

# ACTAS INAGEQ VOLUMEN 24



# XXVIII

## CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA

1 AL 5 DE OCTUBRE DE 2018  
MUSEO MANUEL FELQUEREZ  
*Zacatecas, Zac. México*

ACTAS INAGEQ 2018

VOLUMEN 24, OCTUBRE 2018

ISSN-Latindex 2310-2799

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

# PATROCINADORES

Nuestro agradecimiento y un reconocimiento a los patrocinadores por apoyar este evento académico-científico de gran relevancia para la Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas” y el Instituto Nacional de Geoquímica.



# Agilent Technologies



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### Directorio

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS

Dr. Antonio Guzmán Fernández

Rector

Dr. Carlos Francisco Bautista Capetillo

Coordinador del Área Ingenierías y Tecnología

M.C María de Lourdes Olivan Tiscareño

Directora de la Unidad Académica de Ingeniería

INSTITUTO NACIONAL DE GEOQUÍMICA A.C

Dr. Thomas Kretschmar (CICESE)

Presidente

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas (IPICT)

Secretaria

Dr. Surenda P. Verma (IER-UNAM)

Tesorero

### *Edición de la Memoria*

Julián González Trinidad

Hugo Enrique Júnez Ferreira

Carlos Francisco Bautista Capetillo

Manuel Zavala Trejo

Ana Isabel Veyna Gómez

Anuar Isaac Pacheco Guerrero

**La Formación de la revista es responsabilidad de los editores y el contenido de los resúmenes y artículos de sus respectivos autores**

Forma de citar el documento: Gonzalez-Trinidad J; Junez-Ferreira H.E; Bautista-Capetillo C.F; Zavala-Trejo M; Veyna-Gomez A.I; Pacheco-Guerreo AI. Editores 2018. Programa, Resúmenes y Artículos del XXVIII Congreso Nacional de Geoquímica. Actas -INAGEQ Vol. 24 500 pág.

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

### **COMITÉ ORGANIZADOR**

#### **Responsables del Congreso**

Dr. Julián González Trinidad

Dr. Hugo Enrique Junez Ferreira

#### **Coordinadores del Comité Científico**

Dr. Manuel Zavala Trejo

Dr. Felipe de Jesús Escalona Alcázar

Dr. Osbaldo Navarro Solís

Dr. Jorge Bluhm Gutiérrez

Dr. Arturo Hernández Antonio

#### **Coordinadores de Comité de logística**

M.I. Dagoberto Chávez Carlos

M.I Ana Isabel Veyna Gómez

Ing. Oscar Jesús Ramos Soriana

#### **Comité de alumnos**

M.I Anuard Issac Pacheco Guerrero

M.I Edith Olmos Trujillo

M.I Claudia Ivethe Ávila Sandoval

M.I Pedro Rodríguez Juárez

#### **Cuerpos Académicos**

**UAZ-CA 177- “Uso y Conservación de los Recursos Hídricos”**

**UAZ-CA-195- “Modelación aplicada a las Ciencias de la Tierra”**



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### Presentación

El **Instituto Nacional de Geoquímica, A. C.**, es la asociación científica en el área de Geoquímica más importante de México. El INAGEQ agrupa a los geoquímicos y a profesionales relacionados con las Ciencias de la Tierra del país, para promover el estudio y la solución de problemas relacionados con la Química de la Tierra. Así mismo, mantiene a los geoquímicos mexicanos en comunicación permanente con sus colegas del país y del extranjero, fomentando la interacción entre instituciones y grupos de trabajo mediante eventos científicos y programas de cooperación académica nacional e internacional. Los objetivos de la asociación son: Agrupar a los geoquímicos del país y a los profesionales relacionados con las Ciencias de la Tierra. Promover el estudio y solución de problemas relacionados con la Química de la Tierra. Fomentar la interacción entre instituciones y grupos de trabajo, mediante programas de cooperación científica nacional e internacional. Mantener a los geoquímicos de México en comunicación mutua y con sus colegas del exterior. Fomentar y apoyar el estudio de la Geoquímica en México. Organizar eventos con la finalidad de difundir las aportaciones científicas, fomentar intercambio de ideas y experiencias, y promover la formación de recursos humanos.

La INAGEQ, agrupa a los geoquímicos del país así como los profesionales relacionados con las Ciencias de la Tierra y organiza eventos con la finalidad de difundir las aportaciones científicas, fomentar intercambios de ideas y experiencias y promover la formación de recursos humanos en las Áreas temáticas: Biogeoquímica; Geoquímica; Geoquimiometría; Geoquímica ambiental y salud; Geoquímica de isótopos y geocronología; Geotermia; Hidrocarburos; Hidrogeoquímica; Interfaces para el control de la contaminación; Petrología ígnea; Petroquímica; Química atmosférica; Vulcanología

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

En 2018 el INAGEQ celebró su **XXVIII CONGRESO NACIONAL** por primera ocasión en la ciudad de Zacatecas. Del 1 al 5 de octubre de 2018. Siendo una de las instituciones líderes en el estado de Zacatecas y la Región en la generación y aplicación del conocimiento la responsable de coordinar las actividades, **la Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas”**, haber estado en Zacatecas es pasión ya que forma parte de los episodios historia de México (Independencia y Revolución), por otro lado, como decía el poeta Ramón López Velarde un suelo rojo y un cielo cruel, la cantera rosa de origen geológico de la región, su gastronomía tradicional, donde se consume agua miel, queso casero y los guisos de la abuela. Sus minas, donde se extraen los minerales de plomo, zinc, cobre y la planta la cual es el emblema de nuestro estado. Asimismo, el escudo de armas invita a la reflexión, con la frase el trabajo todo lo vence. Sus museos y el centro -histórico refleja la cultura que se palma y visualiza con gran interés y gran emoción, no se puede olvidar nuestro símbolo El Cerro de la Bufa, desde donde se puede apreciar la majestuosa Ciudad de Zacatecas.

El intercambio académico, de investigación y vinculación entre pares académicos, de diferentes instituciones públicas y privadas permite una colaboración permanente entre los docente-investigadores agrupados en Cuerpos Académicos e investigadores de centros de investigación, permite la difusión de los hallazgos científicos y tecnológicos desarrollados a través de las líneas de generación y aplicación del conocimiento que en forma individual y grupal cultivan. Asimismo, los alumnos también participaron con sus trabajos de investigación que realizan durante su formación de Licenciatura o Posgrado, esto les permite un acercamiento con investigadores nacionales e internacionales. Es una de las tareas sustantivas de la Universidad Autónoma de Zacatecas, esto se logró en el Congreso Nacional de Geoquímica 2018.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Tuvimos la presencia de investigadores, docentes y estudiantes de las siguientes instituciones UNIVERSIDAD DE SONORA; UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA; UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO; UNIVERSIDAD AUTONOMA DE HIDALGO; UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI; UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON; UNIVERSIDAD AUTONOMA DE YUCATAN; CICESE; IPICITY; UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA; UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO; UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PACHUCA; UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA; GAREME RED TEMATICA DEL CONACYT; UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS; INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO; PEMEX y PETROANÁLISIS INGENIERÍA S. DE R.L. DE C.V, y CARBONATITE RESEARCH CENTRE, AMBA DONGAR, GUJARAT, INDIA.

Aportando 100 trabajos de investigación (resúmenes, carteles y artículos completos), de los cuales el 48% fueron presentados por estudiantes de Licenciatura, Maestría y Doctorado. Contamos con la presencia de 176 asistentes al congreso entre ponentes, patrocinadores y algo muy importante de resaltar es la asistencia de aproximadamente 60 estudiantes, esto es un buen indicador para el INAGEQ ya que estos jóvenes científicos pueden ser una alerta para continuar desarrollando e impulsando a esta asociación científica estudiosa de ciencias de la tierra.

Un reconocimiento de la Universidad Autónoma de Zacatecas, a través del Área Ingenierías y Tecnología y la Unidad Académica de Ingeniería por haber apoyado el **XXVIII Congreso Nacional de Geoquímica** con ponencias del más alto nivel, las cuales fueron presentadas por docentes, investigadores y alumnos de licenciatura y posgrado (Maestría y Doctorado). Gracias por habernos acompañado en Zacatecas 2018.

**Estimados congresistas ojala hayan disfrutado su estancia en nuestra Institución y en la bella ciudad de Zacatecas**

**“COMITÉ ORGANIZADOR”**

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### Cursos Precongreso

**LUNES 1 DE OCTUBRE DE 2018**

HORA	CURSOS PRECONGRESO	LUGAR	PONENTE
9:00 - 14:00 y de 16:00 - 20:00	<b>Curso I:</b> "El arco de islas del Cretácico Temprano en Zacatecas".	<b>AULA 1.</b> Maestría en Ingeniería Aplicada	Dr. Felipe de Jesús Escalona Alcázar
9:00 - 14:00 y de 16:00 - 20:00	<b>Curso II:</b> "Muestreo Hidrogeoquímico del agua en pozos profundos".	<b>AULA 2.</b> Maestría en Ingeniería Aplicada	Dr. Osbaldo Navarro Solís; Dr. Hugo Enrique Jùnez Ferreira y Dr. Julián González Trinidad
9:00 - 14:00 y de 16:00 - 20:00	<b>Curso III:</b> "Análisis Estadístico de Datos Composicionales".	<b>AULA 3.</b> Maestría en Ingeniería Aplicada	Dr. Surendra P. VERMA
9:00 - 14:00 y de 16:00 - 20:00	<b>Curso IV:</b> "Curso Preparación de Láminas Delgadas de Muestras Litológicas".	<b>AULA 4.</b> Maestría en Ingeniería Aplicada	Ing. José Antonio Hernández Godoy Petroanálisis Ingeniería S. de R.L. de C.V.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

# PROGRAMA GENERAL

## XXVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA

**2018**

**DEL 1 AL 5 DE OCTUBRE 2018**

**MARTES 2 DE OCTUBRE DE 2018**

HORA	PONENCIA	PONENTE
8:00 – 9:00	Inscripción	
9:00 - 10:00	<b>INAUGURACIÓN DEL CONGRESO</b>	
10:00 - 10:15	<b>RECESO</b>	
10:15 - 11:00	<b>CONFERENCIA MAGISTRAL</b> "Carbonatite magmatism in relation to the Deccan Volcanism"	Dr. Shrinivas G. Viladkar. Carbonatite Research Centre, Amba Dongar, Gujarat, India
11:00 - 11:15	<b>RECESO</b>	
	<b>ÁREA TEMÁTICA: VULCANOLOGÍA</b>	
11:15 - 11:30	Vulcazac 03	Kailasa Pandarinath I
11:30 - 11:45	Vulcazac 06	Velasco-Tapia, F
11:45 - 12:00	Vulcazac 07	Horta-Puga, Guillermo
12:00 - 12:15	Vulcazac 08	Cristiani-Solís Carlos Gaspar
	<b>ÁREA TEMÁTICA: BIOGEOQUÍMICA</b>	
12:15 - 12:30	Biozac 02	María Luisa García-Zepeda
12:30 - 12:45	<b>RECESO</b>	
12:45 - 13:30	<b>CONFERENCIA MAGISTRAL</b> "Avances recientes en Geoquimiometría"	Surendra P. VERMA. Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Temixco, Morelos, México.
13:30 - 13:45	<b>RECESO</b>	
	<b>ÁREA TEMÁTICA: GEOQUIMIOMETRÍA</b>	
13:45 - 14:00	Geoquizac 01	Pacheco Guerrero A.I
14:00 - 14:15	IMEMG 01	Yashim Arizmendi Leal
14: 00 - 15:30	<b>COMIDA</b>	
15:30 - 15:45	Geoquizac 05	Encina Montes Lizette
15:45 - 16:00	GEOGE 03	Teodoro Hernández-Treviño1



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

16:15 - 16:30

**RECESO**
**ÁREA TEMÁTICA: GEOQUÍMICA AMBIENTAL Y SALUD**

16:30 - 16:45

Biozac 01

Labastida Núñez Israel

16:45 - 17:15

Gaszac 01

Hernández-Terrazas, G

**SECCIÓN DE POSTER**

17:15 - 18:30

Cartelzac 01

Gutiérrez Martínez, Jhoan Felipe

Vulcazac 04

Pascal sieck

Geozac 01

Irma Gabriela Vargas-Martínez

Biozac 03

Alejandro H. Marín-Leyva

20:00

**CONCIERTO DE GRUPO HUAYRAPAMUSHKA**
**FORO DEL TEATRO CALDERON**

## MIÉRCOLES 3 DE OCTUBRE DE 2018

HORA	PONENCIA	PONENTE
<b>ÁREA TEMÁTICA: GEOQUÍMICA AMBIENTAL Y SALUD</b>		
8:00 - 8:15	Gaszac 04	Saucedo Eguía, Favela Mabel
8:15 - 8:30	Gaszac 05	Nungaray Anguiano Edna Judith
8:30 - 8:45	Gaszac 07	Morales-González, Fernando
8:45 - 9:00	Gaszac 08	Ibarra-Vázquez, Jorge Alejandro
9:00 - 9:15	Gaszac 09	Loredó Jasso Alan Ulises
9:15 - 9:25	<b>RECESO</b>	
9:25 - 9:40	Gaszac 10	Margarita Beltrán Villavicencio
9:40 - 9:55	Gaszac 12	Karen Yazmin Meneses-Salas
9:55 - 10:10	Gaszac 13	Patricia Candelaria Montiel García
<b>ÁREA TEMÁTICA: GEOQUÍMICA</b>		
10:10 - 10:25	Geozac 02	Alejandra Chávez-Arteaga y priyadaris
10:25 - 10:40	Geozac 03	Rodríguez-Flores, W.I
10:40 - 10:55	Geozac 04	Díaz-Martínez, R
10:55 - 11:05	<b>RECESO</b>	
11:05 - 11:20	Geozac 05	Ramos-Vázquez y Armstrong-Atrin
11:20 - 11:35	Hidrozac 04	Navarro Solís Osbaldo
11:35 - 11:50	Geozac 07	Martínez-Salinas, E. A
11:50 - 12:05	Geozac 08	Arispuro Suarez Jesús Raymundo

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

12:05 - 12:20	Geozac 09	Robles Pinedo Claudia
12:20 - 12:35	Geozac 10	Alemán Gallardo Eduardo
12:35 - 12:45	<b>RECESO</b>	
	<b>ÁREA TEMÁTICA: GEOQUÍMICA DE ISOTOPOS Y GEOCROLOGIA</b>	
12:45 - 13:00	Gigzac 02	Singh Pradip K
13:00 - 13:15	Gigzac 03	Amabel Ortega-Rivera
13:15 - 13:30	Gigzac 04	Amabel Ortega-Rivera
13:30 - 13:45	IMAGEzac 01	Verma Mahendra P
	<b>ÁREA TEMÁTICA: GEOTERMIA</b>	
13:45 - 14:00	Geotzac 01	Kailasa Pandarinath
14:00 - 14:15	Geotzac 02	José Martínez Reyes
14:15 - 15:30	<b>COMIDA</b>	
15:30 - 15:45	Geotzac 03	Reneé González-Guzmán
	<b>TEMÁTICA. SESIÓN ESPECIAL: RASGOS GEODINAMICOS E HISTORIA GEOLOGICA DEL NW DE MÉXICO.</b>	
15:45 - 16:00	SENWzac 08	Melgarejo Joris Emmanuel
16:00 - 16:15	SENWzac 06	Rojo Méndez Luis Antonio
16:15 - 16:30	SENWzac 23	Carlos Pita de la Paz
17:15	<b>ASAMBLEA GENERAL DEL INAGEQ</b>	

## JUEVES 4 DE OCTUBRE DE 2018

HORA	PONENCIA	PONENTE
	<b>TEMÁTICA. SESIÓN ESPECIAL: RASGOS GEODINAMICOS E HISTORIA GEOLOGICA DEL NW DE MÉXICO.</b>	
8:00 - 8:15	SENWzac 01	Fabián Gutiérrez Aguilar
8:18 - 8:30	SENWzac 12	Octavio Vite
8:30 - 8:45	SENWzac 02	Fernando Díaz
8:45 - 9:00	SENWzac 29	Pérez Venzor José Antonio
9:00 - 9:15	SENWzac 18	Schaaf Peter
9:15 - 9:30	<b>RECESO</b>	
9:30 - 9:45	SENWzac 28	Barrón-Díaz, Arturo Joaquín
9:45 - 10:00	SENWzac 13	Ricardo Vega
10:00 - 10:15	SENWzac 15	López Velarde Gerardo Alonso
10:15 - 10:30	SENWzac 19	Iriondo Alexander
10:30 - 10:45	SENWzac 16	Paz Moreno Francisco Abraham

