuación (Fig. 1)

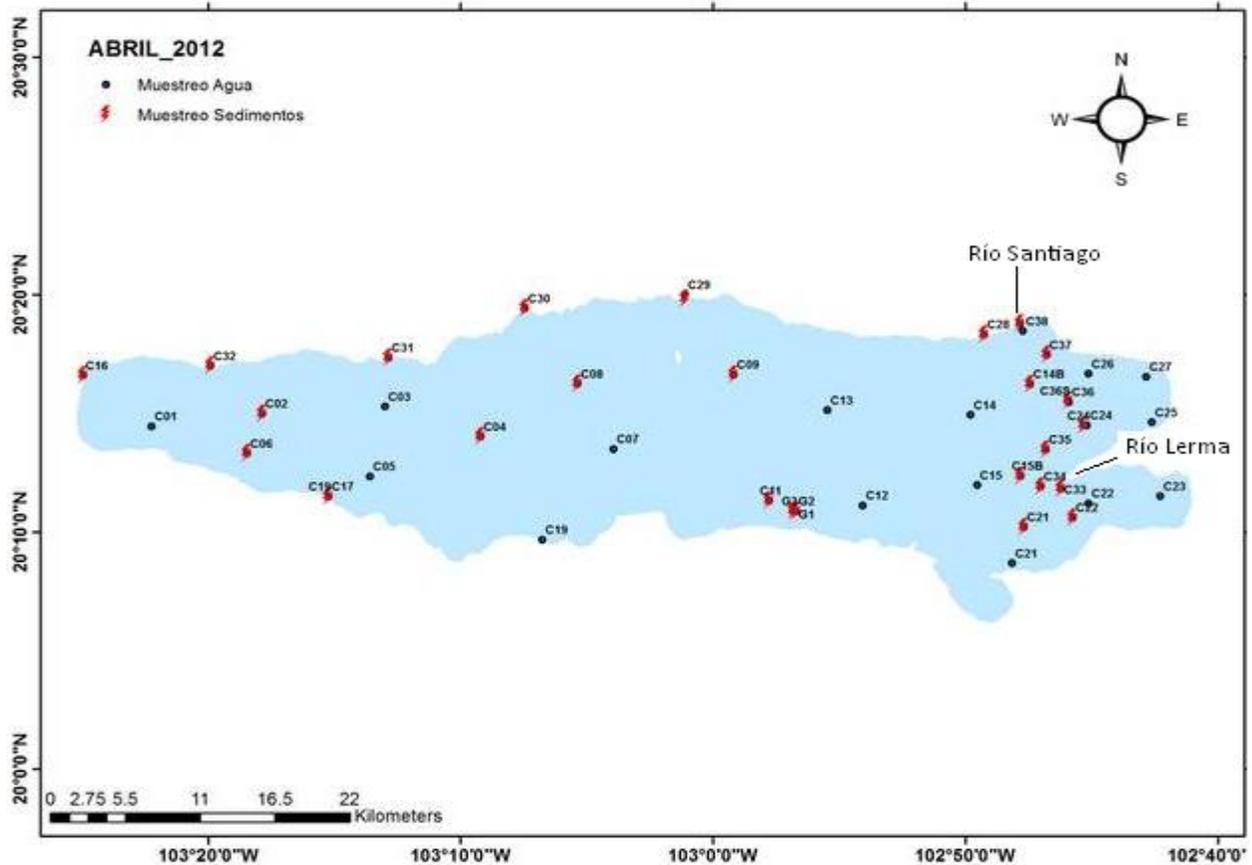
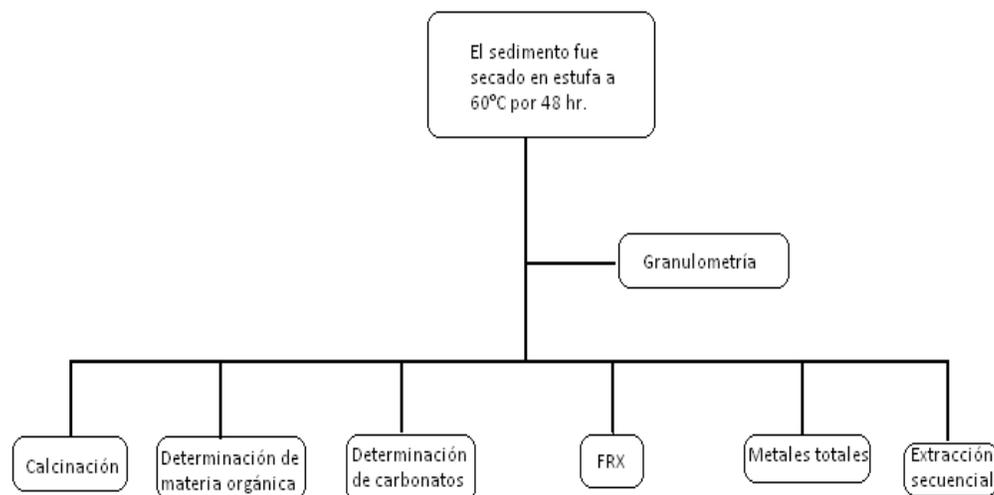


Figura 1. Mapa del Lago de Chapala, con posición de las estaciones.

Se tomaron 25 muestras de sedimento (Fig. 1) a lo largo del Lago de Chapala. El muestreo se diseñó para identificar la influencia antropogénica (desembocadura del Río Lerma) y natural (actividad hidrotermal y litogénica en la zona de los Gorgos).

Las muestras fueron colectadas con dragas; el sedimento se sustrajo con la ayuda de una pala de plástico y sólo se tomó aquel sedimento que no haya estado en contacto directo con el metal de la draga. Las muestras se conservaron en bolsas de polietileno nuevas y previamente lavadas, a bajas temperaturas (4 °C aprox.) y en un lugar oscuro.

Se presenta el diagrama experimental del trabajo en laboratorio (Fig. 2).



**Figura 2.** Diagrama de procedimiento experimental que se realizó con las muestras de sedimento en el laboratorio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas granulométricas realizadas a los sedimentos del Lago de Chapala, nos permiten observar, que los valores característicos son muy heterogéneos (tabla 1); en la región central sólo encontramos arcillas, y en la ribera en la ribera se cuenta con sedimentos mal clasificados, leptocúrticos y asimétricos sesgados hacia gruesos. Esta distribución heterogénea en el tamaño de grano del sedimento parece indicar que el viento no genera los mismos niveles de energía en todas las regiones del lago.

**Tabla 1** Granulometría del sedimento de la ribera del Lago de Chapala.

Estación	Mz ( $\Phi$ )	$\sigma$ ( $\Phi$ )	Ski	K
C8	1.86	1.226	-0.311	3.109
C16	3.53	0.685	0.021	3.5
C17	-1	2.2	0.0522	0.7226
C28	0.533	2.59	-0.31	1.12
C29	2.43	0.86	0.155	1.1709
C30	2.7	0.55	-0.124	1.1124
C31	0.8	0.88	-0.216	1.209
C32	0.9	1.778	0.151	1.011
C38	2.83	1.73	-0.2872	2.09

Mz, media;  $\sigma$ , desviación estándar; Ski, simetría; K, curtosis

En cuanto a composición se refiere (tabla 2), no se puede apreciar una tendencia de concentraciones de acuerdo a la posición de las estaciones, ya que en la ribera podemos observar que la concentración de carbonatos es un tanto consistente salvo la estación 38 en la que se encuentra una mayor abundancia

(8.8 %). En cuanto a materia orgánica se refiere, hay tres puntos en los que aumenta su valor (C16 con 1.30%, C29 con 1.57% y C38 con 1.65), lo que se puede deber a la presencia de comunidades en la zona. En la región central-oeste del lago podemos decir que los valores son muy consistentes (Tabla 2), excepto en el centro en donde encontramos las estaciones 4 (6.97%) y 8 (7.91%) cuyos valores son muy abundantes en carbonatos, y en cuanto a materia orgánica se refiere, podemos decir que no existe mayor diversidad en los valores obtenidos lo cual se justifica por la mezcla continua.

En la región del Lerma-Santiago encontramos que hay mayor concentración de materia orgánica (en promedio 1.08%) en la región ubicada al sur de la pluma formada por el Río Lerma, así como una disminución en la concentración de carbonatos (en promedio 2.31), lo que puede deberse a que la pluma genera una colocación de residuos orgánicos hacia el sur y mantiene con menor cantidad de materia orgánica en la parte norte donde realmente ya no presenta una interacción directa con el Río Santiago.

**Tabla 2** Concentración de carbonatos y materia orgánica en los sedimentos.

Zona	Estación	%CaCO <sub>3</sub>	[mat org]%
Ribera	C16	3.09	1.30
	C28	4.20	0.69
	C29	4.30	1.57
	C30	2.98	0.78
	C31	3.12	0.61
	C32	3.02	0.76
	C38	8.79	1.65
Lerma -Santiago	C14	3.21	0.61
	C15	2.30	0.46
	C21	2.94	1.19
	C22	3.73	0.43
	C24	2.39	0.44
	C32	3.02	0.76
	C33	0.62	0.01
	C34	0.27	1.62
	C35	3.61	0.39
	C36	2.89	0.48
Centro del lago	C11	4.63	1.09
	C17	3.31	0.96
	C1G	3.71	0.70
	C2G	2.94	1.19
	C4	6.96	1.14
	C6	2.61	1.24
	C8	7.91	1.31
	C9	3.56	1.33

## CONCLUSIONES

En el fondo del Lago de Chapala se cuenta con sedimentos muy finos (arcillas).

La distribución de sedimentos en la ribera del Lago de Chapala es en general mal clasificada, leptocúrtica y asimétrica sesgada hacia tamaño de partícula gruesa.

Podemos clasificar en 3 regiones al Lago de Chapala de acuerdo con la posición geográfica: La que comprende el sistema Lerma-Santiago, la zona de la ribera y finalmente el resto del Lago.

La concentración de carbonatos en el lago presentan un promedio de concentración de 3.7% en peso, donde sólo 3 puntos caen muy por encima el caso de las estaciones C38 (8.79% p) , C8 (7.91% p) y C4 (6.96 % p) y 2 estaciones muy por debajo, la C33 (0.62 % p) y la C34 (0.27% p), éstas últimas coinciden con la entrada del Río Lerma al lago.

La materia orgánica presente en la ribera sólo se incrementa en los puntos donde existen descargas de drenaje, Jocotepec y Mezcala (C16, 1.3% p y C29, 1.57% p, respectivamente). En la zona del Lerma-Santiago la presencia de materia orgánica es baja (< 0.8 %, excepto las estaciones C21 y C34) , generada por la dinámica del Lago, mientras que en el resto del lago la presencia de materia orgánica es alrededor del 1%

Los resultados obtenidos hasta el momento se complementan con los análisis químicos que se están realizando en este momento.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, por el apoyo brindado, de igual forma a al Q. Pedro Villanueva, al Q. Dayan Rodríguez, a la Q. F. B. Jazmín Rentería, a la M. en C Sandra Briceño, al Dr. Alejandro Estradas y a la I. en G. Alejandra Selene Membrillo por todo el apoyo brindado para la realización de los análisis de las muestras. A los señores Ricardo Orozco, René Farías, Salvador Farías y Gonzalo Moreno, por su colaboración para la colecta de las muestras.

## REFERENCIAS

1. Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., Proenza, J.A., Rubio-Ramos, M.A., Forrest, M.J., Torres-Vera, M.A., Rodríguez-Díaz, A.,. *Chemical Geology*, 224: 96-112. (2005)
2. Canet, C., Prol-Ledesma, R.M.,. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo LVIII (1): 83-102. (2006)
4. Cotler A. H., Gutiérrez D S. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Agosto (2005).
5. Rosales-Hoz, L, Carranza-Edwards A, López Hernández M. *Environmental Geology*, (2000).
6. Trujillo-Cárdenas Juan Luis, Saucedo-Torres N. P., Zárate del Valle P. F., Ríos N. *J. Mex. Chem. Soc.*, 54(2), 79-87 (2010).
7. Prol-Ledesma, R.M., Canet, C., Melgarejo, J.C., Tolson, G., Rubio-Ramos, M.A., Cruz-Ocampo, J.C., Ortega-Osorio, A., Torres-Vera, M.A., Reyes, A.,. *Economic Geology*, 97: 1331-1340. (2002)
8. Prol-Ledesma, R.M., Canet, C., Torres-Vera, M.A., Forrest, M.J., Armienta, M.A.,. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 137: 311-328. (2004)
9. Urrutia, R., Yevenes, M., Barra, R. *Bol. Soc. Chil. Quím.* v.47 n.4 Concepción dic. (2002)
10. Villanueva-Estrada, R.E., Prol-Ledesma, R.M., Rodríguez-Díaz, A.A., Canet, C., *Chemical Geology*. (2012)
11. Zárate del Valle, P F, Simoneit B. R. T. *Revista Mexicana de Ciencia Geológicas*, v 22, No. 3: 358-370, (2005).
12. <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulos.asp?IDArticulo=2133> (30/01/2012).

**CATHODOLUMINESCENCE AND EDS-XRF ASSEMBLY FOR ANALYSIS OF SOIL SAMPLES**

Rufino Lozano <sup>a\*</sup>, Donald J. Marshall <sup>b</sup>, Travis A. Johnson <sup>c</sup>, Patricia Girón <sup>a</sup>, Pablo Peñaflo <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, Cd. Universitaria, Del. Coyoacán, C.P. 04510 México, D. F.

<sup>b</sup> RELION Industries PO Box 12 Bedford, MA 01730

<sup>c</sup> Travis Design, Bedford, MA 01730.

<sup>d</sup> Estación Regional Noroeste, Instit. de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Son. 83000  
\*rufino@unam.mx

**INTRODUCTION**

It is well known the wide spread use of the cathodoluminescence (CL) observations as a petrographic tool since 1965 [4, 11]. In more recent years a significant number of investigators are using CL attachments mounted on a stage of an ordinary petrographic microscope [5].

A less commonly used tool is the assembly of this CL attachment linked to an EDS detector to perform chemical analysis at the same site where the luminescence is observed. This provides the capability for semi-quantitative analysis of the chemical elements detected.

The main purpose of this study was to evaluate the reproducibility and also make some estimates of the detection limits for common elements of interest in soils, using the method where an EDS is setup on a RELIOTRON CL instrument [8], and the samples are those initially prepared for WDXRF.

**Table 1.-** IGLs-1 composition obtained from the certified of analysis, [10].

<b>SAMPLE COMPOSITION w/w % FOR IGLS-1</b>		
<b>Component</b>	<b>Units</b>	<b>Value and sd</b>
SiO <sub>2</sub>	%	45.7±0.45
TiO <sub>2</sub>	%	2.59±0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	23.86±0.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TOTAL	%	13.01±0.16
MnO	%	0.28±0.01
MgO	%	0.29±0.04
CaO	%	0.40±0.02
Na <sub>2</sub> O	%	0.36±0.05
K <sub>2</sub> O	%	0.60±0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.13±0.01
LOI	%	11.85±0.21

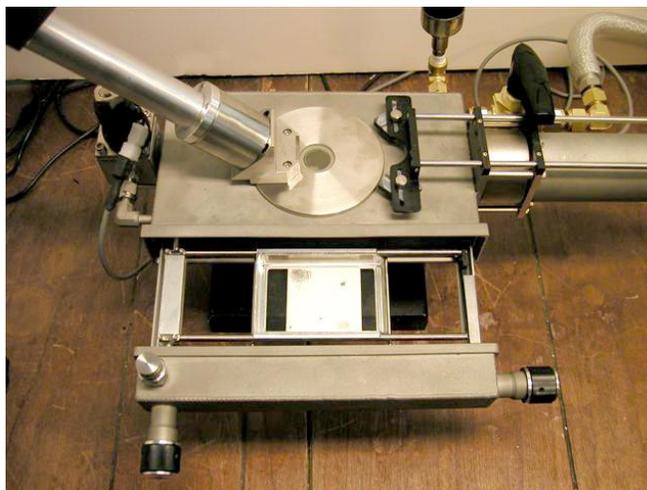
We start the experiment with some standard soil samples previously prepared at the Instituto de Geología, UNAM. These were prepared in 2004 as part of a larger project to prepare reference materials of various rock types [9].

The soil samples are in the form of circular pressed pellets, approximately 4 cm in diameter and 2 to 2.5 mm thick. There are two versions. One version is a pressed pellet of the soil. The other is a fused tetraborate/metaborate bead. They are from a lateritic soil from Arandas, Jalisco, Western Mexico. The soil developed from weathering of basaltic flows [9]. They have been independently analyzed by a number of laboratories and the composition of part of the analyzed elements is shown in the Table 1.

## MATERIALS AND METHODS

The three samples that we analyzed are designated as IGLS-1A, IGLS-F149A and IGLS-F110A. These are all the same material, sieved on site and then, presumably, homogenized and separated into three different storage containers. The pressed pellets were prepared without any binder, in order to avoid additional elements.

The EDS system is an AMPTEK X-123 with a 1 mm Be window. (Amptek 2011). It is set up on a RELIOTRON cathodoluminescence instrument [1, 8] as shown in Figure 1.



**Figure 1.** Close-up view of the EDS probe mounted on the top window of the RELIOTRON chamber.

Drawer is partially open to show the 2" x 3" sample tray which is large enough to accommodate two samples at a time. The tray is positioned using the X and Y traverse knobs shown. The electron gun is on the right side of the chamber and the electron beam is positioned on the sample with the pair of deflection magnets shown. (The sample shown in this figure is actually a streak plate and not one of the soil sample pellets.)

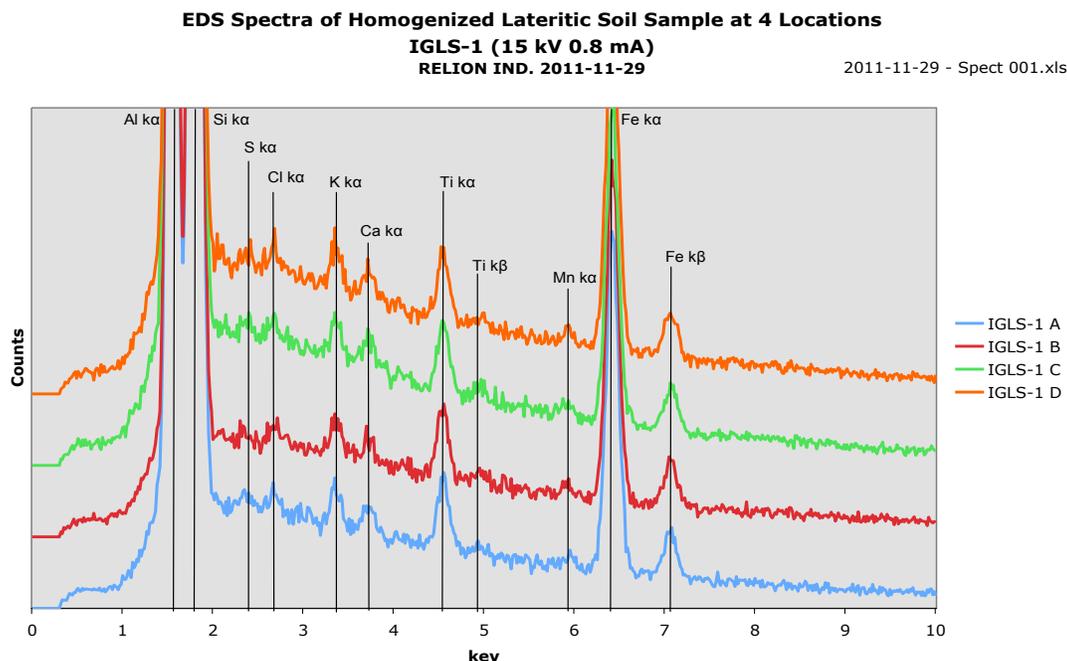
Operating conditions for the electron gun for the EDS studies are 15 keV, 0.80 mA, 35 to 50 mTorr chamber pressure, and an unfocused beam. The beam spot was visible on the sample; however, we did not observe any visible cathodoluminescence. Typically data was recorded until the silicon peak reached 7000 counts. The acquisition time for this total count is approximately 3 to 6 minutes and the dead time of the detector was in the 5 to 20% range.

The first thing to note is that the pressed pellets of the soil samples are “gassy” in the sense that they contain much absorbed water or volatile elements and some organic matter (approximately 12%). In order to get a stable beam this water and organic matter needed to be removed to the point where there is no more “moisture” and this required prolonged pumping - of the order of several hours, or a few minutes in an oven at 60 °C. Even then, sometimes, when the beam was introduced to the sample more gas was driven off and it was necessary to wait for this to be pumped away before doing the analysis.

Once we realized the seriousness of this problem we did pre-pumping of some samples in a separate small vacuum chamber and we transferred them to the CL instrument as rapidly as possible. This reduced the required pump down time to one or two minutes.

## ANALYTICAL PROCEDURE

There are a total of three different pressed pellets analyzed, all from the same original sample. The first thing we did was to check for homogeneity within the individual sample by sampling 4 different areas in four quadrants. The results for one pellet are shown in Figure 2. It was confirmed that the samples were indeed homogeneous and that the data was recreatable within 20% accuracy.

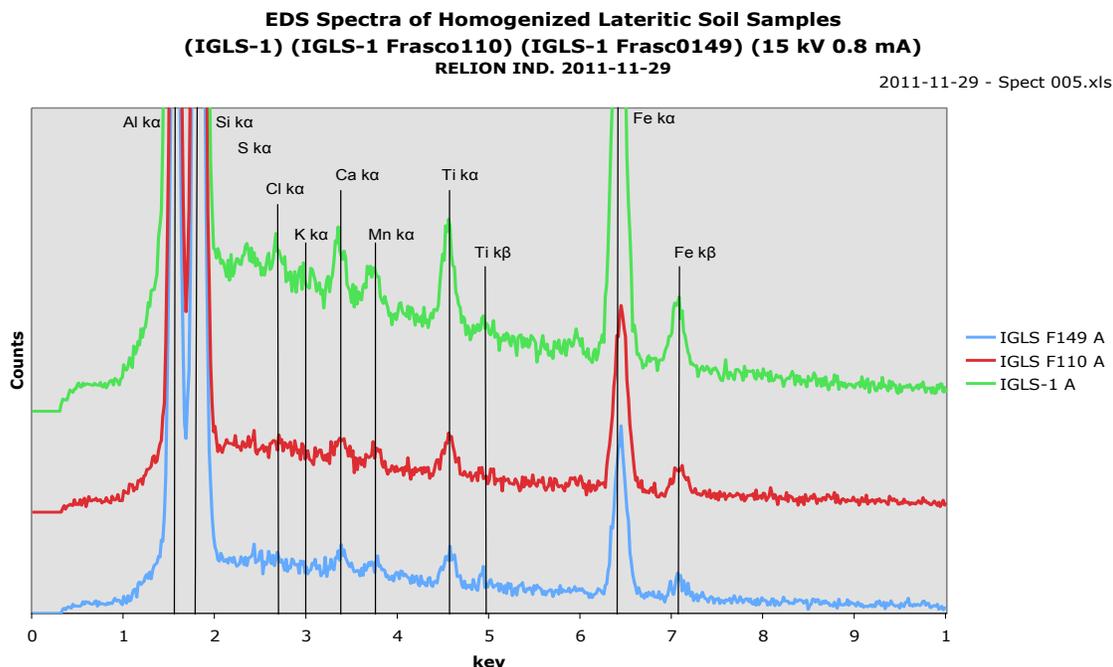


**Figure 2.** Comparison of spectra obtained at four different points on one sample

We then took one profile from each of the pellets and compared them with one another as shown in Figure 3. The comparison shows a good agreement between the three samples.

One of the anomalies that we observed in the original analyses was the appearance of a peak at 2.63 keV which is the correct value for chlorine, even though chlorine was not reported in the original analyses (Table 1). As a test of this, a new sample was prepared and “spiked” with 5% NaCl. The spectrum of this sample is compared with the unspiked samples in Figure 4. The spiked sample has a significantly higher peak at 2.63 keV. This confirms the 2.63 keV peak as chlorine. The abundance in the original soil samples IGLs-1A is about 1.2%.

The observed peak at 2.62 KeV was more substantial in spectra taken from IGLS-1 than it was in IGLS-1 F110 and IGLS-1 F149. With the exception of the 2.62 KeV peak, the three samples appeared to be quite similar, with less than 20% variation in relative peak height.



**Figure 3.** Spectra of 3 different aliquots of the same soil sample (Quadrant A. on three different pressed pellets.)

To our knowledge, there is no software package presently available to analyze the EDS results from this particular electron gun configuration, though DTSA-II and Crossroads Scientific [2, 3, 6, 7] offer some support. Therefore we manually reduced the spectra and report the peak heights above background in Table 2. This same table shows the known concentrations of each of the elements so one can make a judgment about detection limits for each of these elements.

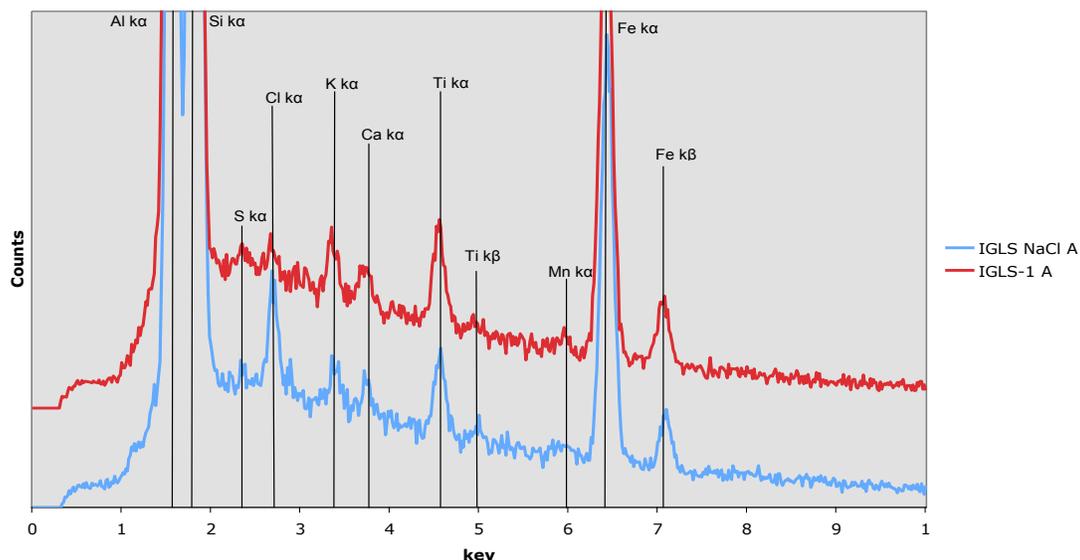
## RESULTS

The results from the fused beads are not shown, but the intensities were several times lower than that of the compressed pellets and the background was appreciably higher.

The measurements on pressed pellets showed small peaks for S (2.3 kV) and for Cl (2.62 kV), neither of which was reported in the analytical summaries. We did not observe a peak for P (2.02 kV) which is reported in the analytical summaries. It is probably obscured by the Si peak at 1.74 kV. As noted earlier we prepared one spiked sample with 5% NaCl. We did not prepare spiked samples for S and P. Na and Mg are on the edge of the detectors range limits and although they are expected to be present, their peaks are likely swamped by the adjacent Si and Al peaks.

**EDS Spectra of Homogenized Lateritic Soil Samples  
(IGLS-1) and (IGLS-1 NaCl Spiked) (15 kV 0.8 mA)  
RELION IND. 2011-11-29**

2011-11-29 - Spect 006.xls



**Figure 4.** Spectra of standard soil sample compared with sample with 5% NaCl spike.

**Table 2.** Estimated detection limits for several elements. Column 3 is known abundance from [10]. Peak height is height after estimated background has been subtracted

Element	Peak Height (Counts)	Known Abundance	Detection Limit Estimate
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4130		
SiO <sub>2</sub>	6750		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.13%	
S	65		
Cl	85		0.6%
K <sub>2</sub> O	130	0.60%	0.15%
CaO	200	0.40%	0.2%
TiO <sub>2</sub>	115	2.60%	0.5%
MnO	45	0.28%	0.14%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total	950	13.01%	0.81%
Ni	0	52 µg/g	
Cu	0	56 µg/g	
Zn	0	102 µg/g	
Rb	0	75 µg/g	

## CONCLUSIONS

This study reports the results obtained when fused beads and pressed pellets of a soil reference sample IGLs-1 were analyzed with an ensemble of a RELIOTRON CL instrument and an EDS-XRF detector.

The qualitative results for some elements were used to obtain the limit of detection for elements from Z=17 Chlorine, to Z=26 Iron. Some of them have certified values obtained by strong techniques like WD-XRF, NAA, and ICP-MS. However Chlorine does not have previous values and by this ensemble we determined a concentration of 1.2 w/w% in one of the samples.

Also the lower limits of detection (LLD) were determined for Cl, K, Ca, Mn and Fe. All LLD are between 0.15 and 0.81%. These values can be useful to start a calibration for quantitative analysis.

Phosphorus as P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> has a certified concentration of 0.13%. However the assemblage cannot record any signal, possibly due to the near high intensity come from silicon.

Some other elements with reported certified concentrations close to 0.01% do not show any signal under the applied analytical conditions.