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

10:45 - 11:00	<b>RECESO</b>		
11:00 - 11:15	SENWzac 07		Jocelyn Galindo Ruiz
11:15 - 11:40	LABORATORIO		
11:40 - 11:55	SENWzac 20		Lugo Zazueta Raúl
11:55 - 12:10	SENWzac 25		Gómez-Valencia Alejandra Marisela
12:10 - 12:25	SENWzac 09		Pérez-Aguilar Lidio
12:25 - 12:40	SENWzac 10		Velderrain Rojas, Luis Alonso
12:40 - 12:50	<b>RECESO</b>		
12:50 - 13:05	SENWzac 30		Adriana Piña-Páez
13:05 - 13:20	SENWzac 21		VIDAL-SOLANO Jesús Roberto
13:20 - 13:35	SENWzac 22		Willys Ortiz
13:35 - 13:40	<b>RECESO</b>		
13:40 - 14:40	<b>CONFERENCIA MAGISTRAL</b> "Contribución de la Geoquímica Orgánica a la exploración de hidrocarburos en el Golfo de México y sus implicaciones económico-petroleras "		Armando Nava Cedillo PEMEX. Exploración-Producción
14:45 - 16:00	<b>COMIDA</b>		
	<b>TEMÁTICA. SESIÓN TÉCNICA DE GEOGENÓMICA</b>		
16:00 - 17:00	<b>CONFERENCIA MAGISTRAL</b> "Contribución del Instituto Mexicano del Petróleo en la estimación de los recursos petroleros prospectivos no convencionales asociados a lutitas en dos sitios de México (formaciones Pimienta e Eagle Ford): un proyecto integral"		Gustavo Murillo Muñetón
17:00 - 17:10	<b>RECESO</b>		
17:10 - 17:25	Biozac 04		Carlos I. Leyva-Campohermoso
17:25 - 17:40	Biozac 05		Cristal Méndez-Díaz
17:40 - 17:55	Geo Geo 02		Kinardo Flores-Castro
17:55 - 18:10	Geo Geo 04		Noé Piedad Sánchez
18:10 - 18:25	LNGMzac 01		Edith Fuentes
18:25 - 18:40	<b>RECESO</b>		
18:40 - 19:15	ASAMBLEA DE LA RED TEMÁTICA CONACYT		
19:15 - 20:30	COFFEE BREAK OFRECIDO POR GAREME		
21:00	TRADICIONAL CALLEJONEADA		

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**
**VIERNES 5 DE OCTUBRE DE 2018**

HORA	PONECIA	PONENTE
<b>SESIÓN POSTER</b>		
9:00 - 10:00	POSTER SENWzac 11	Hinojosa-Prieto, Héctor R.
	POSTER SENWzac 04	Cesar Alixan Díaz Hernández
	POSTER Geoquizac 02	Ochoa-Alcalá Dulce Adilene
	POSTER Geoquizac 03	Olivia Zamora Martínez
	POSTER Geoquizac 04	Mendoza Córdova Abraham
	POSTER SENWzac 04	Cazares Moreno Alexandra Daniela
	POSTER Gaszac 02	Carrillo Monsrreal Mónica Marisol
	POSTER SENWzac 03	Sharon Lizbeth Báez Chávez
<b>ÁREA TEMÁTICA: HIDROGEOQUÍMICA</b>		
10:00 - 10:15	Geogeo 01	Ricardo Cureño
10:15 - 10:30	Hidrozac 01	Aceves De Alba Jorge
10:30 - 10:45	Hidrozac 02	Martínez Partida Maribel Emilia
10:45 - 11:00	Hidrozac 03	Cardona Antonio
11:00 - 11:15	Geozac 06	Alonso Torres Sócrates
11:15 - 11:30	Hidrozac 05	Kretzschmar, Thomas
11:30 - 11:45	<b>RECESO</b>	
<b>ÁREA TEMÁTICA: INTERFACE PARA EL CONTROL DE CONTAMINANTES</b>		
11:45 - 12:00	Icczac 01	Mendoza Flores Arturo
12:00 - 12:15	Icczac 02	Lorenzo-Flores Alfonso
<b>ÁREA TEMÁTICA: PETROLOGÍA ÍGNEA</b>		
12:15 - 12:30	Gaszac 11	Manuel Contreras-López
12:30 - 12:45	Pizac 01	Víctor Alejandro Leal Cuellar
12:45 - 13:00	Pizac 03	RAMÍREZ-FERNÁNDEZ, Juan Alonso
13:00 - 13:15	<b>RECESO</b>	
13:15 - 13:30	Pizac 04	Reneé González-Guzmán
13:30 - 13:45	Pizac 05	Ivan Zavala-Ibarra
<b>ÁREA TEMÁTICA: PETROQUÍMICA</b>		
13:45 - 14:00	Petrozac 02	Guillermo Vera-Vera
14:00 - 14:30	Petrozac 03	Rodríguez Vega, A
14:30 - 15:30	<b>COMIDA</b>	
15:30 - 15:45	Petrozac 05	Guzmán González G
15:45 - 16:00	Petrozac 04	Faz Aguilar A.C
16:00 - 16:15	Petrozac 06	González- Partida E

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

16:15 - 16:30	Petrozac 07	González- Partida E
16:30 - 16:45	Petrozac 08	González- Partida E
16:45 - 17:00	<b>RECESO</b>	
17:00 - 17:15	Petrozac 09	González- Partida E
17:15 - 17:30	Petrozac 10	González Betancourt Aurea Yahaira
17:30 - 17:45	<b>RECESO</b>	
17:45	Entrega de Premios a Estudiantes Mejores Ponencias nivel licenciatura, maestría y doctorado	
<b>CLAUSURA DEL CONGRESO</b>		

### NOTA PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS EN EL CONGRESO

- **Tiempo máximo para cada presentación: 10 minutos.**
- **Formato libre (escoja Ud. su estilo de Powerpoint).**
- **No hay un número límite de diapositivas.**
- **Traiga Ud. su presentación en una memoria USB.**
- **Favor de presentarse en la sala al inicio de la temática donde presentara.**

### VISITAS TURÍSTICAS y TÉCNICAS

- **MIÉRCOLES 3 DE OCTUBRE DE 2018. ZACATECAS “SUS RUINAS Y SUS RIMAS”.** Recorrido en la ruinas de Chicomostoc y Visita al Pueblo Mágico de Jerez Zacatecas.
- **JUEVES 4 DE OCTUBRE 2018. “ZACATECAS IMPRESIONANTE”.** Recorrido por la Mina del Edén, Teleférico y La Bufa.
- **SABADO 6 DE OCTUBRE 2018 "Libramiento norte" entre Saucedá de la Borda y la caseta de Veta grande. Zona de Manantiales y pozos Termales en casa de cerros y Calera**



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### Mensaje de bienvenida por la Maestra Lourdes Olivan

Buenos días Estimadas personalidades que nos acompañan en el presidium, Apreciables Señoras y Señores Congressistas, docentes-investigadores, queridos estudiantes, medios de comunicación, asistentes al Congreso. Me complace mucho darles la bienvenida a esta ciudad colonial de Zacatecas con “rostro de cantera y corazón de plata”, incluida en 1993 en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO por su arquitectura y traza urbana, y el esplendor de su Centro Histórico. Además ciudad escenario de la que se considera la batalla más importante de la Revolución mexicana: la toma de Zacatecas.

En este día que es tan especial para todos los presentes, ya que hoy da inicio el XXVIII Congreso Nacional de Geoquímica 2018, es para nosotros muy satisfactorio tener la oportunidad de atenderlos en esta ocasión como sede de este gran evento en el cual tiene, la finalidad de fomentar la interacción entre instituciones y grupos de trabajo, contamos con la participación de 23 instituciones y más de 160 asistentes.

Nuestro reconocimiento a los distinguidos investigadores nacionales y extranjeros que nos honran hoy con su presencia y con el aporte de sus valiosos conocimientos, queremos darles nuestras gracias por su participación. De igual modo a los miembros del INAGEQ al comité organizador, a nuestros reconocidos investigadores, docentes y estudiantes que conformaron los diferentes comités, por su significativa y destacada participación en la organización de este evento.

ASÍ COMO A:

LA SECRETARIA DE TURISMO DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE ZACATECAS

EL CONSEJO ZACATECANO DE CIENCIA TECNOLOGÍA E INOVACION

AL INSTITUTO DE CULTURA

A LAS EMPRESAS PRE LAB DE MÉXICO

ISASA

MARKETING COMMUNICATIONS SPECIALIST AGILENT

CIMAGO

Bienvenidos al XXVIII Congreso Nacional de geoquímica 2018. Es notable la riqueza y variedad de temas a desarrollarse durante los 4 días del Congreso y, por ello, las extraordinarias oportunidades de intercambio y diálogo que las más

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

de 100 ponencias, tres conferencias magistrales y dos sesiones especiales, permitirán que el encuentro de investigadores sea posible. En este recinto, el Museo de Arte Abstracto Manuel Felguérez, primer museo de su tipo en México y América Latina, desde 1998, como iniciativa del artista plástico zacatecano Manuel Felguérez, del gobierno del Estado de Zacatecas y del INBA. Donde se pueden admirar más de 170 artistas, junto con un acervo de más de 800 piezas, entre pintura, escultura, grabado y objetos personales del maestro Felguérez.

Haciendo honor y realidad la letra del himno de la Universidad Autónoma de Zacatecas:

***Contigo marcharé, nunca me apartes ¡Sembremos, cosechemos igualdad!***

***Forjemos el futuro con el arte, la ciencia y el desarrollo cultural.***

Enhorabuena, que las actividades sean provechosas y satisfactorias, les deseamos la mejor de las estancias.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

## **Conferencias Magistrales**

**Carbonatite magmatism in relation to the Deccan Volcanism**

**Shrinivas G. Viladkar**

Carbonatite Research Centre, Amba Dongar, Gujarat, India

**Avances recientes en Geoquimiometría <http://tlaloc.ier.unam.mx>:**

**Estado 2018**

**Surendra P. VERMA**

Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Temixco, Morelos, México

**Contribución de la Geoquímica Orgánica a la exploración de  
hidrocarburos en el Golfo de México y sus implicaciones  
económico-petroleras**

**Armando Nava Cedillo**

PEMEX. Exploración-Producción

**“Contribución del Instituto Mexicano del Petróleo en la  
estimación de los recursos petroleros prospectivos no  
convencionales asociados a lutitas en dos sitios de México  
(formaciones Pimienta e Eagle Ford): un proyecto integral”.**

**Gustavo Murillo Muñetón**

Instituto Mexicano del Petróleo

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### Contenido

	Pág
CARBONATITE MAGMATISM IN RELATION TO THE DECCAN VOLCANISM....	1
Shrinivas G. Viladkar .....	1
AVANCES RECIENTES EN GEOQUIMIOMETRÍA <a href="http://tlaloc.ier.unam.mx:Estado">http://tlaloc.ier.unam.mx:Estado</a> 2018.....	9
Surendra P. VERMA.....	9
CONTRIBUCIÓN DE LA GEOQUÍMICA ORGÁNICA A LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SUS IMPLICACIONES ECONÓMICO-PETROLERAS .....	32
Armando Nava Cedillo (PEMEX. Exploración-Producción .....	32
“CONTRIBUCIÓN DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO EN LA ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS PETROLEROS PROSPECTIVOS NO CONVENCIONALES ASOCIADOS A LUTITAS EN DOS SITIOS DE MÉXICO (OBJETIVOS FORMACIONES PIMIENTA E EAGLE FORD): UN PROYECTO INTEGRAL” .....	34
Gustavo Murillo Muñetón.....	34
<b>Area temática vulcanología .....</b>	<b>37</b>
LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL INDUCE HUELLAS EN LAS PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LAS ROCAS - SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA.....	37
Kailasa Pandarinath <sup>1,*</sup> , Rajasekhariah Shankar <sup>2</sup> , E. Santoyo <sup>1</sup> , Shwetha Shetty <sup>2</sup> , America Yosiris García-Soto <sup>3</sup> and Eduardo Gonzalez-Partida <sup>4</sup> .....	37
FORMACIÓN SAN FELIPE (CRETÁCICO SUPERIOR; NORESTE DE MÉXICO): ESTUDIO MINERALÓGICO-GEOQUÍMICO-GEOCRONOLÓGICO PARA UN	

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

SISTEMA SEDIMENTARIO CALCÁREO EN TRANSICIÓN A UNO CLÁSTICO INFLUENCIADO POR UN VULCANISMO DE ARCO .....	39
Velasco-Tapia, F.1, Tienda-Garza, J.A.1, Pichardo-Barrón, Y.1, Ramírez-Fernández, J.A.1, Jenchen, U.1 & Garza-Tovar, L.L.2 .....	39
CONTENIDO TOTAL Y BIODISPONIBLE DE CU Y PB EN SEDIMENOS MARINOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL FRENTE AL PUERTO DE VERACRUZ .....	41
Horta-Puga, Guillermo*, Rafael Andrés Cabral-Tena, Aura A. Morales-Aranda, Estefanía Navarro-Miguel. ....	41
ORIGEN Y EDAD DEL VULCANISMO SILÍCICO DE EPAZOYUCAN-SIERRA DE PACHUCA .....	43
Cristiani-Solís Carlos Gaspar1*, Martínez-Serrano Raymundo Gerardo1, Solé-Viñas Jesús2, Solís-Pichardo Gabriela1 .....	43
NEW LITHOSTRATIGRAPHIC AND GEOCHEMICAL ANALYSIS OF THE LAVA-LIKE IGNIMBRITE SUCCESSION OF VILLA GARCIA (ZACATECAS). ....	45
Pascal Sieck1*, Pablo Dávila-Harris1, Rubén López-Doncel3, Alfredo Aguillón-Robles3; Gabriela del Carmen Lara Gonzalez2 .....	45
<b>Area temática Biogeoquímica .....</b>	<b>47</b>
ECOLOGÍA ALIMENTICIA Y EL HÁBITAT DEL CAMÉLIDO <i>CAMELOPS HESTERNUS</i> DEL PLEISTOCENO TARDÍO EN EL CENTRO OCCIDENTE DE MÉXICO USANDO LA VARIACIÓN ISOTÓPICA DE CARBONO Y OXÍGENO. ...	47
María Luisa García-Zepeda 1*, Alejandro H. Marín-Leyva 1, 2, Ramón A. Plata-Ramírez 1, Sabrina Delgado García 1, Joaquín Arroyo-Cabrales 3 .....	47
<b>Area Temática Geoquímica .....</b>	<b>49</b>



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

MODELO CRONOLÓGICO DE SEDIMENTOS DEL PLEISTOCENO-HOLOCENO Y ABUNDANCIAS DE MINERALES EVAPORITICOS-CLÁSTICOS EN LA CUENCA CIENEGUILLA, ESTADO DE TAMAULIPAS .....	49
Alejandra Chávez-Arteaga <sup>1, *</sup> , Priyadarsi D. Roy <sup>2</sup> .....	49
EVALUACIÓN GEOQUÍMICA AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO ÁLAMOS, NUEVA ROSITA, COAHUILA. ....	51
Rodríguez-Flores, W.I.* <sup>1</sup> ; Hernández-Terrazas, G. <sup>1</sup> ; Díaz-Martínez, R. <sup>1</sup> , Dávila-Pulido, G.I. <sup>1</sup> ; Salinas-Martínez, E.A.; Rodríguez-Vega, A. <sup>1</sup> , Rodríguez-Batista, J.A. <sup>1</sup> ; Almaguer-Carmenates, Y <sup>1</sup> . ....	51
FORTALEZAS Y DEBILIDADES EN CALIDAD Y PRECISIÓN ANALÍTICA DE UN EQUIPO PORTÁTIL DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (PFRX). ....	53
Arispuro Suarez Jesus Raymundo. Universidad de Sonora. ....	53
COMPLEJO METAMÓRFICO GNEIS NOVILLO, CD. VICTORIA, TAMAULIPAS. COMPARACIÓN GEOQUÍMICA CON EL MICROCONTINENTE OAXAQUIA.....	55
ALEMÁN-GALLARDO, Eduardo Alejandro <sup>1</sup> , RAMÍREZ-FERNÁNDEZ, Juan Alonso <sup>2</sup> , JENCHEN, Uwe <sup>2</sup> , WEBER Bodo <sup>3</sup> , CASAS-PEÑA, Juan Moisés <sup>1</sup> .....	55
<b>Area temática geoquímica de isotopos y geocronología .....</b>	<b>56</b>
GEOCHRONOLOGICAL AND GEOCHEMICAL SIGNATURES OF THE SANUKITOIDS AND ANATECTIC GRANITES OF THE BUNDELKHAND CRATON, INDIA: IMPLICATIONS FOR LATE-ARCHEAN CRUSTAL EVOLUTION .....	56
Singh Pradip K.* <sup>1</sup> , Verma Sanjeet K. <sup>2</sup> , Singh Vinod K. <sup>3</sup> , Moreno Juan A. <sup>4</sup> , Oliveira Elson P. <sup>5</sup> .....	56
GEOCRONOLOGÍA <sup>40</sup> AR/ <sup>39</sup> AR Y GEOQUÍMICA DEL VULCANISMO EN LA CUENCA DE ARIVECHI, ESTE DE SONORA, MÉXICO .....	58
Amabel Ortega-Rivera <sup>1</sup> , José Luis Rodríguez-Castañeda <sup>1</sup> , .....	58