## REFERENCES

1. Amptek X-123 brochure literature: <http://www.amptek.com/pdf/x123.pdf>
2. Crossroads Scientific: <http://www.crossroadsscientific.com/default.aspx>
3. DTSA-II: <http://www.cstl.nist.gov/div837/837.02/epq/dtsa2/index.html>
4. Long, J. V. P. and S. O. Agrell. The cathode-luminescence of minerals in thin sections *Mineralogical Magazine* **34**, 318-326 (1965)
5. Marshall, D. J. *Cathodoluminescence of Geological Materials*. Unwin Hyman Ed. Boston (1988).
6. Ritchie, Nicholas W.M., "Getting Started with NIST\* DTSA-II – Part 1" *Microscopy Today*, January 2011.
7. Ritchie, Nicholas W.M., "Standards Based Quantification in DTSA-II – Part 1" *Microscopy Today*, September 2011.
8. RELIOTRON is a registered Trade Mark of RELION Industries, Bedford, MA. USA Please see [www.excitingelectrons.com](http://www.excitingelectrons.com) for more information
9. Lozano Rufino and Bernal Juan Pablo. Assessment of a new set of geochemical reference materials for XRF major and trace element analysis: *Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas*. V. 22 (3) pp. 329-344(2005)
10. Lozano Rufino and Bernal Juan Pablo, (2007) in: <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/geog/lfrx/calidad/certificados/IGLs-1.pdf>
11. Smith, J. V. & Stenstrom, R. C. Electron-excited luminescence as a petrologic tool. *Journal of Geology* **73**, 627-35 (1965).

## FORMAS DE CRECIMIENTO DE VEGETACIÓN EN DUNAS COSTERAS Y SU RELACIÓN A ELEMENTOS MAYORES EN UNA PLAYA DE TAMAULIPAS, MÉXICO

Victor Hugo Herrera Morales<sup>a</sup>, Juan José Kasper Zubillaga<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, 04510

<sup>b</sup> Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, 04510

### RESUMEN

La vegetación en dunas costeras del Golfo de México ha sido descrita en varios estudios desde el punto de vista biológico (Moreno-Casasola, 1886; Moreno-Casasola et al., 2008). Sin embargo no se ha reportado la relación que existe entre elementos mayores y formas de crecimiento de la flora en dunas costeras (árboles, arbustos trepadores, herbáceas rastreras, herbáceas postradas, arbustos, herbáceas amacolladas, herbáceas arrosietadas, suculentas, subarbustos, herbáceas erectas, herbáceas trepadoras y parásitas). En este estudio se presenta la relación que existe entre elementos mayores y formas de crecimiento para reportar si existe alguna relación entre algunos elementos mayores y formas de crecimiento de la vegetación. El estudio se realizó con un muestreo de varias de las especies vegetales, así como el sustrato obteniendo el tamaño de grano de la arena de duna (arena media a fina, media =  $2.22 \phi$ ) (Kasper-Zubillaga et al, remitido) y los parámetros mineralógicos y geoquímicos (elementos mayores y traza). Mediante una regresión lineal de porcentaje de crecimiento vs. elementos mayores (%) se encontró que las formas de crecimiento están correlacionadas con las concentraciones de Ti, Fe y Mn ( $r = 0.88$ ;  $r = 0.70$ ;  $r = 0.83$  respectivamente al 95 % de confianza) sugiriendo que estos elementos contribuyen en el desarrollo de la vegetación en las dunas costeras. El desarrollo de la vegetación también está influida por otro tipo de factores físicos como humedad, permeabilidad, clima y radiación solar.

### CONCLUSIONES

- 1.- El tamaño de grano de las dunas costeras de una playa de Tamaulipas sugiere que la arena va de tamaño medio a fino.
- 2.- Existe una correlación positiva entre las formas de crecimiento expresadas en porcentajes y elementos mayores como el Ti, Fe y Mn que sugiere que el desarrollo de la vegetación en las dunas costeras de una playa de Tamaulipas está en función de estos elementos. Es posible que otros factores físicos contribuyan al desarrollo de la vegetación sobre las dunas.

### REFERENCIAS

- Kasper-Zubillaga, J.J., Armstrong-Altrin J., Carranza-Edwards, A. Morton Bermea, O., Lozano-Santa Cruz, R., Control in beach and dune sands of the Gulf of Mexico and the role of nearby rivers. *International Journal of Sediment Research*, (en arbitraje) (2012)
- Moreno-Casasola P., Classification and ordination of coastal sand dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of México. *México. Vegetation*, 66, 182 (1986).
- Moreno-Casasola, P., Martínez, M.L., Castillo-Campos, G., Designing ecosystems in degraded tropical coastal dunes. *Ecoscience* 15:1 52, (2008).

## CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESERVADOS EN MADERA FÓSIL DEL GENÉRO *Javelinoxylon deca* (Malvaceae s.l.) DEL AFLORAMIENTO DECA-PARQUE CRETÁCICO, MUNICIPIO DE ALDAMA, CHIHUAHUA (MÉXICO)

Delia Mendoza<sup>1\*</sup>, Kinardo Flores<sup>1\*\*</sup>, Emilio Estrada<sup>2</sup>, Juan Carlos Durán<sup>3</sup>  
Jesús Martín Torres<sup>4</sup>, Carlos Esquivel<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Laboratorio de Geoquímica.  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184.  
Mineral de la Reforma, Hidalgo. México.

<sup>2</sup>Department of Biology, Texas State University, 601 University Drive, San Marcos, TX 78666, USA.

<sup>3</sup>Posgrado de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México,  
Ciudad Universitaria s/n, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

<sup>4</sup>Área Académica de Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.  
Ciudad Universitaria s/n, CP 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

<sup>5</sup>Centro de Investigaciones Biológicas. Laboratorio de Paleontología.  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184.  
Mineral de la Reforma, Hidalgo. México.

e-mail's: \*ojos\_dmo@hotmail.com, \*\*[kinardo\\_flores@hotmail.com](mailto:kinardo_flores@hotmail.com)

### ANTECEDENTES

Wheeler y Lehman (1994) reportaron por primera vez, al sur del estado norteamericano de Texas, afloramientos que contenían maderas fósiles y que correspondieron con el morfogénero *Javelinoxylon* (Malvaceae s.l.). Posteriormente, Estrada-Ruiz *et al.* (2007) le encontraron en afloramientos de la Formación Olmos en la Cuenca Carbonífera de Sabinas (Coahuila).

Recientemente, Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera (2011) describieron una nueva especie de *Javelinoxylon* al que nombraron *Javelinoxylon deca* y que consideraron el registro de angiospermas más temprano en el estado de Chihuahua. Además les permitió realizar inferencias sobre el paleoclima predominante como de tropical a subtropical.

Este ejemplar se encontró en las inmediaciones del Desierto Chihuahuense, en los terrenos pertenecientes al DECA-Parque Cretácico A.C., cubierto por sedimentos de la Formación San Carlos (Fig. 1).

### OBJETIVO

Implementar herramientas de geoquímica orgánica (biomarcadores) conducentes a la recuperación, identificación y cuantificación de los compuestos orgánicos preservados en madera fósil de Malvaceae s.l. del morfogénero *Javelinoxylon deca*, depositada en sedimentos deltaicos del Cretácico Superior (Coniaciano-Maastrichtiano) de la Sierra Cuesta El Infierno; con el fin de obtener información biogeoquímica paleoambiental.



Figura 1. Mapa de localización del afloramiento de madera fósil *Javelinoxylon deca* en el estado de Chihuahua.

## SECCIÓN EXPERIMENTAL

### *Campo.*

Se realizó una visita al área de estudio para realizar muestreo del material fósil, el cual fue tomado transversalmente de la parte superior del tronco (copa arbórea), (Figura 2) y seccionado posteriormente con disco de diamante y carburo de tungsteno para obtener dos rodajas de 12 cm de espesor y 25 cm de diámetro. Los cortes transversales revelaron estructuras internas y externas que fueron identificadas como submuestras: "Meristemo", "Núcleo", "Porción Oscura" y "Corteza" (Figura 3) y destinadas para su posterior análisis geoquímico en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

### *Laboratorio.*

Una de las rodajas obtenidas se seccionó con martillo y cincel para separar las submuestras seleccionadas. Cada una fue triturada y posteriormente pulverizada utilizando un mortero de ágata automatizado de la marca *Fritsch* (modelo *Pulverisette 2*). Cada una de las fracciones se pesó y alojaron en papel aluminio para evitar contaminación por materiales orgánicos.

A continuación fueron preparadas para ser sometidas a reflujo en un sistema de extracción secuencial termoregulado que se mantuvo por 48 horas. Cada una de las fracciones se introdujeron en un matraz balón de 1000ml al que se le adicionaron 500ml de disolventes orgánicos (en el siguiente orden: cloroformo, acetato de etilo, acetona, metanol y hexano) grado HPLC, para abarcar un amplio rango de polaridad (Flores-Castro *et al.*, 2011).

Los extractos se obtuvieron mediante un rotavapor y posteriormente fueron caracterizados por espectrometría de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de 300 MHz (2 canales) *Varian Inova Unity* y por Cromatografía de gases – masa (CG-Ms). Los compuestos orgánicos que forman parte del bitumen y

algunos biomarcadores, fueron identificados mediante bases de datos y su interpretación paleoambiental soportada con bibliografía existente.



Figura 2. Afloramiento de *Javelinoxylon deca*

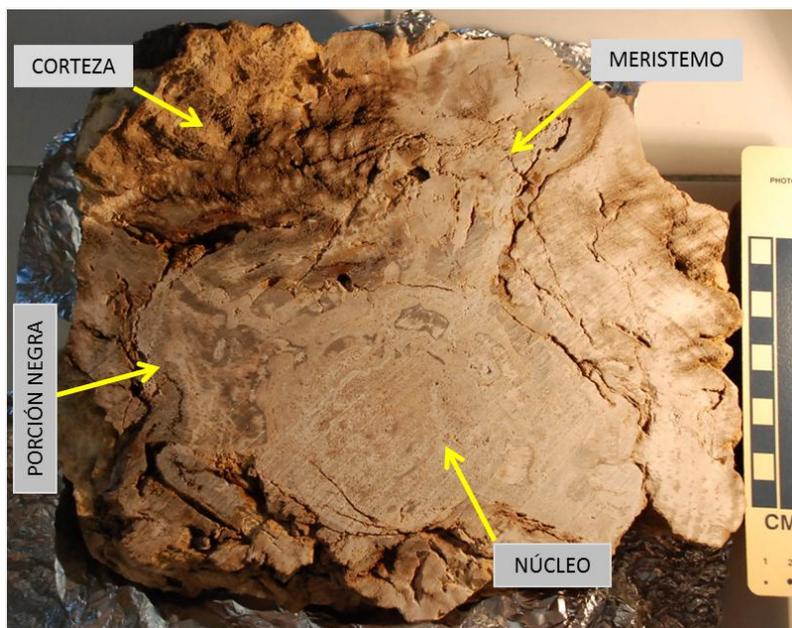


Figura 3. Corte transversal del tronco fosilizado correspondiente a *Javelinoxylon deca*.

### RESULTADOS PRELIMINARES

Se interpretó un cromatograma de gases obtenido del extracto hexánico de la submuestra “núcleo” y los alcanos alifáticos presentes muestran una distribución del  $nC_{16}$  al  $nC_{30}$  con predominio del  $nC_{18}$ ,  $nC_{23}$ ,  $nC_{24}$  y  $nC_{25}$ , así como la presencia de los isoprenoides Pristano y Fitano (Figuras 4 y 5).

**Distribución de alcanos alifáticos (m/z = 57)**

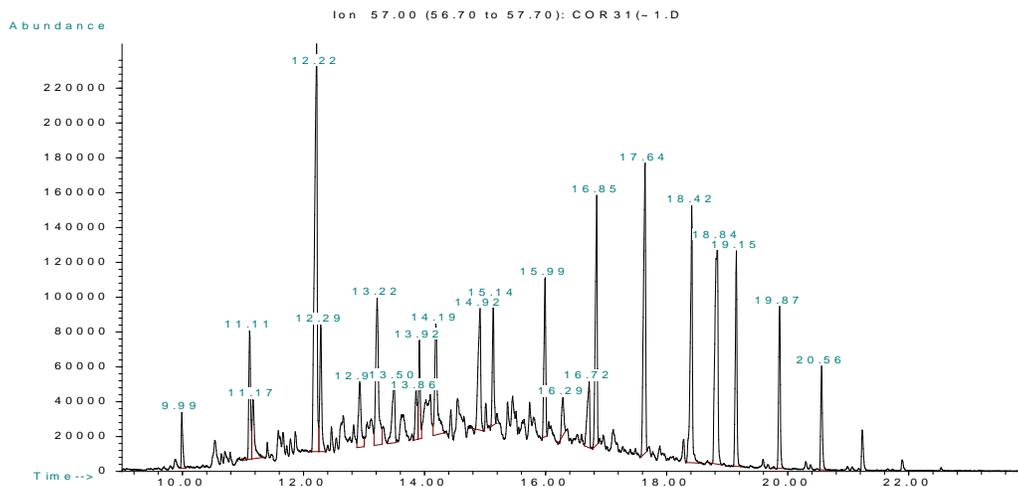


Figura 4. Cromatograma de gases - masa obtenido del extracto hexánico de la submuestra “núcleo”. Programa utilizado *HpChem*; base de datos Wiley138 actualizada. m/z = 57.

**Isoprenoides:**

**Pristano** = 2,6,10,14 Tetrametil – Pentadecano (Q = 98%)

**Fitano** = 2,6,10,14 Tetrametil – Hexadecano (Q = 96%)

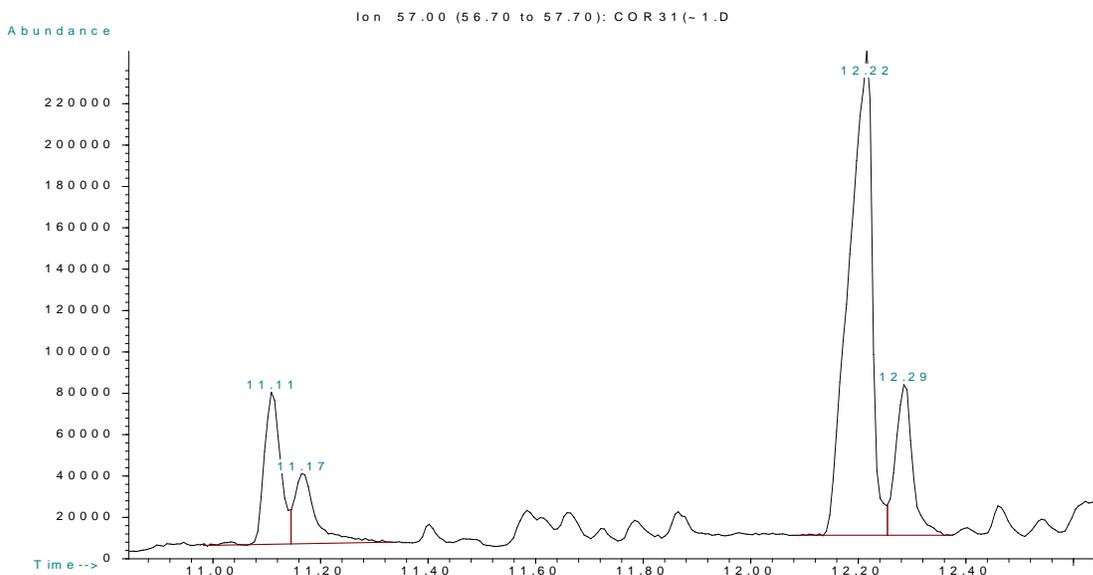


Figura 5. **nC17 – Pristano (Tr= 11.17 min)** **nC18 – Fitano (Tr=12.29 min)**

## REFERENCIAS

- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. (2007). Fossil woods from the Late Campanian – Early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. *Review of Paleobotany & Palynology*. v. 145, p. 123-133.
- Estrada-Ruiz, E. and Martínez-Cabrera, H.I. (2011). A new late Cretaceous (Coniacian – Maastrichtian) *Javelinoxylon* wood from Chihuahua, Mexico. *IAWA Journal*. v. 32, n. 4, p. 521-530.
- Flores-Castro, K., Montaña, S., González, Y., Estrada-Ruiz, E., Esquivel, C., Torres-Valencia, J.M., Carrillo, E., Derma, J., Angeles-Cruz, C.A. y Durán-Álvarez, J.C. (2011). Geoquímica Orgánica aplicada a madera fósil del género *Javelinoxylon* depositada en sedimentos del Cretácico Superior de la Sierra Cuesta El Infierno, Aldama, Chihuahua (México). *Actas INAGEQ*, v.17, n. 1, p. 49-53.
- Wheeler, E.A., Lehman, T. and Gasson, P.E. (1994). *Javelinoxylon*, an Upper Cretaceous dicotyledonous tree from Big Bend National Park, Texas, with presumed Malvacean affinities. *American Journal of Botany*, v. 81, p. 703-710.

## USO DE BIOMARCADORES EN SEDIMENTOS HOLOCENOS DE LA CIÉNEGA DE TONIBABI, SONORA, MÉXICO Y SU CORRELACIÓN CON POLEN Y DIATOMEAS FÓSILES

Iván Espinoza-Encinas <sup>a\*</sup>, Kinardo Flores-Castro <sup>b</sup>, Francisco A. Paz-Moreno <sup>a</sup>,  
Ma. Cristina Peñalba-Garmendia <sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, Hermosillo, Sonora 83000, México*

<sup>b</sup> *Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo 42184, México*

<sup>c</sup> *Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, Hermosillo, Sonora 83000, México*

\* [ivanespinoza@correoa.uson.mx](mailto:ivanespinoza@correoa.uson.mx)

### RESUMEN

La ciénega de Tonibabi se encuentra a 190 km al noreste de Hermosillo, en el centro del estado de Sonora, al pie del Batolito Laramídico de la Sierra La Madera. La ciénega, de 1500 m<sup>2</sup> de superficie, está alimentada por emanaciones termales con pH alcalino y temperatura superior a 50°C. Este manantial se encuentra relacionado con la falla maestra NW-SE del este del semi-graben del Río Moctezuma, donde se alinean los puntos de emisión del volcanismo cuaternario del Campo Basáltico de Moctezuma. La ciénega ha producido la acumulación de sedimentos orgánicos al menos desde hace 9450 a 9250 años calibrados antes del presente (cal AP), cuando en el sitio imperaban condiciones ambientales más frías y húmedas que las actuales <sup>1</sup>. Al extremo sur de la ciénega, sobre el borde de un arroyo, aflora un cantil de sedimentos orgánicos, el cual fue muestreado en dos perfiles de 140 cm y 300 cm, denominados TBP1 y TBP2 respectivamente, para el análisis de polen y diatomeas fósiles. Los resultados muestran una sucesión de vegetación que revela una serie de cambios ambientales ocurridos en pequeños períodos de tiempo, pero se plantea la duda del origen local o regional del polen de algunos taxones. Con el propósito de definir la procedencia del polen fósil y la información que ofrecen las diatomeas, se muestrearon nuevamente los perfiles en niveles estratégicos para corroborar el aporte de los microfósiles. En el perfil TBP1 se muestreó un nivel fechado en 2360 a 2320 años cal. AP, y en el perfil TBP2, dos niveles fechados en 5730 a 5060 años cal. AP y 2710 a 2360 años cal. AP. Estos sedimentos fueron tratados con diclorometano para extraer los compuestos orgánicos preservados, analizados por cromatografía de gases – acoplada a espectrometría de masas (CG – MS) y comparados con la base de datos Wiley 138 <sup>2</sup>. Los resultados obtenidos de este nuevo análisis revelan una correlación entre el polen y diatomeas dominantes en los conteos de estos niveles, aportando nuevas evidencias de los cambios ambientales presentes en la localidad de Tonibabi, Sonora.

### CONCLUSIONES

La correlación entre los biomarcadores encontrados en los niveles estudiados comprueba la presencia de vegetación con afinidad climática y ambiental similar a la de los conteos polínicos y de diatomeas fósiles, lo que refuerza la presencia de cambios de índole climática ocurridos en Tonibabi durante el final período de transición Holoceno medio - Holoceno tardío.

## REFERENCIAS

- <sup>1</sup> Espinoza – Encinas, I. R. (2012). Paleoambientes Cuaternarios de la Ciénega de Tonibabi, Moctezuma, Sonora, México. Tesis de Maestría en Ciencias – Geología, Universidad de Sonora, México.
- <sup>2</sup> Ángeles – Cruz, C. A. (2011). Caracterización de Materia Orgánica Sedimentaria en las Cuencas Wagner y Consag, Golfo de California, México. Tesis de Maestría en Ciencias en Geología Marina, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

## COMPOSICIÓN DEL BITUMEN EXTRAÍDO DE CONÍFERA PRESERVADA EN SEDIMENTOS DEL CRETÁCICO SUPERIOR DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE: *REPORTE PRELIMINAR*

Kinardo Flores<sup>1\*</sup>, Jesús Martín Torres<sup>2</sup>, Emilio Estrada<sup>3</sup>,  
Juan Carlos Durán<sup>4</sup>, Noé Piedad<sup>5</sup>, Francisco Paz<sup>6</sup>, Rogelio Monreal<sup>6</sup>

<sup>1</sup>*Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Laboratorio de Geoquímica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n. CP. 42184.*

*Mineral de la Reforma, Hidalgo. México.*

<sup>2</sup>*Área Académica de Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n, CP 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo. México.*

<sup>3</sup>*Department of Biology, Texas State University, 601 University Drive, San Marcos, TX 78666, USA.*

<sup>4</sup>*Posgrado de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria s/n, Delegación Coyoacán, 04510 México, Distrito Federal.*

<sup>5</sup>*Facultad de Metalurgia. Universidad Autónoma de Coahuila, Carretera 57 km 5 Norte, CP. 25710. Monclova, Coahuila de Zaragoza. México.*

<sup>6</sup>*Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Apdo. Postal 847, CP. 83000, Hermosillo, Sonora. México.*

*\*e-mail: [kinardo\\_flores@hotmail.com](mailto:kinardo_flores@hotmail.com)*

*Palabras clave (keywords): Biomarcadores, Coníferas, Cretácico Superior, Formación San Carlos, Desierto Chihuahuense.*

### INTRODUCCION

Afloramientos de rocas sedimentarias que incluyen plantas superiores del Cretácico Superior han sido reportadas con anterioridad en la Cuenca Carbonífera de Sabinas (estado de Coahuila) y referidas a la Formación Olmos (Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2008, 2010). En el estado de Chihuahua existen reportes técnicos que describen maderas fósiles y restos óseos de dinosaurios en afloramientos de la Formación San Carlos (Vaughan, 1900; Wolleben, 1965; McBride *et al.*, 1979), situados en las cuencas del río Conchos y Ojinaga. Posteriormente Cabrera y colaboradores (1984) describen cambios en la sedimentación que infieren como el frente deltaico (Formaciones Picacho – Aguja Continental) y el prodelta (Formaciones Ojinaga – Pen), tanto para la región de Ojinaga como para la del *Big Bend* del sur de Texas.

Recientemente en el DECA-Parque Cretácico, Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera (2011), describen un nuevo morfogénero de Malvaceae s.l., al que denominaron *Javelinoxylon deca*, al cual Flores-Castro (2011) le extrae la fracción soluble (bitumen) e interpreta moléculas fósiles (*biomarcadores*) como un primer intento de aplicación de herramientas geoquímicas a maderas preservadas en sedimentos del Cretácico Superior del Desierto Chihuahuense. Este ejemplar es coetáneo con otras maderas de coníferas (más abundantes) y palmáceas, que son cubiertos por sedimentos fluvio-lacustres, deltaicos y de playa que se encuentran al pie de la Sierra Cuesta El Infierno (Fig's. 1 y 2). Estos afloramientos se extienden hasta el sur de la sierra El Morrión y continúan por el valle del río Conchos (Fig. 1).

### OBJETIVO

Este trabajo pretende obtener información biogeoquímica paleoambiental de especies de maderas fósiles preservadas en sedimentos del Cretácico Superior del Desierto Chihuahuense, mediante técnicas de geoquímica orgánica.

## LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO

El área de estudio se localiza al este del estado de Chihuahua formando parte del municipio de Aldama. Para arribar al sitio se conducen 30 km por la autopista Federal #16 (Chihuahua–Ojinaga) hasta Ciudad Aldama (cabecera municipal). Se prosigue hasta llegar al entronque que comunica a la comunidad de Potrero El Llano - Chorreras y se continúa por espacio de 28 km por camino de terracería hasta el entronque y entrada a la propiedad del DECA-Parque Cretácico. El área está delimitada por las coordenadas: N28°50' y W105°30' y N28°55' y W 105°35' (Fig. 1).

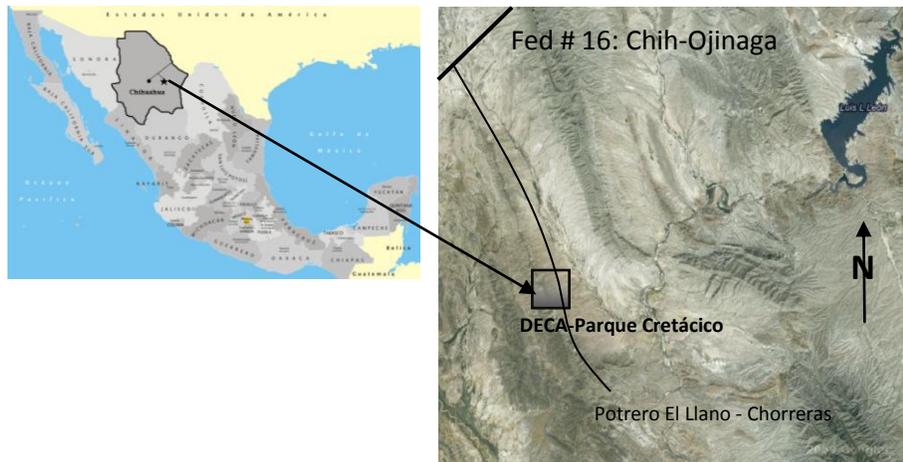


Fig. 1. Localización área de estudio. Coordenadas: N28°50' y W105°30' y N28°55' y W 105°35'

## GEOLOGIA

La **geología local** está conformada por sedimentos fluvio-lacustres, deltaicos y de playa representados por areniscas poco consolidadas e intercaladas con areniscas consolidadas, que cambian transicionalmente a conglomeráticas y a conglomerados polimícticos, que incluyen numerosos restos de maderas fosilizadas, principalmente coníferas (Fig's. 4 y 5) motivo de este estudio. Además se han identificado palmáceas y malváceas; así como también un gran número de huesos de grandes vertebrados.

Es pertinente mencionar que en los depósitos de sedimentos clásticos de ésta localidad se observa petrográficamente la denudación del basamento metamórfico precámbrico y también secuencias sedimentarias e ígneas previas (paleozoicas-mesozoicas: SGM, 2002 y 2004). Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera (2011) han correlacionado estos sedimentos continentales y transicionales a la Formación San Carlos.

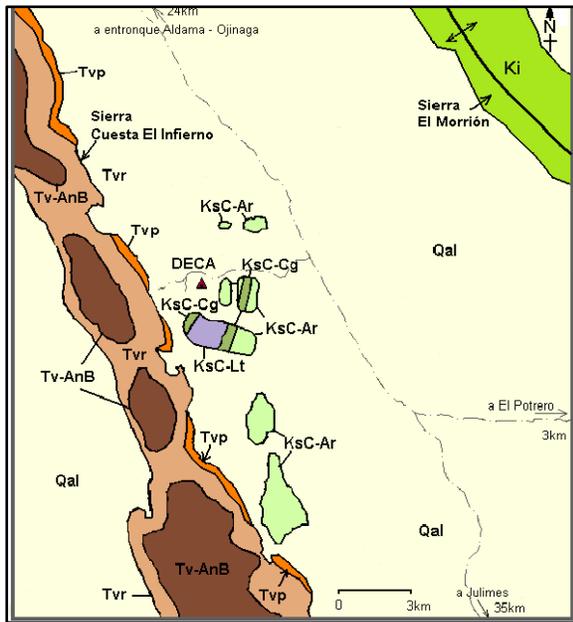


Fig. 2. Coordenadas geográficas:  
N28°50', N28°55' – W105°30', W105°35'

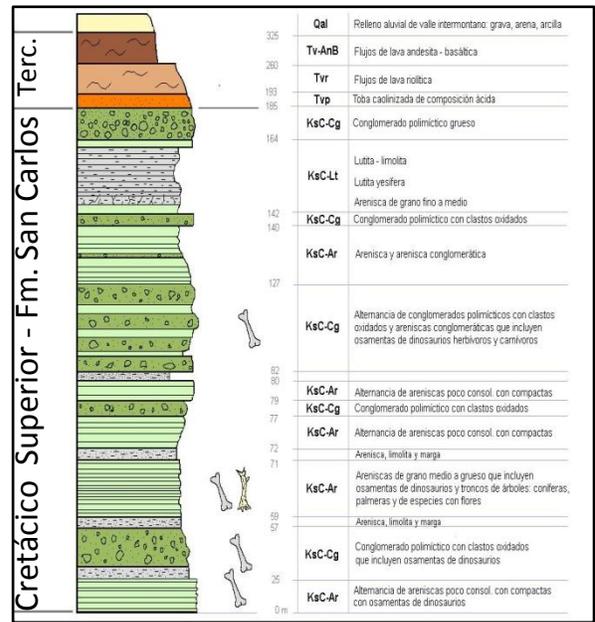


Fig. 3. Columna litológica del área DECA-Parque Cretácico al pie de la Sierra Cuesta El Infierno.



Fig. 4. Afloramiento de conífera en sedimentos siliciclásticos del Cretácico Superior. DECA-Parque Cretácico.



Fig. 5. Detalle de la morfología y estructura de la corteza de la conífera fosilizada.