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Fernando Velasco Tapia <sup>2</sup> y Jaime Roldán-Quintana <sup>1</sup> .....	58
PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCROLOGÍA <sup>40</sup> AR/ <sup>39</sup> AR DE LAS ROCAS INTRUSIVAS DEL SW DE LA SIERRA LA MADERA, SONORA .....	60
Amabel Ortega-Rivera <sup>1</sup> , Fernando Velasco Tapia <sup>2</sup> , .....	60
José Luis Rodríguez-Castañeda <sup>1</sup> y Guillermo Loera Quintanilla <sup>2</sup> .....	60
UNA EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA SIMULACIÓN DEL TRANSPORTE DE VAPOR EN LAS REDES DE VAPORDUCTOS DE PLANTAS GEOTÉRMICAS DE LOS AZUFRES CON PIPEPHASE, SIMS.NET Y GEOSTEAM.NET .....	62
Verma Mahendra P. <sup>*1</sup> , Torres-Encarnación José Augusto <sup>1</sup> , López-López Juan Christian <sup>1, 2</sup> , González-Reyes Ismael <sup>1</sup> , Martínez-Estrella Juan Ignacio <sup>1</sup> , Hernández-Ochoa Abel <sup>1</sup> , Salinas-Vázquez Martínez <sup>2</sup> , Ruiz-Lemus Alejandro <sup>3</sup> , Casimiro-Espinosa Emigdio <sup>3</sup> , García-Gutiérrez Alfonso <sup>4</sup> .....	62
GEOCROLOGÍA DE ROCAS ÍGNEAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS TECTÓNICOS EN LA REGIÓN DE CHILPANCINGO - TIERRA COLORADA, ESTADO DE GUERRERO, SUR DE MÉXICO. ....	66
Teodoro Hernández-Treviño <sup>1</sup> , Peter Schaaf <sup>1</sup> , Gabriela Solís-Pichardo <sup>2</sup> ., Vianney Meza-García <sup>1</sup> .....	66
<b>Area temática Geotermia .....</b>	<b>68</b>
MOVILIDAD DE ELEMENTOS MAYORES, REE Y TRAZAS DEBIDO A LA ALTERACIÓN HIDROTERMAL EN EL SISTEMA GEOTÉRMICO ACOCULCO, MÉXICO. ....	68
Kailasa Pandarinath <sup>*1</sup> . García Soto América Yosiris <sup>1</sup> . Santoyo Edgar <sup>1</sup> , Guevara Mirna <sup>1</sup> y González-Partida Eduardo <sup>2</sup> .....	68
ESTUDIO GEOTÉRMICO PREELIMINAR DE LA FALLA PAJACUARAN EN LA ZONA DE PERIBAN, MICH. ....	70

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

José Martínez Reyes * <sup>1</sup> , Ignacio Moreno Nava <sup>1</sup> , Iván Vera Romero <sup>1</sup> , Agustina Ortiz Soriano <sup>1</sup> .....	70
CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA E ISOTÓPICA DEL CAMPO GEOTÉRMICO LOS GEYSERS, NORTE DE LA FAJA VOLCÁNICA MEXICANA: UN ESTUDIO DESDE EL ORIGEN DE LOS FLUIDOS, HASTA LA PRECIPITACION DE GEYSERITAS .....	71
Reneé González-Guzmán <sup>1*</sup> , Claudio Inguaggiato <sup>1</sup> , Thomas Kretzschmar <sup>1</sup> , Bodo Weber <sup>1</sup> , Loïc Peiffer <sup>1</sup> .....	71
<b>Area temática Geoquímica ambiental y salud .....</b>	<b>73</b>
ESTUDIO GEOQUÍMICO AMBIENTAL PRELIMINAR PROVOCADO POR METALES PESADOS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, NUEVA ROSITA, COAHUILA.....	73
Hernández-Terrazas, G. <sup>1</sup> ; Díaz-Martínez, R. <sup>1</sup> , Dávila-Pulido, G.I. <sup>1</sup> ; Rodríguez-Flores, W <sup>1</sup> .; Salinas-Martínez, E.A.; Rodríguez-Vega, A. <sup>1</sup> , Rodríguez-Batista, J.A. <sup>1</sup> ; Almaguer-Carmenates, Y <sup>1</sup> . .....	73
EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y ORGANOCOLORADOS EN EL TRANSECTO MÉRIDA-PROGRESO, YUCATÁN.....	75
Carrillo Monsrreal Mónica Marisol. Cardona Benavides Antonio. Giácoman Vallejos Germán. Flores Lorenzo Alfonso. ....	75
ESPECIACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA A PARTIR DE EXTRACCIONES QUÍMICAS SECUENCIALES EN JALES DE MINA DE ZACATECAS .....	77
Saucedo Eguía, Favela Mabel <sup>1*</sup> , García-Arreola, María Elena <sup>1</sup> , Loredó-Tovías, Marcos <sup>1</sup> , Pinedo-Torres, Laura Alejandra <sup>2</sup> . .....	77

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOQUÍMICOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE CARBÓN PERTENECIENTES A LA CUENCA CARBONÍFERA DEL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO..... 79

Ibarra-Vázquez, Jorge Alejandro<sup>1\*</sup>; Maldonado-Castillo, Julio Cesar<sup>1</sup>; Guajardo-Lara, Juan José<sup>2</sup>; Rivera-García, José Jovany<sup>2</sup>. ..... 79

CARACTERIZACIÓN DE LOS SÓLIDOS FORMADOS AL NEUTRALIZAR EL PH DE SALES EFLORESCENTES DE AMBIENTES DE RESIDUOS MINEROS CON ALTOS CONTENIDOS DE MG (II), ZN (II) Y CU (II). ..... 81

Loredo Jasso Alan Ulises<sup>1\*</sup>, Villalobos Peñalosa Mario<sup>1</sup>, Pi Puig Teresa<sup>2</sup>, Meza Figueroa Diana María<sup>3</sup> ..... 81

ANÁLISIS GEOQUÍMICO E ISOTÓPICO DE SM-ND Y SR DE LA SECUENCIA PLUTÓNICO VOLCÁNICA DE ARCO DE ISLAS DEL JURÁSICO MEDIO, EXTREMO SUR DEL CINTURÓN BATOLÍTICO PENINSULAR..... 83

Manuel Contreras-López<sup>1</sup>, Luis A. Delgado-Argote<sup>1</sup>, Bodo Weber<sup>1</sup>, Xóchitl G. Torres-Carrillo<sup>2</sup> y Doris K. Gómez-Alvarez<sup>1</sup> ..... 83

**Area temática hidrogeoquímica ..... 85**

GENERACIÓN DE UNA RED DE MONITOREO MULTIVARIABLE PARA LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA BASADO EN LA UBICACIÓN ESPACIAL, DENTRO DEL ACUÍFERO DE CALERA, ZACATECAS..... 85

Aceves De Alba Jorge<sup>1</sup>, Júnez Ferreira Hugo Enrique<sup>2</sup>, Cardona Antonio<sup>1</sup>, González Trinidad Julián<sup>2</sup>, Bautista Capetillo Carlos Francisco<sup>2</sup> ..... 85

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA SOBRE EL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL DISTRITO DE RIEGO 049, RIOVERDE, SAN LUIS POTOSÍ. .... 87

Martínez Partida Maribel Emilia <sup>(1)</sup>, Cardona Benavides Antonio <sup>(2)</sup>, Giacomán Vallejos Germán <sup>(3)</sup>, Charcas Salazar Hilario <sup>(4)</sup>, Lorenzo Flores Alfonso <sup>(5)</sup> ..... 87

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

CONTROLES NATURALES PARA EL MANEJO DE LA CAPTACIÓN DE SISTEMAS DE FLUJO REGIONAL CON VALORES ELEVADOS DE FLUORURO EN SAN LUIS POTOSI .....	89
Cardona Antonio <sup>1</sup> , Rivera-Armendáriz Cristian Abraham <sup>1</sup> , Alonso Torres .....	89
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN ZONAS RURALES DEL ALTIPLANO DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSI, MÉXICO .....	91
Alonso Torres Sócrates <sup>1</sup> , Ruiz Rivera Claudia <sup>1</sup> , Cardona Antonio <sup>1</sup> , Rivera-Armendáriz Cristian Abraham <sup>1</sup> , Castro-Larragoitia Javier <sup>1</sup> .....	91
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA DE LOS ALREDEDORES DE ACOCULCO, PUEBLA/HIDALGO .....	93
Kretzschmar, Thomas <sup>1*</sup> , Lelli, Matteo <sup>2</sup> , Alfaro Ruth <sup>3</sup> , Sanchez Avila, Juan Ignacio <sup>1</sup> .....	93
IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES MINERALES COMO SOPORTE EN UNA INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA .....	95
Navarro Solís Osbaldo <sup>1*</sup> , Júnez Ferreira Hugo Enrique <sup>1</sup> , González Trinidad Julián <sup>1</sup> , y Montes Isidro <sup>2</sup> Claudia Ivetthe Avila Sandoval <sup>3</sup> .....	95
<b>Area temática interface para el control de contaminantes .....</b>	<b>97</b>
DETERMINACIÓN EMPÍRICA DE LAS CONSTANTES DE ACIDEZ Y DE ADSORCIÓN DE PB (II) EN LOS SITIOS SUPERFICIALES ACTIVOS DE LA GOETITA USANDO EL MODELO CD-MUSIC. ....	97
Mendoza Flores Arturo*, Villalobos Peñalosa Mario .....	97
DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE PROTECCIÓN DE CAMPO DE POZOS DE ABASTECIMIENTO. CAMPO DE POZOS MÉRIDA I, DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN, COMO CASO DE ESTUDIO. ....	99



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Lorenzo-Flores Alfonso *, Cabrera-Sansores Armando <sup>1</sup> , Pacheco-Ávila Julia Guadalupe <sup>1</sup> , Osorio-Rodríguez Humberto <sup>1</sup> . Antonio Cardona Benavides .....	99
<b>Área temática petrología ígnea .....</b>	<b>101</b>
“PETROLOGÍA DE LAS ROCAS GABRÓICAS CON CARACTERÍSTICAS DE MAGMAS PRIMARIOS, SIERRA DE SAN CARLOS, TAMAULIPAS” .....	101
Víctor Alejandro Leal Cuellar <sup>1*</sup> y Juan Alonso Ramírez Fernández <sup>1</sup> .....	101
PETROGRAFÍA, MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LAS FERROCARBONATITAS Y ROCAS ASOCIADAS EN SIERRA DE CRUCES: IMPLICACIONES EN LA METALOGENIA Y LA EXPLORACIÓN MINERA DE TIERRAS RARAS Y OTROS METALES ESTRATÉGICOS .....	103
Sigala González J.L.* <sup>1</sup> , Rodríguez Vega, A. <sup>1</sup> , Martínez Bermúdez, A. <sup>2</sup> , Díaz Martínez, R. <sup>1</sup> , Rodríguez-Batista, J.A. <sup>1</sup> .....	103
NUEVAS EVIDENCIAS DE MAGMATISMO ÁCIDO DEL ORDOVÍCICO EN EL BASAMENTO DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL, CD. VICTORIA, TAMPS... ..	105
RAMÍREZ-FERNÁNDEZ, Juan Alonso, ALEMÁN-GALLARDO, Eduardo Alejandro, VELASCO-TAPIA, Fernando y JENCHEN Uwe. ....	105
PETROGÉNESIS DE ROCAS PLUTÓNICAS DEL PALEOZOICO TARDÍO EN EL SUR DEL COMPLEJO DEL MACIZO DE CHIAPAS: ¿AMBIENTE TECTÓNICO DE ARCO MAGMÁTICO O POST-COLISIONAL? .....	107
Reneé González-Guzmán <sup>1*</sup> , Bodo Weber <sup>1</sup> , Alejandro Cisneros de León <sup>2</sup> , María Daniela Tazzo-Rangel <sup>1</sup> .....	107
LITHOMAP: HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL DE DATOS GEOQUÍMICOS.....	109
Ivan Zavala-Ibarra <sup>1</sup> , Reneé González-Guzmán <sup>1*</sup> , Omar Perez-Valdovinos <sup>1</sup> , Thomas Kretzschmar <sup>1</sup> .....	109
<b>Área temática petroquímica .....</b>	<b>110</b>

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

PALEO-AMBIENTE DE SEDIMENTOS CON ICNOFÓSILES EN LA CUENCA SANDIA (NUEVO LEÓN, MÉXICO): CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA Y CRONOLÓGICA ..... 110

Guillermo Vera-Vera<sup>1\*</sup>, Priyadarsi D. Roy<sup>2</sup>, José Luis Sanchez-Zavala<sup>2</sup> ..... 110

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA, MINERALÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LAS MANIFESTACIONES MINERALES DE ELEMENTOS DE LAS TIERRAS RARAS, RADIATIVOS Y RAROS DISPERSOS EN LA REGIÓN NOROESTE DEL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO..... 112

Rodríguez Vega, A.<sup>1</sup>, Faz Aguilar A.C., Díaz Martínez, R.<sup>1</sup>, Rodríguez Batista, J.A.<sup>1</sup>, Almaguer Carmenates Y.<sup>1</sup> ..... 112

UTILIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS GEOMATEMÁTICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS OBJETOS GEOLÓGICOS MINERALIZADOS: EN EL EJEMPLO DE LA REGIÓN NOROESTE DEL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO..... 114

Guzmán González G.<sup>\*1</sup>, Rodríguez Vega, A.<sup>1</sup>, Díaz-Martínez, R.<sup>1</sup>, Rodríguez-Batista, J.A.<sup>1</sup>. Almaguer Carmenates Y.<sup>1</sup> ..... 114

nicumaple@hotmail.com ..... 114

CARACTERIZACIÓN DE LOS MINERALES DEL GRUPO DE EUDIALITA Y SU PARAGÉNESIS ACOMPAÑANTE EN LAS MANIFESTACIONES DE TIERRAS RARAS DEL NOROESTE DEL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO..... 116

Faz Aguilar A.C.<sup>\*1</sup>, Rodríguez Vega, A.<sup>1</sup>, Díaz-Martínez, R.<sup>1</sup>, Rodríguez-Batista, J.A.<sup>1</sup>, Almaguer Carmenates Y.<sup>1</sup> ..... 116

INTERACCIÓN AGUA/ROCA EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS HUMEROS PUEBLA MÉXICO: APORTE DE NUEVOS DATOS PETROLÓGICOS ..... 118

González- Partida E.<sup>1</sup> , Gonzálaz Ruiz D.<sup>2</sup>, y González Ruiz L.E.<sup>2</sup>, ..... 118

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

INTERACCIÓN AGUA/ROCA EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS HUMEROS PUEBLA MÉXICO: APORTE DE NUEVOS DE INCLUSIONES FLUIDAS.....	120
González- Partida E. <sup>1</sup> , González Ruiz D <sup>2</sup> , , y Gonzálaz Ruiz L E. <sup>2</sup> ,.....	120
EL DISTRITO MINERO DE LAS MINAS TATATILA: ESTUDIOS MULTIDISCIPLINARIOS.....	121
González- Partida E. <sup>1</sup> , González Ruiz L.E. <sup>2</sup> , , y Gonzálaz Ruiz D. <sup>2</sup> ,.....	121
EN EL DISTRITO MINERO DE LA DIATREMA DE ZACATLÁN PUE.: ASPECTOS METALOGENÉTICOS .....	125
González- Partida E. <sup>1</sup> ,.....	125
<sup>1</sup> Centro de Geociencias, UNAM, Apartado Postal 1-742, Querétaro 76001, Querétaro, México. ....	125
ESTUDIO DIAGENÉTICO DE LA FORMACIÓN EAGLE FORD (CENOMANIANO TARDÍO -TURONIANO) COMO PRODUCTORA DE GAS NO CONVENCIONAL. ....	129
González Betancourt Aurea Yahaira <sup>a</sup> . González Partida Eduardo <sup>b</sup> .....	129
<b>Área temática rasgos geodinámicos e historia geológica del NW de México. ....</b>	<b>131</b>
CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA Y ORIGEN DE LOS YACIMIENTOS DE PERLITA EN BABIDANCHI, NE DE SONORA, MÉXICO: IMPLICACIONES PARA LA CALIDAD DE SU EXPANSIÓN. ....	131
Melgarejo-Joris Emmanuel <sup>1*</sup> , Vidal-Solano Jesús Roberto <sup>1</sup> , Hinojosa-García Héctor Jesús <sup>2</sup> , Hinojosa-Prieto Héctor Roberto <sup>3</sup> . ....	131

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO GEOARQUEOLÓGICO DE LAS PIEDRAS VERDES CON USO PREHISPÁNICO EN SONORA, MÉXICO: PETROGRAFÍA Y ANÁLISIS POR DRX. ....	133
<p>Rojo-Méndez Luis Antonio<sup>*1</sup>; Gómez-Valencia Alejandra Marisela<sup>2</sup>; Vidal-Solano Jesús Roberto<sup>3</sup>; Hinojo-Hinojo Adriana<sup>4</sup>; Orcí-Romero Adriana Aimée<sup>5</sup>; y Abraham Mendoza Córdova<sup>6</sup>.....</p>	
ARENA SILICA .....	135
INVESTIGACIÓN, DEMANDA, EXPLORACIÓN, MERCADO .....	135
<p>Carlos Pita de la Paz<sup>1</sup>; Marco A. Rubio R.<sup>1,2</sup> .....</p>	
GEOQUÍMICA, GEOCROLOGÍA E ISOTOPIA DE SR-ND: AVANCES SOBRE LA PETROGÉNESIS DEL COMPLEJO METAMÓRFICO CHIMO-YELAPA EN JALISCO, MÉXICO .....	137
<p>Gutiérrez-Aguilar Fabián<sup>1</sup>, Schaaf Peter<sup>2</sup>, Solís-Pichardo Gabriela<sup>3</sup>, Hernández-Treviño Teodoro<sup>2</sup>, Arrieta-García Gerardo Fernando<sup>2</sup>, Vite-Sánchez Octavio<sup>1</sup> .....</p>	
INTERACCIÓN DE ROCAS INTRUSIVAS Y METAMORFICAS EN EL BATOLITO DE PUERTO BALLARTA (ZONA DE PUNTA MITA), EVIDENCIAS GEOQUIMICAS, PETROGRÁFICAS Y GEOCROLOGICAS. ....	139
<p>Vite, S. O<sup>*1</sup>. Schaaf, P<sup>2</sup>. Gutiérrez, A. F<sup>1</sup>. Hernández, T. J. T<sup>2</sup>. Solís, P. G<sup>2</sup>....</p>	
MAGMATISMO DEL SECTOR ORIENTAL DEL BLOQUE DE LOS CABOS, BCS: EVIDENCIAS GEOQUÍMICAS, ISOTÓPICAS Y GEOCROLOGICAS. ....	141
<p>Ing. L. Fernando Díaz López (fernando-diaz@ciencias.unam.mx) *, Dr. Peter Schaaf *, Ing. Teodoro Hernández Treviño *, Dr. José A. Pérez Venzor **, Mtra. Gabriela Solís Pichardo *** .....</p>	

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS ISOTÓPICAS DEL BLOQUE DE LOS CABOS,  
BAJA CALIFORNIA SUR Y SU RELACIÓN CON EL NOROESTE DE MÉXICO.