## METODOLOGÍA

En el DECA-Parque Cretácico se colectó una sección de 40 cm longitud por 25 cm de diámetro de madera fosilizada correspondiente a una conífera que está remplazada principalmente por sílice y hematita. El tronco fosilizado en el afloramiento tiene una longitud de 12 metros y se encuentra fraccionado debido a la exposición directa al intemperismo del desierto (Fig's. 4 y 5). La muestra se recuperó de la porción media del tronco y se envolvió *in situ* con papel aluminio y después en una bolsa de polietileno, para posteriormente ser transportada al Laboratorio de Geoquímica de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

La preparación de la muestra en el laboratorio inició con la molienda de una fracción de la corteza y parte de los anillos de crecimiento utilizando el equipo pulverizador *Fritsch* modelo *Pulverisette 2* con mortero y pistilo de ágata. De la muestra pulverizada se recuperó una porción de 100 g a malla 100 como muestra representativa, misma que se colocó en un matraz balón de 1000 ml y se le agregaron 300ml de disolventes orgánicos: Hexano ( $C_6H_{14}$ ), Acetato de etilo ( $C_4H_8O_2$ ) y metanol ( $CH_3OH$ ) grado HPLC. A continuación se sometió a reflujo por espacio de 50 h en un sistema de recirculación termoregulado (Flores-Castro, 2011) y una vez concluido el tiempo, la muestra se separó del disolvente mediante filtración a gravedad. El extracto obtenido se concentró utilizando un rotavapor marca *Büchi*. El bitumen resultante se introdujo en un vial de 8 ml previamente pesado con una pipeta *Pasteur* y posteriormente el extracto se pesó tras dejar evaporar el exceso de disolvente a temperatura ambiente.

Finalmente los extractos obtenidos fueron analizados en un cromatógrafo de gases *Hewlett-Packard Agilent 5973 Network* con el sistema de inyección 7683B, acoplado a un espectrómetro de masa *Hewlett Packard* modelo 6890N del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los compuestos orgánicos fueron identificados al compararlos con la base de datos actualizada *Wiley138* y su interpretación paleoambiental fue soportada con bibliografía existente.

## RESULTADOS PRELIMINARES Y DISCUSIÓN

El cromatograma de gases–masa (Fig. 6), permitió identificar los compuestos orgánicos en la muestra *CONI*, perteneciente a una conífera, con un intervalo de tiempo de retención en columna de 40 min en total, siendo el octadecano y tricosano los alcanos predominantes. La distribución de los alcanos alifáticos muestra una tendencia bimodal, característico de los ambientes transicionales donde la contribución de vegetación continental es mezclada con aporte marino.

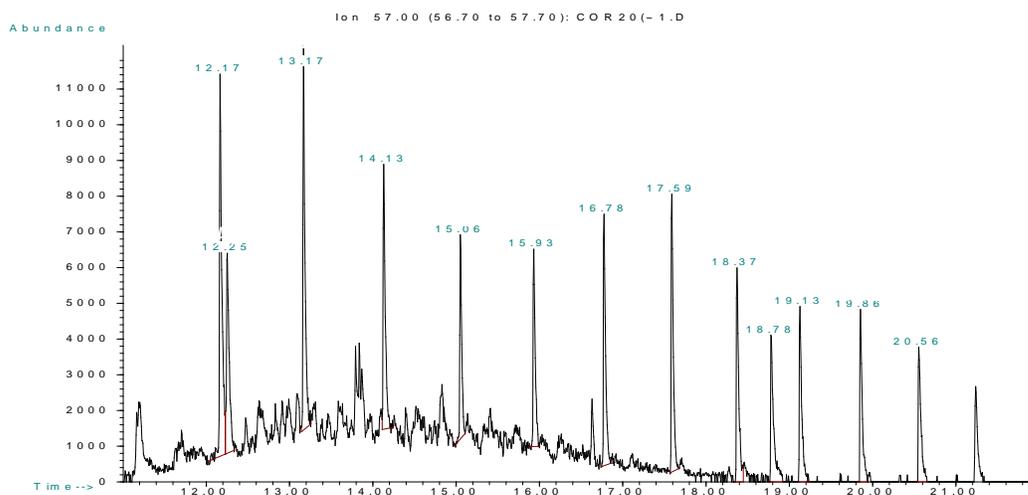


Fig. 6. Cromatograma de gases-masa del extracto hexánico de la muestra *CONI*.  $m/z$ -57, TR: 11 a 22 min.

### **Compuestos mayoritarios:**

Alcanos ( $m/z$ -57): Los alcanos alifáticos presentes muestran una distribución del  $nC17$  a  $nC30$ , donde la señal predominante corresponde a los homólogos  $nC18$  y  $nC23$ .

Isoprenoides ( $m/z$ -57): 2,6,10,14-tetrametil–hexadecano (Fitano - *Ph*).

**Compuestos traza:**- *Sesquiterpeno Aromático:*

1,6-dimetil-4-(1-metiletil)-Naftaleno (*Cadaleno*): Biomarcador característico de gran cantidad de plantas terrestres (Simoneit, 1985) y también está referido a la presencia de algas (Elias *et al.*, 1997; Peters *et al.*, 2005).

- *Diterpeno Aromático:*

7-Isopropil-1-metilfenantreno (*Reteno*): Es un biomarcador producido por las gimnospermas como las coníferas (Simoneit, 1985; Simoneit *et al.*, 1986; Van Aarssen *et al.*, 2000; Peters *et al.*, 2005). Resulta de la reacción del ácido abiético (IUPAC: ácido abieta-7,13-dien-18-oico) que se encuentra en la madera y resinas de las pináceas.

El marcado incremento en la abundancia del *Reteno* con relación al *Cadaleno* se interpreta como un reflejo en la contribución de plantas que producen el *Reteno* en las coníferas y esto trae consigo un significativo cambio en el clima (Van Aarssen *et al.*, 2000).

Compuestos mayoritarios (m/z - 57) – % confianza	Compuestos traza – % confianza
Heptadecano (nC17) – 65%	1,6-dimetil-4-(1-metiletil)-Naftaleno ( <i>Cadaleno</i> ) – 83% (m/z– 191)
Octadecano (nC18) – 98%	7-Isopropil-1-metilfenantreno ( <i>Reteno</i> ) – 72% (m/z – 191)
2,6,10,14-Tetrametil-Hexadecano ( <i>Fitano</i> ) – 91%	
Nonadecano (nC19) – 98%	
Eicosano (nC20) – 97%	
Heneicosano (nC21) – 95%	
Docosano (nC22) – 98%	
Tricosano (nC23) – 96%	
Tetracosano (nC24) – 97%	
Pentacosano (nC25) – 98%	
Heptacosano (nC27) – 91%	
Octacosano (nC28) – 87%	
Nonacosano (nC29) – 72%	
Triacotano (nC30) – 72%	

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Cabrera, F., Narváez, G., Chávez, J.M., Alcántara, J., Gómez, F., 1984. Exploración carbonífera en la Cuenca de Ojinaga. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. v. 45, n. 3, p. 41-61.
- Elias V.O., Debarros, A.M.A., Debarros, A.B., Simoneit, B.R.T., and Cardoso, J.N., 1997. Sesquiterpenoids in sediments of a hypersaline lagoon — a possible algal origin. Organic Geochemistry. v. 26, p. 721–730.
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. and Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2007. Fossil woods from the Late Campanian – Early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. Review of Paleobotany & Palynology. v. 145, p. 123-133.
- Estrada-Ruiz, E., Upchurch, G.R., Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2008. Flora and climate of the Olmos Formation (upper Campanian – lower Maastrichtian), Coahuila, Mexico: A preliminary report. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions. v. 58, p. 273-283.

- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. y Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2010. Upper Cretaceous Woods from the Olmos Formation (late Campanian – Early Maastrichtian), Coahuila, Mexico.
- Estrada-Ruiz, E. and Martínez-Cabrera, H.I., 2011. A new late Cretaceous (Coniacian – Maastrichtian) *Javelinoxylon* wood from Chihuahua, Mexico. IAWA Journal. v. 32, n. 4, p. 521-530.
- Flores-Castro, K., Montaña, S., González, Y., Estrada-Ruiz, E., Esquivel, C., Torres-Valencia, J.M., Carrillo, E., Derma, J., Angeles-Cruz, C.A. y Durán-Álvarez, J.C. 2011. Geoquímica Orgánica aplicada a madera fósil del género *Javelinoxylon* depositada en sedimentos del Cretácico Superior de la Sierra Cuesta El Infierno, Aldama, Chihuahua (México). Actas INAGEQ, v.17, n. 1, p. 49-53.
- McBride, E.F. y Caffey, K.C., 1979. Geological report on Upper Cretaceous coal-bearing rocks. Río Escondido Basin, Coahuila, Mexico. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. v. 40, n. 1 y 2, p. 21-47.
- Peters, K.E., Walters, C.C. y Moldowan, J.M., 2005. The Biomarker Guide. Volumen 2. Ed. Cambridge University Press. p. 499.
- SGM., 2002. Carta Geológico Minera Chorreras, clave H13C59. Escala 1:50,000. Estado de Chihuahua.
- SGM., 2004. Carta Geológico Minera Placer de Guadalupe, clave H13C48. Escala 1:50,000. Estado de Chihuahua.
- Simoneit, B.R.T., 1985. Cyclic terpenoids in the Geosphere. Methods in Geochemistry and Geophysics 25 (Johns, R.B., ed.). Elsevier. p. 43-99.
- Simoneit B.R.T., Grimalt J.O., Wang, T.G., Cox R.E., Hatcher P.G., Nissenbaum A., 1986. Cyclic terpenoids of contemporary resinous plant detritus and of fossil woods, ambers and coal. Organic Geochemistry 10, 877–889.
- Vaughan, T.W., 1900. Reconnaissance in Rio Grande coal fields of Texas. US Geological Survey Bulletin. v. 164, p. 73-88.
- Van Aarssen, B.G.K., Alexander, R. and Kagi, R.I., 2000. Higher plant biomarkers reflect palaeovegetation changes during Jurassic times. Geochimica et Cosmochimica Acta. v. 64, p. 1417–1424.
- Wolleben, J.A., 1965. Nomenclatura litoestratigráfica de las unidades del Cretácico Superior en el Oeste de Texas y el Noreste de Chihuahua. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 28, n. 2, p. 65-74.

## BIOACCESIBILIDAD DE PLOMO EN SUELO DE PASIVOS AMBIENTALES METALÚRGICOS HISTÓRICOS

Yolanda Rodríguez <sup>a</sup>, Leticia Carrizales <sup>b</sup>, Roberto Briones-Gallardo <sup>c</sup>, Antonio Cardona <sup>c</sup>, Israel Razo <sup>c\*</sup>

<sup>a</sup> *Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Manuel Nava 201, Zona Universitaria, 78290, San Luis Potosí, México*

<sup>b</sup> *Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Venustiano Carranza 2405, Col. Lomas Los Filtros, 78290, San Luis Potosí, México*

<sup>c</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Manuel Nava 8, Zona Universitaria, 78290, San Luis Potosí, México*

\* [israel.razo@uaslp.mx](mailto:israel.razo@uaslp.mx)

### RESUMEN

La fundición fue el primer proceso metalúrgico utilizado para la recuperación de plata a partir de minerales de alta ley en los Reales Mineros de la Nueva España [1]. Debido a que la fundición requería el uso de plomo como fundente, representaron una importante fuente de contaminación por este metal [2]. Este fue el caso de la localidad Monte Caldera, en el municipio de Cerro de San Pedro (SLP), en donde se han reportado elevadas concentraciones de plomo en suelo superficial impactado por operaciones metalúrgicas del periodo Colonial [3]. Con el objetivo de comprender mejor la magnitud de este impacto, se determinó la bioaccesibilidad de plomo en el suelo del área de Monte Caldera. Las concentraciones de plomo bioaccesible registradas en muestras de suelo superficial variaron de 33 a 11,956 mg/kg (Media= 2,784 mg/kg) indicando una alta bioaccesibilidad de plomo (25-82 %; Media= 50 %) que podría explicarse por la mineralogía de los minerales que fueron beneficiados, de los subproductos del proceso de beneficio empleado, así como de los procesos de alteración de las fases de plomo que originalmente fueron liberadas por las actividades metalúrgicas.

### CONCLUSIONES

Se registró una alta bioaccesibilidad de plomo en el suelo del área de estudio, lo que sugiere que las fases minerales portadoras de plomo corresponden a fases oxidadas, tales como carbonatos, óxidos o sulfatos, lo cual deberá ser confirmado mediante estudios de especiación química. Esta investigación demuestra la importancia de evaluar la contaminación por plomo y otros metales asociada a las actividades de fundición de la época Colonial.

### REFERENCIAS

- Bargalló, M. La minería y la metalurgia en la América Española durante la época Colonial, Fondo de Cultura Económica (1955)
- Stamatis, G, Voudouris, K. y Karefilakis, F. Groundwater pollution by heavy metals in historical mining area of Lavrio, Attica, Greece, *Water, Air and Soil Pollution*, 128, 61 (2001).
- Razo, I., Carrizales, Y., Castro, J. y Díaz-Barriga, F. Niveles de plomo en suelo como evidencia de actividades metalúrgicas históricas en la ciudad de San Luis Potosí. *The 11th International Symposium Cultural Heritage in Geosciences, Mining and Metallurgy* (2011).

## EL USO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO PARA LA ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN

Leticia Toerres<sup>1</sup>, Juan F. Cárdenas<sup>1</sup>, María de Guadalupe Moctezuma<sup>1</sup>, Víctor Manuel Martínez<sup>2</sup>, Ismael Acosta<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Micología Experimental. CIEP. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Dr. Manuel Nava No. 6. Zona Universitaria. C.P. 78320. San Luis Potosí, S.L.P. México. <sup>2</sup>Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

(e-mail: [iacosta@uaslp.mx](mailto:iacosta@uaslp.mx))

### INTRODUCCIÓN

Debido a las actividades industriales, como la producción de acero, minería, cemento y curtido de pieles, ciertas zonas de la República Mexicana, tienen altos niveles de cromo en suelo y agua [1]. El uso de lodos de aguas negras o de fertilizantes con diferentes concentraciones del catión, en algunas prácticas agronómicas, son otros de los factores contribuyentes a la contaminación ambiental por el metal. Pese a que este metal es un elemento esencial para hombres y animales, niveles elevados del mismo (15 µg en agua de ríos y 0.10 mg /L en agua potable) resultan tóxicos en los seres vivos. Particularmente, el Cr (VI) tiene efectos carcinogénicos y mutagénicos en humanos, animales y bacterias [1]. En las aguas residuales, el Cr (VI), se encuentra en solución como  $\text{CrO}_4^{2-}$  [2], puede removérsele por reducción, por precipitación química, por adsorción y por intercambio iónico [3]. Actualmente, el proceso más utilizado es la adición de un agente reductor que convierta el Cr (VI) a Cr (III) y posteriormente se le precipita con soluciones básicas a  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  [3].

Recientemente, se ha analizado el uso de metodologías alternativas, como la remoción y/o reducción de Cr (VI) a Cr (III) por bacterias, algas, levaduras y hongos ([3]. Por otro lado, también se han utilizado materiales de desecho, como residuos industriales agrícolas o urbanos para la eliminación y/o recuperación de metales pesados de efluentes industriales contaminados, entre los que se encuentran: residuos de manzana, corteza de árbol, cáscara de avellana, cáscara de naranja y tamarindo [4] con resultados altamente satisfactorios. Por lo anterior, es de gran interés analizar otros materiales de desecho y por lo tanto económicos, para tratar de eliminar este metal de aguas y suelos contaminados, así como la biorremediación de los mismos. Por lo que el objetivo de este trabajo fue estudiar la remoción de Cromo (VI) por la cáscara de Plátano (*Musa cavendishii*).

### METODOLOGÍA

Se utilizó la biomasa celular de cáscara de plátano obtenida de diferentes mercados sobre ruedas de la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, en el período mayo-junio de 2012. Ésta, se lavó con agua tridesionizada durante 72 h, y se calentó a ebullición 60 min, para remover el polvo y los componentes orgánicos adheridos, se volvió a lavar con agua tridesionizada 24 h, se secó (60°C, 24 h) en estufa bacteriológica, se molió hasta la obtención de un polvo fino, y se guardó hasta su uso, en frascos de vidrio ámbar a temperatura ambiente.

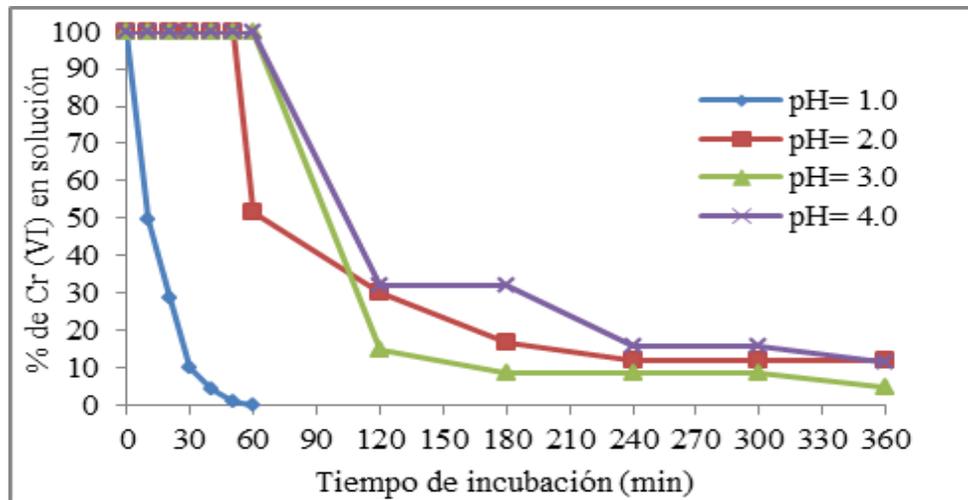
Se trabajó con 100 mL de una solución de 50 mg/L de concentración de Cr (VI) obtenida por dilución de una solución patrón de 71.86 mg/L preparada en agua tridesionizada a partir de  $K_2CrO_4$ . Se ajustó el pH de la dilución a analizar con  $H^2SO_4$  1 M y/o NaOH 1 M, antes de adicionarla a la biomasa celular.

1g de biomasa celular se mezcló con 100 mL de una solución de 50 mg/L de concentración del metal (a diferentes pH's y  $28^\circ C$ ) y se incubaron con agitación constante (100 rpm) durante 24 horas. A diferentes tiempos se tomaron alícuotas de 5 mL cada una, se centrifugaron a 3000 rpm (5 min), y al sobrenadante respectivo se le determinó la concentración de Cr (VI), utilizando el método colorimétrico de la difenilcarbazida [5].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

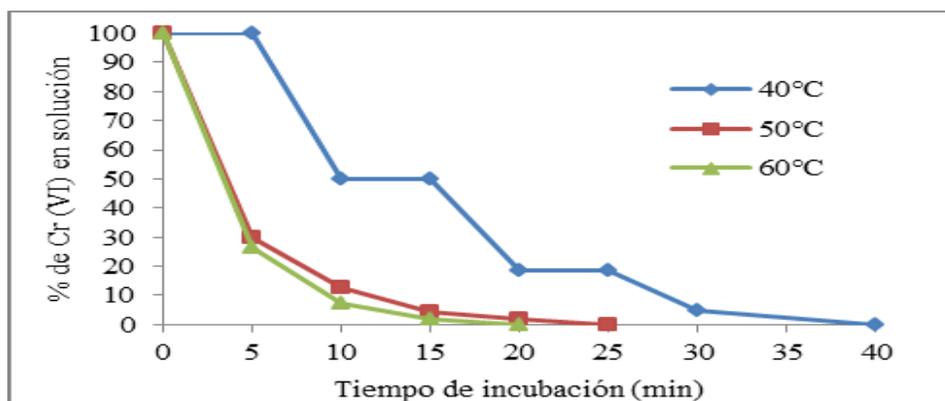
En este trabajo, se encontró que la biomasa de la cáscara de Plátano remueve eficientemente, y a tiempos cortos, 50 mg/L de Cromo (VI) en solución, pues a los 60 min, 1g de biomasa remueve el 100% del metal como se observa en la Figura 1. La literatura, Pérez y cols., [6] reportan un tiempo óptimo de remoción de plomo de 60 min utilizando cáscara de naranja, y de 2 h para la remoción de Cromo (VI) por la corteza de eucalipto [7]. Cabe mencionar que el tiempo de remoción óptimo encontrado en este trabajo es menor a lo reportado por Agarwal y cols., [8], y Popuri y cols., [9] quienes establecen tiempos de 180 y 120 min para las semillas y la cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico, respectivamente. Cambios en la permeabilidad, de origen desconocido, podrían explicar en parte las diferencias encontradas en el tiempo de incubación, proporcionando mayor o menor exposición de los grupos funcionales de la pared celular de la biomasa [10].

Con respecto a la influencia del pH inicial sobre la eficiencia de remoción, se encontró que la mayor actividad se evidenció a pH 1.0 +/-0.2, pues a los 60 min se remueve el 100% del metal (Figura 1), lo cual coincide con algunos reportes de la literatura [11, 12]. Para las biomazas naturales, la mayoría de los autores reportan un pH óptimo de 2.0 como: semillas de tamarindo [8], la corteza de eucalipto [6]; bagazo y pulpa de caña de azúcar [13], fibras de coco [14] y lana [15], y un pH de 3.0 para la cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico [9]. El Cromo (VI) se encuentra como  $HCrO_4^-$ ,  $Cr_2O_7^{2-}$ ,  $CrO_4^{2-}$ ,  $Cr_4O_{13}^{2-}$ ,  $Cr_3O_{10}^{2-}$ , [16]. Una baja en el pH causa la protonación de la superficie del adsorbente, lo que induce una fuerte atracción por los iones Cromo (VI) de la solución cargados negativamente, por lo que la bioadsorción incrementa al aumentar la acidez de la solución. Sin embargo, cuando el pH aumenta, se incrementa la concentración de iones  $OH^-$ , induciendo cambios en la superficie del adsorbente, impidiendo la bioadsorción de los iones Cromo (VI) cargados negativamente, lo cual disminuye la adsorción del metal a esos valores de pH [17].



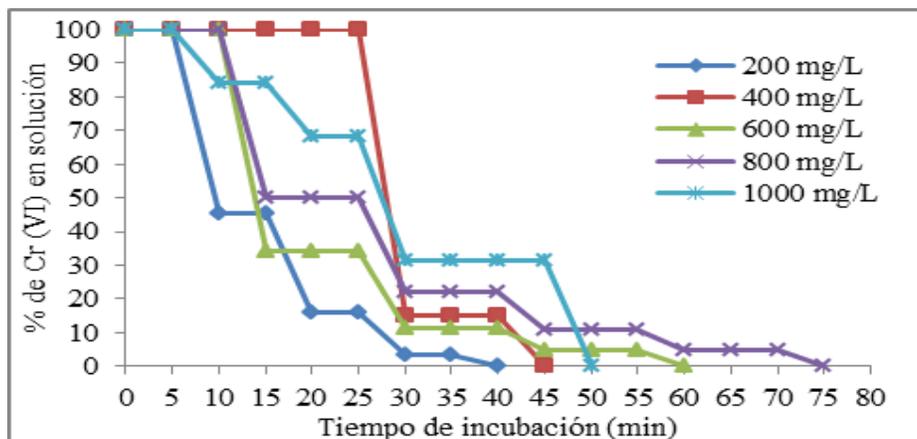
**Figura 1.-** Efecto de diferentes pH's sobre la remoción de 50 mg/L de Cr (VI) en solución. 1g de biomasa, 28°C, 100 rpm de agitación constante.

Con respecto a la temperatura, la más alta remoción se observó a 60°C, pues a los 20 min se remueve el 100% de Cromo (VI) en solución (50 mg/L) como se observa en la Figura 2, resultados que son coincidentes con los de Acosta-Rodríguez y cols., [11, 12] para las cáscaras de litchi y naranja con un 100% de remoción a los 6 y 10 min., Agarwal y cols., [8], con un 98% a 58°C y 180 min., y con los de Leyva et al. [18] para la remoción de cadmio (II) con olote de maíz (40°C y 5 días). El incremento en la temperatura aumenta la velocidad de remoción de Cromo (VI) y disminuye el tiempo de contacto requerido para la completa remoción del metal, por incrementar la exposición de los grupos funcionales que reaccionan con el mismo [19].

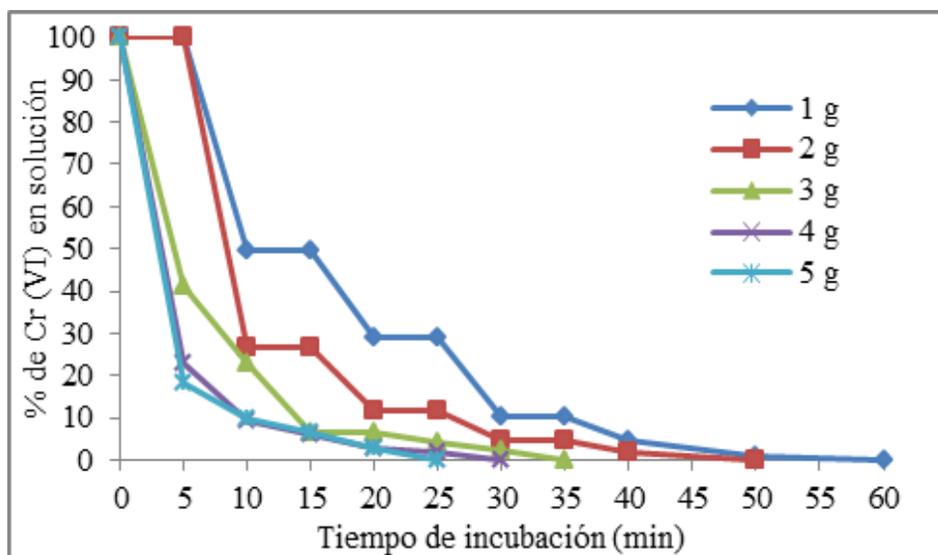


**Figura 2.-** Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de 50 mg/L de Cr (VI) en solución. 1 g de biomasa, 100 rpm de agitación constante, pH= 1.0.

También se encontró que la concentración del metal no influye en la remoción del mismo, pues 200 y 1000 mg de Cr (VI) se eliminan a los 40 min a 60°C como se observa en la Figura 3, es muy similar a otros reportes de la literatura [12]. Algunos autores [20], sostienen que la cantidad de metal eliminado por las biomazas de diferentes microorganismos, tales como *Mucor hiemalis* y *Rhizopus nigricans* aumenta en proporción directa con el incremento de la concentración del ión metálico en solución. Con respecto a las otras biomazas utilizadas, la mayoría de los autores reportan menores eficiencias de remoción del metal, por ejemplo: 45 mg/L por la corteza de eucalipto [7]; 13.4 y 17.2 mg/L por bagazo y pulpa de caña de azúcar [13], 29 mg/L por fibra de coco [14], 8.66 mg/L por la lana [15]. Al aumentar la cantidad de biomasa, también se incrementa la remoción de Cromo (VI) en solución como se observa en la Figura 4, pues 5 g de la cáscara remueven el 100% del metal a los 25 min, a 28°C, debido a que hay más sitios de bioadsorción del metal, ya que la cantidad de bioadsorbente añadido determina el número de sitios de unión disponibles para la bioadsorción del metal [3]. Resultados similares se han reportado para la cáscaras de litchi y naranja [11, 12], *R. nigricans*, aunque éste último con 10 g de biomasa [20], pero son diferentes a lo reportado por Zubair y cols., [21], para la biomasa de los desechos de la mandarina (gabazo), quienes reportan una concentración óptima de biomasa de 100 mg/L.



**Figura 3.-** Efecto de la concentración de Cr (VI) sobre la remoción del mismo. 50 mg/L, 60°C, 100 rpm de agitación constante, pH= 1.0.



**Figura 4.-** Efecto de la concentración de la biomasa sobre la remoción de 50 mg/L de Cr (VI) en solución. 28°C, 100 rpm de agitación constante, pH=1.0.

## CONCLUSIONES

La biomasa analizada tiene la capacidad de remover eficientemente Cr (VI) en solución, y es por esta característica que puede ser usada en la descontaminación de efluentes industriales conteniendo dicho metal, por lo que la aplicación de esta tecnología presenta mucho potencial para la eliminación de éste; además de que la biomasa es natural, fácil de transportar, fácil de obtener en grandes cantidades y es considerada un material de desecho.

## REFERENCIAS

- [1] Viti, C., Pace A. y Giovenetti, L. (2003). Characterization of Cr(VI)-resistant bacteria isolated from Chromium-contaminated soil by tannery activity. *Current Microbiology*. 46, 1-5.
- [2] Cotton, F.A. y Wilkinson, G. 1990. *Advanced Inorganic Chemistry*. 4a. ed.; Chichester: U.K., p. 121.
- [3] Cervantes, C., Campos-García, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, J.F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzmán, J.C. y Moreno-Sánchez, R. (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiology Review*. 25, 333-347,
- [4] Verma, A., Chakraborty, S. y Basu, J.K. (2006). Adsorption study of hexavalent chromium using tamarind hull-based adsorbents. *Separation and Purification Technology*. 50, 336-341.