..... 143

Pérez-Venzor José Antonio<sup>1</sup>, Schaaf Peter<sup>2</sup>, Schwennicke Tobias<sup>1</sup>, Cortés  
Martínez Mara Yadira<sup>1</sup> ..... 143

NUEVOS DATOS GEOCRONOLÓGICOS DEL BLOQUE DE LOS CABOS, BCS

..... 145

Schaaf, Peter\*<sup>1</sup>, Pérez Venzor, José Antonio<sup>2</sup>, Rochin, Hermes<sup>1</sup>, Díaz,  
Fernando<sup>1</sup>, Arrieta, Gerardo<sup>1</sup>, Gutiérrez, Fabían<sup>1</sup>, Hernández, Teodoro<sup>1</sup>, Solís  
Gabriela<sup>3</sup> ..... 145

EL VOLCANISMO MAFICO-ULTRAMÁFICO DE LA REGIÓN DE CABORCA Y  
SU RELACIÓN CON EL PROCESO DE RIFTING EN EL MARGEN SUR DE  
LAURENTIA..... 147

Barrón-Díaz, Arturo Joaquín 1,2\*; Paz-Moreno, Francisco Abraham 3; Herrera-  
Urbina, Saul3; Lozano-Santa Cruz, Rufino4 ..... 147

GEOQUÍMICA EN EL COMPLEJO METAMÓRFICO ÁLAMOS, SONORA. .... 149

Ricardo Vega Granillo<sup>1</sup>, Angélica Bourjac de Anda<sup>2</sup>, Jesús Roberto Vidal  
Solano<sup>1</sup>, Elizabeth Araux Sánchez<sup>1</sup> ..... 149

GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN DEL METAMORFISMO DE CONTACTO  
DEL ÁREA DEL RANCHO EL RETANQUE, MUNICIPIO DE HERMOSILLO,  
SONORA, MÉXICO. .... 151

LÓPEZ-VELARDE Gerardo Alonso<sup>1</sup>, PAZ-MORENO Francisco Abraham<sup>1</sup>,  
LOZANO-SANTA CRUZ Rufino<sup>2</sup> ..... 151

NUEVAS CONTRIBUCIONES PARA DELIMITAR ESPACIAL Y  
TEMPORALMENTE EL ARCO MAGMÁTICO CORDILLERANO DEL NW DE

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

MÉXICO (SONORA Y CHIHUAHUA): ALGUNAS IMPLICACIONES TECTÓNICAS.....	153
Iriondo Alexander <sup>1</sup> .....	153
GEOQUÍMICA Y GEOCROLOGÍA DEL PÓRFIDO MONZONÍTICO CRETÁCICO TARDÍO DEL CERRO GASOLINERA, NORTE DE CABORCA SONORA, MÉXICO: UNA MARCA DEL MAGMATISMO ADAKÍTICO LARAMÍDICO.....	155
PAZ-MORENO Francisco Abraham* <sup>1</sup> , IZAGUIRRE-POMPA Aldo <sup>2</sup> , IRIONDO Alexander <sup>3</sup> .....	155
GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS SILICICLÁSTICAS DE LA FORMACIÓN SIERRA DE SANTA ROSA, SONORA, MÉXICO. ....	157
Jocelyn Galindo-Ruiz1*, Jayagopal Madhavaraju2, Erik Ramírez-Montoya3, Carlos M. González-León2, Francisco J. Grijalva–Noriega4 .....	157
FECHAMIENTOS DE TERMOCROLOGÍA POR TRAZAS DE FISIÓN MEDIANTE ABLACIÓN LASER ICP-MS Y CONTEO DIGITAL EN LA REGION CENTRO-NORTE DE SONORA, MÉXICO.....	159
Lugo Zazueta, Raúl Ernesto* <sup>1</sup> ; Calmus, Thierry <sup>2</sup> ; Carrizoza Terrones, Francisco Javier <sup>3</sup> ; Valencia Moreno, Martín <sup>2</sup> ; Ochoa Landín, Lucas <sup>1</sup> .....	159
GEOLOGÍA DE LA SIERRA LOS MOCHOS, PUERTO LIBERTAD, SONORA, MÉXICO: ÉNFASIS EN EL MAGMATISMO NEÓGENO Y SU SIGNIFICADO CON EL PROTO-GOLFO DE CALIFORNIA.....	161
Gómez-Valencia Alejandra Marisela <sup>1, 2</sup> ; Vidal-Solano Jesús Roberto <sup>3</sup> , Vega-Granillo Ricardo <sup>3</sup> y Carranza-Hernández Orlando <sup>4</sup> .....	161
EVOLUCIÓN TECTONO-MAGMÁTICA DURANTE EL MIOCENO MEDIO-TARDÍO EN LA REGIÓN SUR DE LA SIERRA LIBRE, SONORA, MÉXICO. ....	163

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Pérez-Aguilar Lidio <sup>*1</sup> , Vidal-Solano Jesús Roberto <sup>1</sup> , Alva-Valdivia Luis Manuel <sup>2</sup> , Vega-Granillo Ricardo <sup>1</sup> .....	163
LOS INTRUSIVOS HIPABISALES RELACIONADOS AL RIFT OBLICUO DEL MIOCENO SUPERIOR EN SONORA, MÉXICO: PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCROLOGÍA. ....	165
Velderrain Rojas, Luis Alonso* <sup>1</sup> , Vidal Solano, Jesús Roberto <sup>2</sup> , Alva Valdivia, Luis Manuel <sup>3</sup> , Vega Granillo, Ricardo <sup>2</sup> .....	165
GEOLOGÍA DE LA PORCIÓN SUR DE LA ISLA ÁNGEL DE LA GUARDA, GOLFO DE CALIFORNIA: CONSIDERACIONES PETRO-TECTÓNICAS PARA LA FORMACIÓN DE MICROCONTINENTES .....	167
Adriana Piña-Páez <sup>1</sup> . Leah Sabbeth <sup>2</sup> Joann M. Stock <sup>2</sup> .....	167
a215209030@alumnos.unison.mx .....	167
NUEVAS EVIDENCIAS GEOLÓGICAS DEL MIOCENO SUPERIOR EN SAN CARLOS NUEVO GUAYMAS, SONORA, MÉXICO: IMPLICACIONES EN LA EVOLUCIÓN PETRO-TECTÓNICA DE LA PROVINCIA EXTENSIONAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA.....	168
VIDAL-SOLANO Jesús Roberto <sup>1*</sup> , Velderrain Rojas Luis Alonso <sup>2</sup> , Piña Páez Lillian Adriana <sup>1</sup> , Vega Granillo Ricardo <sup>1</sup> , Barreras Flores María Fernanda <sup>1</sup> , Bojorquez Lopez Denisse <sup>1</sup> , Mexia Duran Kevin <sup>1</sup> y Perez Gonzalez Luz Yazmin <sup>1</sup> . .....	168
GEOLOGÍA Y MODELO METALOGENÉTICO CONCEPTUAL DEL DISTRITO MINERO CENTELLA, SONORA CENTRAL, MÉXICO.....	170
Willys Ortiz - Yaser Pavel <sup>1</sup> . Pérez Segura – Efrén <sup>2</sup> . ....	170
<b>Area temática Biogeoquímica .....</b>	<b>173</b>



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

ESTABILIZACIÓN BIOGEOQUÍMICA DE JALES MINEROS GENERADORES DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA UTILIZANDO ROCA CALIZA Y UNA CUBIERTA VEGETAL ..... 173

Labastida Núñez Israel<sup>\*1</sup>, Sánchez Gómez Víctor Hugo<sup>1</sup>, Armienta Hernández María Aurora<sup>2</sup>, Beltrán Villavicencio Margarita<sup>1</sup>, Álvarez Zeferino Juan Carlos<sup>1</sup>, Sotelo Navarro Perla X.<sup>1</sup>, Lara Castro René H.<sup>3</sup> ..... 173

### **Area Temática Geoquimiometría ..... 191**

INTERACCIÓN ENTRE EL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA UTILIZANDO LOS DATOS DE ISOTOPOS ESTABLE EN LA REGIÓN DE CALERA, ZACATECAS, MÉXICO. .... 191

González-Trinidad J<sup>1\*</sup>; Júnez-Ferreira H.E<sup>1</sup>; Pacheco-Guerrero A.I<sup>1</sup>; Veyna-Gómez A.I<sup>1</sup>; Bautista-Capetillo C.F<sup>1</sup>; Zavala-Trejo M<sup>1</sup>; Hernández-Antonio A<sup>2</sup>.  
..... 191

OPORTUNIDADES PARA SUSTITUIR LA IMPORTACIÓN DE ARENA SÍLICE PARA USO INDUSTRIAL EN FUNDICIÓN ..... 202

Encina Montes Lizette<sup>1</sup>, Ortiz Morales Alejandro<sup>2, 3</sup>, Pérez Aguilar Nancy<sup>\*1</sup>, López Badillo Claudia<sup>1</sup>, Hernández Chavero Edgardo<sup>1</sup>, Flores Castro Kinardo<sup>4</sup>, Oyervides Muñoz Ernesto<sup>1</sup>, Ramírez Cardona Màrius<sup>4</sup>..... 202

### **Area Temática Geoquímica ..... 227**

EVALUACIÓN GEOQUÍMICA AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO ÁLAMOS, NUEVA ROSITA, COAHUILA. .... 227

Rodríguez-Flores, W.I.<sup>\*1</sup>; Díaz-Martínez, R.<sup>1</sup>, Dávila-Pulido, G.I.<sup>1</sup>; Martínez-Salinas, E.A.; Hernández-Terrazas, G.; Rodríguez-Vega, A.<sup>1</sup>, Rodríguez-Batista, J.A.<sup>1</sup>; Almaguer-Carmenates, Y<sup>1</sup>. .... 227

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA PRELIMINAR DE OBJETOS MINERALIZADOS EN EL NOROESTE DEL ESTADO DE COAHUILA MEDIANTE

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### ESTADÍSTICA MULTIVARIADA: IMPORTANCIA EN LA EXPLORACIÓN Y LA METALOGENIA.....240

Díaz-Martínez, R.\*1; Rodríguez-Vega, A.1.; Hernández-Rosales, A.1. Martínez-Salinas, E.A.1; Rodríguez-Batista, J.A.1; Almaguer-Carmenates, Y.1; López-Saucedo, F. de J.1.....240

Hikaru Iwamori, H., Yoshida, K., Makamura, H., Kuwatani, T., Hamada, M., Haraguchi, S., Ueki, K., 2017. Classification of geochemical data based on multivariate statistical analyses: Complementary roles of cluster, principal component, and independent component analyses. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 99-1012.....258

Varmuza, K., and P. Filzmoser, P., 2009. *Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics*. Taylor & Francis - CRC Press, Boca Raton, FL, 2009. ISBN: 9781420059472. ....259

### PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE ROCAS Y MINERALIZACIONES DE ETR Y RADIOACTIVOS DE LA SIERRA LA VASCA: IMPLICACIONES EN LA METALOGENIA Y LA EXPLORACIÓN MINERA.....260

Martínez-Salinas, E. A.\*1, Díaz-Martínez, R.<sup>1</sup>, Rodríguez-Vega, A.<sup>1</sup>, Batista-Rodríguez, J. A.<sup>1</sup>.....260

### ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) EN NORIAS DEL ACUÍFERO CHUPADEROS.....279

Robles Pinedo Claudia<sup>1</sup>, Dagoberto Chávez Carlos <sup>2</sup>, Ángel Alfonso Villalobos de Alba <sup>2</sup>, Alba Nélida García Beltran <sup>2</sup> .....279

### **Area temática Geoquímica ambiental y salud .....290**

Nungaray Anguiano Edna Judith<sup>1\*</sup>, Olmos Trujillo Edith, González Trinidad Julián y Ávila Sandoval Claudia Ivethe<sup>2</sup>.....290

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

ESTUDIO QUÍMICO Y MINERALÓGICO DE LAS CENIZAS VOLANTES Y DE FONDO DE HORNO PARA SU UTILIZACIÓN COMO MATERIAL PUZOLÁNICO Y PRODUCCIÓN DE ZEOLITAS SINTÉTICAS.....	299
Morales-González, Fernando (1); Rodríguez-Vega, Antonio (2), Maldonado-Castillo, Julio Cesar (3); Guajardo-Lara, Juan José (4).....	299
TRATAMIENTO DE ARSÉNICO EN EL LIXIVIADO ÁCIDO DE MINA CON HIDROTALCITA MG/AL/FE SECA .....	311
Margarita Beltrán Villavicencio <sup>*1</sup> , Guillermo Enrique Negrón Silva <sup>2</sup> , Norma Cristina Rangel Alvarez <sup>1</sup> , María Elena Sánchez García <sup>1</sup> , María Aurora Armienta Hernández <sup>3</sup> , Israel Labastida Núñez <sup>1</sup> , Deyanira Ángeles Beltrán <sup>2</sup> .....	311
CANTERA DE TEZOANTLA COMO ADSORBENTE DE MENA DE MANGANESO PROVENIENTE DEL DISTRITO MINERO DE MOLANGO, HIDALGO, MÉXICO. ....	335
Karen Yazmin Meneses-Salas <sup>1*</sup> , Fidel Pérez-Moreno <sup>1</sup> , Kinardo Flores-Castro <sup>1</sup> , .....	335
Màrius Ramírez-Cardona <sup>1</sup> .....	335
Pruebas de adsorción en columna .....	344
PROPUESTA DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE HAP´S POR CG/MS EN ARENA DE CUARZO. ....	348
Patricia Candelaria Montiel García <sup>1</sup> y Adriana Ramírez González <sup>2</sup> .....	348
REGISTRO GEOQUÍMICO HISTÓRICO SEDIMENTARIO DE ELEMENTOS TRAZA, EN LA LAGUNA DE MANDINGA, VERACRUZ, MÉXICO .....	367
Gutiérrez Martínez, Jhoan Felipe <sup>*</sup> , Guillermo Horta-Puga .....	367
NEW LITHOSTRATIGRAPHIC AND GEOCHEMICAL ANALYSIS OF THE LAVA-LIKE IGNIMBRITE SUCCESSION OF VILLA GARCIA (ZACATECAS). ....	369

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Pascal Sieck <sup>1*</sup> , Pablo Dávila-Harris <sup>1</sup> , Rubén López-Doncel <sup>3</sup> , Alfredo Aguillón-Robles <sup>3</sup> ; Gabriela del Carmen Lara Gonzalez <sup>2</sup> .....	369
CONDICIONES AMBIENTALES DE LA CUENCA EL POTOSÍ (ESTADO DE NUEVO LEÓN) INFERIDA DE LAS LITO-FACIES Y QUIMIO-FACIES .....	371
Irma Gabriela Vargas-Martínez <sup>1*</sup> y Priyadarsi. D. Roy <sup>2</sup> .....	371
APLICACIÓN DE LOS PATRONES DE TIERRAS RARAS EN LA TAFONOMÍA DE UN YACIMIENTO DE VERTEBRADOS FÓSILES EN EL CENTRO OCCIDENTE DE MÉXICO.....	373
Alejandro H. Marín-Leyva <sup>1*</sup> , Peter Schaaf <sup>1</sup> , Ernesto Hernández-Mendiola <sup>2</sup> , Gabriela Solís-Pichardo <sup>3</sup> , Gerardo F. Arrieta-García <sup>1</sup> , Teodoro Hernández-Treviño <sup>1</sup> , María Luisa García-Zepeda <sup>4</sup> .....	373
LO QUE SE CONOCE Y DESCONOCE DEL SISMO DEL 3 DE MAYO DE 1887 MW 7.5 DE LA REGIÓN DE BAVISPE, SONORA, MÉXICO: ¿EVIDENCIA DE LA REACTIVACIÓN DE LAS FALLAS AUSTRALES DEL BASIN AND RANGE? ...	375
<sup>1, *</sup> Hinojosa-Prieto, Héctor R. y Vidal-Solano <sup>2</sup> , Jesús R. ....	375
RELACIÓN ENTRE TECTÓNICA Y VULCANISMO EN EL CAMPO VOLCÁNICO LA PURÍSIMA-COMONDÚ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO. ....	377
Díaz Hernández Cesar Alixan <sup>1*</sup> , Pérez-Venzor José Antonio <sup>1</sup> , Báez Chávez Sharon Lizbeth <sup>1</sup> .....	377
PREPARACIÓN DE TRES MATERIALES DE REFERENCIA <i>IN-HOUSE</i> CON ROCAS ÍGNEAS DE COMPOSICIÓN ÁCIDA PROCEDENTES DEL ESTADO DE SONORA, MÉXICO, UTILIZANDO WD-FRX.....	379
Ochoa-Alcalá Dulce Adilene <sup>1</sup> , Puente-Linares Rigoberto <sup>*1</sup> , Lozano-Santa Cruz Rufino <sup>2,3</sup> , Vidal-Solano Jesús Roberto <sup>1</sup> , Pablo Peñaflor Escárcega <sup>4</sup> . ....	379