- [5] Greenberg, A.; Clesceri, L.; Eaton, A. 2002. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18a. ed.; American Public Health Association, Washington, D.C., p. 3.58-3.60.
- [6] Pérez, A.B., Meseguer Zapata, V., Ortuño, J.F., Aguilar, M., Sáez, J. y Lloréns, M. J. (2007). Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption onto orange waste. *Journal of Hazardous Materials*. 139(1), 122-131.
- [7] Sarin, V. y Pant, K.K. (2006). Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. *Biores. Technol.* 97, 15-20.
- [8] Agarwal, G.S., Kumar, H., y Chaudar, S. (2006). Biosorption of aqueous chromium (VI) by *Tamarindus indica* seeds. *Bioresource Technology*. 949-956.
- [9] Popuri, R.S., Jammala, A., Naga Suresh, K. y Abuburi, K. (2008). Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study. *Journal of Biotechnology*. 10(3), 358-367.
- [10] Kratochvil, D. y Volesky, B. (1998). Advances in the biosorption of Heavy metals. *TIBTECH*. 16, 291-300.
- [11] Acosta-Rodríguez, I., Martínez-Pérez, R., Cardenas-Gonzalez, J.F., Moctezuma-Zarate, M.G. y Martinez-Juarez, V.M. (2012). Hexavalent Chromium Removal by *Litchi chinensis* Sonn Peel. *Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 8, (1), 7-13.
- [12] Acosta-Rodríguez, I., González Sánchez, H.M., Moctezuma-Zárate, M.G., Cárdenas González, J.F. y Martínez Juárez, V.M. (2012). Remoción de Cromo (VI) en solución por la cáscara de naranja (*Citrus cinensis* Osbeck). *Tlatemoani*. 9, 1-17.
- [13] Sharma, D.C. y Forster, C.F. (1994). A preliminary examination into the adsorption of hexavalent chromium using low-cost adsorbents. *Bioresource Technology*. 47, 257-264.
- [14] Huang, C.P. y Wu, M.H. (1977). The removal chromium (VI) from dilute aqueous solution by activated carbon. *Water Research*. 11, 673-679.
- [15] Dakiki, M., Khamis, M., Manassra, A. y Mereb, M. (2002). Selective adsorption of chromium (VI) industrial wastewater using low-cost abundantly available adsorbents. *Advances in Environmental Research*. 6, 533-540.
- [16] Rollinson, C.L. (1973). Chromium, molybdenum and tungsten, in: T. Dickson (ed), *Comprehensive Organic Chemistry*, 3a. ed. Pergamon Press, Oxford, UK. p. 691-694.
- [17] Gadd, G.M. y Griffiths, A.J. (1980). Effect of copper on morphology of *Aureobasidium pullulans*. *Transactions of the British Mycological Society*. 74(2), 387-392.
- [18] Leyva, R., Bernal, L.A. y Acosta, I. (2005). Adsorption of cadmium (II) from aqueous solution on natural and oxidized corncob. *Separation and Purification Technology*. 45, 41-49.
- [19] Wittbrodt, P.R. y Palmer, C.D. (1996). *Environmental Science and Technology*. 30(8), 2470-2477.
- [20] Bai, R.S. y Abraham, T.E. (2001). Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by *Rhizopus nigricans*. *Bioresource Technology*. 79, 73-81.
- [21] Zubair, A., Bhatti, H.N., Hanif, M.A. y Shafqat, F. (2008). Kinetic and equilibrium modeling for Cr (III) and Cr (VI) removal from aqueous solutions by *Citrus reticulata* waste biomass. *Water Air and Soil Pollution*. 191, 305-318.

## INFLUENCIA DEL ÁREA SUPERFICIAL DE LA GOETITA EN LAS REGIONES DE PREDOMINIO DE ESPECIES ADSORBIDAS Y PRECIPITADAS DE As(V) EN PRESENCIA DE Pb(II)

Katherine Vaca-Escobar <sup>a</sup>, Mario Villalobos <sup>ab\*</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Bio-Geoquímica Ambiental, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Coyoacán, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510, México

<sup>b</sup> Coordinación de Sede del Posgrado en Ciencias de la Tierra Químicas, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Coyoacán, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510, México.

\* [mariov@geologia.unam.mx](mailto:mariov@geologia.unam.mx)

### RESUMEN

La contaminación de suelo y agua subterránea con metales peligrosos es un problema generalizado alrededor del mundo, los residuos minero-metalúrgicos liberan grandes cantidades de estos elementos al ambiente en especies altamente móviles. Recientemente, se ha encontrado en suelos mexicanos contaminados con estos tipos de desechos, que el arseniato no se encuentra como especie adsorbida a los óxidos de Fe presentes en los suelos (como se reporta de manera general en la literatura), sino formando compuestos muy insolubles tales como arseniatos de Pb y otros metales divalentes. Para entender este comportamiento, se ha aplicado un modelo termodinámico considerando, simultáneamente tanto el proceso de precipitación como el de adsorción (formación de complejos de triple capa, tomando en cuenta la distribución de sitios reactivos presentes en goetitas de diferente área superficial). Para este fin, se definió un sistema de goetita ( $\gamma$ -FeOOH) / As(V) / Pb(II) / carbonato, como una función de la relación As(V) / Fe(III), en un pH intervalo de 5-10. El modelo predice que a partir de una relación molar muy baja de As(V) / Fe(III) (0.012 con goetita de ASE 94m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> y 0,03 con goetita de ASE 50m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> a pH 7) el mecanismo de precipitación influye significativamente en la atenuación de As(V), y se convierte rápidamente en el proceso dominante sobre el mecanismo de adsorción.

### CONCLUSIONES

Los resultados del modelo identifican las condiciones cuantitativas de predominio para cada mecanismo y describen las condiciones de transición en el que las fracciones relativamente grandes de especies adsorbidas, precipitadas y disueltas de As (V) prevalecen. La diferencia de la relación a la que inicia el predominio del proceso de precipitación entre las goetitas de diferente ASE se debe a que la goetita de baja ASE es más reactiva que la de alta ASE.

### REFERENCIAS

- Salazar-Camacho C., Villalobos M., *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 74, 2257 (2010).
- Villalobos M., Cheney M.A., Alcaraz-Cienfuegos, J., *Journal of Colloid and Interface Science* 336, 412 (2009).
- Villalobos M., García-Payne D., López-Zepeda J., Cenicerros-Gómez, A., Gutiérrez-Ruiz M., *Aquatic Geochemistry* 16, 225 (2010).

## MECANISMOS DE INMOVILIZACIÓN DE Cr (VI) POR PROCESOS SUPERFICIALES EN ÓXIDOS DE HIERRO SINTÉTICOS Y NATURALES

Villacís-García Milton<sup>a</sup> y Villalobos Peñalosa Mario<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Instituto De Geología, Posgrado En Ciencias De La Tierra, UNAM. D. F.

<sup>b</sup> Grupo de Bio-Geoquímica Ambiental y Coordinación de Sede del Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología Ciudad Universitaria, UNAM México, 04360 D.F.

\* [mariov@geologia.unam.mx](mailto:mariov@geologia.unam.mx)

### RESUMEN

El cromo es un metal muy usado a nivel industrial en una amplia variedad de procesos. (Barceloux et al., 1999), generando residuos de Cr(VI), especie muy tóxica que afecta a los sistemas aire, suelo y agua. Por ello, el estudio de sus interacciones es esencial para predecir su transporte, destino, y el diseño metodologías de remediación. En estos procesos el mineral de óxido de hierro, goetita (GOE), es muy importante debido a su abundancia y reactividad, la cual es determinada por el tamaño de partícula (Langmuir, 1997; Sposito, 2004). El mineral es sintetizado según Schwertmann y Cornell (2000), sin embargo obtener una partícula de área superficial específica (ASE) pre establecido presenta cierta dificultad, ya que según los resultados obtenidos el tamaño de partícula depende tanto de la velocidad de adición de la base como de la agitación del sistema. Recientemente se ha descubierto que la adsorción de Cr(VI) normalizada por área superficial es significativa y progresivamente mayor en GOE de ASE menores a 80 m<sup>2</sup>/g (Villalobos y Pérez Gallegos, 2008), es decir a medida que las partículas de GOE transicionan de nanocilindros a microcilindros, contrario al comportamiento normal de nanopartículas. Por tanto es importante determinar los mecanismos específicos por los que ocurre este aumento anómalo de reactividad de adsorción en goetitas de partículas más grandes

### CONCLUSIONES

La obtención de partículas de alta ASE depende de la adición rápida de NaOH, pero también de una agitación vigorosa y homogénea. Existe una relación inversa entre el ASE y el Cr(VI) adsorbido cuando es normalizada por área. Esto es muy importante ya que determina que habrá una mayor retención de Cr(VI) al usar goetitas de ASE menor, estos resultados se pueden usar para predecir la distribución de Cr(VI) en suelos.

### REFERENCIAS

- Barceloux, D.G., Chromium, Clinical Toxicology. 37:2, 173–194, (1999).
- Langmuir D., Aqueous Environmental geochemistry, Prentice-Hall, New Jersey, (1997).
- Schwertmann, U., Cornell, R., The Iron Oxides in the laboratory, VCH: Wiley, 103-105, (2000).
- Sposito G., The surface chemistry of soils, Oxford Univ. Press, New York, (1984).
- Villalobos M, Pérez-Gallegos A., Goethite surface reactivity: A macroscopic investigation unifying proton, chromate, carbonate, and lead (II) adsorption, J. Colloid Interface Sci, 326: 307-323, (2008).

## DETERMINACIÓN DE LA ASOCIACIÓN MINERALÓGICA DE ARSÉNICO EN MUESTRAS SÓLIDAS AMBIENTALES EMPLEANDO EXTRACCIÓN SECUENCIAL

Andrea Haro-Nava<sup>a</sup>, Alejandro Rodríguez<sup>a</sup>, Israel Razo<sup>a</sup>, Antonio Cardona<sup>a</sup>, Carmen Ojeda-Escamilla<sup>b</sup>, Roberto Briones-Gallardo<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Dr. Manuel Nava # 8, Zona Universitaria poniente, San Luis Potosí, San Luis Potosí 78290, México*

<sup>b</sup> *Instituto de Metalurgia-Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Sierra Leona 550, Col. Lomas 2da San Luis Potosí, San Luis Potosí 78210, México*

*\* [briones@uaslp.mx](mailto:briones@uaslp.mx)*

### RESUMEN

Se determinó la asociación mineralógica de arsénico en tres muestras sólidas ambientales empleando un protocolo de extracción secuencial para aniones. La primera muestra corresponde a sedimentos del cauce de un arroyo intermitente impactado por drenaje ácido de mina; la segunda fue un suelo impactado por polvos y escombros de la chimenea de una antigua fundición de cobre que operó hasta los 60's, y la tercera corresponden a un conjunto de muestras de sedimentos de las paredes de un pozo profundo de agua, recolectadas a diferentes profundidades, y que presenta contaminación por arsénico. Los resultados para las muestras obtenidas indicaron que: en el primer caso ~13% de As se encuentra en la fracción intercambiable aniómicamente; en el segundo caso ~ 44% del As se encuentra en la fracción mencionada anteriormente. En el caso del pozo profundo, el fraccionamiento es función de la profundidad, encontrándose entre un 32 y 38% de As en la fracción intercambiable aniómicamente, y un mayor porcentaje (62-67 %) en la fracción residual.

### CONCLUSIONES

La especiación del As es independiente de la concentración total y depende del origen de la muestra (natural o antropogénico), de los procesos involucrados en su formación y de las condiciones de intemperismo. Los resultados permiten concluir que es posible establecer la asociación mineralógica y correlacionar los posibles procesos que influyen en la liberación de As hacia los diversos receptores ambientales circunvecinos a través de la extracción secuencial.

### REFERENCIAS

- Keon N.E., Swartz C.H., Brabander D.J., Harvey C., Hemond H.F., *Environmental Science & Technology*, 35:13, 2778 (2001).
- Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. *Analytical chemistry*, 51:7, 844 (1979).
- Hlavay J., Prohaska T., Weisz M., Wenzel W.W., Stingeder G.J., *Pure Applied Chemistry*, 76:2, 415 (2004).
- Deng Y., Wang Y., Ma T., He J., *Environmental Earth Science*. 64, 2001, (2011).

## BIOACCESIBILIDAD DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TOXICOS EN JALES MINEROS Y EN SUELOS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINERO-METALÚRGICOS

Flavio López Velecela<sup>a</sup>, Mario Villalobos<sup>b\*</sup> y Francisco Martín Romero<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Posgrado en Ciencias Químicas, Ciudad Universitaria, UNAM México, 04510 D.F.

<sup>b</sup> Grupo de Bio-Geoquímica Ambiental, Departamento de Geoquímica, Instituto De Geología, UNAM, México, 04510. D. F.

\* [mariov@geologia.unam.mx](mailto:mariov@geologia.unam.mx)

### RESUMEN

La bioaccesibilidad es una técnica *in vitro* mediante la cual se simula la disolución de un elemento potencialmente tóxico (EPT) que se encuentre en un suelo, tanto en fase gástrica (FG) como intestinal (FI) de un animal con sistema digestivo análogo al humano. En este caso los jugos gástricos de conejos se han establecido como semejantes a la composición en niños<sup>1</sup>, quienes representan la población más vulnerable a problemas de salud. Se ha demostrado que la solubilidad de los EPTs en cada una de las fases depende del tipo de minerales que se encuentren en el sitio de estudio, por lo que las pruebas de bioaccesibilidad deben ir acompañadas de estudios mineralógicos para comprender el comportamiento que da lugar a los valores medidos<sup>2</sup>. El método de bioaccesibilidad con base fisiológica (PBET, en inglés) hace uso de equipo y reactivos que pueden ser de difícil adquisición y alto costo, además de que el método mismo es laborioso y no permite procesar muchas muestras de forma simultánea, lo cual lo limita como análisis de rutina. Por esto, en el presente trabajo se investigó la posible correlación de los resultados de dos métodos de extracción simples, usando ácido clorhídrico (HCl) y acetato de amonio (NH<sub>4</sub>OAc), con las extracciones en FG y/o FI del método PBET, para su posible empleo en sustitución de éste último en residuos minero-metalúrgicos y suelos contaminados con éstos de dos sitios: Taxco y San Luis Potosí. Además se investigaron las correlaciones entre las propiedades físicas y químicas de estas muestras con la bioaccesibilidad de los EPTs.

### CONCLUSIONES

Se encontró que la extracción en FG del método PBET correlacionó altamente con las extracciones realizadas con HCl a pH  $\approx$  2 para todas las muestras. La fase gástrica, subsecuentemente correlaciona muy bien con la biodisponibilidad *in vivo* de varios EPTs. Se determinó que los parámetros físico-químicos de los suelos no fueron capaces de explicar el comportamiento de la solubilidad de los EPTs en las fases del método PBET, pero la composición mineralógica sí fue un buen indicador cualitativo de la bioaccesibilidad.

### REFERENCIAS

1. Ruby, M. V.; Davis, A.; Link, T. E.; Schoof, R.; Chaney, R. L.; Freeman, G. B.; Bergstrom, P. Environmental Science & Technology 1993, 27, (13), 2870-2877.
2. Meunier, L.; Walker, S. R.; Wragg, J.; Parsons, M. B.; Koch, I.; Jamieson, H. E.; Reimer, K. J. Environmental Science & Technology 2010, 44, (7), 2667-2674.

## TIERRAS RARAS EN EL YACIMIENTO DE Fe DE CERRO DEL MERCADO, DURANGO, MÉXICO

Jorge Antonio Sánchez-Lázaro<sup>a</sup>; Noé Piedad-Sánchez<sup>a</sup>, José Luis Cadena-Zamudio<sup>b</sup>, Eduardo González-Partida<sup>c</sup>, Pascual Bartolo-Pérez<sup>d</sup>, Iliana Margarita De la Garza-Rodríguez<sup>e</sup>, Isabel Aracely Facundo-Arzola<sup>a</sup>, María Gloria Rosales-Sosa<sup>a</sup>, Kinardo Flores-Castro<sup>b</sup>, Rodolfo Corona-Esquivel<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Metalurgia. Unidad Norte, Universidad Autónoma de Coahuila. Carretera 57, km 5, C.P. 25700. Monclova, Coahuila de Zaragoza.

<sup>b</sup> Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, C.P. 42184. Pachuca de Soto, Hidalgo.

<sup>c</sup> Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Blvd. Juriquilla No. 3001, C.P. 76230. Querétaro, Querétaro.

<sup>d</sup> Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), Unidad Mérida. Km 6, Antigua carretera a Progreso, Apdo. Postal 73, Cordemex, C.P. 97310. Mérida, Yucatán.

<sup>e</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Saltillo, Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Venustiano Carranza y José Cárdenas Valdés, Colonia República, C.P. 25280. Saltillo, Coahuila de Zaragoza.

<sup>f</sup> Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, UNAM.

\*npiedads@yahoo.com

## INTRODUCCIÓN

La fluorapatita se ha encontrado en México en múltiples yacimientos pertenecientes a diversas tipologías, siendo la mina de hierro de Cerro del Mercado (nombrado en honor del capitán español Ginés Vázquez del Mercado, quien lo visitó a fines de 1552), la localidad más sobresaliente (Fig. 1), situada hacia las afueras de la ciudad de Durango (Panczner, 1987; Cruz-Ocampo et al., 2007).

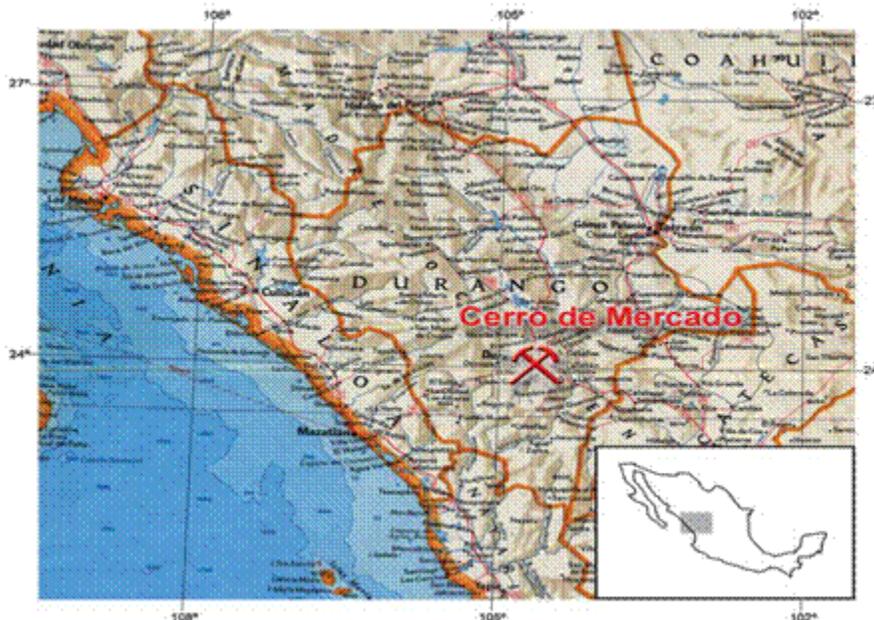


Figura 1. Localización de Cerro del Mercado.

En este yacimiento, la fluorapatita es el principal mineral de ganga y tecnológicamente es controlado en el beneficio del hierro, debido a que el contenido máximo permisible de fósforo en el concentrado final es de 0.05% en peso, por lo que este mineral tiene un uso económico poco significativo.

Por otra parte, el nombre de “Elementos de Tierras Raras” fue dado a un grupo de elementos que fueron descubiertos al principio del siglo XIX. En realidad, estos metales no son raros, y su incidencia es incluso mayor que algunos metales como plomo, mercurios, estaño y platino. Son denominados “Elementos de Tierras Raras” porque no se ajustan dentro de la Tabla Periódica, y quizás porque raramente existen independientemente en cantidades concentradas por su fuerte afinidad con otros elementos formadores de mena con los cuales son siempre encontrados en asociación.

En la literatura mundial se han reportado elementos de tierras raras en fluorapatita, por lo que dada la importancia actual de dichos elementos en los nuevos productos metalúrgicos, y considerando el escaso aprovechamiento de la fluorapatita contenida en el yacimiento ferrífero de Cerro del Mercado, en este trabajo se investiga el contenido de los elementos que podrían ser usados en la industria metalúrgica para formar aleaciones.

### **METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

Se realizó una visita a la mina de Cerro del Mercado, Durango, donde se recolectaron dos muestras de canal de 10 kg, con fluorapatita y minerales acompañantes (Fig. 2) en dos diferentes niveles de un cuerpo del yacimiento, conocido como Marmaja.



Figura 2. Roca con fluorapatita en Cerro del Mercado, Durango.

Las muestras fueron “cuarteadas”, molidas, preparadas y analizadas geoquímicamente en el Servicio Geológico Mexicano, principalmente con la técnica de ICP-MS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presencia de fluorapatita en las diferentes muestras analizadas fue confirmada por DRX, además de otros compuestos como magnetita, hematita, calcita y cuarzo (Fig. 3), mostrando comportamientos similares de concentración en los dos niveles del cuerpo Marmaja.

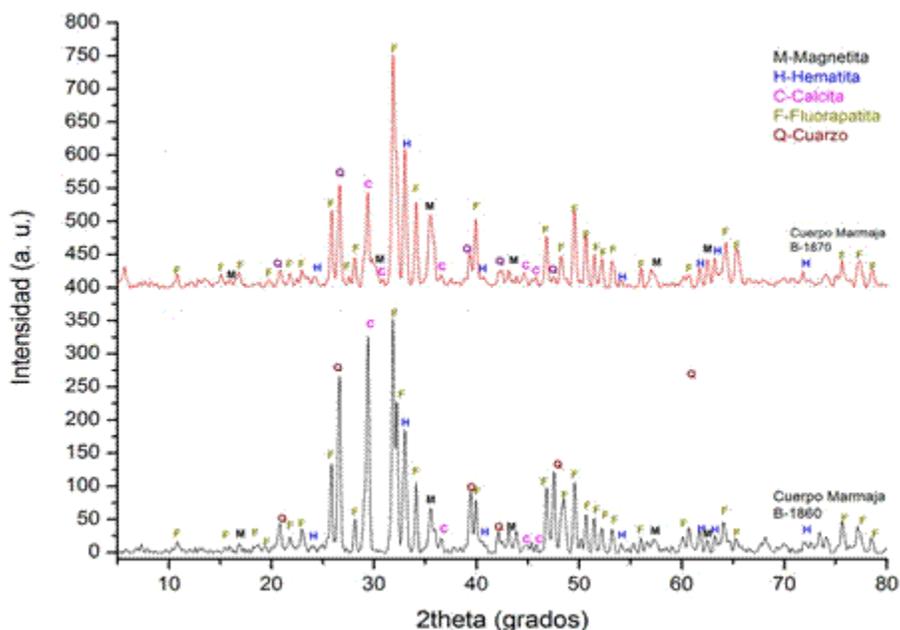


Figura 3. Resultados del análisis de DRX en el Cuerpo Marmaja Sur.

Los resultados de las muestras analizadas por medio del ICP-MS, presentan la misma tendencia para los dos diferentes niveles del cuerpo Marmaja (Fig. 4).

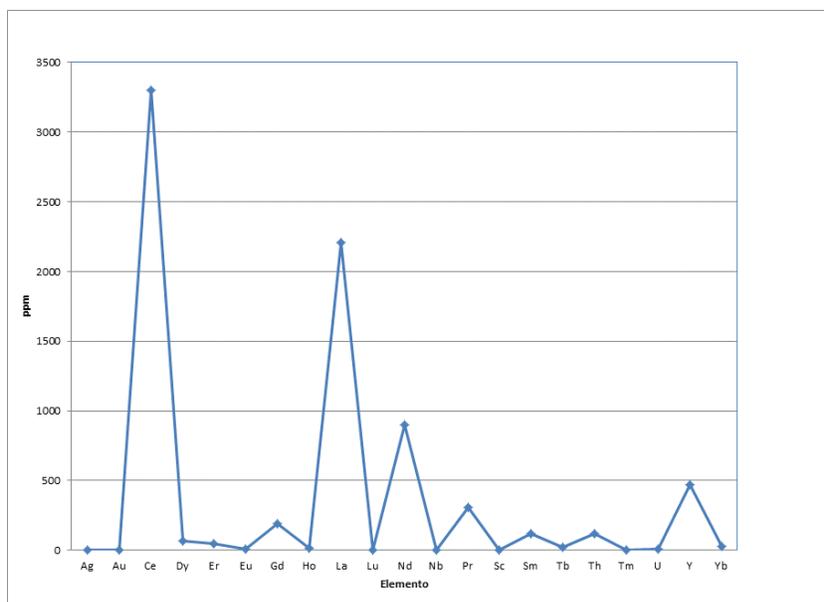


Figura 4. Resultados de ICP-MS en muestra del Cuerpo Marmaja Sur.

Una concentración de Cerio mayor a 3000 ppm está presente en las muestras, seguido de lantano (>2000 ppm) y neodimio (>500 ppm). Elementos de tierras raras como itrio, gadolinio o praseodimio, se presentan en concentraciones que no alcanzan 500 ppm en las muestras analizadas.

La presencia de neodimio en las muestras del cuerpo Marmaja, es congruente con lo reportado por Cruz-Ocampo (2000), quien atribuye la coloración amarillenta de la fluorapatita de Cerro del Mercado, al elevado contenido en Nd, de hasta 0.45% en peso de Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Otros elementos de tierras raras, como el erbio, el europio o el terbio, interesantes para la industria actual, se presentan en cantidades ínfimas o no fueron detectados en las muestras analizadas del cuerpo Marmaja.

Las concentraciones de elementos de tierras raras directamente asociadas a la fluorapatita, no fueron diferenciadas en este trabajo.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo a partir de muestras de canal con fluorapatita y minerales asociados de un cuerpo denominado Marmaja, de Cerro del Mercado, confirman la presencia de elementos de tierras raras, con la predominancia de cerio, y concentraciones subordinadas de lantano y neodimio, principalmente.

Para proponer un proceso de recuperación de cerio para el yacimiento de Cerro del Mercado, aun se requiere determinar la concentración de los elementos de tierras raras en la fluorapatita con mayor precisión, y confirmar si existe alguna aportación de dichos elementos a partir de los otros minerales coexistentes en la mena de Fe.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las facilidades para la recuperación de muestras a los líderes de Minera del Norte S.A. de C.V., especialmente al C.P. José Guadalupe GARCÍA. Asimismo, se agradece a los directivos Dr. Rafael ALEXANDRI RIONDA, M.C. Francisco YAÑEZ MONDRAGÓN, Ing. José de Jesús RODRÍGUEZ SALINAS e Ing. Luciano HERNÁNDEZ NORIEGA del Servicio Geológico Mexicano por su apoyo en la parte analítica. Sánchez-Lázaro y Piedad-Sánchez agradecen por el apoyo para realizar este trabajo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y a las autoridades de la Facultad de Metalurgia y de la Coordinación de Estudios de Posgrado e Investigación de la Universidad Autónoma de Coahuila, especialmente, al Dr. Edgar BRAHAM PRIEGO. Finalmente, Sánchez-Lázaro agradece a las autoridades del Instituto Nacional del Carbón en Oviedo, España, especialmente a la Dra. Angeles GÓMEZ BORREGO por la asesoría durante el desarrollo del trabajo.

## REFERENCIAS

- Panczner, W., *Minerals of Mexico*. Van Nostrand Reinhold Company , 459 (1987).
- Cruz Ocampo, J. C., Canet, C., & Peña García, D., *Las Gemas de México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 59 (1), 9-18 (2007).
- Cruz-Ocampo, J. C., *Caracterización mineralógica de roca huésped y zona de mineralización y propiedades magnéticas del yacimiento del Cerro del Mercado, Durango, México*. Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis Profesional, 73 p. (2000).

## ALÚMINA COMO CATALIZADOR PARA LA PRODUCCIÓN DE OLEFINAS

María C. Barrera<sup>b\*</sup>, José Escobar<sup>a</sup>, Ary D. Espinoza<sup>b</sup>

[cobarrera@uv.mx](mailto:cobarrera@uv.mx)

<sup>a</sup> Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Lázaro Cárdenas 152, Col. San Bartolo Atepehuacan, G. A. Madero, México, D.F., México, 07730. Correo electrónico: jeaguila@imp.mx

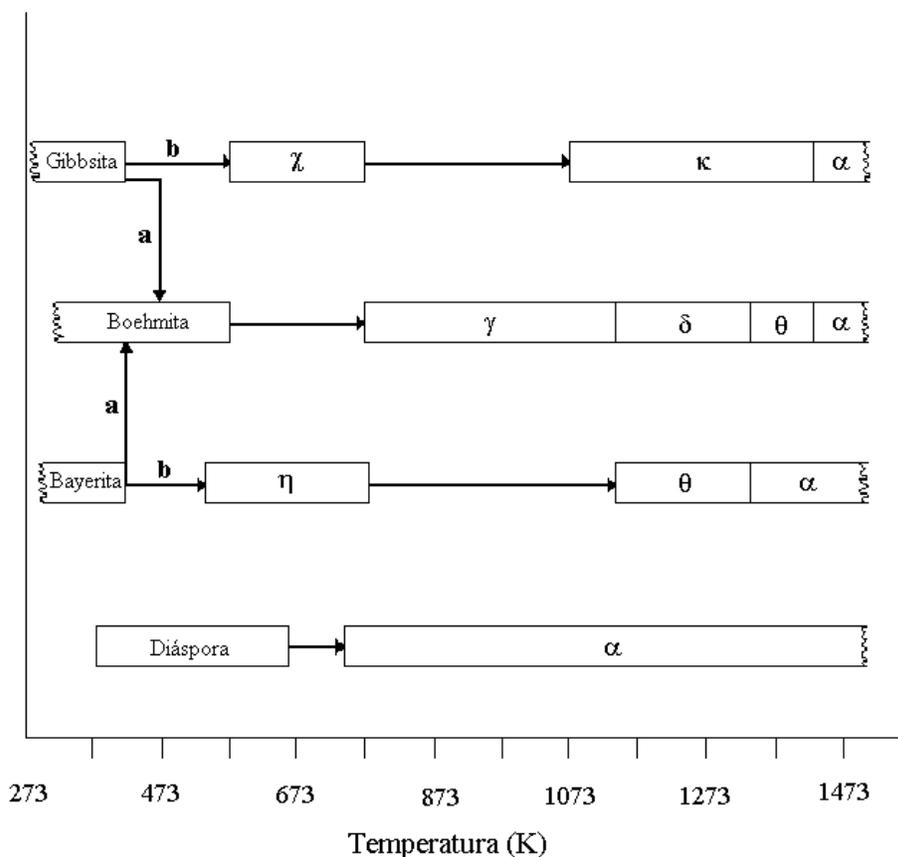
<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Av. Universidad km. 7.5, Col. Santa Isabel, Coatzacoalcos, Veracruz, México, 96538, México

### INTRODUCCIÓN

El aluminio constituye el tercer elemento en abundancia en la corteza terrestre. El mineral conocido bauxita (Les Baux, Provence, Francia) laterítica (aproximadamente 53%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 7%  $\text{SiO}_2$ , 15%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 3%  $\text{TiO}_2$  [1]), constituye la materia prima para la obtención de aluminio a escala industrial. La mayor parte de la producción mundial de bauxita (220 000 000 ton en 2011) proviene de Australia, China, India y Guinea [2]. El proceso Bayer es el método empleado a escala industrial para extraer el aluminio (como  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , rendimiento de ~50 % p) de la bauxita [3]. Posteriormente, la mayor proporción de la alúmina así producida (85%) se dedica a la obtención de aluminio metálico mientras que el restante se emplea en la manufactura de diversos productos químicos, teniendo éstos diversas aplicaciones tales como adsorbentes, cerámicos, aislantes, etc. De particular interés para la industria de refinación del petróleo es el empleo de alúmina como soporte de catalizadores aplicables a diferentes procesos de transformación de corrientes derivadas del petróleo, para convertirlos en productos de alto valor agregado. Asimismo, existen procesos en los que la alúmina misma es el material catalítico. Las diversas rutas de procesamiento a las que pueden someterse los precursores de alúmina (precipitación, tratamientos hidrotérmicos, etc.) determinan su estructura y propiedades, las cuales dependerán directamente de la aplicación específica a la que el material se destine.

Diferentes fases de alúmina ( $\gamma$ ,  $\sigma$ , etc.) obtenidas, por ejemplo, por tratamiento térmico a diversas temperaturas (Figura 1), pueden aplicarse en diversos esquemas de reacción. En este trabajo se muestra como ejemplo el uso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  calcinado a diferente severidad en la reacción de deshidratación de 2-propanol a propileno. Es probable que este tipo de reacciones en donde se obtiene una olefina de alto valor agregado a partir de un alcohol (cuya fuente podría ser biomasa) revistan gran importancia en el futuro próximo dada la disminución en la disponibilidad de combustibles fósiles, fuente tradicional de olefinas para la industria petroquímica. En Brasil, por ejemplo, la producción de etileno proveniente de la deshidratación de biotanol es ya económicamente viable tanto por la alta disponibilidad de caña de azúcar en este país (lo cual ha impulsado el desarrollo de tecnología propia encaminada este fin) como por los precios del petróleo siempre a la alza.

La población y tipo de sitios activos sobre el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , así como la capacidad de los mismos para catalizar la deshidratación de iso-propanol varía con la fase de la alúmina bajo estudio. Se mostrará cómo pueden adecuarse las características del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (textura, propiedades superficiales, etc.) para la preparación de sólidos de actividad maximizada.



**Figura 1.-** Secuencia seguida durante la descomposición de hidróxidos de aluminio y transformaciones de fase de la alúmina (3).

## SECCIÓN EXPERIMENTAL

### Preparación de materiales

Para evitar la influencia de impurezas contaminantes que pudiera afectar las propiedades de la alúmina se preparó el óxido utilizando la técnica sol-gel, empleando como precursor al tri-sec-butóxido de aluminio (AISB, Aldrich), un alcóxido que se sintetiza industrialmente a partir de la reacción de Al con sec-butanol. El AISB se disolvió en iso-propanol y se realizó una hidrólisis controlada, a baja temperatura (5 °C) y en presencia de agente complejante (ácido acético) para obtener un sol de oxi-hidróxido de aluminio que por secado a vacío (temperatura ambiente) se transformó en el correspondiente gel [2]. Posteriormente, a través de calcinación bajo atmósfera estática de aire a diferentes temperaturas se prepararon muestras de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con diferentes propiedades texturales y superficiales. La textura de los materiales preparados se estudió por fisorción de  $\text{N}_2$  a baja temperatura (77 K).

### Estudios cinéticos

Las diferentes muestras de alúmina obtenidas se estudiaron en la deshidratación de iso-propanol a propileno, reacción que no requiere de sitios ácidos superficiales fuertes por lo que puede correlacionarse con el número total de sitios ácidos [4].

Se operó en reactor tubular bajo régimen permanente y diferencial. Se alimentó una corriente de N<sub>2</sub> (LINDE) saturado con alcohol isopropílico (Baker) a temperatura ambiente, proveyéndose condiciones adecuadas a la eliminación de problemas de difusión externa e interna (régimen cinético). Se trabajó a presión atmosférica en tanto que la temperatura de reacción fue variada en el intervalo de 423 < T<sub>R</sub> < 513 K con el objetivo de disponer de los datos requeridos para el cálculo de las energías de activación aparentes. La selectividad se orientó a la producción de propileno (deshidratación), registrándose sólo ínfimas cantidades de acetona (deshidrogenación) e isopropil éter (dimerización). El cálculo de las velocidades de producción de propileno se realizó suponiendo un comportamiento de reactor tubular con flujo tapón, cuya ecuación basada en el balance de masa resulta (5):

$$\frac{W_c}{F} = \int \frac{dx}{R_{AM}} \quad (1)$$

Donde:  $R_{AM}$ : Velocidad total de formación de propileno por unidad de masa de catalizador (mol g<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>)  
 $W_c$ : masa de catalizador (g)  
 $F$ : velocidad de alimentación del reactante (mol s<sup>-1</sup>)  
 $x$ : conversión del reactante

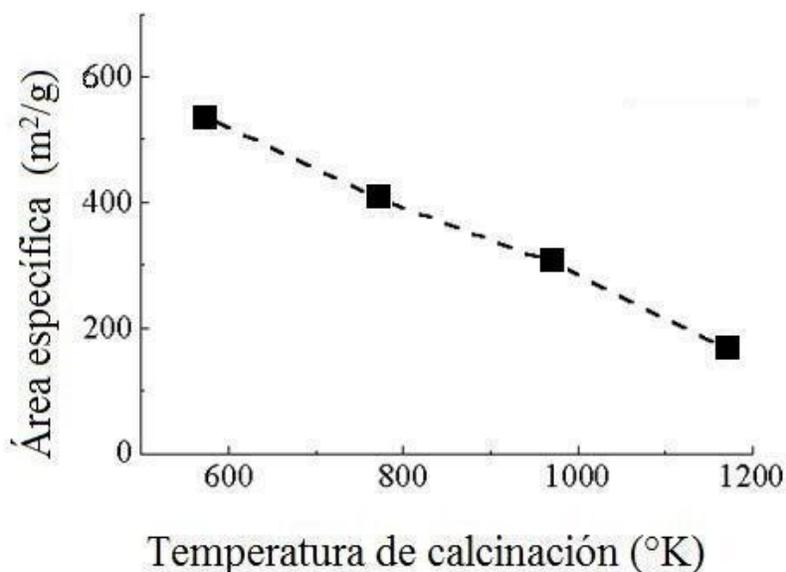
Re-arreglando e integrando luego de asumir que a bajas conversiones (régimen diferencial) la velocidad es constante e independiente de las demás variables, se obtiene:

$$R_{AM} = \frac{Fx}{W_c} \quad (2)$$

La identificación y cuantificación de reactivo y productos se efectuó por cromatografía de gases empleando un equipo Gow-Mac Series 750, provisto de un detector de ionización de flama (DIF).

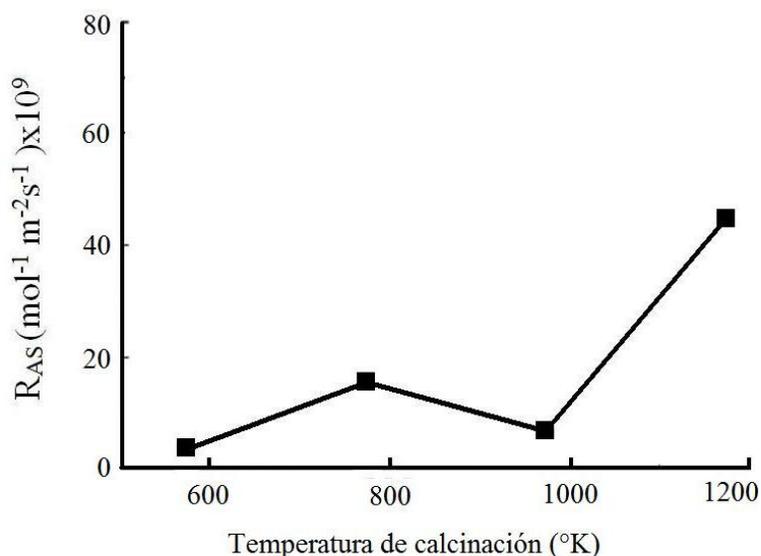
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tal como puede observarse en la Figura 2, el área específica de las muestras de alúmina disminuye con la temperatura de calcinación. Lo anterior puede atribuirse tanto a fenómenos de cambio de fase como a procesos de sinterizado [2].



**Figura 2.** Área específica de muestras de alúmina calcinada a distintas temperatura.

Por otro lado, se determinó que la velocidad de deshidratación del alcohol a olefina, por unidad de área aumenta con la severidad del tratamiento al que se somete el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Figura 3. Esto sugiere que la población ó la actividad (o ambas) de los sitios superficiales que catalizan la reacción, se incrementa notablemente en el sólido de menor área específica (calcinado a 1173 K).



**Figura 3.** Velocidad de reacción (por unidad de área de catalizador, deshidratación de iso-propanol) sobre muestras de alúmina calcinada a distintas temperatura. Reactor de flujo,  $T_R=473 \text{ K}$ ,  $P=\text{Atmosférica}$ .

Con la finalidad de determinar la causa de las mejores propiedades deshidratantes del óxido tratado a las condiciones más severas se linealizó la gráfica de Arrhenius:

$$k = A e^{(-E_a / RT)} \quad (3)$$

Donde:  $k$ = Constante cinética

$A$ =Factor de frecuencia

$E_a$ =Energía de activación

$R$ = Cte. Universal de los gases

$T$ = Temperatura absoluta

La correspondiente gráfica de  $\ln A$  vs.  $E_a$  se muestra en la Figura 4. Considerando que el factor de frecuencia se relaciona al número de sitios activos y que los mejores sitios superficiales son aquellos que proveen una ruta de reacción más favorable (y, por ende, de menor  $E_a$ ), resulta evidente que el material calcinado a 1173 K posee una cantidad adecuada de centros deshidratantes que promueven la reacción a través de una ruta favorable. Por contraste, aunque el óxido tratado a 773 K presenta sitios capaces de producir la olefina a través de sitios que requieren mucha menor energía de activación, la población de tales centros es baja, reflejándose lo anterior en mucha menor capacidad deshidratante (Figura 3).

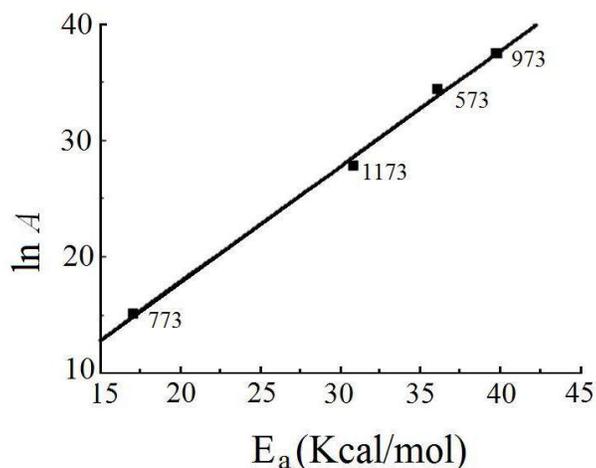


Figura 4. Gráfica de logaritmo natural del factor de frecuencia vs. energía de activación, para muestras de alúmina calcinadas a distinta temperatura. Deshidratación de iso-propanol, reactor de flujo,  $T_R=473$  K,  $P$ =Atmosférica.

Por otra parte, la muy baja actividad del sólido calcinado a 973 K se debió tanto a su bajo número de sitios activos como a la alta  $E_a$  que requieren para catalizar la reacción. Finalmente, la capacidad deshidratante de la alúmina puede modularse a través de tratamientos de calcinación a diversas temperaturas, modificándose así las propiedades texturales superficiales (número y naturaleza de sitios activos) que determinan la actividad en la transformación del alcohol a la olefina.

## CONCLUSIONES

La capacidad deshidratante de la alúmina puede modularse a través de tratamientos de calcinación a diversas temperaturas, que originan fenómenos de sinterizado y cambio de fase. Las propiedades texturales y superficiales (número y naturaleza de sitios activos) que posea el óxido final determinarán su actividad en la transformación del alcohol a la olefina. Lo anterior, demuestra que es posible diseñar, a través de un procesamiento sencillo, materiales con características optimizadas a la aplicación específica. Las transformaciones fisicoquímicas que manifiesta la alúmina al pasar a través de sus diferentes fases, proveen una ruta de síntesis adecuada a la preparación de sólidos aplicables al esquema de reacción estudiado.

## REFERENCIAS

1. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2012.
2. Escobar J., Tesis Doctoral, UAM-I, México (2001).
3. Lippens B. C. y Steggerda J. J., "Physical and Chemical Aspects of Adsorbents and Catalysts", (Linsen B. G., ed.), Academic Press, New York (1970).
4. Narayanan C. R., Srinivasan S., Datye A. K., Gorte R. y Biaglow A., J. Catal. 138 (1992) 659.
5. Smith J. M., "Ingeniería de la Cinética Química", CECSA, México (1993).
- 6.

**DR. IGNACIO S. TORRES ALVARADO, EN MEMORIAM**  
**- UNA VISTA PERSONAL DE UNA COLABORACIÓN DE 25 AÑOS-**

Thomas Kretzschmar

*Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera  
Ensenada-Tijuana No. 3918, Ensenada, Baja California 22860, México*

[tkretzsc@cicese.mx](mailto:tkretzsc@cicese.mx)

**RESUMEN**

Nuestro amigo y colega Ignacio Torres falleció inesperadamente después de 15 de enero de 2012 después de un chequeo médico de rutina a la edad de 47 años. Posteriormente, Ignacio continuó su carrera académica en Alemania donde su servidor conoció a Ignacio como participante en un programa de especialidad de un año de "Geohidrología y problemas geotécnicos en las regiones tropicales y subtropicales" de la Universidad Eberhard Karls de Tubinga (1988-1989). Durante este programa se inicio una amistad personal y colaboración profesional que duró los siguientes casi 25 años. Cuando volvió a Tubinga en 1990 para iniciar sus estudios de doctorado sobre "interacciones agua-roca en el campo geotérmico de Los Azufres, México: investigaciones mineralógicas, geoquímicas e isotópicas termoquímicos-" con M. Satir y Metz P. en el Instituto de Mineralogía, Petrología y Geoquímica se pudo profundizar la colaboración profesional en las áreas de hidrogeoquímica y mineralogía atendiendo las dudas de los respectivas tesis. Durante este tiempo se hizo presencia por primera vez en el congreso de Water/Rock Interaction (WRI-8) presentando los proyectos de tesis en Vladivostok, Rusia en 1995. Ignacio regresó a México para iniciar una próspera carrera académica en el Centro de Investigación en Energía (CIE) de la UNAM en Temixco en el área de geotermia. La colaboración continuó con la participación de Ignacio en un proyecto de investigación relacionado con la evolución geoquímica de la cuenca del Lago Lucero, White Sands, Nuevo México, lo cual se presento en el congreso WRI-10 en Villasimius, Italia. Nuestra participación en el grupo de Water/Rock Interaction culminó con la impartición del decimotercero congreso de WRI en Guanajuato en 2010 para lo cual Ignacio fungió como coeditor e integrante elemental del comité científico para la preparación y realización del congreso y su éxito.

La colaboración en proyectos de investigación continuó con su integración a los proyectos relacionados con la evaluación de las cuencas vitivinícolas en Baja California en 2002, los cuales apoyo con su valioso conocimiento en el área de interacción agua/roca hasta su fallecimiento. Su ida tan inesperada dejo un enorme hueco en los proyectos y publicaciones pendientes sin embargo su amistad y el profesionalismo serán recordados siempre por su amigo y colega.

**DR. IGNACIO S. TORRES ALVARADO AS FRIEND AND SCIENTIFIC COLLABORATOR ABOUT THE EARLY HISTORY OF THE TRANS MEXICAN VOLCANIC BELT**

Matthias Hinderer

*Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Darmstadt, Schnittspahnstr. 9, 64287 Darmstadt, Alemania. [hinderer@geo.tu-darmstadt.de](mailto:hinderer@geo.tu-darmstadt.de)*

**ABSTRACT**

It was a happy new years eve in 1988 in Germany, when I got in touch with Ignacio and since then we remained very close friends. Still being students, we had a lot of fun and I learned more about Europe, European culture and certainly about Mexico than I knew before when Ignacio stayed in Germany for his master and PhD from 1988 to 1996. We traveled to many places in Germany, France, The Netherlands, Belgium, Schottland, Russia, Italy, Switzerland, and Austria and visited various concerts, operas and cinema events. In 1996, it was the first time when we travelled through central Mexico and I stayed some time with his family. All this time together, common events, personal and emotional moments came to my mind when I heard that Ignacio passed away on 15 th January 2012. I was shocked and could not believe to having lost this dear friend that unexpected and early.

We were still full of plans to meet again and continue with our research on the early history of the Transmexican Volcanic Belt. This research also started with a personal touch, when we climbed up the pyramide of Tepozteco in Tepoztlán close to Ignacios home town Cuernavaca in 1996. When I became professor, I sent the first German students to Mexico and Ignacio and me initiated a geological mapping programme of the Formación Tepoztlán at the southern rim of the central Transmexican Volcanic Belt. One master thesis also dealt with the modelling of acid geothermal waters in Los Humeros, a topic which was initiated and scientifically supervised by Ignacio (Bienkowski et al., 2005). Altogether, 9 German students came to stay in the region for several weeks up to several months. Without the generous support of Ignacio this kind of students exchange would not have been possible. When we started in 2002, little was known about the up to 1000 m thick succession of volcanoclastic rocks which make up the spectacular scenery of Tepoztlán and Malinalco. Based on the created geological maps and our ideas which developed over the years, Ignacio and me successfully applied for a research grant with the German Research Foundation. This allowed deeper research by a PhD student and led to several publications (Lenhardt et al., 2010a; Lenhardt et al., 2010b).

The outcome was the first volcanological and sedimentological model and chronological frame for this early Miocene episode when the Transmexican Volcanic Belt was initiated.

The geochemical part was almost ready for publication by Ignacio and delayed because of this engaged work in the new master program on renewable energies at the Centro de Investigación en Energía of UNAM in Temixco. It is one of the gaps which appeared with Ignacio's death. However, by far more painful is the loss of a wonderful friend. This gap will never being closed in my mind.

- Bienkowski, R., Torres Alvarado, I.S. & Hinderer, M. (2005): Geochemical modeling of acid fluids in Los Humeros Geothermal Field. – Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- Lenhardt, N., Böhnell, H., Wemmer, K., Torres Alvarado, T.S., Hornung, J. & Hinderer, M. (2010a): Petrology, magnetostratigraphy and geochronology of the Miocene volcanoclastic Tepoztlán Formation: implications for the initiation of the Transmexican Volcanic Belt (Central Mexico). *J. of Volcanology and Geothermal Res.*, 72/7: 817-832.
- Lenhardt, N., Hornung, J., Hinderer, M., Böhnell, H., Torres Alvarado, I.S. & Trauth, N. (2010b): Build-up and depositional dynamics of a proximal arc front volcanoclastic complex: The Miocene Tepoztlán Formation (Transmexican Volcanic Belt, Central Mexico). *Sedimentology* 58/3: 785-823.

## CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS DE EQUILIBRIO DE FLUIDOS TERMALES: MANANTIALES EN LA REGIÓN CENTRO-ESTE DE SONORA, MÉXICO

Erika Almirudis-Echeverría<sup>a, \*</sup>, Ignacio Torres-Alvarado<sup>b, †</sup>, Edgar Santoyo Gutiérrez<sup>b</sup>, Mirna Guevara-García<sup>b</sup>, Francisco A. Paz-Moreno<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Posgrado en Ingeniería (Energía), Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, Temixco, Morelos 62580, México.

<sup>b</sup> Departamento de Sistemas Energéticos, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, Temixco, Morelos 62580, México.

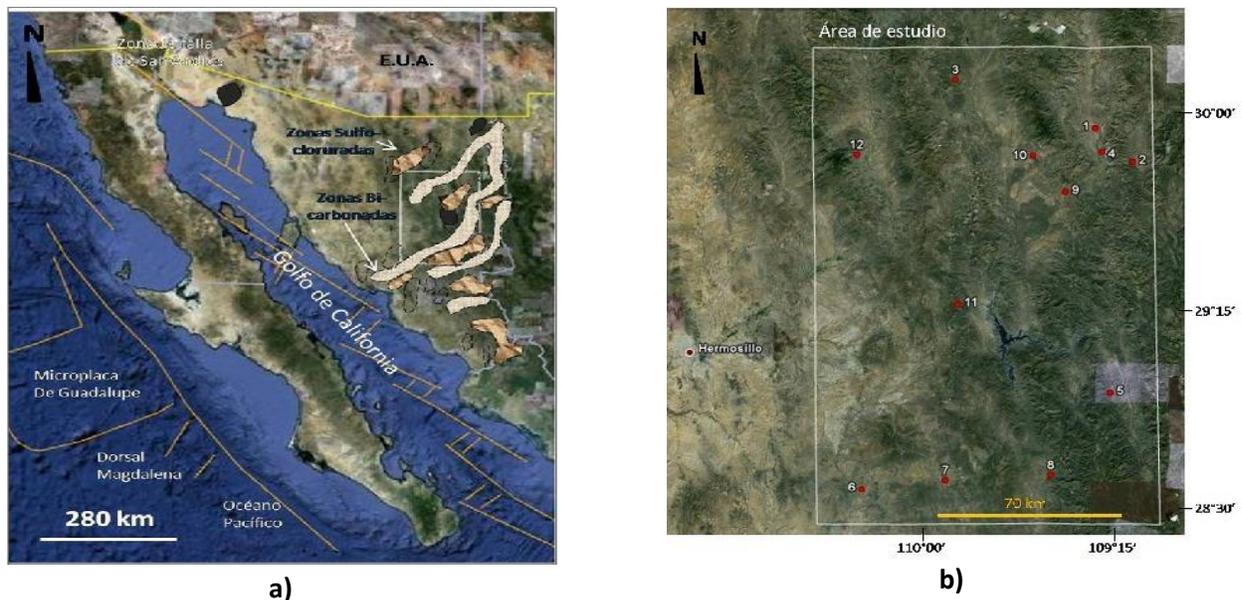
<sup>†</sup> Fallecido en enero de 2012.

<sup>c</sup> Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas s/n, Hermosillo, Sonora, 83000, México.

\* [erale@cie.unam.mx](mailto:erale@cie.unam.mx)

### INTRODUCCIÓN

Una región potencial de México para llevar a cabo estudios de exploración geotérmica se encuentra en la porción centro-este del estado de Sonora. Además de los campos geotérmicos actualmente en explotación para la producción de electricidad (Cerro Prieto en Baja California, Los Azufres en Michoacán, Los Humeros en Puebla y Las Tres Vírgenes (LTV) en Baja California Sur), el territorio nacional cuenta con gran actividad tectónica y volcánica que ha dado lugar a varios sistemas hidrotermales. Sonora, además de tener manantiales termales ampliamente distribuidos, cuenta con volcanismo Cuaternario [1], una tectónica distensiva de tipo *Basin and Range* activa desde el Oligoceno y la apertura del Golfo de California desde el Mioceno (Fig. 1).



**Fig. 1.** a) Noroeste de México mostrando patrón tectónico del Golfo de California, zonas con basaltos recientes (negro) [1] y división en zonas hidrogeoquímicas [5]. b) Región centro-este del Estado de Sonora y localidades con manantiales termales muestreados (1. Huásabas-HSB, 2. Bacadéhuachi-BCH, 3. Cumpas-CMP, 4. Granados-GRN, 5. Arivechi-ARV, 6. San Marcial-SMR, 7. Tecoripa-TCP, 8. Tónichi-TCH, 9. Divisaderos-DVS, 10. Tonibabi-TNB, 11. Mátape-MTP y 12. Aconchi-ACH).

Este régimen tectónico define a la Provincia Geotérmica de la Cresta Oceánica del Golfo de California, ubicándose hacia el norte de ésta la zona el Riíto, en Sonora sobre la falla Cerro Prieto, donde se han estimado temperaturas de yacimiento entre 126 y 192 °C [2]. Anteriormente se ha destacado la presencia de una zona de altas temperaturas de equilibrio de fluidos geotérmicos en el noroeste de México [3], la cual inicia en Chihuahua y sigue la trayectoria del rift Río Grande. En Sonora, Durango y Chihuahua han sido reconocidas manifestaciones termales de tipo sódico-carbonatadas, orientadas con los alineamientos NNW-SSE y N-S de las fallas normales de la Provincia Geotérmica de la Sierra Madre Occidental [4]. En el caso de la porción este de Sonora se han delimitado zonas con potencial geotérmico que han sido estructuralmente relacionadas a las crestas de dispersión del Golfo de California, donde un modelo regional las relaciona a un sistema geotérmico de convección con acuíferos termales de alta y baja temperatura [5]. En ese contexto, como parte del desarrollo de un modelo geoquímico-termodinámico de los sistemas hidrotermales de la porción centro-este de Sonora (Fig. 1), en este trabajo se presentan los resultados de la caracterización química y análisis de los principales manantiales termales ahí presentes.

## METODOLOGÍA

La investigación se dividió en tres etapas generales: 1) trabajo de campo y muestreo de manantiales termales, 2) análisis químico de los fluidos geotérmicos, y 3) análisis del sistema hidrotermal a partir de la concentración química de sus aguas. En la etapa de campo, en doce puntos del área de estudio se midieron diez veces consecutivas los parámetros físicos temperatura, pH y conductividad eléctrica. Se calcularon *in situ* y por triplicado las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos. Y por último, se tomaron muestras de 60 ml de los fluidos geotérmicos para la determinación de cationes, elementos traza y aniones; las muestras fueron filtradas, y a excepción de las muestras para aniones, acidificadas. El análisis químico de los fluidos se llevó a cabo en un laboratorio comercial (Actlabs), por ICP-OES e ICP-MS para cationes y elementos traza, y por Cromatografía iónica para aniones. Finalmente, a partir de los resultados se corroboró el balance iónico de las muestras y se realizó la clasificación hidrogeoquímica de las aguas, se hizo un estudio de su distribución espacial y se calcularon las temperaturas de yacimiento con el uso de geotermómetros de solutos, basados en las relaciones Na/K, K/Mg, Na-K-Ca y Na/Li, y de SiO<sub>2</sub>. Para estimar dichas temperaturas se utilizaron las ecuaciones de [6], [7], [8], [9] y [10].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los manantiales termales de Sonora central fueron clasificados en función de: 1) la litología por la cual emanaban y 2) su distribución espacial dentro del área de estudio (zonas norte, centro y sur). La primera clasificación comprendió a cuatro unidades geológicas: calizas del Mesozoico, granitoides laramídicos, ignimbritas del complejo volcánico superior de la Sierra Madre Occidental, y sedimentos recientes (Fm. Báucarit y aluvión). De los parámetros físicos medidos en campo, las temperaturas superficiales más altas (hasta 63.1 ± 0.6 °C) fueron encontradas en los manantiales de granitoides, el pH en general fue neutro y la conductividad eléctrica mayor (Fig. 2a) se ubicó en una franja norte-sur del área de estudio con los puntos Tónichi, Tonibabi, Granados y Divisaderos (hasta 3,670 ± 220 microS/cm).

A partir de los resultados del análisis químico de cationes y aniones se obtuvo un desbalance iónico porcentual que osciló entre 0.23 y 8.41%, siendo menor al 5% en la mayoría de los manantiales. Con el uso de los diagramas de Piper, Shoeller y Stiff, además de interpolaciones (Fig. 2) de cada elemento dentro del área de estudio, se observó que: A) La zona centro corresponde a una zona de aguas bicarbonatadas-cálcicas con alto

Mg. B) La zona sur corresponde a una zona con alto contenido en  $\text{SiO}_2$  y F, de aguas sulfatadas sódicas hacia el oeste y cloruradas-sódicas con alto Li y K hacia el este. C) La zona norte está conformada por aguas sulfatadas-sódicas que van disminuyendo en su contenido en TDI de este a oeste, en particular en  $\text{SO}_4$ , Na, K y Li, y aumentando a su vez el contenido en  $\text{SiO}_2$  y F, y por aguas bicarbonatadas-sódicas en su porción sureste. El manantial Divisaderos sobresale en la zona siendo el de mayor contenido en TDI, Na, K, Li, Ca,  $\text{HCO}_3$  y Mg.