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN ANALIZADOR PORTÁTIL DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN LA DETERMINACIÓN DE METALES PRECIOSOS.....	381
Olivia Zamora Martínez <sup>1, 3</sup> , Rufino Lozano-Santa Cruz <sup>2, 3</sup> , Fabiola Vega García <sup>3</sup> .....	381
LO QUE REVELA LA TÉCNICA DE DRX EN LA TRANSICIÓN DEL CUARZO AMORFO A CUARZO CRISTALINO .....	383
Mendoza Cordova Abraham <sup>*1</sup> , Vega Granillo Ricardo <sup>*2</sup> , Paz Moreno Francisco Abraham. <sup>*2</sup> , Vidal Solano Jesus Roberto. <sup>*2</sup> , Madera Tequida Alma Rosa. <sup>*2</sup> .....	383
RELACIONES DE CAMPO COMO HERRAMIENTA PARA ESTABLECER LAS FASES MAGMÁTICAS EN EL ARROYO BUENOS AIRES, BAJA CALIFORNIA SUR. ....	385
Cazares Moreno Alexandra Daniela <sup>1</sup> , Pérez Venzor José Antonio <sup>2</sup> , Schwennicke Tobias <sup>3</sup> .....	385
EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y ORGANOCOLORADOS EN EL TRANSECTO MÉRIDA-PROGRESO, YUCATÁN. ....	387
Carrillo Monsrreal Mónica Marisol. Cardona Benavides Antonio. Giácoman Vallejos Germán. Flores Lorenzo Alfonso. ....	387
RASGOS GEOMORFOLÓGICOS Y VULCANISMO: UNA RELACIÓN PARA ESTABLECER LA MIGRACIÓN DEL VULCANISMO EN EL CAMPO VOLCÁNICO LA PURÍSIMA-COMONDÚ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO. ....	389
Báez Chávez Sharon Lizbeth <sup>1*</sup> , Pérez-Venzor José Antonio <sup>1</sup> , Díaz Hernández Cesar Alixan <sup>1</sup> .....	389
<b>Geogenómica.....</b>	<b>391</b>

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

REMOCIÓN DE AZUL ÍNDIGO UTILIZANDO QUITINA CALCÁREA EXTRAÍDA DE *CHERAX QUADRICARINATUS* Y ZEOLITA NATURAL..... 391

Carlos I. Leyva-Campohermoso<sup>1</sup>, Sergio A. Medina-Moreno<sup>1</sup>, Kinardo Flores-Castro<sup>2</sup>, Angélica Jiménez-González<sup>1</sup>, Xóchitl Tovar-Jiménez<sup>3</sup>, María del Rocío Ramírez-Vargas<sup>1</sup>, Fidel Pérez-Moreno<sup>4</sup>, Jesús M. Torres-Valencia<sup>4</sup>, José L. Villalobos-Hiriart<sup>5</sup> ..... 391

**"GEOQUÍMICA ORGÁNICA DE MADERA FÓSIL CORRESPONDIENTE A UNA CONÍFERA DEL GÉNERO FÓSIL AGATHOXYLON (ARAUCARIACEAE) DEL CRETÁCICO SUPERIOR, POTRERO EL LLANO, ALDAMA, CHIHUAHUA (MÉXICO)"**..... 402

Cristal Méndez-Díaz<sup>1\*</sup>, Kinardo Flores-Castro<sup>1</sup>, Emilio Estrada-Ruiz<sup>2</sup>, ..... 402

Jesús Martín Torres-Valencia<sup>3</sup>, Imelda Perla García-Hernández<sup>2</sup>, ..... 402

Jorge Alberto Santiago-Bautista<sup>1</sup>, María Magdalena Ortega-Nieblas<sup>4</sup>, ..... 402

Carlos Galaz-Samaniego<sup>5</sup> ..... 402

**Método de extracción de bitumen y caracterización química de los extractos de bitumen resultantes por RMN <sup>1</sup>H y CG-Ms** ..... 413

Kinardo Flores-Castro<sup>1\*</sup>, Rogelio Monreal-Saavedra<sup>2</sup>, Jesús Martín Torres-Valencia<sup>3</sup> ..... 427

Jorge Alberto Santiago-Bautista<sup>1</sup>, María Magdalena Ortega-Nieblas<sup>4</sup>, José Luis Muñoz-García<sup>5</sup>, ..... 427

Aurora Rodríguez-Monreal<sup>5,6</sup>, Noé Piedad-Sánchez<sup>7</sup> ..... 427

**Método de extracción de bitumen y caracterización química de los extractos de bitumen resultantes por RMN <sup>1</sup>H y CG-Ms** ..... 432

LA RED TEMÁTICA CONACYT GEOGENÓMICA APLICADA EN RECURSOS ENERGÉTICOS Y MINERALES ESTRATÉGICOS, GAREME, COMO

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

ESTRATEGIA DE DESARROLLO GEOCIENTÍFICA EN LA RESOLUCIÓN DE  
LOS PROBLEMAS GEOLÓGICOS ..... 439

Piedad-Sánchez Noé<sup>1,2</sup>, González-Partida Eduardo<sup>3,4</sup>, González-Carrillo  
Fabiola<sup>1</sup>, Peralta-Salazar Rosario<sup>1</sup>, Navarro Guerrero Alejandro<sup>1,5</sup>, Hernández-  
Godoy José Antonio<sup>1,5</sup> ..... 439



**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

## ***CONFERENCIAS MAGISTRALES***

## CARBONATITE MAGMATISM IN RELATION TO THE DECCAN VOLCANISM

**Shrinivas G. Viladkar**

Carbonatite Research Centre, Amba Dongar, Gujarat, India

[sviladkar@gmail.com](mailto:sviladkar@gmail.com), [crcambadongar@gmail.com](mailto:crcambadongar@gmail.com)

**Abstract:** Carbonatites are volumetrically insignificant (~4%) igneous rocks, intrusive as well as extrusive, which contain more than 50% by volume of carbonate minerals. The first Indian carbonatite was reported by late Prof. Sukheswala and Udas in 1963 at Amba Dongar in Gujarat and since then Amba Dongar has become the centre of attraction for geologists from India and abroad. The timing of the Amba Dongar carbonatite emplacement seems a major issue as it is related in time and space to the Deccan Volcanism, although this association has been debated extensively (e.g., Simonetti et al., 1998; Ray et al., 2000; Viladkar, 2012). For the origin of the Amba Dongar carbonatite, Simonetti et al. (1998) suggested a model which involves Réunion plume interaction (enriched mantle source through plume derivation). Ray et al. (1998, 2009) proposed a concurrent assimilation fractional crystallization – liquid immiscibility (AFCLI) model. The author of this extended abstract suggests a possible origin as primary magma. REE trends from different phases of calciocarbonatites (alvikites and sövite) provide evidence that the calciocarbonatite magma fractionated from sövite to two generations of alvikites. C and O isotopes support the observation that calciocarbonatite magma at Amba Dongar is mantle derived as majority of sövite samples and a few alvikite have retained the primary mantle signature.

**Key words:** Sövite, Amba Dongar, REE, alvikite, Deccan volcanism

Resumen: Carbonatitas son rocas ígneas volumétricamente insignificantes (~4%), intrusivas y extrusivas, las cuales contienen más de 50% en volumen de los minerales carbonatos. La primera carbonatita en la India fue reportada por el Prof. Sukheswala-Udas en 1963 en la localidad de Amba Dongar en el estado de Gujarat. A partir de esta fecha, Amba Dongar ha sido el centro de atención de los geólogos tanto de la India como de otros países. El tiempo del emplazamiento de la carbonatita de Amba Dongar ha sido el objeto de controversia ya que ésta puede estar relacionada en tiempo y espacio al vulcanismo de Deccan, pero esta asociación ha sido debatida extensamente (p. ej., Simonetti et al., 1998; Ray et al., 2000; Viladkar, 2012). En relación con el origen de la carbonatita de Amba Dongar, Simonetti et al. (1998) sugirieron un modelo que involucra interacción con la pluma de Réunion (fuente mantélica enriquecida por su origen en una pluma); Ray et al. (1998, 2009) propusieron un modelo de asimilación acoplada a cristalización fraccionada – inmiscibilidad líquida (AFCLI en inglés). El autor del presente trabajo sugiere un posible origen como magma primario. Los patrones de la tierras raras de diferentes fases calciocarbonatitas (alvikite o alvikita y sövite o sövita) proveen evidencias que el magma calciocarbonatítica se fraccionó de sövita a dos generaciones de alvikitas. Los isótopos de C y O apoyan la observación que el magma calciocarbonatítica en Amba Dongar viene del manto, dado que las muestras de sövita y algunas de alvikita retuvieron la firma del manto primario.

Carbonatites are volumetrically insignificant (~4%) igneous rocks, intrusive as well as extrusive, which contain more than 50% by volume of carbonate minerals. They are characterised by the high Sr and rare earth element abundances. Their isotopes provide a simple way of documenting mantle stabilities and the chemical evolution of the subcontinental upper mantle. Their high Sr and Nd abundances are far in excess of crustal abundances that buffer their primary isotopic signatures

against changes brought about by crustal contamination (Bell and Blenkinsop, 1989).

Until 1960, an igneous origin of carbonatites was not accepted; however, soon experimental results showed that calcite liquid can exist at low pressure and temperature of 650°C. Subsequently, in 1960, carbonatite-rich lava erupted in Tanzania (Oldoinyo Lengai). The lavas of Oldoinyo Lengai volcano erupted as a liquid at approximately 540°C. The low silica content gives rise to the extremely fluid lavas, which resembles motor oil when they flow.

The first Indian carbonatite was reported by late Prof. Sukheswala and Udas in 1963 (Sukheswala and Udas, 1963) at Amba Dongar in Gujarat and since then Amba Dongar has become the centre of attraction for geologists from India and abroad. Timing of carbonatite emplacement seems a major issue as it is related in time and space to the Deccan Volcanism, although this association has been debated extensively (Simonetti et, 1998, Ray et al, 2000, Viladkar, 2012),

The Deccan igneous province consists of a volumetrically large succession of predominantly tholeiitic lava flows (~500,000 km<sup>2</sup>), which marks the first surface expression of the Réunion hotspot on the Indian sub-continent.

Geochronological data define the main period of Deccan flood basaltic volcanism at ~66 Ma (e.g., Courtillot et al., 1988; Duncan and Pyle, 1988; Vandamme et al., 1991; Venkatesan et al., 1993; Baksi, 1994) and suggest that volcanic activity occurred over a time interval of probably <1 my (Courtillot et al., 1986a, 1986b).

Deccan Volcanic activity has been consistently dated as ~65.5 Ma (e.g., Courtillot, 1988; Duncan and Pyle, 1988). Amba Dongar carbonatite ages are as follows: 61 ± 2 Ma (Deans and Powell, 1968); 63 ± 2 Ma (Viladkar and Gruau, unpublished data); 64.8 ± 0.6, 65.5 ± 0.8 Ma (Ray and Pande, 1999).

Field relations are consistent in that the carbonatite intruded when Deccan basalt had already solidified. A large number of veins of carbonatites and dikes of carbonatite are found in pre-carbonatite basalt (Fig. 1). Moreover, large numbers of basalt xenoliths are embedded in carbonatite breccia.



Fig. 1. Extensive veining in pre-carbonatite Deccan Basalt

Origin of Amba Dongar carbonatite can be summarised as follows: Simonetti et al. (1998) suggested a model which involves Réunion plume interaction (enriched mantle source through plume derivation Fig. 2).

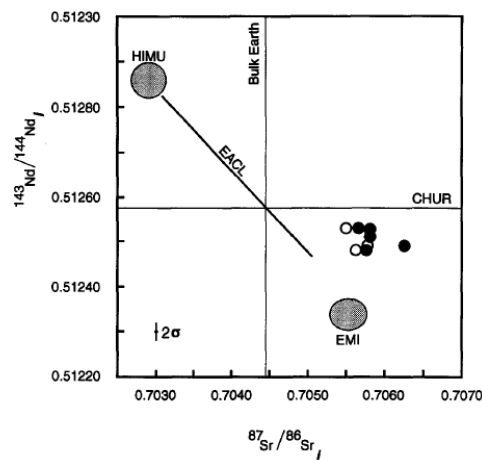


Fig. 2. Enriched mantle source of carbonatites 2. Ray et al. (1998, 2009) suggested a concurrent assimilation fractional crystallization – liquid immiscibility (AFCLI) model summarised in Fig. 3.

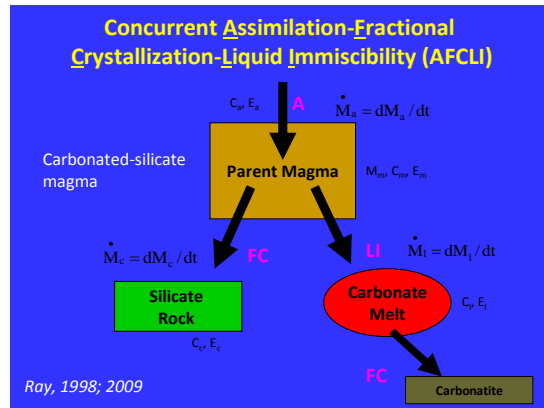


Fig. 3. AFCLI model of Ray et al.

If we consider the above model, we have to give Sr – Nd isotope details of all pre-existing lithounits including lithosphere, different lithounits of crust. None of the authors give these details. Moreover, Sr-Nd diagram of Deccan basalts and carbonatites shows that carbonatites are least assimilated (see below Fig. 4).

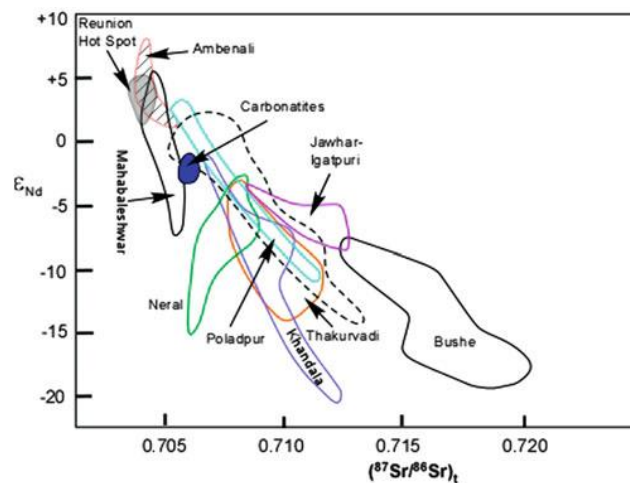




Fig. 4. Carbonatite shows the least assimilated character as compared with Deccan basalts, Ref: Gautam Sen (2014, Fig. 9.15).

The author of this extended abstract suggests a possible origin as primary magma.

REE trends from different phases of calciocarbonatites (alvikites and sövite) provide evidence that the calciocarbonatite magma fractionated from sövite to two generations alvikites.

C and O isotopes support the observation that calciocarbonatite magma at Amba Dongar is mantle derived as majority of sövite samples and a few alvikite have retained the primary mantle signature.

That the primary calciocarbonatite magma was initially more magnesian is evident from the presence of phlogopite-sövite and periclase bearing sövite.

Calciocarbonatite makes up the major bulk of Amba Dongar carbonatite and can be considered as primary magma on the basis above observation.

Gittins (1989) and Bailey (1993) suggested that carbonatites can be precipitated from primary calciocarbonatite magma.

Bailey (1993) listed 8 examples effusive calciocarbonatite and majority of them erupted from mantle as primary melts, e.g., Ft. Portal, Uganda; Polino, Italy; Rufunsa, Zambia; Kerimasi, Tanzania, among others.

#### References:

Bailey, D.K. 1993. Carbonatite magmas. *Journal of the Geological Society*, 150, 637-651.



Baksi, A.K. 1994. Geochronological studies on whole rock basalts, Deccan Traps, India: Evolution of timing of volcanism relative to the K/T boundary. *Earth and Planetary Science Letters*, 121, 43-56.

Bell, K. and Blenkinsop, J. 1989. Neodymium and Strontium isotope geochemistry of carbonatites In: K. Be. (Editor) *Carbonatites: Genesis and Evolution*. Unwin Hyman, London, pp 278-300.

Courtillot, V. and Besse, J. 1991. Paleomagnetism and age determinations of the Deccan Traps, (India) Results of the Nagpur-Bombay traverse and review of earlier work. *Reviews of Geophysics*, 29, 159-190.

Courtillot, V, Besse, J. Vandamme, D. Jaeger, J.J., and Montigny, R. 1986a. Les épanchements volcaniques du Deccan (Inde) cause des extinctions biologiques à la limite Crétacé-Tertiaire? *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Serie II*, 303 (9), 863-868.

Courtillot, V., Besse, J., Vandamme, D., Montigny, R., Jaeger, J.J. and Cappetta, H 1986b. Deccan Flood basalts at Cretaceous/ Tertiary boundary? *Earth and Planetary Science Letters*, 80, 361-374.