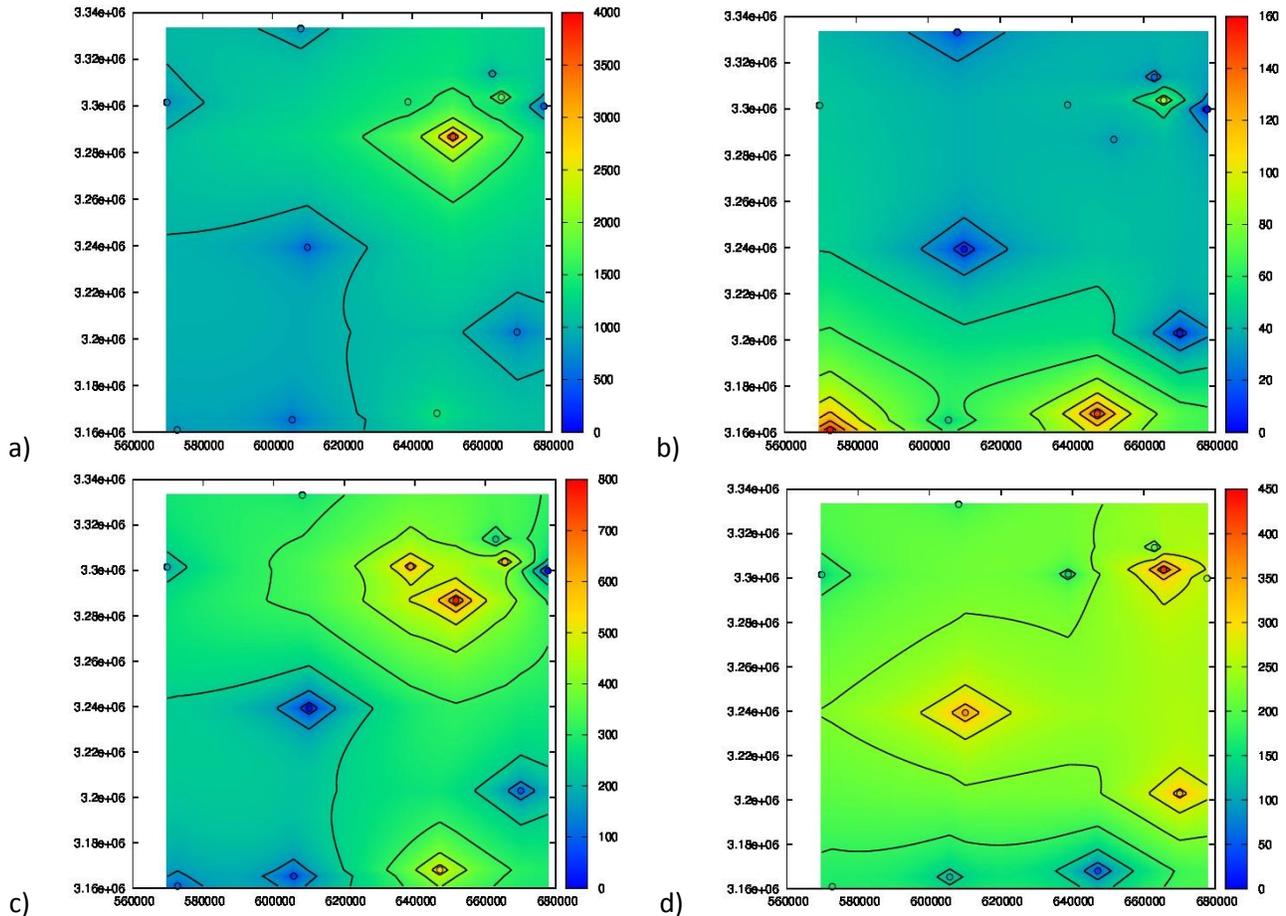


Fig. 2. Interpolación de a) TDI, b) Cl, c)  $\text{SO}_4$  y d)  $\text{HCO}_3$  sin Divisaderos, cuyo valor es de 2559.37 mg/kg. Isolíneas cada 500 microS/cm, 16 mg/kg, 80 mg/kg y 45 mg/km, respectivamente.

Para evaluar la evolución temporal de las aguas termales de Sonora central se obtuvo la diferencia porcentual de los resultados con respecto a datos reportados a mediados de los 80's [5]. De manera general, se observó que las concentraciones de TDI disminuyeron. En los aniones, en todos los casos el contenido en Cl fue menor, en  $\text{SO}_4$  fue variable, disminuyendo casi el 100% en Bacadéhuachi y aumentando más del 50% en Arivechi, y en  $\text{HCO}_3$  en la mayoría aumentó, de manera particular en Divisaderos y Granados cerca del 100%. En los cationes la mayoría de las diferencias fueron positivas: aumento de K, Ca, Mg y  $\text{SiO}_2$ , y hubo disminución de Na, y en Bacadéhuachi y Arivechi, de Li.

Como parte de un análisis regional los resultados fueron comparados con un conjunto de muestras de aguas sulfatadas-sódicas de LTV [11]. De manera general, en el diagrama de Piper se observa menor contenido en Cl y mayor en Na+K en las aguas de la región centro-este de Sonora (Fig. 3). En los diagramas de Schoeller se observa que las aguas de la zona norte presentan un patrón similar al del manantial El Palmito (LTV), con

concentraciones de iones ligeramente menores, anomalías inversas de Na y K y mucho menor contenido en Li. El manantial Divisaderos presenta un patrón muy similar en cationes a El Azufre (LTV), con menor contenido en Na, y en aniones pero de un orden de magnitud menor. Los manantiales de la zona centro presentan un patrón similar al de El Azúfre, con anomalías inversas de Na. Y finalmente la zona sur no presenta patrones como los de LTV, siendo el más parecido el del manantial Tónichi con El Palmito (LTV), con anomalías inversas de Na y K, y menores concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  y Li.

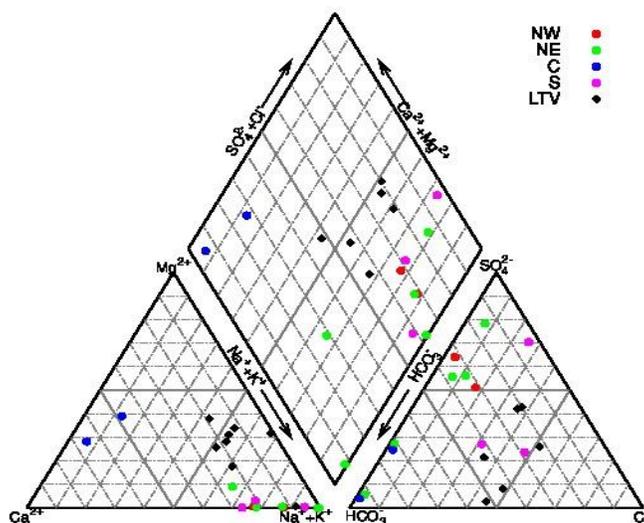


Fig. 3. Diagrama Piper con clasificación química de aguas mostrando zonas de la región centro-este de Sonora y conjunto de aguas de LTV, Baja California Sur [11].

De acuerdo al diagrama ternario Na-K-Mg [9] ninguno de los manantiales termales su ubica sobre la línea de equilibrio, la zona centro se ubica en el vértice del Mg del diagrama, y el resto en la región de equilibrio parcial con temperaturas entre 75 y 175 °C (Fig. 4a). Las temperaturas estimadas de yacimiento más elevadas se encontraron en la zona centro, a excepción de las calculadas con los geotermómetros de  $\text{SiO}_2$  [7] y K/Mg [9] que dieron las temperaturas más bajas, seguidas de los manantiales que emanan de granito de las zonas norte y sur, y los que emanan de sedimentos arrojaron las temperaturas menores. El escenario más pesimista se obtuvo con el geotermómetro K/Mg [9] con temperaturas menores a 100 °C, mientras que el más favorable se obtuvo con el de Na-K-Ca [10] con algunas temperaturas mayores a 200 °C, la mínima de 96 °C y la máxima de 336.4 °C. Con los geotermómetros de Na/K [6], [7] y [8] se obtuvieron patrones casi paralelos a este último geotermómetro pero con temperaturas menores, las más optimistas alrededor de los 200 °C (Fig. 4b). Todas las temperaturas fueron corroboradas con el software SolGeo [12], a excepción de los geotermómetros Na-K-Ca, con el que resultaron temperaturas negativas, y  $\text{SiO}_2$ , con el que no se obtuvieron resultados.

## CONCLUSIONES

Debido a la serie de manifestaciones termales y la influencia volcánica y tectónica del centro-este del estado de Sonora, en esta región se realizó un muestreo de doce manantiales con el fin de desarrollar un modelo geoquímico-termodinámico de los sistemas hidrotermales por los que son alimentados. Los resultados de campo muestran que las temperaturas superficiales mayores se encuentran en los manantiales que emanan de

granito laramídico en los límites de sierra, mientras que las menores de sedimentos recientes en los valles. El análisis geoquímico revela que la mayoría de los manantiales de las zonas norte y sur corresponden a aguas sulfatadas-sódicas, y de la zona centro a bicarbonatadas-cálcicas. La zona sur contiene mayor contenido de  $\text{SiO}_2$  y Cl, y en la zona noreste el manantial Divisaderos, de aguas bicarbonatadas-sódicas, contiene valores muy elevados de TDI en general. Las temperaturas de yacimiento estimadas mostraron varios patrones en función del geotermómetro utilizado, indicando en general que se trata de aguas en equilibrio parcial de sistemas de temperatura media.

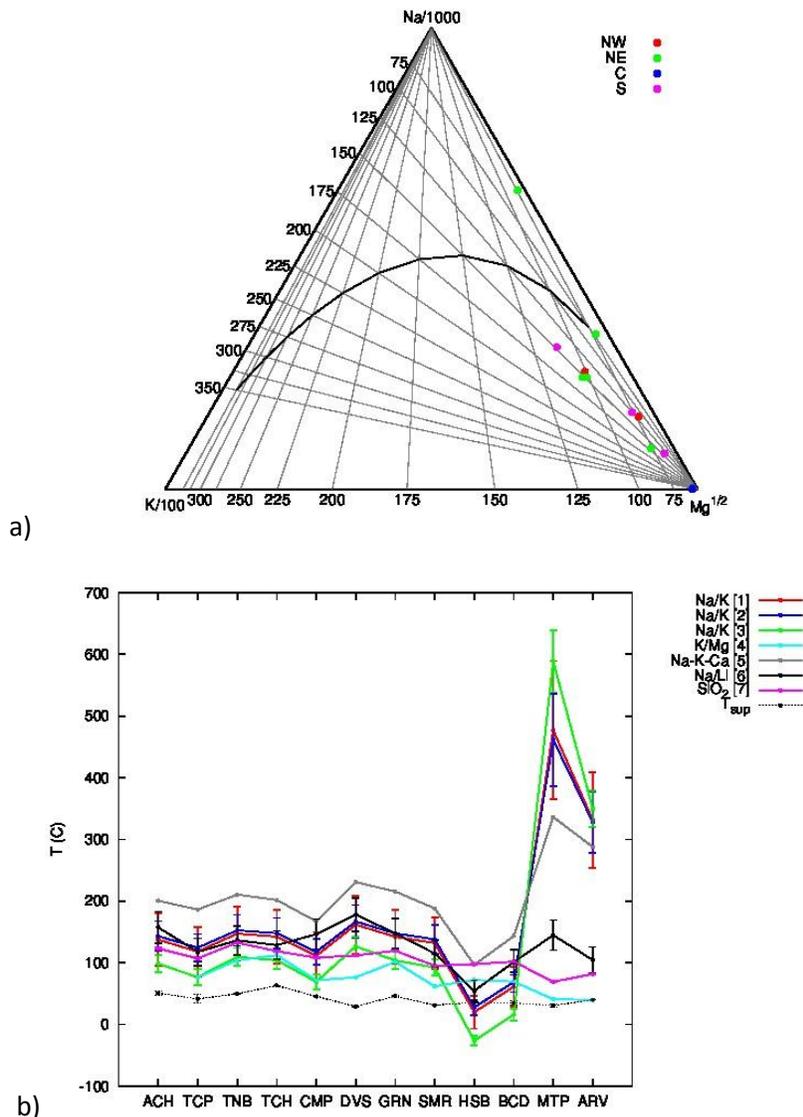


Fig. 4. a) Diagrama ternario Na-K-Mg [9] con manantiales de la región centro-este de Sonora, curva de equilibrio construida con geotermómetros Na/K [7] y K/Mg [9]. b) Temperaturas de equilibrio estimadas con geotermómetros químicos. Número en leyenda corresponde a: 1 [6]; 2, 6 y 7 [7]; 3 [8]; 4 [9] y 5 [10].

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Dr. Ignacio Torres, quien fuera director del presente trabajo, por su apoyo y entusiasmo siempre mostrados. Esta investigación forma parte del desarrollo de tesis de maestría del primer autor, titulada: **“Modelado Geoquímico-Termodinámico en Sistemas Hidrotermales: Región centro-este del estado de Sonora, México”**, financiada por el proyecto **PAPIIT IN115611** a cargo del Dr. Edgar Santoyo. Se extiende un agradecimiento a la DCEN y al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por el apoyo financiero, en equipo e instalaciones, así como a la Dra. Ruth Villanueva del Instituto de Geofísica de la UNAM por el préstamo de equipo, brindado durante la etapa de campo.

## REFERENCIAS

1. Paz-Moreno F., Demant A., Cochemé J., Dostal J. y Montigny R. (2003). The Quaternary Moctezuma Volcanic Field: a tholeiitic to alkali basaltic episode in the central Sonoran Basin and Range Province, Mexico. *Geological Society of America, Special Paper 374*, 439-455.
2. Barragan R., Birkle P., Portugal E., Arellano V. y Alvarez H. (2001). Geochemical survey of medium temperature geothermal resources from the Baja California peninsula and Sonora, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 110, 101–119.
3. Prol-Ledesma R. y Juarez, G. (1986). Geothermal map of Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 28, 351–362.
4. Torres V., Arellano V., Barragan R., Gonzalez E., Herrera J., Santoyo E. y Venegas S. (1993). *Geotermia en México*. Programa Universitario de Energía, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM.
5. Verdugo-Mariscal (1983). Geotermia en Sonora. Tesis de Maestría en Ciencias Geología, Universidad de Sonora, México.
6. Fournier R. (1979). A revised equation for the Na/K geothermometer. *Geothermal Resources Council*, 3, 221–224.
7. Verma S. y Santoyo E. (1997). New improved equations for Na/K, Na/Li and SiO<sub>2</sub> geothermometers by outlier detection and rejection. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 79, 9–23.
8. Díaz-González L., Santoyo E. y Reyes-Reys J. (2008). Tres nuevos geotermómetros mejorados de Na/K usando herramientas computacionales y geoquimiométricas: aplicación a la predicción de temperaturas de sistemas geotérmicos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25, 465–482.
9. Giggenbach, W. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochemica and Cosmochemica Acta*, 52, 2749–2765.
10. Fournier R. y Truesdell A. (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochemica and Cosmochemica Acta*, 37, 1255–1275.
11. Portugal E., Birkle P., Barragán R., Arellano V., Tello E. y Tello M. (2000). Hydrochemical-isotopic and hydrogeological conceptual model of the Las Tres Vírgenes Geothermal Field, Baja California Sur, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 101, 223–244.
12. Verma S.P., Pandarinath K. y Santoyo E. (2008). SolGeo: A new computer program for solute geothermometers and its applications to Mexican geothermal fields. *Geothermics*, 37:6, 597-621.

## ESTUDIOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DE ROCAS VOLCÁNICAS Y SU APLICACIÓN POTENCIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ROCAS ALTERADAS HIDROTHERMALMENTE EN ÁREAS GEOTÉRMICAS

Kailasa Pandarinath<sup>\*,a</sup>, Rajashekaraiah Shankar<sup>b</sup>, Ignacio S. Torres-Alvarado<sup>a,t</sup> y Anish Kumar Warriar<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Sistemas Energéticos, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/n., Col Centro, Apartado Postal 34, Temixco, Mor. 62580, México.*

<sup>b</sup> *Departamento de Geología Marina, Universidad de Mangalore, Mangalagangothri, 574199, Karnataka, India.*

*\*E-mail: [pk@cie.unam.mx](mailto:pk@cie.unam.mx)*

### RESUMEN

La distribución de una zona de minerales de alteración hidrotermal provee información sobre la dimensión del sistema geotérmico, la naturaleza de los procesos de interacción agua-roca y las condiciones térmicas dominantes en la profundidad, todos estos aspectos de gran importancia durante la etapa inicial de la exploración geotérmica. El valor de la susceptibilidad magnética de una materia es directamente proporcional a la concentración de los minerales magnéticos en esa materia. Debido a la interacción de rocas volcánicas con fluidos hidrotermales, los minerales magnéticos, así como otros minerales primarios con valores apreciables de susceptibilidad magnética, serán alterados a minerales de valores relativamente más bajos de susceptibilidad magnética. Por este motivo, la susceptibilidad magnética de las rocas volcánicas (de una zona litológicamente similar) puede ser un buen indicador para la identificación de las rocas alteradas hidrotermalmente.

Los estudios de rocas provenientes de dos pozos del sistema geotérmico de Los Azufres han indicado una disminución en los valores de susceptibilidad magnética de las rocas con la profundidad, que corresponden a: (1) un aumento en la temperatura del yacimiento y la alteración hidrotermal, y (2) una disminución en las concentraciones de minerales como silicatos de Fe-Mg y minerales opacos. Los estudios también sugieren que: (1) en una unidad de roca (lito-unidad), los valores de la susceptibilidad magnética de las rocas alteradas hidrotermalmente será mucho menor que de las rocas originales (sin alteraciones); y (2) la susceptibilidad magnética de las rocas de los sistemas geotérmicos puede ser un parámetro útil en la etapa inicial de la exploración geotérmica durante identificación de las rocas/zonas alteradas hidrotermalmente en áreas geotérmicas.

### CONCLUSIONES

La susceptibilidad magnética de rocas volcánicas puede ser una herramienta útil, de bajo costo y eficiente, para la exploración de la industria geotérmica en la identificación de rocas y zonas alteradas hidrotermalmente.

## EXPERIMENTOS DE INTERACCIÓN FLUIDO-ROCA BAJO CONDICIONES DE ESTADO QUASI-ESTABLE: PRIMEROS ESFUERZOS ENCAMINADOS A PREDECIR EL TIEMPO ÓPTIMO DE LA REACCIÓN

Daniel Pérez-Záratea, Ignacio Torres-Alvarado†, Mirna Guevara, Edgar Santoyob\*

<sup>a</sup>Posgrado en Ingeniería Energía, Centro de Investigación en Energía (UNAM)

<sup>b</sup>Departamento de Sistemas Energéticos, Geoenergía, Centro de Investigación en Energía (UNAM), Privada Xochicalco S/N Temixco, Morelos, 62580, México.

\*esg@cie.unam.mx

### RESUMEN

Los estudios experimentales de interacción fluido-roca son una herramienta fundamental para determinar los mecanismos de reacción y velocidades de disolución/precipitación de minerales responsables de la alteración hidrotermal en sistemas geotérmicos convectivos. Los principales parámetros que controlan la velocidad de reacción incluyen: (i) el mecanismo cinético de disolución; (ii) el área de superficie reaccionante; (iii) la composición mineralógica; (iv) pH y temperatura del fluido; (v) la afinidad química de la solución disolvente; (vi) el tiempo de reacción; entre otros (Yadav y Chakrapani, 2006). Entre estos parámetros el tiempo de reacción ha sido identificado también como un factor clave para el diseño de experimentos de interacción fluido-roca optimizados, así como para inferir las concentraciones de solutos bajo condiciones teóricas de equilibrio. Los experimentos de disolución de minerales y rocas son generalmente realizados en condiciones de estado quasi-estable debido a que la velocidad de reacción disminuye con el tiempo y a que el estado estable teórico podría no ocurrir (Stefánsson y Arnórsson, 1999; White y Brantley, 2003). En relación con esto, se tienen grandes discrepancias en determinar el tiempo de reacción necesario para alcanzar las condiciones de equilibrio o estado estable en el diseño de un experimento de interacción fluido-roca. Este tipo de experimentos son costosos, tediosos y consumen mucho tiempo en laboratorio. Actualmente no existe alguna metodología específica para predecir el tiempo de reacción óptimo o requerido para experimentos de interacción fluido-roca.

En este trabajo se propone una metodología matemática-estadística para predecir el tiempo de reacción necesario para representar un estado quasi-estable en experimentos de interacción fluido-roca. La metodología fue aplicada exitosamente para reacciones de intercambio catiónico en feldespatos utilizando datos experimentales previamente publicados (Savage *et al.*, 1993: interacción de agua-granito a 200 °C, 50 MPa, valores de  $F/R$  de 2 y 10). Algunos modelos de regresión polinomial fueron utilizados para ajustar los datos de composición del fluido [dados por el  $\log(Na/K)$ ] con el tiempo de reacción ( $t$ ).

Con la aplicación de la nueva metodología se estimaron tiempos de reacción entre 3.8 y 5.0 meses para experimentos con una relación Fluido/Roca=2, mientras que para relaciones Fluido/Roca=10, los tiempos estimados indicaron valores entre 12.7 y 28 años.

### REFERENCIAS

- Yadav S.K., Chakrapani G.J., Current Science, 90:7, 932 (2006).
- Stefánsson A., Arnórsson S., Geochimica Cosmochimica Acta, 64:15, 2567 (1999).
- White A.F., Brantley S.L., Chemical Geology, 202, 479 (2003).
- Savage D., Bateman K., Milodowski A.E., Hughes C.R. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 57, 167 (1993).

## ¿QUÉ NOS DICEN EDADES MODELO TDM ACERCA DE LA EVOLUCIÓN CORTICAL DEL BLOQUE MAYA?

Bodo Weber

*Departamento de Geología, CICESE, 22860 Ensenada B.C., México*

[bweber@cicese.mx](mailto:bweber@cicese.mx)

### RESUMEN

Una edad modelo TDM es una medida de tiempo calculada con base en razones isotópicas de un manto terrestre empobrecido (el modelo se basa generalmente en basaltos de dorsales oceánicas), la razón entre nucleído padre e hijo en dicho manto empobrecido (misma razón se deriva del tiempo transcurrido desde que la composición del manto evolucionó en forma distinta al promedio de la tierra) y la evolución isotópica de una muestra dada, que fue separada de este manto modelo y diferenciada químicamente [1]. El número resultante se refiere al tiempo cuando la muestra y el manto modelo tenían la misma composición isotópica. Es obvio que este número está lleno de incógnitas y generalmente no es posible asignar una edad TDM a un evento geológico [2]. No obstante, edades modelo TDM, que se utilizan tanto para los sistemas isotópicos Sm-Nd [1,2] como Lu-Hf [3] aportan información valiosa para entender el origen de la corteza, siempre y cuando la edad de la roca sea conocida por otros métodos. Esencialmente, el valor épsilon inicial ( $\epsilon(\text{Nd})_i$  y  $\epsilon(\text{Hf})_i$ ) aporta una información parecida, sin embargo es difícil reconocer fuentes corticales similares con los valores épsilon en cuando las muestras tengan una edad de cristalización diferente. En rocas sedimentarias la información que se obtiene con ambos sistemas isotópicos es relacionada al ambiente geoquímico de los protolitos de donde proviene el material detrítico. La ventaja del sistema isotópico Lu-Hf sobre el de Sm-Nd radica en la posibilidad de obtener resultados de zircones detríticos individuales de los cuales se obtiene también la edad de cristalización por el método U-Pb [4,5].

En este trabajo se presentan datos isotópicos de Sm-Nd en roca total y Lu-Hf en zircón fechado por U-Pb tanto de rocas sedimentarias como de rocas ígneas y metamórficas del Paleozoico del Bloque Maya [4]. Las rocas sedimentarias del Paleozoico temprano en las Montañas Maya en Belice tienen edades modelo TDM(Nd) entre 1.85 y 2.06 Ga; los zircones detríticos son esencialmente mesoproterozoicos y tienen edades modelo TDM(Hf) entre 1.70 y 2.05 Ga y algunos zircones provienen de corteza más antigua. Granitos tipo S de edad silúrica, que intrusionan a estos sedimentos tienen TDM(Nd) de 1.41-1.52 Ga y TDM(Hf) de 1.42-1.57 Ga [4]. Estos resultados indican que los fuentes de los zircones detríticos provienen de corteza continental antigua al tiempo de su cristalización y que esta corteza es distinta a la corteza inferior mesoproterozoica que aflora típicamente en el sur de México (Oaxaquia) [5]. En cuanto a los granitos tipo S, que se formaron por anatexis, es evidente que se fundió una corteza diferente a los protolitos de las rocas sedimentarias que intrusionan. Sus edades modelo son muy similares a las que típicamente se observan en Oaxaquia (tanto para Nd como para Hf), por lo que se sugiere la presencia de corteza inferior mesoproterozoica debajo de las secuencias del Paleozoico temprano. Comparando los resultados de Belice con datos de Sm-Nd del Macizo de Chiapas, es posible reconocer con las edades modelo TDM tanto el efecto de aporte mantélico durante el magmatismo de la subducción en el Pérmico, las diferencias del aporte sedimentario en metasedimentitas del Paleozoico Superior y un posible rift continental pre-Ordovícico [6].

## REFERENCIAS

1. Allègre J.C. and Rousseau D. *Earth Planet. Sci. Lett.* 67, 19-34, (1984).
2. Arndt, N.T. and Goldstein S.L. *Geology*, 15, 893-895, (1987).
3. Vervoort J.D., Patchett P.J., Albarède F., Blichert-Toft J., Rudnick R., Downes H., *Earth Planet. Sci. Lett.* 181, 115-129, (2000).
4. Weber B., Scherer E.E., Martens U.K., Mezger K. *Chemical Geology*, 312-313, 1-17, (2012).
5. Weber B., Scherer E.E., Schulze C., Valencia V.A., Montecinos P., Mezger K., Ruiz J., *Precambrian Res.*, 182, 149-162, (2010).
6. Estrada-Carmona J., Weber B., Martens U., López-Martínez M., *International Geology Review*, (2012).

## METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN *IN SITU* DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA DEL SUELO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR

Oscar Silva-Aguilar\*, Jorge Andaverde, Artemio Benitez-Fundora.

*Centro de Investigación en Recursos Energéticos y Sustentables (CIRES), Universidad Veracruzana, campus Coatzacoalcos, Veracruz, México, 96538*

*\*ossilva@uv.mx*

### INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las propiedades térmicas de materiales geológicos son de suma importancia en aplicaciones de ingeniería e investigación físico-química. En el campo de la Geofísica las propiedades de la tierra que determinan la respuesta a los cambios de temperatura son: el calor específico volumétrico  $C_v$ , la conductividad térmica  $K$ , la densidad volumétrica  $\rho$  y el cociente,  $K/\rho C_v$ , conocido como difusividad térmica  $\alpha$ . Dichas propiedades están en función de sus componentes geoquímicos (minerales), porosidad y el contenido de agua, entre otras.

Un campo en desarrollo en el que las propiedades termofísicas del suelo y los datos meteorológicas son cruciales, es en el cálculo del flujo del calor en la tierra en diseño y simulación de los intercambiadores geotérmicos, como lo mencionan diversos investigadores. Es sabido que capas de tierra con baja conductividad y difusividad térmica dan como resultado un mayor gradiente geotérmico y viceversa (Pouloupatis, et al., 2011). Por otra parte, la conductividad térmica del suelo es altamente dependiente de su contenido de humedad. Cuanto más grande es el contenido en agua, mayor será la conductividad térmica y la capacidad calorífica. Se observa que la conductividad térmica del suelo es la propiedad de suelo más influyente en los resultados de transferencia de calor en el subsuelo (Demir, et al., 2009., Florides y Kologirou, 2005).

En el presente trabajo se expone una metodología para la determinación *in situ* de difusividad térmica  $\alpha$ , utilizando el concepto de *onda térmica*, basado en la propuesta original de Angström de someter un espécimen o muestra a periódicas variaciones de temperatura, donde un extremo es calentado y el extremo opuesto es enfriado en tanto se efectúan mediciones de temperaturas locales a diferentes distancias a lo largo del eje de la muestra (Bodzenta, 2008).

Varias técnicas han sido desarrolladas para la determinación y la evaluación de propiedades térmicas, las técnicas de medición de difusividad térmica, se pueden clasificar en técnicas de laboratorio y técnicas *in situ*. La determinación de difusividad por técnicas de laboratorio requiere generalmente, equipos costosos y la preparación de especímenes para prueba en forma de disco o de barra, con dimensiones y acabados sólo obtenidos con equipo y herramientas especializadas, algunos métodos de laboratorio fueron desarrollados por Birch y Clark, Beck y Beck, Jaeger y Sass, Walsh y Decker (citados en Gillies, et al, 1992), el método TRAC (Thermal Radiation Calorimetry) (Hisano, et al, 1999), y la técnica de radiometría fototérmica (Martinsons, et al, 2002).

Las técnicas *in situ* han sido desarrolladas con el objetivo de efectuar las mediciones en campo y sin requerir la elaboración de especímenes. Los métodos más conocidos son: el denominado REKA (Rapid Evaluation of K and Alpha) de Danko y Mousset-Jones, la Prueba de Respuesta térmica (TRT), que se ha utilizado como método muy efectivo para determinar la conductividad y difusividad térmica de la tierra (Ozgener, 2011). La técnicas de

Beck y Jaeger, Hitchcock y Jonespara, Vost (Gillies, et al, 1992). Una característica común en las técnicas *in situ*, es la inserción de elementos de temperatura conocida (estimulo térmico) y la observación del cambio de la misma con respecto al tiempo, con o sin un fluido de por medio.

El método que se propone es la determinación de la difusividad por onda térmica *in situ* utilizando la variación cíclica de las condiciones climatológicas diurnas y estacionales, por lo que no se emplea un estimulo térmico artificial, ni un fluido intermedio. El método ofrece la ventaja de mantener la mínima perturbación posible a las condiciones naturales del suelo.

## METODOLOGÍA

### *Fundamento matemático*

Antes de abordar lo referente a la metodología, se presenta de manera corta los fundamentos matemáticos y físicos en los que se sustenta nuestro método.

Los requerimientos de las propiedades térmicas del subsuelo, específicamente la difusividad tienen implícito el problema de la variación de la difusividad a las condiciones específicas de cada lugar, tiempo y profundidad. Aunado a que para fines de investigación las mediciones se deben hacer con la mínima perturbación de las condiciones naturales del suelo.

La ecuación diferencial de conducción de calor en una dimensión y en estado transitorio es la 1.1 y para resolverla es necesario considerar las condiciones térmicas tanto de los materiales como de las fronteras, además de suponer que el flujo de calor tiene lugar en un cilindro semi-infinito en estado transitorio, sin generación de calor, unidireccional por considerar los planos paralelos a la superficie del suelo como isotermas.

$$(1.1) \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \left( \frac{\rho c_v}{k} \right) \frac{\partial T}{\partial t}$$

La solución de la ecuación tomando los efectos de la variación periódica de la temperatura, propuesta por Carslaw y Jaeger (1989) es:

$$(1.2) \quad T_U = T_S \times \exp(-\varepsilon z) \text{sen}(\omega t - \varepsilon z)$$

Donde describe la correlación entre las amplitudes de la variación cíclica de temperatura  $T_U$  y  $T_S$ , con la frecuencia  $\omega$ , período  $P$  y la profundidad  $z$ , el término  $\varepsilon$  es función del periodo y la difusividad.

$$(1.3) \quad \varepsilon = \left( \frac{\pi}{P\alpha} \right)^{1/2}$$

Cuando se cumple la condición de que  $\varepsilon z = 2\pi$ ,  $z$  representa la profundidad a la que la fluctuación de temperatura está en fase con el ciclo de la superficie.

$$z = (4\pi P\alpha)^{1/2} \quad (1.4)$$

La ecuación 1.4 puede expresarse de la forma 1.5 para calcular el valor de la difusividad del subsuelo, misma que es la utilizada en trabajos posteriores de diseño de intercambiadores geotérmicos.

$$(1.5) \quad \alpha = \frac{z^2}{4\pi P}$$

(Las variables se encuentran descritas en la nomenclatura).

#### *Equipo y procedimiento experimental*

Para realizar la experimentación es requerida la perforación de un pozo en el subsuelo con el mínimo de alteración posible y sin una superficie de material ajeno intermedio entre los sensores de temperatura y el subsuelo de la zona de medición. Para tal efecto se fabricaron brocas con diámetros de 2, 2.5 y 3 pulgadas, para ajustarse a los requerimientos geométricos de los sensores de temperatura.

Se utilizaron sensores termopares tipo T Cobre – Constantán para un intervalo de temperaturas de 0 a 350 °C, con una exactitud de  $\pm 0.5$  °C calibrados con un equipo AMETEK modelo CTC-140 a rango de -30 °C a 140 °C, con un error de calibración del orden de  $\pm 0.02$  °C; la captura de datos se realizó mediante un adquirente de Agilent modelo 34972A.

En el proceso de perforación se prevee no realizar compactación del suelo mediante golpe, por lo que el proceso empleado es de corte, en la figura M1, se muestra la extracción del material mediante la broca de perforación para instalación de la sonda de medición.



Figura M1. Perforación de suelo

En la figura M2 se presenta la sonda de medición con sensores de temperatura localizados a profundidades de 0, 25, 50, 75 y 100 cm y en el se considera que existe contacto directo de los sensores con el material del suelo.

La sonda de medición se instaló en el campus Coatzacoalcos de la Universidad Veracruzana y durante el mes de agosto de 2011 se llevo a cabo una campaña de experimentación. Las condiciones de selección del lugar debían de cumplir con ser espacios libres de sombra y alejado de cimentaciones, ductos y drenajes. Se muestra en figura M3, la sonda de medición de temperaturas instalada.

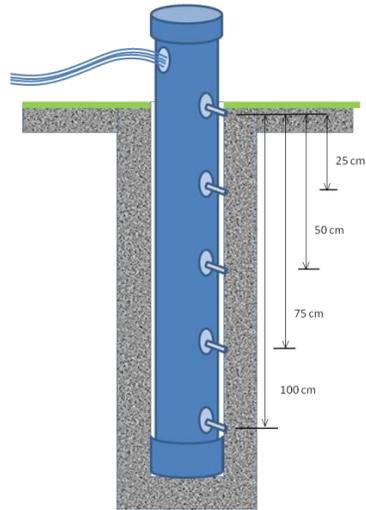


Figura M2. Distribución de termopares en sonda de medición



Figura M3. Instalación de Sonda de medición

Se realizaron cuatro experimentos con duración de 2 a 4 días, a continuación se presenta en la Figura M4. los resultados gráficos del experimento 1, con registros de temperatura cada 10 segundos para cada una de las profundidades.

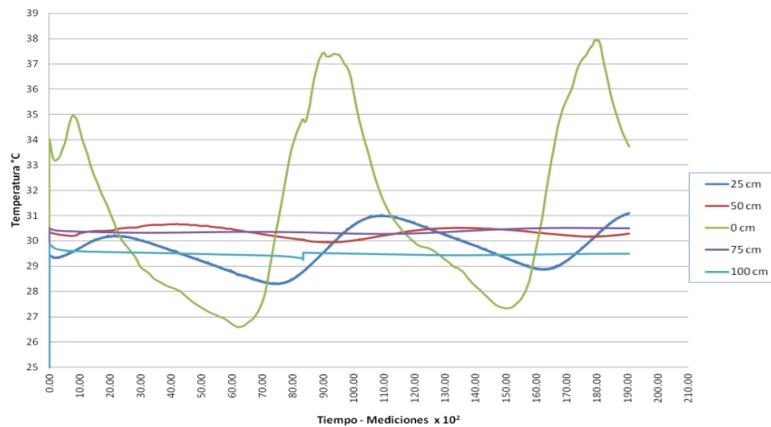


Figura M4. Variación de temperatura en tiempo y profundidad

Se determina por medio de regresión lineal, la profundidad a la cual la temperatura superficial y la temperatura en el subsuelo se desfasan del ciclo un periodo completo a fin de cumplir con la condición  $\varepsilon z = 2\pi$ .

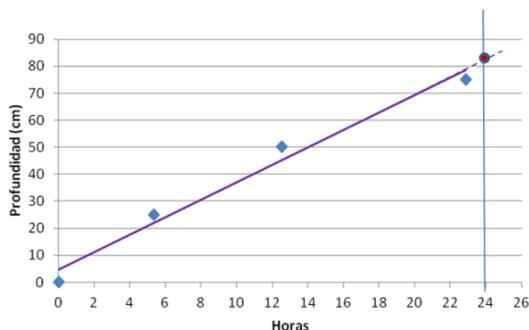


Figura M5. Determinación de desfase del periodo

Empleando la ecuación 1.5, se obtienen los valores de difusividad térmica mostrados en la Tabla R1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los cuatro experimentos en diferentes condiciones de espacio y tiempo, se muestran en la tabla R1:

Tabla R1. Resultados experimentales de difusividad

Experimento	Regresión lineal	Z (cm)	$\alpha$ ( m <sup>2</sup> /s )
1	Y=12.3214X + 4.6379	82	6.19 x 10 <sup>-7</sup>
2	Y=15.4033X + 5.1997	102	9.58 x 10 <sup>-7</sup>
3	Y=11.8055X + 1.1625	75.3	5.22 x 10 <sup>-7</sup>
4	Y=17.7760X - 10.143	101.5	9.49 x 10 <sup>-7</sup>

Comparando los resultados con los valores de difusividad reportados en la literatura (Tabla R2) y correspondientes al tipo de material en estudio, se observa que los valores están dentro del intervalo de las difusividades reportadas por Florides y Kologirou, 2004 para arena seca y húmeda. De lo antes mencionado se puede inferir que la metodología empleada es correcta.

Tabla R2. Valores de difusividad térmica (Tomada de Florides y Kologirou, 2004).

Tipo de suelo	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)
Roca	2.0 x 10 <sup>-6</sup>
Arena seca	1.0 x 10 <sup>-7</sup>
Arena húmeda	1.0 x 10 <sup>-6</sup>
Arcilla seca	2.0 x 10 <sup>-7</sup>
Arcilla húmeda	1.5 x 10 <sup>-6</sup>

En la figura M6 Se muestra gráficamente los resultados obtenidos en la determinación de la difusividad térmica con el método utilizado mostrándose los límites reportados por Florides y Kologirou (2004).

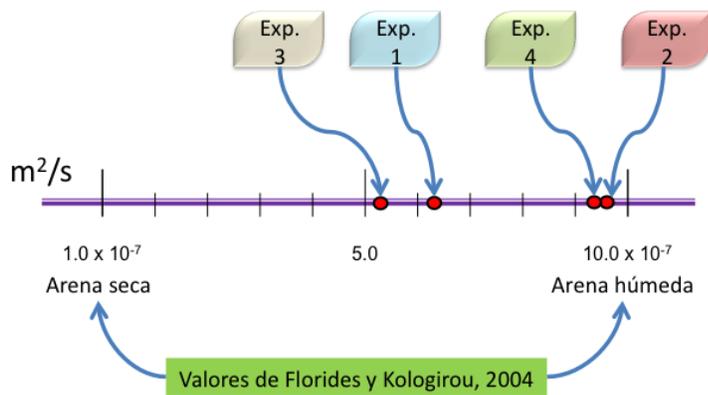


Figura M6. Comparativo de resultados con datos publicados

## CONCLUSIONES

La metodología utilizada, ha proporcionado resultados aceptables y dentro de los valores aportados con otras técnicas de medición. Esta metodología ofrece las ventajas económicas al requerir herramientas y equipos no especializados y no utilizar equipo como fuente de calor y es de resaltar la ventaja de realizar las mediciones en las condiciones naturales del suelo, sin necesidad de sacar muestras. No obstante se reconoce que la metodología propuesta tiene la limitante de mediciones de difusividad hasta profundidades donde la variación cíclica diaria afecta notoriamente al subsuelo, dependiendo esta de su composición mineral, porosidad y contenido de agua, ordinariamente hasta profundidades de 1.5 m.

## NOMENCLATURA

$C_v$	Calor específico volumétrico (kJ/kg K)
$K$	Conductividad térmica (W/m K)
$\rho$	Densidad volumétrica ( $kg/m^3$ )
$\alpha$	Difusividad térmica. ( $m^2/s$ )
$P$	Período de onda (s)
$z$	Profundidad bajo la superficie (superficie = 0) (m)
$T_u$	Amplitud del ciclo de temperaturas en una particular profundidad ( $^{\circ}C$ )
$T_s$	Amplitud del ciclo de temperaturas en superficie ( $^{\circ}C$ )
$\omega$	Frecuencia de ciclo ( $s^{-1}$ )
$P$	Período de ciclo (s)

**REFERENCIAS**

- Al-Maliky, S.J.B., 2011. Investigation of the Readiness of Ground Soils for the Installation of Ground Heat Exchange Systems in Baghdad City. *Journal of Geography and Geology* Vol. 3, No. 1.
- Beardmore, G.R., Cull, J.P. 2001. *Crustal Heat Flow. A Guide to Measurement and Modeling*. Cambridge University press.
- Bodzenta, J. 2008. Thermal wave methods in investigation of thermal properties of solids, *European Physical Journal Special Topics* 154, 305–311.
- Carslaw, H.S., Jaeger, J.C. 1986. *Conduction of Heat in Solids*. Oxford University Press, Oxford.
- Clauser, C., Huenges, E., 1995. Thermal Conductivity of Rocks and Minerals. *American Geophysical Union*, 105–126.
- Danko, G., Shah, N., Bahrami, D., 2002. Evaluation of lithophysal conductivity, diffusivity, and porosity measurements using the REKA method. Conference, February, Tucson, AZ., 1-13.
- De Paepe, M., Janssens, A., 2003. Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers. *Energy and Building* 35, 389-397.
- Demir, H., Koyun, A., Temir, G., 2009. Heat transfer of horizontal parallel pipe ground heat exchanger and experimental verification. *Applied Thermal Engineering* 29, 224–233.
- Eicker, U., Vorschulze, C., 2009. Potential of geothermal heat exchangers for office building climatisation. *Renewable Energy* 34, 1126–1133.
- Florides, G., Kologirou, S., 2005. Annual ground temperature measurements at various depths, in Cyprus.
- Gillies, A.D.S., Creevy, P., Danko, G., Mousset-Jones P.E. 1992. In-situ Mine Measurement of Rock Conductivity and Diffusivity Properties. *Proceedings Fifth Int. Mine Ventilation Congress, Johannesburg, October*, 139-144.
- Hisano, K., Sawai, S., Morimoto, K. 1999. Simultaneous Measurement of Specific Heat Capacity, Thermal Conductivity, and Thermal Diffusivity by Thermal Radiation Calorimetry. *Thermophysics*, Vol. 20, No. 2, 733–742.
- Kanamori, H., Mizutani, H., Fujii, N. 1969. Method of thermal diffusivity measurement. *Physics Earth*, Vol. 17, No. 1, 43 – 53.
- Martinsons, C. D., Levick, A. P., Edwards, G. J. 2003. Measurement of the Thermal Diffusivity of Solids with Improved Accuracy. *Thermophysics*, Vol. 24, No. 4, 1171-1183.
- Muscio, A. 2008. Measurement of thermal diffusivity by a modification of the Angstroem's method using thermally short specimens. *International Conference on Quantitative InfraRed Thermography*, July, Krakow – Poland.
- Ozgener, L., 2011. A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 4483– 4490.
- Pouloupatis, P.D., Floride, G., Tassou, S. 2011. Measurements of ground temperatures in Cyprus for ground thermal applications. *Renewable Energy* 36, 804-814.
- Spitler, J.D., Yavuzturk, C. Rees, S.J. 2000. *In Situ* Measurement of Ground Thermal Properties. *Proceedings of Terrastock*, Vol. 1, Stuttgart, August, 165-170.

## GeoSys.Chem: OBJECT ORIENTED PROGRAMMING FOR GEOCHEMICAL MODELING OF GEOTHERMAL SYSTEMS

Mahendra P. Verma

*Geotermia, Instituto de Investigaciones Electricas, Reforma 113, Col. Palmira, Cuernavaca, Mor., 62490, México*  
[mahendra@iie.org.mx](mailto:mahendra@iie.org.mx)

A computer code GeoSys.Chem for the calculation of deep geothermal reservoir fluid characteristics from the measured physical-chemical parameters of separated water and condensed vapor samples obtained from drilled wells was written as a dynamic link library (DLL) in Visual Basic in Visual Studio 2010 (VB.NET). Using this library a demonstration program GeoChem was written in VB.NET, which accepts the input data file in the XML format. A stepwise calculation of deep reservoir fluid characteristics for the production well, AZ-09 of Los Azufres geothermal system is presented.

### INTRODUCTION

Geochemical modeling of geothermal system contemplates the determination of its thermodynamic equilibrium state to enlighten the physical and chemical processes responsible for its origin and evolution (Verma 2012a). The first step in the geochemical modeling of geothermal system is the calculation of deep reservoir fluid characteristics from the measured physical-chemical parameters of surface manifestations like spring, fumarole and drilled well. Using the chemical geothermometers and the conservation of mass, energy and alkalinity, the chemical concentrations are converted to the reservoir conditions in order to predict the state of water-rock interaction and reservoir processes like boiling, condensation, mixing with other fluids, mineral dissolution-precipitation, etc. (Verma, 2002). The calculation procedures with certain limitations like the calculation of pH and alkalinity are systematically documented by Henley et al. (1984). Verma (2008a) developed an algorithm to calculate the reservoir fluid pH in geothermal systems with uncertainty propagation. Similarly, the quartz geothermometry is extended to estimate deep reservoir temperature and vapor fraction with multivariate uncertainty propagation (Verma, 2008b, 2012b).

In this article the stepwise calculation of deep geothermal reservoir characteristics for the production well, AZ-09 of Los Azufres geothermal field is carried out, using the computer program GeoSys.Chem, which was written as dynamic link library (DLL) in Visual Basic in Visual Studio (VB.NET). A demonstration program GeoChem was developed VB.NET (Verma, 2012a).

### ALGORITHM PROGRAMMED IN GEOSYS.CHEM

Figure 1 shows a schematic diagram of a geothermal system (Verma, 2012a). The distribution of chemical species, alkalinity and enthalpy is expressed as

$$A_{td} = (1 - y)A_l + yA_v \quad (1)$$

where  $A$  represents chemical species ( $C$ ), alkalinity ( $alk$ ) and enthalpy ( $H$ ).  $y$  is the fraction of vapor by weight and sub-indices  $td$ ,  $v$  and  $l$  represent the corresponding parameter in the total discharge, vapor and liquid, respectively (Torres-Alvarado et al., 2012).

The alkalinity in the liquid phase ( $alk_l$ ) is defined according to the following equation

$$Alk_l = [OH^-] - [H^+] + C_{Tcar}(\alpha_{1car} + 2\alpha_{2car}) + C_{TB}(\alpha_{1B}) + C_{TSi}(\alpha_{1Si}) + C_{TS}(\alpha_{1S}) + C_{TN}(\alpha_{1N}) \quad (2)$$

where the  $\alpha$ 's are the ionization fractions and  $C_T$  is the total dissolved concentration of the subscripted constituent, i.e., carbonic acid ( $car$ ), boric acid ( $B$ ), silicic acid ( $Si$ ), hydrogen sulfide ( $S$ ) and ammonia ( $N$ ), respectively. In case of ammonia the  $\alpha$ 's are defined for the corresponding acid ( $NH_4^+$ ).

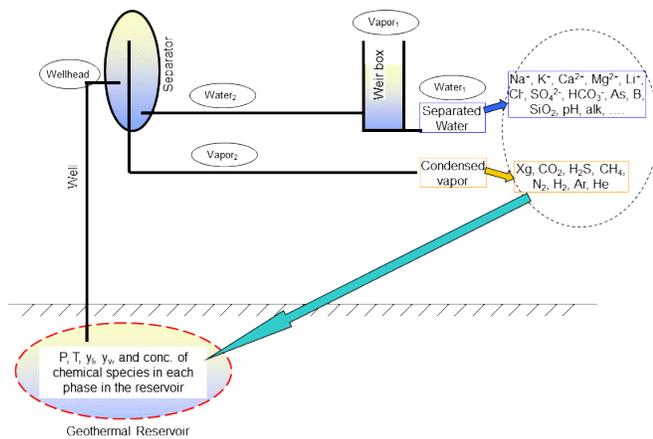


Figure 1: Schematic diagram of geothermal system. The vapor sample ( $Vapor_2$ ) is collected at the separator and the separated liquid ( $Water_2$ ) whereas the liquid sample ( $Water_1$ ) at the weir box (Verma, 2012a)

Table 1: Chemical data of well Az-09 of Los Azfures geothermal field in the XML format (Verma 2012a)