Courtillot, V., Feraud, G., Maluski, H., Vandamme, D., Moreau, M.G. and Besse, J. 1988. Deccan flood basalts and the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature (London)* 333, 843-846.

Deans, T. and Powell, J.L. 1968. Trace elements and Strontium isotopes in carbonatites, Fluorites and Limestones from India and Pakistan. *Nature*, 218, 750-752.

Duncan R.A. and Pyle, D.G. 1988. Rapid eruption of the Deccan flood basalts at the Cretaceous/ Tertiary boundary *Nature (London)* 333, 841-843.

Gautam Sen 2014. Petrology: Principles and Practice. Springer, ISBN 178=3-642-38799-9.

Gittins, J. 1989. The origin and evolution of carbonatite magmas. In Carbonatites: Genesis and evolution (Editor K. Bell) London, Unwin, Hyman, 580-600.

Ray, S. and Pande, K. 1999. Carbonatite alkaline magmatism associated with continental flood basalts at stratigraphic boundaries: Cause of mass extinction. Geophysical Research Letters, 26, 13, 1917-1920.

Ray, S., Pande, K. and Venkatesan, T.R. 2000. Emplacement of Amba Dongar carbonatite-alkaline complex at Cretaceous/Tertiary boundary: evidence from  $40\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  chronology. Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Earth and Planetary Sciences), 109, 39-47.

Simonetti, A, Goldstein, S.L., Schmidberger, S.S. and Viladkar, S.G. 1998. Geochemical and Nd, Pb and Sr isotopes data from Deccan alkaline complexes- Inference from mantle sources and plume-lithosphere interaction. Journal of Petrology, 39, 11-12, 1847-1864.

Sukheswala, R.N. and Udas, G.R. 1963. Note on the carbonatite of Amba Dongar, and its economic potentialities. Science and Culture, India, 29, 563-568.

Venkatesan, T.R., Pande, K. and Gopalan, K. 1993. Did Deccan volcanism predate the K/T transition? Earth and Planetary Science Letters, 119, 181-189.

Viladkar, S.G. 2012 Evolution of Calcicocarbonatite Magma: Evidence from the Sövite and Alvikite Association in the Amba Dongar Complex, India. Chapter 21. Geochemistry-Earth System Processes (Ed) Dionisios Panagiotaras, ISBN 9978-953-51-0586-2.

## AVANCES RECIENTES EN GEOQUIMIOMETRÍA

<http://tlaloc.ier.unam.mx>: Estado 2018

**Surendra P. VERMA**

Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Temixco, Morelos, México

Email: [spv@ier.unam.mx](mailto:spv@ier.unam.mx)

Resumen: Se presenta el estado actual del portal web <http://tlaloc.ier.unam.mx> donde se encuentra el desarrollo de software por el grupo del IER-UNAM, UAEM, ICMYL-UNAM e IPICYT, para su uso en forma gratuita. Se trata de software relacionado con la nueva ciencia Geoquimiometría. Actualmente, se cuenta con 7 programas computacionales disponibles para descargar a la computadora del usuario y 7 programas online para su uso en línea, así como otras facilidades relacionadas con los siguientes aspectos: (i) control de calidad, (ii) artículos en revistas, (iii) programa de calibración de FRX para el cálculo de los “desconocidos”, entre otras. Mayores detalles sobre este desarrollo serán proporcionados en el presente escrito. Invitamos cordialmente a los usuarios para registrarse y usar nuestro portal para lograr una mejor ciencia – Ciencia más cuantitativa que hemos llamado Geoquimiometría.

Abstract: The current state of the web portal <http://tlaloc.ier.unam.mx> is presented, from which the software developed by the groups of IER-UNAM, UAEM, ICMYL-UNAM, and IPICYT is available for free to all potential users. This software is closely related to the new science of Geochemometrics. At present, the website houses 7 computer programs available for download to the user’s computer and 7 online programs for online use, as well as other facilities such as (i) quality control, (ii) journal publications, (iii) programs for XRF calibrations and unknown sample

calculations, among others. Details on this site will be briefly presented in this work. We cordially invite all potential users to register and use our portal in order to achieve a better science – a more quantitative Science called Geochemometrics.

Palabras clave: Geoquimiometría, software, programas online, diagramas multidimensionales, discriminación tectónica, clasificación de rocas

## Introducción

El portal web <http://tlaloc.ier.unam.mx> fue creado en 2016 con una computadora tipo servidor cuya capacidad actual es de 8 Terabytes de disco duro, 128 Gigabytes of RAM y 2 procesadores de 12 núcleos cada uno, localizada en el Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM). Opera en un sistema Linux, distribución Debian, software libre Liferay basado en Java para sistemas online.

El objetivo del presente escrito y de la ponencia es dar a conocer el estado actual del portal <http://tlaloc.ier.unam.mx>; para ello, describiremos brevemente los diversos programas y otra información disponible en el portal.

**Ingreso al portal:** <http://tlaloc.ier.unam.mx>

Para ingresar al portal y usar sus potencialidades, un nuevo usuario debe registrarse al portal con su nombre y correo electrónico, especificando su status (estudiante, profesor, investigador, etc.), institución y país. Una vez proporcionado estos datos personales y académicos, el portal asigna un *password* temporal, el cual debe ser cambiado si el usuario lo deseara. Posteriormente, el usuario puede tener acceso a todos los programas disponibles en Tlaloc (Figure 1). El portal se

10

ha desarrollado en inglés, siendo el lenguaje en la que permite que más usuarios de diversos países, además de los de Latinoamérica, puedan hacer uso de estos desarrollos computacionales.



Figura 1. “Snapshot” de la pantalla “Welcome” (7 de agosto de 2018).

“Welcome” screen: <http://tlaloc.ier.unam.mx/index.html>

Esta pantalla especifica las instituciones, además del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (IER-UNAM; 5 participantes; actualmente en 2018 son 4 de este instituto), que han participado en el desarrollo del portal web. Éstas son la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM; 2 participantes – ver “About Us”), el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT; 1 participante) y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (ICMYL-UNAM; 1 participante;

actualmente en 2018 son 2, dado que una integrante del IER-UNAM se encuentra en ICMYL-UNAM con una estancia posdoctoral).

La pantalla inicial (“Welcome” screen) demuestra un histograma de los usuarios según su país cuando fueron registrados en Tlaloc; son actualmente cerca de 40 países con un total de alrededor de 380 usuarios al inicio del mes de agosto de 2018 (Figura 1). Aunque el histograma es estático (se le renueva periódicamente en forma manual), el Número de Usuarios (*Number of Users:*) es dinámico (se contabiliza cada vez que un nuevo usuario se registra al portal Tlaloc).

De igual manera, se encuentran una serie de noticias que se renuevan cada 5 segundos. Una de estas noticias consiste en el anuncio del actual congreso del INAGEQ (Figura 1). Finalmente, en esta pantalla se muestran las pestañas con las que se puede acceder a mayor información almacenada en el portal, las cuales son las siguientes: *Download Programs, Online Programs, Quality Control, Journal Publications, About Us, Special Courses and Conferences, XRF\_Calc, INAGEQ Forthcoming Meeting, Acknowledgements.*

**Download Programs:** [http://tlaloc.ier.unam.mx/download\\_programs](http://tlaloc.ier.unam.mx/download_programs)

Cuando se hace clic sobre las pestañas de “Download Programs”, se abre la hoja que describe brevemente este tipo de programas que son para uso en su propia computadora (aplicación “desk top”). Uno o más de estos programas se pueden bajar e instalar para su uso en su computadora. Del portal Tlaloc, se disponen, además de los programas, los artículos correspondientes, los formatos en Excel<sup>®</sup> de cómo debe presentar la información con el fin de procesar sus datos adecuadamente, documentos Readme, entre otros.

Estos programas son los siguientes:



- 1) *IgRoCS (SINCLAS)*: Este programa ayuda al usuario aplicar correctamente el esquema de la IUGS (*International Union of Geological Sciences* – Unión Internacional de Ciencias Geológicas; Le Bas et al., 1986; Le Bas, 2000; Le Maitre et al., 2002), con el fin de obtener los nombres para sus muestras de rocas ígneas relativamente frescas o “poco alteradas”. El nombre del programa fue SINCLAS (**S**tandard **I**gneous **N**orm and rock **CL**assification **S**ystem) bautizado por los autores originales (Verma et al., 2002, 2003). El programa ha sido ampliamente usado con más de 190 citas en “*google scholar*” (incluye autocitas). SINCLAS proporciona valores extremadamente exactos de minerales normativos (Verma et al., 2003). Sin embargo, dado que SINCLAS no funcionaba eficientemente en algunas plataformas, arrojaba resultados de datos ajustados redondeados y no contaba con la previsión para clasificar rocas intrusivas, Verma y Rivera-Gómez (2013a) desarrollaron el programa *IgRoCS (Igneous Rock Classification System)* que representa estos avances. Recomendamos ampliamente el uso de *IgRoCS* para la nomenclatura de rocas ígneas relativamente frescas. Para rocas alteradas, ver la sección de “Online Programs”.
- 2) *TecD\_2018 (new version)*: *TecD (Tectonic Discrimination)* fue desarrollado por Verma y Rivera-Gómez (2013b) con el fin de facilitar la discriminación tectonomagmática de magmas básicos y ultrabásicos propuesta por Agrawal et al., 2004, 2008; Verma et al., 2006; Verma and Agrawal, 2011). *TecD* utiliza las transformaciones relación-log tipo *alr (additive log-ratio* de Aitchison, 1986). Existen otros tipos de transformaciones, viz., *clr (centred log-ratio* de Aitchison, 1986), *ilr (isometric log-ratio* de Egozcue et al., 2003) y *mlr (modified log-ratio* usado por Verma et al., 2016a; Verma y Armstrong-Altrin, 2016). Estas transformaciones nos permiten aplicar las técnicas estadísticas convencionales a datos composicionales en forma coherente o correcta (Verma, 2016).



Mientras que la versión publicada de TecD permitía usar el programa con las condiciones de tipo de magma basado en IUGS, la versión nueva permite aplicar los diagramas bajo el tipo de magma propuesto para la clasificación de rocas ígneas alteradas (ver “*online programs*” en Tlaloc).

- 3) *TecDIA\_2018 (new versión)*: Este programa (**Tectonic Discrimination for Intermediate and Acid magmas**) fue escrito y publicado por Verma et al. (2015) que permite al usuario aplicar los diagramas tectonomagmáticos multidimensionales publicados por Verma et al. (2012, 2013a) y Verma y Verma (2013).
- 4) *TecSand*: Este programa (**Tectonic discrimination of Sand**–siliciclastic sedimentary rocks) publicado por Verma et al. (2016b) permite aplicar los diagramas multidimensionales de Verma y Armstrong-Altrin (2013) a los sedimentos y rocas sedimentarias tipo silici-clásticas, con el fin de discriminar uno de los tres ambientes tectónicos arco, rift continental y colisión. Se hizo una distinción entre sedimentos de bajo y alto sílice para proponer diagramas separados (Verma y Armstrong-Altrin, 2013), la cual probablemente no era necesaria. Sin embargo, cuando los dos diagramas proporcionan indicaciones consistentes, en otras palabras, cuando la mayoría de muestras indican un determinado ambiente tectónico, se dice que se ha logrado una solución consistente de definir la procedencia de los sedimentos en cuanto a su ambiente entre el arco, rift y colisión. Cabe mencionar que este trabajo (Verma y Armstrong-Altrin, 2013) se encuentra, en el sitio de la revista “*Chemical Geology*”, Elsevier, en la lista de los trabajos MÁS CITADOS (*Most Cited*) con 87 citas según Scopus; ocupa el 6º lugar en la lista (explorado el 16 de agosto, 2018). Vamos a arreglar que este tipo de noticias buenas se empiecen aparecer en el portal Tlaloc.

- 5) *SolGeo*: Este programa (**Solute Geothermometers**) fue escrito por Verma et al. (2008a) para la aplicación de todos los geotérmómetros existentes hasta ese año para inferir las temperaturas en el subsuelo mediante el análisis químico de aguas geotérmicas. Se ha prestada gran atención a las distintas unidades de medición empleadas por los proponentes de las ecuaciones originales, lo cual representa una gran ventaja para los usuarios. Adicionalmente, tiene programado el algoritmo para calcular las incertidumbres de las temperaturas para algunos geotérmómetros.
- 6) *UDASys2*: Este programa (**Univariate Data Analysis System**, versión 2; Verma et al., 2017a) es una versión corregida y mejorada de UDASYS (Verma et al., 2013b) para el procesamiento de datos univariados, mediante la aplicación de pruebas de discordancia univariadas (p. ej., Barnett y Lewis, 1994; Verma, 2016) y significancia (p. ej., Jensen et al., 1997; Miller y Miller, 2010). La mejoría de UDASys2 en comparación con UDASYS radica principalmente en la aplicación de las pruebas de discordancia recursivas (p. ej., Rosner, 1975; Jain y Pingel, 1981; Verma et al., 2017a) posterior a las pruebas sencillas (p. ej., Dixon, 1950; Grubbs, 1950; Verma et al., 2009, 2014), en lugar de las pruebas múltiples (p. ej., González-Ramírez et al., 2009) empleadas en UDASYS. En relación con las pruebas de significancia, la mejoría de UDASys2 consisten en la posibilidad de aplicar, además de la prueba t convencional, F y ANOVA, la prueba t en su versión de t por pares (*paired t test*), la cual tiene relevancia con ciertos tipos de aplicaciones.
- 7) *UDASys3*: Este programa (**Univariate Data Analysis System**, versión 3; Rosales-Rivera et al., 2018a\_enviado) es una versión corregida y mejorada de UDASys2 (Verma et al., 2017a). La explicación para UDASys2 es válida también para UDASys3. La mejoría de UDASys3 radica en su capacidad de procesamiento automatizado de datos inter-laboratorios de los materiales de

referencia geoquímica (MRG o GRM–*geochemical reference materials*; Verma, 2016). Otra ventaja de UDASys3 con respecto a las versiones anteriores consiste en la posibilidad de aplicar las pruebas de significancia a los datos representados por la síntesis estadística (*Statistical summary data*).

Esto completa la presentación de programas modernos que se pueden bajar a su computadora y usar con los “*templates*” correspondientes. Cabe aclarar que estamos realizando continuamente mejorías en estos programas, por lo que es bueno actualizar la versión que usted haya bajado en tiempos anteriores. En otras palabras, se recomienda eliminar el programa anterior de su computadora e instalar la nueva versión con el fin de seguir aprovechando nuestro desarrollo. Esto es válido también para otros programas como TecD y TecDIA que ya cuentan con versiones actualizadas.

**Online Programs:** [http://tlaloc.ier.unam.mx/online\\_programs](http://tlaloc.ier.unam.mx/online_programs)

Cuando se hace clic sobre la pestaña de “Online Programs”, se abre una breve descripción de los programas tipo online, para su uso en línea. Estos programas no podrán ser bajados a su computadora; sin embargo, los artículos y otros archivos correspondientes, así como los formatos en Excel para sus datos, se podrán bajar a sus computadoras. Los formatos deberán ser editados por el propio programa Excel en sus propias computadoras. Finalmente, se puede acceder a Tlaloc para procesar sus datos enviado su archivo al programa online y recibirlos resultados o salidas de datos a sus computadoras.

Los programas tipo online son los siguientes:

- 1) *GeochemGeophysGeosys\_2016:HMgClMSys\_mlr*. Este es el primer programa *online* publicado por Verma et al. (2016a) para distinguir las rocas

tipo alto-magnesio (*high-Mg: HMg*) de las rocas ígneas comunes (*common: Com*) por algoritmos multidimensionales. El nombre del programa “*HMgClAMSys\_mlr*” describe la abreviatura de “*High-Mg Classification Major element based System from modified log-ratio*”. La primera función discriminante es una sola y el diagrama que se construye es de tipo un-eje ya que se trata de distinguir dos grupos que son HMg y Com. Las fronteras de los campos o grupos se basan en cálculo de probabilidades. Una vez lograda esta distinción, las rocas tipo alto-magnesio se clasifican en uno de los cuatro tipos que son las siguientes: *komatiite (Kom)*, *meimechite (Mei)*, *picrite (pic)* y *boninite (bon)*. Esta clasificación fue propuesta para su uso para rocas alteradas que desafortunadamente abundan en la tierra, para las cuales no existía ninguna clasificación adecuada. Los autores (Verma et al., 2016a) documentaron alta robustez de esta propuesta con respecto a los cambios químicos debidos a la alteración y errores analíticos, siendo ésta mejor que la clasificación de la IUGS basada en concentraciones de ciertos elementos químicos (Le Bas, 2000). El programa permite al usuario, además de lograr la clasificación de rocas de alto-magnesio, probar la robustez de esta clasificación para una o más de sus propias muestras. Cabe destacar nuevamente que no es necesario graficar los datos en diagramas, sino que la decisión se basa en cálculos de las probabilidades.

2) *GeochemGeophysGeosys\_2016:DOMuDaF*: Este es el segundo programa *online* (“*Discordant Outliers from Multivariate Data through F-test of W*”), también publicado por Verma et al. (2016a), que tiene gran utilidad para identificar y separar los datos discordantes multidimensionales, con el fin de obtener bases de datos multinormalmente distribuidos (p. ej., Rencher, 2002). La técnica multivariable de análisis discriminante lineal (*LDA: linear discriminant analysis*) supone que los datos en cada grupo sean multinormales

(p. ej., Morrison, 1990), por lo que DOMuDaF debe tener gran utilidad en el manejo multidimensional de datos experimentales.

- 3) *Lithos\_2017:MagClMSys\_ilr*. Este es el tercer programa online (“**Magma Classification Major element based System from isometric log-ratio**”) que fue publicado por Verma et al. (2017b) para la clasificación de tipo de magmas que son los siguientes: ultrabásico (U), básico (B), intermedio (I) y ácido (A). La clasificación se basa en 10 funciones discriminantes y 5 diagramas tipo DF1-DF2, obtenidos de una base de datos completa que contenía todos tipos de rocas ígneas tanto alto-magnesio como comunes. Esta clasificación de magmas es altamente recomendada para usar como criterio de selección de los diagramas de discriminación tectonomagmática en los programas TecD y TecDIA.
- 4) *Episodes\_2017:IgRoClMSys\_ilr*. Este programa (“**Igneous Rock Classification Major element based System from isometric log-ratio**”) publicado por Verma y Rivera-Gómez (2017) representa una manera muy compleja de resolver el problema de clasificación de rocas ígneas alteradas, pero muy fácil de usarlo; simplemente, se requiere por parte del usuario preparar un archivo de datos en el *template* proporcionado por el portal Tlaloc y procesarlo en “Episodes\_2017:IgRoClMSys\_ilr”. El usuario debe indicar si sus rocas son extrusivas o intrusivas, con el fin de que el programa proporcione los nombres de las rocas correspondientes. Si un usuario desea procesar ambos tipos de rocas (extrusivas e intrusivas), debe procesarlos por separados. Esta clasificación es altamente recomendada para las rocas alteradas. Para ello, es el único programa en el mundo capaz de asignar los nombres de rocas totalmente consistentes con la nomenclatura de la IUGS y representa un procedimiento único en el mundo.

- 5) *RMIQ\_2018:BiDASys*. Este programa (“**Bivariate Data Analysis System**”) publicado por Rosales-Rivera et al. (2018b) permite al usuario aplicar dos tipos de regresiones lineales: ordinaria (OLR: **Ordinary least-squares Linear Regression**) y ponderada (UWLR: **Uncertainty Weighted least-squares Linear Regression**). Las bondades de este programa son que, además de calcular y reportar todos los parámetros estadísticos, provee la opción de identificar y separar los datos bivariados discordantes a un determinado nivel de confianza aplicando las pruebas de tipo *single-outlier* a los residuales estudiantizados (Barnett y Lewis, 1994; Verma y Quiroz-Ruiz, 2006a, 2006b, 2008, 2011; Verma et al., 2008b; Verma, 2016), lo cual ayuda a mejorar la calidad de las regresiones. Adicionalmente, BiDASys es el único programa en el mundo que aplica la regresión ponderada basada en las incertidumbres (o límites de confianza) inicialmente propuesta por Verma (2012) y explicada por Verma (2016) como la mejor alternativa para las ponderaciones de datos experimentales. Por consecuencia, este programa (BiDASys) es capaz de proporcionar directamente las incertidumbres en los coeficientes de regresiones lineales.
- 6) *APMDisc*: Este programa (**Active and Passive Margin Discrimination**) tipo online fue desarrollado recientemente por Rivera-Gómez et al. (2018 enviado). Este programa, además de reproducir las funciones discriminantes corregidas de Verma y Armstrong-Altrin (2016; transformación mlr), es capaz de aplicar la transformación ilr. La buena noticia es que el trabajo (Verma y Armstrong-Altrin, 2016) se encuentra, en el sitio de la revista “*Sedimentary Geology*”, Elsevier, en la lista de los trabajos MÁS CITADOS (*Most Cited*) con 31 citas según Scopus; ocupa el 14<sup>avo.</sup> lugar en la lista y se encuentra empatado, por el número de citas, con los lugares 12<sup>o.</sup> y 13<sup>o.</sup> de la lista (explorado el 16 de agosto, 2018).



7) Heliyon\_2018: MICSys. Este programa (*Major element based Multidimensional Igneous Classification System*) fue desarrollado recientemente y enviado el manuscrito correspondiente a la revista Heliyon de Elsevier tipo *open access* por Verma et al. (2018). Se trata de comparar el comportamiento de dos tipos de transformaciones mlr usado por Verma et al. (2016a; programa HMgClAMSys\_ilm) y ilm usado por Verma et al. (2017b; programa MagClAMSys\_ilm) y Verma y Rivera-Gómez (2017; IgRoClAMSys\_ilm) para la clasificación de rocas ígneas. La única manera objetiva de comparar es usar las mismas bases de datos con otras transformaciones. Entonces, fue usada la base de datos de Verma et al. (2016a) y aplicada la transformación ilm para desarrollar un programa para la clasificación de rocas tipo alto-Magnesio (HMgClAMSys\_ilm), mientras que, con las bases de datos de otros dos trabajos, se propusieron dos nuevos programas MagClAMSys\_mlr para la clasificación de tipo de magmas y IgRoClAMSys\_mlr para la nomenclatura de rocas ígneas. Se encontró una concordancia completa, sin excepción, entre las dos transformaciones. Los tres programas fueron encapsulados en un solo paquete MICSys que nos permite usar los tres programas en conjunto y en secuencia apropiada.

**Quality Control:** <http://tlaloc.ier.unam.mx/quality-control>

En el apartado de Quality Control, presentamos información sobre los materiales de referencia (*geochemical reference materials* GRMs) que han sido usados o procesados por nuestro grupo, con el fin de calibrar los equipos o determinar los parámetros de tendencia central y dispersión. El usuario podrá examinar los artículos citados a continuación, así como las referencias compiladas, en los 4 casos a continuación:

1. AJGSci\_2016: BHVO-1. Los datos inter-laboratorio de BHVO-1 (*Basalt of the Hawaiian Volcano Observatory*) fueron complicados por Verma et al. (2016c, 2017c). Estos autores evaluaron 9 parámetros estadísticos (4 de tendencia central y 5 de dispersión) mediante simulación Monte Carlo e ilustraron su aplicación a los datos de BHVO-1 compilados, con el fin de inferir su mejor estadística (media y 99% incertidumbre) para su uso en el control de calidad de datos geoquímicos.
2. TJES\_2017: BHVO-1. Una versión actualizada de la base de datos de BHVO-1 fue empleada por Verma et al. (2017a) para comparar, mediante simulación Monte Carlo, el comportamiento (eficiencia, efectos *swamping* y *masking*). Se encontró que un nuevo procedimiento estadístico basado en la combinación de pruebas de discordancia tipo *single-outlier* seguido por dos nuevas y tres pruebas recursivas, es el mejor para procesar los datos experimentales, incluyendo los datos inter-laboratorios. Se procesó la base de datos de BHVO-1 y se reportó la nueva composición mejorada de este material.
3. AJGSci\_2018\_GRM\_USA. Recientemente, Rosales-Rivera et al. (2018a\_enviado) compilaron y procesaron una decena de GRMs, cuyos resultados estadísticos han sido enviados para su posible publicación. Para ello, una nueva versión de UDASYS (UDASys3) fue desarrollada y enviada para su publicación a una revista internacional.
4. JSpectros\_2018\_59GRM. Verma et al. (2018\_enviado) compilaron datos de literatura de un gran número de GRMs (59 para ser exacto) y los procesaron mediante UDASys3, para así obtener estimaciones confiables de la media y su incertidumbre del 99%.

Journal Publications: <http://tlaloc.ier.unam.mx/Journal-Publications>

En esta opción, el usuario puede examinar los trabajos realizados por el grupo del Tlaloc. Nos faltaría actualizar esta lista de archivos pdf y mantenerla actualizada. Ha sido de gran ayuda para nosotros también, ya que, independientemente de donde nos encontremos, podemos tener acceso a nuestros trabajos.

**About us:** <http://tlaloc.ier.unam.mx/About-us>

Esta sección presenta la opción de conocer, más a fondo, los logros académicos, formación y especialidad de los integrantes de los proponentes del Tlaloc. Si el usuario hace doble clic sobre “*Visit google scholar profile*” o “*ResearchGate*” en frente de cualquier integrante, puede obtener la información sobre esta persona y otras personas del mundo quienes declararon tener dicha especialidad. Aunque cierta información relacionada con google o Reseach Gate se actualiza en forma automatizada, otros datos se tienen que cambiar manualmente.

**Special courses and conferences:** <http://tlaloc.ier.unam.mx/special-courses>

Esta opción permite navegar entre las diversas fotos de los grupos, en las cuales el autor del presente escrito ha presentado conferencias o cursos, en especial relacionados con la geoquimiometría. Estas fotografías representan una buena memoria de este tipo de eventos.

**XRF\_Calibration:** [http://tlaloc.ier.unam.mx/XRF\\_calc](http://tlaloc.ier.unam.mx/XRF_calc)

Esta sección representa una opción que será útil en el futuro cuando los programas de calibración actualmente en preparación o enviados, serán publicados en alguna revista. Abundaremos sobre ello en el futuro, quizás en 2019.

**INAGEQ Forthcoming Meeting:** <http://tlaloc.ier.unam.mx/congresos>

En esta parte del Tlaloc, planeamos presentar la información sobre futuros congresos del INAGEQ. Actualmente, contamos con el anuncio del Congreso Nacional que se llevará a cabo en Zacatecas durante el octubre de 2018.

### **Consideraciones finales**

Con lo anterior, terminamos la presentación del portal. Nos faltaría abundar más sobre un gran número de ecuaciones. Vamos a presentar uno como ejemplo para la discriminación de dos márgenes activo y pasivo publicados por Verma y Armstrong-Altrin (2016), corrigiendo un error que se había quedado en dicho documento. La función discriminante  $DF(A-P)M$  para margen activo y pasivo, se puede calcular de la siguiente ecuación corregida:

$$\begin{aligned} DF(A-P)M = & (3.0005 \times mlr1TiM) + (-2.8243 \times mlr2AlM) + (-1.0596 \times mlr3FeM) \\ & + (-0.7056 \times mlr4MnM) + (-0.3044 \times mlr5MgM) + (0.6277 \times mlr6CaM) \\ & + (-1.1838 \times mlr7NaM) + (1.5915 \times mlr8KM) + (0.1526 \times mlr9PM) \\ & - 5.9948. \end{aligned}$$

Nos falta extender los trabajos de multidimensionalidad a muchos otros problemas y diagramas que nos podrían mantener ocupados por muchos años venideros.

**Acknowledgements:** <http://tlaloc.ier.unam.mx/Acknowledgement>

En esta sección se nombra a las personas y a los proyectos que nos han ayudado a establecer esta facilidad, que ya ha demostrado su uso para la comunidad nacional e internacional.

El proyecto fue apoyado económicamente por DGAPA-PAPIIT-UNAM IN104813 y PAEP-UNAM. El Profesor Dr. Salil Agrawal de la India participó activamente en la fase inicial de nuestra investigación sobre técnicas multidimensionales; estamos muy agradecidos por su participación.

En cuanto al escrito actual, estoy agradecido a las doctoras Lorena Díaz-González y M. Abdelaly Rivera-Gómez así como al Dr. Mauricio Rosales-Rivera por haber leído una versión anterior. Se agradece de igual manera al Ing. Alfredo Quiroz Ruiz por toda la ayuda brindada para mantener buen funcionamiento del portal Tlaloc.

## Referencias

- 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*, 46 (7): 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*, 50 (12): 1057-1079.
- Aitchison, J., 1986. *The statistical analysis of compositional data*. Chapman and Hall, London, UK, 416 p.

- Barnett, V. and Lewis, T., 1994. Outliers in statistical data. John Wiley & Sons, Chichester, 584 p.
- Dixon, W.J., 1950. Analysis of extreme values. The Annals of Mathematical Statistics, 21(4): 488-506.
- Egozcue, J.J., Pawlowsky-Glahn, V., Mateu-Figueras, G. and Barceló-Vidal, C., 2003. Isometric logratio transformations for compositional data analysis. Mathematical Geology, 35 (3): 279-300.
- González-Ramírez, R., Díaz-González, L. and Verma, S.P., 2009. Eficiencia relativa de 15 pruebas de discordancia con 33 variantes aplicadas al procesamiento de datos geoquímicos. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 26 (2): 501-515.
- Grubbs, F.E., 1950. Sample criteria for testing outlying observations. The Annals of Mathematical Statistics, 21 (1): 27-58.
- Jain, R.B. and Pingel, L.A., 1981. On the robustness of recursive outlier detection procedures to nonnormality. Communications in Statistics - Theory and Methods, 10 (13): 1323-1334.
- Jensen, J.L., Lake, L.W., Corbett, P.W.M. and Goggin, D.J., 1997. Statistics for petroleum engineers and geoscientists. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 390 p.
- Le Bas, M.J., 2000. IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. Journal of Petrology, 41 (10): 1467-1470.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Journal of Petrology, 27 (3): 745-750.



Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Schmid, R., Sorensen, H. and Woolley, A.R., 2002. Igneous rocks. A classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, Cambridge, 236 p.

Miller, J.N. and Miller, J.C., 2010. Statistics and chemometrics for analytical chemistry. Pearson Prentice Hall, Essex CM20 2JE, England, 271 p.

Morrison, D.F., 1990. Multivariate statistical methods. McGraw-Hill Publishing Co., New York, 495 p.

Rencher, A.C., 2002. Methods of multivariate analysis. Wiley-Interscience, New York, 708 p.

Rivera\_Gómez, M.A., Armstrong-Altrin, J.S., Verma, S.P., Díaz-González, L., 2018. APMDisc, an online computer program for the geochemical discrimination of siliciclastic sediments from active and passive margin settings. Earth Science Informatics, submitted.

Rosales-Rivera, M., Díaz-González, L. and Verma, S.P., 2018b. Improved composition of nine USGS reference materials for quality control through Univariate Data Analysis System UDASys3. Arabian Journal of Geosciences, submitted.

Rosales-Rivera, M., Díaz-González, L. and Verma, S.P., 2018b. A new online computer program (BiDASys) for ordinary and uncertainty weighted least-squares linear regressions: case studies from food chemistry. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 17 (2): 507-522.

Rosner, B., 1975. On the detection of many outliers. Technometrics, 17 (2): 221-227.

- Verma, S.P., 2012. Geochemometrics. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29 (1): 276-298.
- Verma, S.P., 2016. Análisis estadístico de datos composicionales. Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, 746 p.
- 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*, 28 (1): 24-44.
- Verma, S.P. and Armstrong-Altrin, J.S., 2013. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chemical Geology*, 355 (September): 117-133.
- Verma, S.P. and Armstrong-Altrin, J.S., 2016. Geochemical discrimination of siliciclastic sediments from active and passive margin settings. *Sedimentary Geology*, 332 (March): 1-12.
- 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*, 23 (2): 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*, 23 (3): 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*, 25 (3): 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*, 28 (1): 202.
- Verma, S.P. and Rivera-Gómez, M.A., 2013a. Computer programs for the classification and nomenclature of igneous rocks. *Episodes*, 36 (2): 115-124.
- Verma, S.P. and Rivera-Gómez, M.A., 2013b. 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*, 39 (1): 167-179.
- Verma, S.P. and Rivera-Gómez, M.A., 2017. Transformed major element based multidimensional classification of altered volcanic rocks. *Episodes*, 40 (4): 295-303.
- Verma, S.P. and Verma, S.K., 2013. First 15 probability-based multi-dimensional discrimination diagrams for intermediate magmas and their robustness against post-emplacement compositional changes and petrogenetic processes. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22 (6): 931-995.
- Verma, S.P., Torres-Alvarado, I.S. and Sotelo-Rodríguez, Z.T., 2002. SINCLAS: standard igneous norm and volcanic rock classification system. *Computers & Geosciences*, 28 (5): 711-715.
- Verma, S.P., Torres-Alvarado, I.S. and Velasco-Tapia, F., 2003. A revised CIPW norm. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 83 (2): 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*, 115 (5): 485-528.
- Verma, S.P., Pandarinath, K. and Santoyo, E., 2008a. SolGeo: a new computer program for solute geothermometers and its application to Mexican geothermal fields. *Geothermics*, 37 (6): 597-621.
- Verma, S.P., Quiroz-Ruiz, A. and Díaz-González, L., 2008b. 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*, 25(1): 82-96.
- Verma, S.P., Díaz-González, L. and González-Ramírez, R., 2009. Relative efficiency of single-outlier discordancy tests for processing geochemical data on reference materials and application to instrumental calibration by a weighted least-squares linear regression model. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 33 (1): 29-49.
- Verma, S.K., Pandarinath, 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*, 54 (3): 325-347.
- Verma, S.P., Pandarinath, K., Verma, S.K. and Agrawal, S., 2013a. Fifteen new discriminant-function-based multi-dimensional robust diagrams for acid rocks and their application to Precambrian rocks. *Lithos*, 168-169: 113-123.
- Verma, S.P., Cruz-Huicochea, R. and Díaz-González, L., 2013b. Univariate data analysis system: deciphering mean compositions of island and continental arc magmas, and influence of underlying crust. *International Geology Review*, 55(15): 1922-1940.