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<GeoSys>
  <WellData>
    <WellID>2</WellID>
    <WellName>Az-09</WellName>
    <Hr>1840</Hr>
    <Psep>0.483</Psep>
    <PATm>0.1</PATm>
    <pH>7.0</pH>
    <Na>2234</Na>
    <K>662</K>
    <Ca>7.7</Ca>
    <Mg>0.05</Mg>
    <Li>0</Li>
    <SiO2>887</SiO2>
    <B>341</B>
    <Cl>4030</Cl>
    <SO4>17.7</SO4>
    <HCO3>46.6</HCO3>
    <Xg>0.285</Xg>
    <CO2>93.44</CO2>
    <H2S>4.542</H2S>
    <NH3>0.8335</NH3>
    <H2>0.7403</H2>
    <CH4>0.0902</CH4>
    <N2>0.3563</N2>
  </WellData>
</GeoSys>
```

The non-volatile species like  $Na^+$ ,  $Cl^-$ , etc. resides only in the liquid phase (i.e., their concentration in the vapor phase is zero); however, the gaseous species like  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , etc. distribute between the liquid and vapor phases. The distribution coefficient  $D_{coef}$  of a gaseous species is defined as the concentration ratio of the species in the vapor and liquid phases (Giggenbach, 1980).

$$D_{Coef} = \frac{C_v}{C_l} \quad (3)$$

The geothermal reservoir temperature and vapor fraction are estimated with quartz geothermometry (Verma, 2012b) since the cation exchange geothermometry is a violation of laws of chemistry and thermodynamics (Verma, 2012c). The pH calculation is performed with the alkalinity conservation approach (i.e., proton balance). This algorithm is programmed in GeoSys.Chem (Verma, 2012a).

## RESULTS AND DISCUSSION

The stepwise calculation of deep geothermal reservoir characteristics is illustrated using the analytical data of vapor and liquid samples obtained from the production well, AZ-09 of Los Azufres geothermal field. Table 1 shows the analytical data in XML format, which is used as input data for the demonstration program GeoChem. The calculated results are given in Table 2. The following steps were performed in conducting these calculations:

Table 2: Stepwise calculation of geothermal reservoir fluid characteristics of well AZ-09, using GeoSys.Chem.

Parameter	Analytical data	At Weir box	Liquid at separator from water sample	Liquid at separator from vapor sample	Reservoir fluid characteristics
Pressure (MPa)	0.1	0.1	0.483	0.483	6.26
Temperature (K)	298	373	424	424	552
Vapor Fraction		0.096		0.571	0.394
		Liquid Phase(mmol/kg liquid)			
pH	7.0	6.811	4.63	7.25	7.59
Na <sup>+</sup>	97.17	97.17	87.83	87.83	62.19
K <sup>+</sup>	16.932	16.93	15.30	15.30	10.84
Ca <sup>2+</sup>	0.192	0.192	0.174	0.174	0.123
Mg <sup>2+</sup>	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
Li <sup>+</sup>					
Cl <sup>-</sup>	113.67	113.67	102.75	102.75	72.75
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.184	0.184	0.167	0.167	0.118
SiOT	14.784	14.78	13.36	13.36	9.46
H4SiO4		14.71	13.36	13.05	9.17
H3SiO4-		0.075	0.001	0.312	0.289
BT	31.54	31.54	28.51	28.51	20.19
B(OH)3		31.32	28.51	27.95	19.86
B(OH)4		0.227	0.001	0.566	0.327
CO2T		0.939	122.92	4.521E-5	2.326E-2
H2CO3		0.270	122.04	1.138E-5	1.738E-2
HCO3	0.764	0.668	0.875	3.380E-5	5.881E-3

CO3		0.000	0.000	2.413E-8	5.428E-7
H2ST				7.086E-6	6.936E-5
H2S				1.907E-6	4.493E-5
HS				5.179E-6	2.443E-5
NH3T				1.667E-5	3.821E-5
NH3				1.413E-5	3.815E-5
NH4				2.538E-6	6.751E-8
H2				9.000E-9	8.052E-7
CH4				1.445E-9	9.987E-7
N2					
Alk (meq/kg)	0.971	0.971	0.878	0.878	0.621
		Vapor Phase (mmol/kg vapor)			
Xg (gas/steam ratio, %vol)	0.285				
CO2	93.7720	1269.9		1.485E-2	0.9110
H2S	4.5580			7.217E-4	9.471E-4
NH3	0.836			1.324E-4	1.513E-4
H2	0.743			1.176E-4	1.693E-4
CH4	0.091			1.433E-5	1.924E-5
N2					
Alk (meq/kg)				1.324E-4	1.513E-4

1. *Heating liquid sample up to the Weir box separation temperature:* The water sample is analyzed in laboratory at temperature (25°C). The concentrations of all the carbonic species are calculated from the measured pH and  $\text{HCO}_3^-$ . Additionally, the total alkalinity is calculated from pH and all the acid-base species in the water sample. The alkalinity for well AZ-09 is 0.971 meq/kg, which is conservative entity during heating the sample from 25 to 100°C together with the total carbonic species (0.939 mmol/kg). However, the distribution of carbonic species and pH change on heating the sample.
2. *Calculation of vapor composition at the Weir box:* The gaseous species are liberated in the vapor phase during the liquid-vapor separation at the Weir box. The carbonic species are only measured in the liquid sample. Thus the  $\text{CO}_2$  concentration in the vapor phase at the Weir box is calculated using the distribution coefficient. The vapor has 1280 mmol/kg of  $\text{CO}_2$ . This is a huge amount of  $\text{CO}_2$ . If it is true, the geothermal system must be in the list of most contaminating energy systems. Thus, either the measurement of  $\text{HCO}_3^-$  is incorrect or there is no liquid-vapor equilibrium in the Weir box or the distribution equation for  $\text{CO}_2$  is incorrect. Verma (2004) analyzed the dispersion among the interlaboratory comparison of  $\text{HCO}_3^-$  analyses in geothermal waters. He concluded that the analytical method used in the literature for  $\text{HCO}_3^-$  analysis is conceptually incorrect. So, there is need to improve first the bicarbonate analysis in the geothermal water samples.
3. *Integration of vapor-liquid to calculate the separated water composition at the separator:* The chemical composition of separated water ( $\text{Water}_{2\text{Weir}}$ ) at the separator is calculated by combing the analysis of water sample ( $\text{Water}_1$ ) and the composition of liberated vapor ( $\text{Vapor}_1$ ) at the Weir box.
4. *Calculation of separated water composition from vapor phase:* The gaseous species are analyzed in the vapor sample ( $\text{Vapor}_2$ ). By considering the concentration of non-volatile species and

alkalinity of the separated water ( $\text{Water}_{2\text{Weir}}$ ) one can construct the separated water compositions ( $\text{Water}_2$ ) from  $\text{Vapor}_2$ . It can be observed that there is tremendous difference in the carbonic species compositions of  $\text{Water}_2$  and  $\text{Water}_{2\text{Weir}}$  (columns 4 and 5 of Table 2, respectively). This separated water ( $\text{water}_2$ ) is flushed in the Weir box at the atmospheric conditions. This also shows that there is no sufficient  $\text{CO}_2$  in the separated water to liberate the tremendous amount of  $\text{CO}_2$  (1270 mmol/kg) in the atmospheric vapor at the Weir box (see step 2).

5. *Calculation of geothermal reservoir fluid compositions:* The compositions of geothermal reservoir fluid are calculated by combining the separated water and vapor compositions at the separator. In the absence of good quality analysis of carbonic species it is suggested to consider the  $\text{CO}_2$  in the vapor sample at the separator and the total dissolved carbonic species concentration in the water sample (i.e. without considering the liberation of  $\text{CO}_2$  in the atmospheric vapor at the weir box) for the geothermal reservoir fluid composition calculations (Verma 2012a).

## CONCLUSIONS

The conclusions of this study on the calculation of deep reservoir fluid characteristics from the surface samples of liquid and vapor phases as the first step in geochemical modeling of geothermal systems may be summarized as followings:

- The quartz geothermometry is used to estimate the geothermal reservoir temperature, although there is high uncertainty in the calculated temperature (Verma, 2012b). The theory of cation exchange geothermometers is a violation of basic laws of chemistry and thermodynamics (Verma, 2012c).
- In the absence of good quality analysis of carbonic species it is suggested to consider the  $\text{CO}_2$  in the vapor sample at the separator and the total dissolved carbonic species concentration in the water sample (i.e. without considering the liberation of  $\text{CO}_2$  in the atmospheric vapor at the weir box) for the geothermal reservoir fluid composition calculations.
- The concentration of  $\text{CO}_2$  highly influences the geothermal reservoir fluid pH, which is a master variable in geochemical modeling (Stumm and Morgan, 1981). Thus it is of prime importance to revise the analytical procedures for the measurement of carbonic species concentration in the vapor and liquid samples.

## AGRADECIMIENTOS

This paper is dedicated to a friend and colleague, Ignacio Salvador Torres Alvarado, who passed away on 15th January, 2012. He worked actively on the geochemistry and geology of geothermal systems till the last day of his life. He will always be remembered for his friendship and helping attitude. The computer code GeoSys.Chem with the demonstration program GeoChem is available on the webpage of the journal, Computers & Geosciences.

## REFERENCIAS

1. Giggenbach W.F., Geothermal gas equilibria. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, 2021-2032 (1980).

2. Henley R.W., Truesdell A.H., Barton P.B., Whitney J.A., Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems. *Society of Economic Geologists, El Paso, TX*. (1984).
3. Stumm W. and Morgan J.J., Aquatic Chemistry: an Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters. *Wiley, New York*, (1981).
4. Torres-Alvarado I.S., Verma M. P., Opondo K., Nieva D., Haklidir F. T., Santoyo E., Estimates of Geothermal Reservoir Fluid Characteristics: GeoSys.Chem and WATCH, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, (2012) in press.
5. Verma M.P., Geochemical Techniques in Geothermal Development. In D. Chandrasekharam and J. Bundschuh (eds.) Geothermal Energy Resources for Developing Countries. *The Swets & Zeitlinger Publishers, Netherlands*, 225-251 (2002).
6. Verma M.P., A revised analytical method for  $HCO_3^-$  and  $CO_3^{2-}$  determinations in geothermal waters: An assessment of IAGC and IAEA interlaboratory comparisons. *Geostandards and Geoanalytical Research* 28, 391-409 (2004).
7. Verma M.P., IAGC and IAEA Interlaboratory Comparisons of Geothermal Water Chemistry: the propagation of errors in the reservoir pH calculation. *Geostandards and Geoanalytical Research* 32, 317-330 (2008a).
8. Verma M.P., QtzGeotherm: an AcitveX component for the quartz solubility geothermometer. *Computers & Geosciences* 34, 1918–1925 (2008b).
9. Verma M.P., GeoSys.Chem: Estimate of Reservoir Fluid Characteristics as First Step in Geochemical Modeling of Geothermal Systems. *Computers & Geosciences*, (2012a) in press.
10. Verma M.P., QtzGeotherm: A revised algorithm for quartz solubility geothermometry to estimate geothermal reservoir temperature and vapor fraction with multivariate analytical uncertainty propagation. *Computers & Geosciences*, (2012b) in press.
11. Verma M.P. (2012c). Cation exchange geothermometry: a critique, *Geothermia*, 25, 53-56.

## SIMULACIÓN DE LA AFECTACIÓN TÉRMICA DE LA FORMACIÓN POR EFECTO DE LA PERFORACIÓN DE UN POZO (ANÁLISIS DE FONDO DE POZO)

Jorge Wong <sup>a,\*</sup>, Jorge Andaverde <sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> Posgrado en Ingeniería, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, Colonia Centro, Temixco, Morelos 62580, México

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, campus Coatzacoalcos, Veracruz, 96538, México.

<sup>c</sup> Centro de Investigación en Recursos Energéticos y Sustentables, Universidad Veracruzana, campus Coatzacoalcos, Veracruz, 96538, México.

\*[jawol@cie.unam.mx](mailto:jawol@cie.unam.mx)

### INTRODUCCIÓN

El proceso de afectación y recuperación térmica de un pozo es un reflejo de las propiedades termofísicas de la formación (Eppelbaum y Kutasov, 2011) y es de esperarse que a partir de un modelo físico-matemático más realista que nos represente el comportamiento de la afectación y recuperación térmica del pozo, sea posible inferir las propiedades termofísicas del pozo y del fluido de perforación (Günzel y Wilhelm, 1999). Este tipo de inferencias son de gran relevancia, ya que en la actualidad existen pocos datos reportados en la literatura, los cuales son específicos de algún campo geotérmico en especial, por lo que el simulador aquí presentado aportará información importante al poderse aplicar a cualquier campo geotérmico.

El poder simular el comportamiento de los pozos y el perfil de temperatura del suelo, nos permite generar información que actualmente es poco confiable y consume mucho tiempo y altos costos. Por otra parte, se puede determinar la forma de aprovechar el recurso geotérmico para generación de electricidad o para procesos de baja temperatura como precalentamiento de fluidos. Así mismo en el caso de que no exista algún recurso geotérmico en la zona, con el perfil de temperaturas del suelo se puede determinar la viabilidad de colocar intercambiadores de calor geotérmicos para acondicionamiento de edificios (Wong y Andaverde, 2010).

La medición de propiedades termofísicas de rocas y fluidos de perforación en laboratorios modernos es precisa, pero las condiciones de temperatura y presión en las que se encuentran las rocas cambian al trasladarlas de su lugar (*in situ*) al laboratorio, provocando así que sus propiedades termofísicas cambien en algunos casos considerablemente (Krishnaiah et al., 2004).

La determinación de las propiedades podría lograrse si se simula el comportamiento térmico de un pozo y su vecindad hasta empatar los resultados (del simulador) con las series medidas en campo (Lister, 1976). Por otra parte, el desarrollo de simuladores permite realizar alternativas de diseño y construcción, las cuales pueden ser evaluadas de manera rápida para poder optimizar el proceso de perforación y terminación de un pozo (Teng y Koike, 2007; Gunn et al., 1992). Así mismo los simuladores permiten estimar de manera confiable y económica las características y condiciones de los pozos a partir de datos que comúnmente son medidos durante la perforación del mismo (García-Valladares et al., 2005).

La industria geotérmica y petrolera requiere de la perforación de pozos profundos para la explotación del recurso. Cuando los pozos son perforados, el campo de temperaturas a lo largo del eje del pozo y la formación es afectado debido a la circulación del lodo de perforación (Santoyo, 1997; Santoyo et al., 2000; Kutasov & Eppelbaum, 2009; Kutasov y Eppelbaum, 2010; Espinoza-Ojeda et al., 2011). Para determinar el perfil de temperaturas es necesario el desarrollo de un simulador en 3D y para lograrlo se requieren las características termofísicas de la roca y las condiciones tanto de frontera como iniciales, es decir la temperatura estabilizada de la formación (TEF), la temperatura del lodo de perforación y el

gradiente geotérmico del lugar.

Para calcular la TEF han surgido métodos tanto analíticos como numéricos los cuales se basan en modelos de transferencia de calor y con ellos se simula la perturbación térmica asociada a la perforación y a la subsecuente relajación térmica durante el periodo a partir del cual se detiene la perforación (Shut-in).

El método racional polinomial para determinar la TEF actualmente se encuentra en proceso de ser patentado (MX/a/2010/001495). Este método ha demostrado en la aplicación a varias series sintéticas, petroleras y geotérmicas, ser una herramienta adecuada para la estimación de la TEF.

El objetivo principal de este trabajo es mostrar los primeros resultados obtenidos del simulador al considerarse la perforación de un pozo. Las condiciones utilizadas en el simulador fueron tomadas de la literatura internacional (Cao et al., 1981); estas condiciones consideran tanto propiedades de los materiales involucradas en el pozo, como de las temperaturas involucradas durante el proceso de construcción del mismo.

### DESARROLLO DEL SIMULADOR

Para el diseño del simulador se utilizó el método de volúmenes de control, se resolvió la ecuación diferencial en tres dimensiones y estado transitorio de transferencia de calor por conducción, suponiendo la TEF como condición de frontera al exterior de la formación y la temperatura del lodo como condición de frontera al centro, es decir, la perforación del pozo (Figura 1). Para las condiciones iniciales se supuso un gradiente de  $33\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ .

Para validar el simulador se utilizaron los datos reportados por Cao et al. (1981) y a través del método Racional Polinomial se estimaron las temperaturas estabilizadas en el fondo del pozo y las del lodo en él contenido, las cuales son las condiciones de frontera para nuestro simulador. En la tabla 1 se presentan los parámetros termofísicos y de condiciones de temperatura utilizadas para las simulaciones.

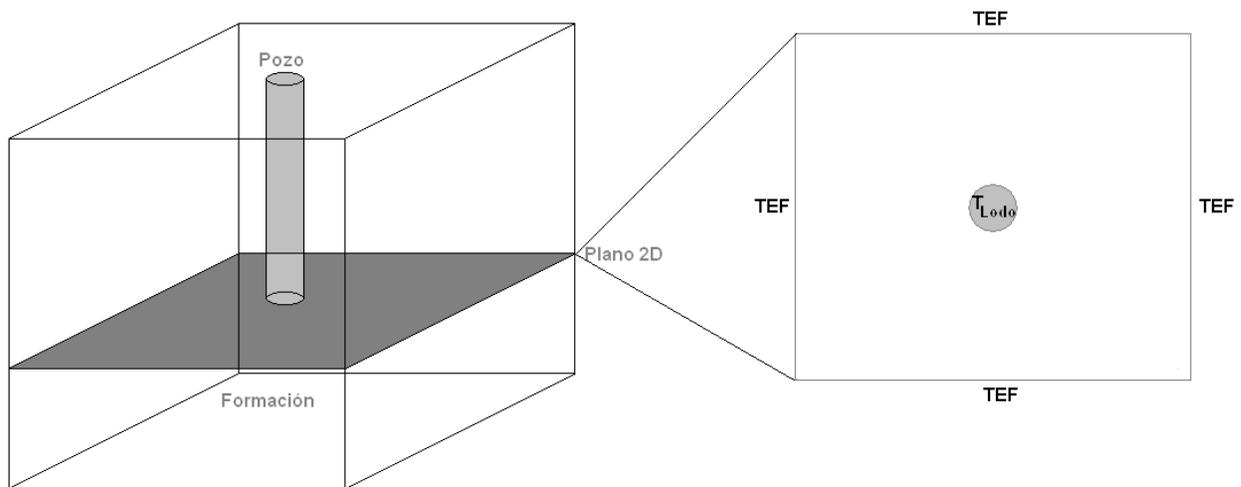


Figura1. Diagrama de condiciones iniciales de temperatura utilizadas para simular la afectación térmica debido a la perforación.

Tabla 1. Parámetros utilizados para calcular las temperaturas en torno a un pozo según datos reportados por Cao et al. (1981).

Parámetro	Valor	Unidades
TEF	120	°C
Temperatura del lodo	80	°C
Densidad de la formación	2.2	g/cm <sup>3</sup>
Calor específico de la formación	0.9	J/g°C
Conductividad térmica	2.14	W/m°C
Tiempo de afectación	3	hr
Radio de afectación	94.1	cm

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se observa el perfil de temperaturas de la formación, en un corte transversal a lo largo del pozo. Cabe destacar que la afectación térmica es mayor en la parte mas cercana a la superficie y es simétrica con respecto al eje del pozo como era de esperarse.

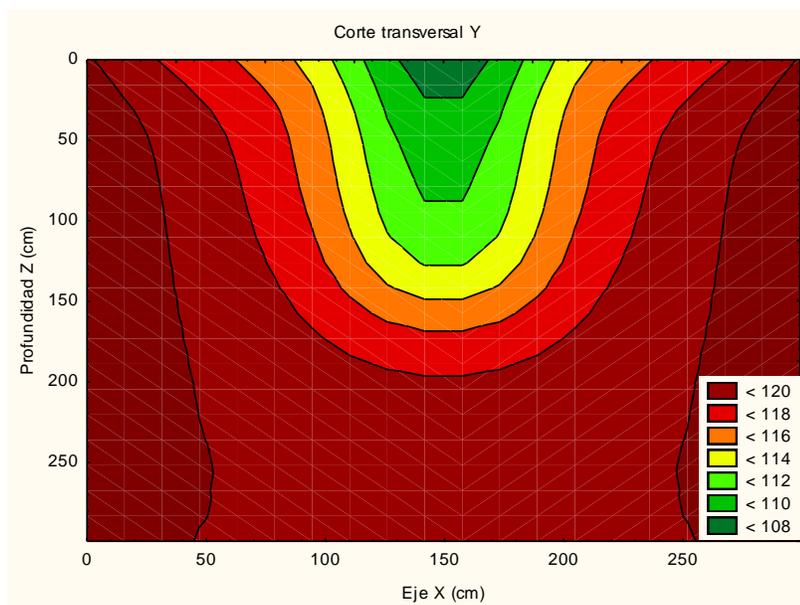


Figura 2. Distribución de temperaturas en torno al pozo en un perfil vertical.

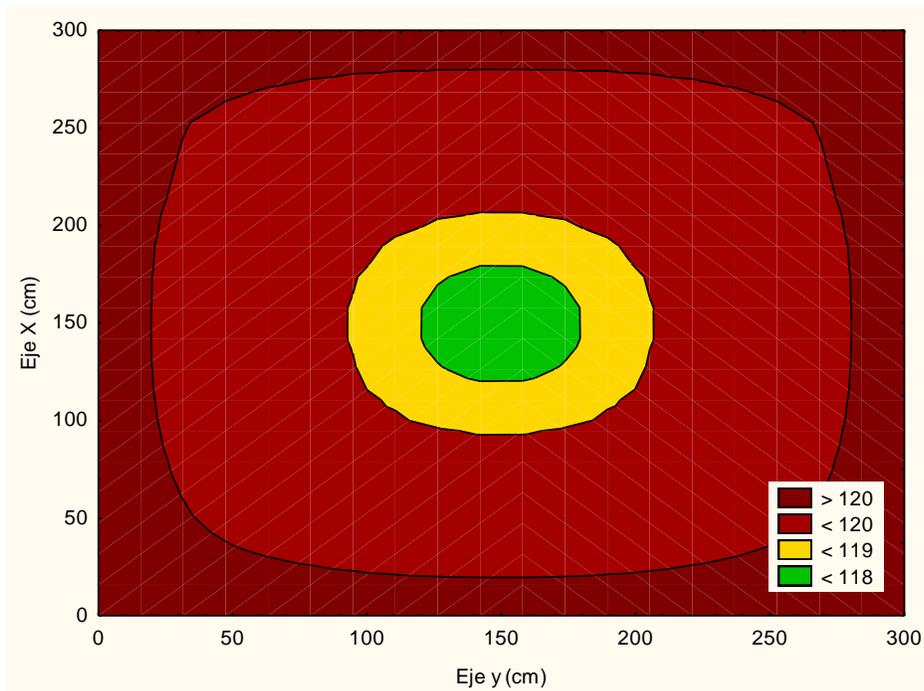


Figura 3 Distribución de temperaturas en torno al pozo observándose su distribución concéntrica.

En la figura 3 se presenta un perfil de temperatura en un corte longitudinal al fondo del pozo, se observa que la transferencia de calor es radial hacia el centro del pozo.

Los modelos de afectación y recuperación térmica que se utilizan comúnmente para la determinación de temperaturas estabilizadas de formación, son: i) el de fuente cilíndrica lineal y ii) el de fuente esférica. Ambos modelos han demostrado que presentan errores en sus estimaciones, el primero subestima la TEF y el segundo sobreestima la TEF.

De acuerdo al perfil de temperaturas obtenido a través del simulador podemos observar que el proceso de transferencia de calor no se da en el sistema como se propone en el modelo de fuente cilíndrica, ni en el de fuente esférica. En el modelo de flujo cilíndrico de calor no se toma en cuenta la transferencia de calor que se da desde el fondo o parte baja de la formación por lo que esto nos da una subestimación de la temperatura que puede alcanzar el pozo al recuperarse térmicamente. Por otro lado el modelo de fuente esférica, presenta una transferencia de calor de forma esférica hacia el fondo del pozo, lo cual, como podemos observar en la Figura 2 no es correcto, ya que la parte superior del pozo, no presenta la misma transferencia de calor que el fondo de la formación, esta suposición es la que lleva a sobreestimar la TEF.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se presenta el desarrollo de un simulador utilizado para determinar la afectación térmica en tres dimensiones en torno a un pozo. Esta afectación se debe a que durante la perforación se utilizan lodos que comúnmente tienen temperaturas inferiores a la del fondo del pozo.

Se pudo observar que la geometría de la anomalía térmica en el perfil vertical cambia significativamente a medida que se tiene mayor profundidad en el pozo. Del resultado anterior se puede concluir tanto el modelo de transferencia de calor cilíndrico como el esférico no son correctos. Cabe destacar que estos modelos han sido la base de métodos utilizados frecuentemente para calcular las Temperaturas Estabilizadas de Formación, lo que nos motiva a desarrollar métodos más confiables que tomen en cuenta la forma geométrica de la anomalía térmica.

## REFERENCIAS

1. Cao S, Lerche I, and Hermanrud C, Formation temperature estimation by inversion of borehole measurements. *Geophysics*. 53, 979 (1988).
2. Eppelbaum I. V. and Kutasov I. M., Determination of the formation temperature from shut-in logs: Estimation of the radius of thermal influence. *Journal of Applied Geophysics*, 73, 278 (2011).
3. Espinoza-Ojeda OM, Santoyo E, and Andaverde J., A new look at the statistical assessment of approximate and rigorous methods for the estimation of stabilized formation temperatures in geothermal and petroleum wells. *Journal of Geophysical Engineering*. 8, 233 (2011).
4. García-Valladares O., Sánchez-upton P. and Santoyo E., Numerical modeling of flow processes inside geothermal wells: An approach for predicting production characteristics with uncertainties. *Energy conversion and Measurement*, 47, 1621 (2005).
5. Günzel U. and Wilhelm H., Estimation of the in-situ thermal resistance of a borehole using the Distributed Temperature Sensing (DTS) technique and the Temperature Recovery Method (TRM) *Geothermics*, 29, 689 (2000).
6. Gunn, C., Freeston, D. and Hadgu, T., Principles for wellbore simulator validation and calibration using matching analysis – I Analytical techniques. *Geothermics*, 21:3, 341 (1992)
7. Krishnaiah, S., Singh, D. and Jadhav, G., A methodology for determining thermal properties of rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41:5, 877 (2004).
8. Kutasov, I. M. and Eppelbaum, L. V., Estimation of geothermal gradients from single temperature log-field cases. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6(2), 131 (2009).
9. Kutasov, I. and Eppelbaum, L. A new method for determining the formation temperature from bottom-hole temperature logs. *Journal of Petroleum and Gas Engineering*, 1:1, 001 (2010).
10. Lister, C., Estimators for heat flow and deep rock properties based on boundary layer theory. *Tectonophysics*, 41:1-3, 157 (1977)
11. Santoyo, E., Transient numerical simulation of heat transfer processes during drilling of geothermal wells. PH. D. thesis, University of Salford, UK. (1997).
12. Santoyo, E., Garcia, A., Espinosa, G., Hernández, I., and Santoyo, S., STATIC\_TEMP: a useful computer code for calculating static formation temperatures in geothermal wells. *Computers & Geosciences*, 26:2, 201 (2000).
13. Teng, Y., and Koike, K., Three dimensional imaging of a geothermal system using temperature and geological models derived from a well log dataset. *Geothermics*, 36:6, 518 (2007).
14. Wong-Loya J.A. and Andaverde J., Simulation of subsoil conditions for ground heat exchanger for application of heating and cooling buildings. Proceedings of the International Conference on Applied Energy, Singapore, 1843 (2010).

## EVALUACIÓN OBJETIVA DE LAS PRUEBAS DE DISCORDANCIA PARA DATOS UNIVARIADOS USANDO SIMULACIÓN TIPO MONTE CARLO

Mauricio Rosales-Rivera<sup>a</sup>, Lorena Díaz-González<sup>b</sup>, Surendra P. Verma<sup>c</sup>, y Alfredo Quiroz-Ruiz<sup>d</sup>

<sup>a</sup> *Licenciatura en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001. Col. Chamilpa. Cuernavaca, Morelos. C. P. 62209. México.*

<sup>b</sup> *Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001. Col. Chamilpa. Cuernavaca, Morelos. C. P. 62209. México.*

<sup>c</sup> *Departamento de Sistemas Energéticos, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/n. Col. Centro, Apdo. 34, Temixco. 62580, México.*

<sup>d</sup> *Departamento de Computación, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/n. Col. Centro, Apdo. 34, Temixco. 62580, México.*

[ldg@uaem.mx](mailto:ldg@uaem.mx)

### RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados de estadística computacional obtenidos a través de simulación tipo Monte Carlo. Se aborda una rama de la estadística, la geoquimiometría, dedicada al análisis e interpretación de los datos geoquímicos experimentales. El objetivo principal del trabajo es evaluar la efectividad de 13 pruebas de discordancia (tipo Dixon, Grubbs, Curtosis y Sesgo) que tienen la función de detectar datos discordantes dentro de una muestra estadística normal. Como parte de la metodología computacional se aplicó el método de simulación Monte Carlo y algoritmos computacionales para tareas específicas de la simulación, tales como: generar números aleatorios, comprobar la aleatoriedad de estos números y obtener datos normalmente distribuidos. Asimismo, se usó una contaminación sencilla, es decir, se contaminó un solo dato extremo a la vez, ya sea por la parte superior o inferior de la muestra. La comparación de las pruebas fue realizada usando un conjunto de criterios de efectividad previamente definidos. En este trabajo, mostramos de forma objetiva los resultados obtenidos sobre la comparación de la efectividad de las 13 variantes de las pruebas tipo sencillo para datos experimentales univariados.

### CONCLUSIONES

Este trabajo muestra claramente que las pruebas de Dixon, en el caso de las pruebas tipo extremo, tienen un menor desempeño con respecto a las pruebas de Grubbs, Curtosis y Sesgo. En el caso de las pruebas tipo Superior / Inferior apreciamos que las pruebas N9 y N10 muestran un menor desempeño que las pruebas N1 y N4. Aun cuando la Prueba N7 (Superior) muestra un desempeño muy parecido a las pruebas de Grubbs N1 y N4 (Superior / Inferior), se ubica ligeramente debajo de ellas.

### REFERENCIAS

1. Barnett V. y Lewis T. Outliers in statistical data. Tercera Edición, John Wiley e Hijos. Chichester, 1994.
2. Hayes K., Kinsella T. (2003). Spurious and non-spurious power in performance criteria for tests of discordancy. *The Statistician* 52(1), 69-82.
3. Verma, S.P., Díaz-González, L. (2012). Application of the discordant outlier detection and separation system in the geosciences. *International Geology Review* 54: 593-614.

## GEOTERMOMETRÍA DE SOLUTOS Y GASES: UN ESTUDIO GEOQUIMIOMÉTRICO COMPARATIVO PARA EVALUAR SU EFICIENCIA EN LA PREDICCIÓN DE TEMPERATURAS DE POZOS GEOTÉRMICOS

Christian García-López<sup>a,\*</sup>, Kailasa Pandarinath<sup>b</sup> y Edgar Santoyo<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Posgrado en Ingeniería-Energía, Centro de Investigación en Energía (CIE-UNAM).*

<sup>b</sup> *Departamento de Sistemas Energéticos (Geoenergía), CIE-UNAM, Priv. Xochicalco s/n, Centro, Temixco, Mor. 62580, México.*

E-mail: [\\*cgal@cie.unam.mx](mailto:*cgal@cie.unam.mx)

### RESUMEN

La existencia de reservorios de energía geotérmica en un área específica se manifiesta por la presencia de manantiales termales y/o fumarolas. La composición química de los fluidos provenientes de manifestaciones termales como fumarolas y manantiales, así como la de los fluidos extraídos de pozos, refleja las características geoquímicas de interacción agua-roca y la actividad hidrotermal que prevalece en el subsuelo. Además provee información importante sobre la hidrología del campo y las condiciones térmicas de un yacimiento geotérmico. Los geotermómetros, tanto de solutos como de gases, han sido tradicionalmente aplicados para estimar las temperaturas de equilibrio, también referidas como de yacimiento. Estas son herramientas importantes en la exploración y evaluación de campos geotérmicos, así como en el monitoreo de la producción de estos sistemas. En este trabajo, hemos llevado a cabo un estudio geoquimiométrico comparativo entre las temperaturas de fondo estimadas con geotermómetros de solutos y gases, con la temperatura de fondo medida (BHT) en pozos de varios campos geotérmicos importantes del mundo. Con estos propósitos se desarrolló una metodología geoquimiométrica que involucró las siguientes tareas: (1) creación de una base de datos sobre la composición química de aguas de pozos geotérmicos y gases procedente de los pozos geotérmicos, incluyendo las mediciones de temperatura de fondo (BHT) registradas en pozos localizados en sistemas geotérmicos productores de varias partes del mundo; (2) estimación de las temperaturas de fondo de los sistemas geotérmicos usando los 13 geotermómetros de Na/K disponibles para fluidos geotérmicos fase líquida y 21 geotermómetros de gases; (3) identificación y eliminación de valores desviados; (4) estimación de los errores en las temperaturas estimadas usando el método de Monte Carlo; (5) comparación estadística de las temperaturas estimadas por los geotermómetros de Na/K y gases con mediciones de campo (BHT). En este trabajo se reportan los resultados comparativos de las temperaturas estimadas por geotermómetros de soluto y gas, así como su eficiencia en los casos de aplicación estudiados. Como parte de este estudio, se encontró que las temperaturas calculadas por los geotermómetros de Na/K proveen estimaciones de las temperaturas de fondo más cercanas a las BHT, en comparación con las obtenidas por los geotermómetros de gases.

## INSTITUCIONES QUE PARTICIPAN

Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de **Venezuela**  
Instituto de Geología, UNAM, **D.F.**  
Instituto de Geología, UNAM, **Hermosillo, Sonora**  
Instituto de Investigaciones Electricas, Geotermia, **Cuernavaca, Morelos**  
Instituto de Geofísica, UNAM, **DF**  
Instituto de Física, UNAM  
Instituto Tecnológico de **Minatitlán**  
Instituto de Geología, Bio-Geoquímica Ambiental, UNAM  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM  
Departamento de Geología, CICESE, 22860 **Ensenada B.C.**  
Departamento de Edafología, Instituto de Geología, UNAM,  
Departamento de Sistemas Energéticos, Temixco, Morelos  
Departamento de Geología, Universidad de **Sonora**  
Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. Universidad Autónoma de **Hidalgo**  
Laboratorio de Química Analítica, Instituto de Geofísica, UNAM  
Laboratorio de Micología Experimental. CIEP. Universidad Autónoma de **San Luis Potosí**  
Centro de Investigación en Recursos Energéticos y Sustentables, Universidad Veracruzana, **Coatzacoalcos**  
Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Universidad Autónoma de Hidalgo  
Posgrado en Ciencias de la Tierra Químicas, Instituto de Geología, UNAM  
Posgrado en Ciencias Químicas, UNAM  
Posgrado en Ingeniería, Centro de Investigación en Energía, UNAM, Temixco, Morelos  
Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
Posgrado de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería. UNAM  
Posgrado en Ingeniería-Energía, Centro de Investigación en Energía, UNAM  
Facultad de Ciencias, UNAM, **DF**  
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
Facultad de Metalurgia. Unidad Norte, Universidad Autónoma de **Coahuila**  
Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Coatzacoalcos

## **UNIVERSIDAD VERACRUZANA**

### **RECTOR**

Dr. Raúl Arias Lovillo

### **SECRETARÍA ACADÉMICA**

Dr. Porfirio Carrillo Castilla

### **DIRECCIÓN GENERAL DEL ÁREA ACADÉMICA TÉCNICA**

Mtro. Luis Miguel Reyes Grajales

### **VICERRECTORÍA COATZACOALCOS – MINATITLÁN**

Dr. Carlos Héctor Ávila Bello

### **SECRETARÍA ACADÉMICA REGIONAL**

Dr. Adán Falcón Coria

### **SECRETARÍA DE AMON. Y FINANZAS REGIONAL**

CP. Norma Morales Sánchez

## **FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

### **DIRECTOR**

Mtro. Carlos Arturo González Vicencio

### **SECRETARIO**

Lic. Enrique Trinidad Pérez

## INDICE DE AUTORES

Abril E. Gutiérrez	24	Guillermo Espinosa	55
Alejandra Aguayo	26	Héctor Jesús Tapia Fernández	63
Alejandro Rodríguez	99	Ignacio S. Torres-Alvarado	114, 120, 121
Alfredo Meneses	30	Iliana Margarita De la Garza-Rodríguez	101
Alfredo Quiroz-Ruiz	142	Isabel Aracely Facundo-Arzola	101
Andrea Haro-Nava	99	Ismael Acosta	91
Anish Kumar Warriar	120	Israel Razo	90, 99
Antonio Cardona	90	Iván Espinoza-Encinas	82
Armando J. Ramírez	23	Jesús Martín Torres	30, 77, 84
Artemio Benitez-Fundora	124	John S. Armstrong-Altrin	29, 37, 63
Ary D. Espinoza	105	Jorge Andaverde	124, 137
Azucena Dótor-Almazan	26	Jorge Antonio Sánchez-Lázaroa	101
Beatriz A. Candelario	24	Jorge L. Montero	49
Bodo Weber	122	Jorge Wong	137
Carlos E. Yanes	23	José Escobar	105
Carlos Esquive	30, 43, 77	José Luis Cadena	37
Carlos H. Ávila Bello	8	José Luis Cadena-Zamudio	101
Christian García-López	143	Juan Carlos Durán	30, 43, 77, 84
Christina Siebe	21	Juan F. Cárdenas	91
Daniel Pérez-Zárate	121	Juan José Kasper Zubillaga	76
Delia Mendoza	77	Kailasa Pandarinath	120, 143
Donald J. Marshall	70	Katherine Vaca-Escobar	97
Edgar R. Santoyo Gutiérrez	9, 114, 121, 143	Kinardo Flores-Castro	30, 37, 43, 77, 82, 84, 101
Eduardo González-Partida	101	Leticia Carrizales	90
Emilio Estrada	77, 84	Leticia Torres	91
Erika Almirudis-Echeverría	114	Lisbeth A. Badillo	43
Fabiola Mendiola López	64	Lorena Díaz-González	142
Faustino Juárez	55	Luis Felipe Sánchez D.	24, 49
Flavio López Velecela	100	Luz Stephanie Montaña	30, 37
Francisco A. Paz-Moreno	82, 114	Ma. Aurora Armienta	26
Francisco Martín Romero	100	Ma. Cristina Peñalba-Garmendia	82
Francisco Paz	84	Magdalena Espinoza-Jaramillo	25
Gricelda G. Varela-González	25		

Mahendra P. Verma	131	Rajashekaraiiah Shankar	120
María C. Barrera	105	Roberto Briones-Gallardo	90
María de Guadalupe Moctezuma	91	Rodolfo Corona-Esquivel	101
María del Carmen Cuevas Díaz	24, 49, 50	Rogelio Monreal	84
María Gloria Rosales-Sosa	101	Rosa María Prol-Ledesma	64
Mario Cayetano	21	Rosangel C. Moreno	23
Mario Villalobos	97, 100	Rufino Lozano	70
Màrius Ramírez, José Luis Cadena	37	Ruth Esther Villanueva-Estrada	64
Martha E. Sandoval	49	Surendra P. Verm	15
Martha E. Sandoval-Rojas	24, 49	Surendra P. Verma	142
Matthias Hinderer	112	Theresa Frommen	22
Mauricio Rosales-Rivera	142	Thomas Kretzschmar	22, 111
Mirna Guevara-García	114, 121	Travis A. Johnson	70
Natalhy Pineda-Olmedo	29	Víctor H. Espíndola	55
Noé Piedad	84	Víctor Hugo Herrera Morales	76
Noé Piedad-Sánchez	101	Víctor Manuel Martínez	91
Nora Cenicerros	26	Villacís-García Milton	98
Octaviano Cuello	49	Villalobos Peñalosa Mario	98
Olivia Cruz	26	Yadira Martínez Bailey	50
Oscar Silva-Aguilar	124	Yareni Perroni	14
Pablo Peñaflo	70	Yolanda Rodríguez	90
Pascual Bartolo-Pérez	101	Yulemí González	30
Patricia Girón	70	Yulemí González Moreno	37
Pedro G. Reyes	55		
Rafael Huizar Álvarez	25		



**Generatoris S.A. de C.V.**  
EQUIPOS PILOTO PARA CAPACITACIÓN Y ENSEÑANZA