- Verma, S.P., Díaz-González, L., Rosales-Rivera, M. and Quiroz-Ruiz, A., 2014. Comparative performance of four single extreme outlier discordancy tests from Monte Carlo simulations. *Scientific World Journal*, 2014, Article ID 746451, 27 pages: doi.org/10.1155/2014/746451.
- Verma, S.P., Cruz-Huicochea, R., Díaz-González, L. and Verma, S.K., 2015. A new computer program TecDIA for multidimensional tectonic discrimination of intermediate and acid magmas and its application to the Bohemian Massif, Czech Republic. *Journal of Geosciences*, 60: 203–218.
- Verma, S.P., Rivera-Gómez, M.A., Díaz-González, L. and Quiroz-Ruiz, A., 2016a. Log-ratio transformed major-element based multidimensional classification for altered High-Mg igneous rocks. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 17 (12): 4955-4972.
- Verma, S.P., Díaz González, L. and Armstrong-Altrin, J.S., 2016b. Application of a new computer program for tectonic discrimination of Cambrian to Holocene clastic sediments. *Earth Science Informatics*, 9 (2): 151-165.
- Verma, S.P., Díaz-González, L., Pérez-Garza, J.A. and Rosales-Rivera, M., 2016c. Quality control in geochemistry from a comparison of four central tendency and five dispersion estimators and example of a geochemical reference material. *Arabian Journal of Geosciences*, 9 (20): 740.
- Verma, S.P., Rosales-Rivera, M., Díaz-González, L. and Quiroz-Ruiz, A., 2017a. Improved composition of Hawaiian basalt BHVO-1 from the application of two new and three conventional recursive discordancy tests. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26 (5): 331-353.
- Verma, S.P., Rivera-Gómez, M.A., Díaz-González, L., Pandarinath, K., Amezcua-Valdez, A., Rosales-Rivera, M., Verma, S.K., Quiroz-Ruiz, A., Armstrong-Altrin, J.A., 2017b. Multidimensional classification of magma types for altered igneous

rocks and application to their tectonomagmatic discrimination and igneous provenance of siliciclastic sediments. *Lithos*, 278: 321-330.

Verma, S.P., Díaz-González, L., Pérez-Garza, J.A. and Rosales-Rivera, M., 2017c. Erratum to: Quality control in geochemistry from a comparison of four central tendency and five dispersion estimators and example of a geochemical reference material. *Arabian Journal of Geosciences*, 10 (2): 24.

Verma S.P., Diaz-Gonzalez L., Rivera-Gómez M.A., 2018. New multidimensional classification scheme of altered igneous rocks from performance comparison of isometric and modified log-ratio transformations of major elements, *Heliyon*, (submitted).



## **CONTRIBUCIÓN DE LA GEOQUÍMICA ORGÁNICA A LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SUS IMPLICACIONES ECONÓMICO-PETROLERAS**

**Armando Nava Cedillo (PEMEX. Exploración-Producción,**

armando.nava@pemex.com)

El descubrimiento de las acumulaciones comerciales de hidrocarburos en Golfo de México es el resultado de la participación de diversas disciplinas del campo de las geociencias. No obstante, la Geoquímica se ha situado como una de las disciplinas fundamentales para el entendimiento y calibración del modelo geológico, impulsando así el hallazgo de estos importantes yacimientos y delineando parte de la estrategia exploratoria para aguas profundas.

Las emanaciones de hidrocarburos termogénicos identificadas mediante análisis geoquímicos en muestras de núcleos de fondo marino y el análisis de manchas de aceite detectadas con imágenes de satélite, detonaron la ejecución de estudios de análisis de Cuencas, Plays y Sistemas Petroleros en el Golfo de México. Dichos estudios a su vez orientaron la adquisición de información sísmica 3D hacia áreas donde la roca generadora se encontraba en ventana de generación de aceite, esto con la finalidad de evaluar el recurso potencial alojado en las trampas identificadas, jerarquizarlas y definir la perforación de pozos exploratorios.

Posteriormente, el análisis geoquímico de los hidrocarburos obtenidas mediante las pruebas de producción de los primeros pozos permitió la calibración de los modelos numéricos de los sistemas petroleros con datos reales, definiéndose con

mayor precisión las áreas prospectivas de hidrocarburos. El análisis de los hidrocarburos reveló la presencia de importantes procesos de alteración como la biodegradación y segregación de hidrocarburos, así como la compartimentalización de yacimientos. Factores que juegan un papel importante en la estimación de reservas y por consiguiente en el valor económico de los yacimientos descubiertos. Consecuentemente, la Geoquímica Orgánica ha contribuido sustancialmente a lograr el éxito exploratorio obtenido, evidenciando procesos que son imperceptibles al análisis de otras disciplinas, que en conjunto incrementan la probabilidad del éxito comercial de un área frontera como el Golfo de México.

# **“CONTRIBUCIÓN DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO EN LA ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS PETROLEROS PROSPECTIVOS NO CONVENCIONALES ASOCIADOS A LUTITAS EN DOS SITIOS DE MÉXICO (OBJETIVOS FORMACIONES PIMIENTA E EAGLE FORD): UN PROYECTO INTEGRAL”**

**Gustavo Murillo Muñetón**

Dirección de Investigación en exploración y producción

Instituto Mexicano del Petróleo

## **Resumen**

Basado en el extraordinario éxito de Estados Unidos en la exploración y explotación de recursos yacimientos no convencionales asociados a lutitas en los últimos años y lo cual le permitió colocarse como uno de los mayores productores de petróleo en el mundo, PEMEX inició actividades para evaluar sus recursos prospectivos no convencionales en diversas cuencas petroleras mesozoicas, principalmente en la parte noreste y este del país. Previo a la Reforma Energética, el Fondo Sectorial CONACyT-SENER-Hidrocarburos asignó al Instituto Mexicano del Petróleo recursos importantes para llevar a cabo un proyecto de investigación integral cuyo objetivo principal fue evaluar el potencial petrolero de dos áreas, definidas por PEMEX, asociado a yacimientos no convencionales, esencialmente lutitas. Una de las áreas de estudio (Galaxia) se localiza en el norte del Estado de Coahuila, en la parte más noroccidental de la Cuenca de Burgos y tuvo como objetivo exploratorio la Formación Eagle Formación del Cretácico Superior. La otra área de estudio (Limonaria) se encuentra en la parte norte del Estado de Veracruz dentro de la Cuenca Tampico-Misantla y el objetivo exploratorio fue la

Formación Pimienta del Jurásico Superior, la cual se considera la roca generadora de hidrocarburos más importante de México. En esta conferencia se describe este proyecto de tipo integral que consistió de cuatro etapas: Adquisición y Procesamiento Sísmico, Modelado Geológico, Diseño de la Perforación y Terminación de Pozos y Impacto Ambiental y Social. Se diseñó la adquisición sísmica orientada a identificar sweet spots (áreas con la mayor riqueza orgánica) y se colectó, integró e interpretó información estratigráfica, sedimentológica, paleontológica y de geoquímica orgánica e inorgánica tanto de subsuelo como de afloramientos análogos para construir modelos geológicos del subsuelo y realizar modelado numérico de cuencas. Este modelado fue apoyado fuertemente en los datos de geoquímica orgánica. Con ello se estimaron los recursos prospectivos petroleros de las dos áreas y se concluyó que la Formación Eagle Ford tiene potencial petrolero gasífero, mientras que la Formación Pimienta tiene un potencial petrolero predominantemente de aceite con volúmenes muy atractivos. Se propuso la localización de un pozo exploratorio en cada una de las áreas estudiadas y se estableció la línea base ambiental. La geoquímica orgánica e inorgánica jugó un papel relevante en este proyecto, se presentará y discutirá sus aplicaciones en este tipo de investigaciones.

## ***RESÚMENES CORTOS***

## Area temática vulcanología

### LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL INDUCE HUELLAS EN LAS PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LAS ROCAS - SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA

**Kailasa Pandarinath<sup>1,\*</sup>, Rajasekhariah Shankar<sup>2</sup>, E. Santoyo<sup>1</sup>, Shwetha Shetty<sup>2</sup>, America Yosiris García-Soto<sup>3</sup> and Eduardo Gonzalez-Partida<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/no., Col. Centro, Apartado Postal 34, Temixco, Mor. 62580, México. <sup>2</sup>Department of Marine Geology, Mangalore University, Mangalagangothri, 574199, Karnataka, India. <sup>3</sup>Posgrado en Ingeniería, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Temixco 62580, Morelos, Mexico. <sup>4</sup>Centro de Geociencias, UNAM, Apartado Postal 1-742, Querétaro 76001, Querétaro, México.

[pk@ier.unam.mx](mailto:pk@ier.unam.mx) ; Tel.: +52 55 56229773.

#### Resumen

En los lugares de los sistemas hidrotermales, los fluidos termales pueden llegar a la superficie de la tierra a través de fallas, fracturas y fisuras. Durante el ascenso, estos fluidos reaccionan con las rocas subterráneas y superficiales, y resultado cambios en mineralógicos y geoquímicos en estas rocas. La interacción de fluido-roca produce la disolución de minerales primarios y la precipitación de nuevas fases, conocidas como minerales hidrotermales. Aparte de la intensidad de la alteración, el tipo, la abundancia, patrón de distribución de los minerales hidrotermales proporcionan información sobre la dimensión del sistema geotérmico y sus condiciones térmicas, aspectos claves durante la etapa de exploración geotérmica. Los estudios petrográficos y químicos son ampliamente utilizados para entender el efecto de la alteración hidrotermal en la composición



mineralógica y química. Estudios sobre movilidad de elementos y cálculo de balance de masa son los métodos más confiables de cuantificar la ganancia o pérdida de los elementos químicos de una roca. Estos estudios tradicionales requieren de experiencia, son costosos y consumen mucho tiempo. Considerando estos, hay una necesidad de parámetros adicionales, estamos evaluando el potencial de las propiedades magnéticas de rocas para la identificación de rocas alteradas y zonas de alteración.

Hemos analizado varios cortes de rocas de perforación que representan diferentes profundidades de dos pozos geotérmicos (Az-26 y Az-49) del campo geotérmico de Los Azufres (CGLA), México para diversas propiedades magnéticas de rocas (susceptibilidad magnética a baja frecuencia,  $\chi_{lf}$ ; susceptibilidad magnética a alta frecuencia,  $\chi_{hf}$ ; susceptibilidad dependiente de la frecuencia,  $\chi_{fd}$ ; susceptibilidad de magnetización remanente anhisterítica,  $\chi_{ARM}$ ; magnetización remanente isotérmica, IRM; magnetización remanente isotérmica medida a 300 mili-tesla,  $IRM_{300mT}$ ; IRM *magnetización remanente isotérmica de saturación*, SIRM, magnetización remanente isotérmica dura, HIRM) y sus relaciones inter-paramétricas ( $SIRM/\chi_{lf}$ ,  $\chi_{ARM}/SIRM$ , y Relación S) para comprender su relación con la alteración hidrotermal (por ejemplo, los valores altos de  $\chi_{ARM}/SIRM$  indican una mayor alteración).

Con base en los resultados de estas propiedades magnéticas de rocas, se puede confirmar que los parámetros magnéticos de rocas juntos, así como individualmente, pueden ser herramientas adicionales durante las etapas iniciales de la exploración geotérmica para identificar rocas alteradas hidrotermalmente y zonas de alteración hidrotermal.

**Palabras clave:** energía geotérmica, exploración geotérmica, propiedades magnéticas de rocas, alteración hidrotermal y dominio magnético.

## **FORMACIÓN SAN FELIPE (CRETÁCICO SUPERIOR; NORESTE DE MÉXICO): ESTUDIO MINERALÓGICO-GEOQUÍMICO-GEOCRONOLÓGICO PARA UN SISTEMA SEDIMENTARIO CALCÁREO EN TRANSICIÓN A UNO CLÁSTICO INFLUENCIADO POR UN VULCANISMO DE ARCO**

**Velasco-Tapia, F.1, Tienda-Garza, J.A.1, Pichardo-Barrón, Y.1, Ramírez-Fernández, J.A.1, Jenchen, U.1 & Garza-Tovar, L.L.2**

1Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra; Carretera Linares-Cerro Prieto km. 8, 67700 Linares, N.L. 2Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria, 66455 San Nicolás de los Garza, N.L.

[\\*fernando.velascotp@uanl.edu.mx](mailto:*fernando.velascotp@uanl.edu.mx)

### **Resumen**

La Formación San Felipe es una unidad litológica (espesor ~ 120-160 m) que representa el proceso de sedimentación durante el Cretácico Superior (Coniaciano-Santoniano) en la columna estratigráfica de la Sierra Madre Oriental, Noreste de México. De acuerdo a las rocas que la integran (marga, lutita y estratos volcano-sedimentarios), podría considerarse como un sistema sedimentario carbonatado en transición a uno clástico. Este cambio en el régimen de depósito se vio acompañado por la integración de cenizas volcánicas, potencialmente ligadas al arco continental laramídico que se encontraba en actividad en el paleo-margen occidental mexicano. De esta forma, el análisis detallado de la Formación San Felipe es fundamental para entender la evolución geológica y paleogeográfica del Noreste de México durante el Cretácico Superior.

En el presente estudio, considerando un marco geológico adecuado, se reporta la interpretación de una amplia base de datos mineralógicos, geoquímicos y geocronológicos para las litologías que conforman la unidad litológica bajo estudio provenientes de ocho localidades ubicadas en Nuevo León y Tamaulipas. De forma particular, para las rocas carbonatadas arcillosas se estableció su textura, mineralogía y características microfaciales (análisis petrográfico y de difracción de rayos-X), así como su composición geoquímica en elementos mayores (método ICP-OES) y traza (método ICP-MS). En el caso de las rocas clásticas (lutita y estratos vulcano-sedimentarios) se efectuó su caracterización mineralógica (análisis petrográfico y de difracción de rayos-X) y geoquímica en elementos mayores (ICP-OES) y traza (ICP-MS). En el caso de los estratos de toba alterada de la base y el techo de algunos perfiles, se efectuó la separación de circón detrítico y se estableció su edad U-Pb y composición química (método LA-ICP-MS). Finalmente, se planteó un modelo sedimentario integral durante el Coniaciano-Santoniano para el Noreste de México, que era una zona de transición entre el Mar Interior Occidental de Norteamérica y el proto-Golfo de México.

**Palabras clave:** carbonato, lutita, toba alterada, Noreste de México, Cretácico Superior

## CONTENIDO TOTAL Y BIODISPONIBLE DE CU Y PB EN SEDIMENTOS MARINOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL FRENTE AL PUERTO DE VERACRUZ

Horta-Puga, Guillermo\*, Rafael Andrés Cabral-Tena, Aura A. Morales-Aranda,  
Estefanía Navarro-Miguel.

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores

Iztacala, UBIPRO, Lab. Biogeoquímica

[horta@unam.mx](mailto:horta@unam.mx)

### Resumen

La zona costera frente al puerto de Veracruz está influenciada por la actividad antropogénica y la descarga fluvial de ríos importantes como son el Jamapa, Actopan y Papaloapan. Por lo anterior, ha sido considerada como una de las más contaminadas en el Golfo de México. El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad ambiental de esta zona, con base en los niveles de Cu y Pb, totales y en fracción biodisponible, en sedimentos marinos, comparando las estaciones de lluvias (LI) y secas (Se). En abril (secas) y octubre (lluvias) del 2016, usando una draga van Been, se colectaron 22 muestras de sedimentos superficiales, ubicados en la plataforma continental interna en el área aledaña al puerto de Veracruz. Cada muestra fue sometida a un proceso de digestión ácida, para determinar la fracción biodisponible (1M HNO<sub>3</sub>) y el contenido total (HNO<sub>3</sub>:HF:HCl; 5:4:1, V/V/V), de Cu y Pb, por GFAAS. Asimismo, se determinó el contenido de materia orgánica (MO) y de lodos (limos + arcillas). En términos generales se presentaron concentraciones más altas en la fracción biodisponible en la estación lluviosa (Cu<sub>LI</sub> = 0.37 µg/g > Cu<sub>Se</sub> = 0.15 µg/g; Pb<sub>LI</sub> = 0.32 µg/g > Pb<sub>Se</sub> = 0.20 µg/g); y para el total en secas (Cu<sub>Se</sub> = 5.67 µg/g > Cu<sub>LI</sub> = 4.21 µg/g; Pb<sub>Se</sub> = 6.81 µg/g > Pb<sub>LI</sub> = 4.49 µg/g), siendo las diferencias estadísticamente significativas (*t-student*, p < 0.02),

excepto para Pb biodisponible. La fracción biodisponible presentó una proporción baja (2.5-8.7%) del total, para cada elemento, lo que implica que >90% está asociado a la fracción mineral (siliciclástica). Se encontró una fuerte asociación entre la concentración total y el contenido de lodos ( $r > 0.53$ ,  $p < 0.004$ ), lo que sugiere un origen preponderantemente terrígeno para ambos metales. No se presentó correlación entre el contenido de MO con las concentraciones en fracción biodisponible ( $r < 0.40$ ,  $p > 0.05$ ). Tampoco se presentó un gradiente o patrón de distribución espacial entre estaciones de muestreo o por estación climática, lo que sugiere que el área presenta concentraciones ambientales, de Cu y Pb, más o menos homogéneas. Las concentraciones registradas no rebasan los límites establecidos por las normas nacional e internacionales.

**Palabras clave:** Metales Pesados, Contaminación, Biodisponibilidad, Golfo de México

## ORIGEN Y EDAD DEL VULCANISMO SILÍCIO DE EPAZOYUCAN-SIERRA DE PACHUCA

**Cristiani-Solís Carlos Gaspar<sup>1\*</sup>, Martínez-Serrano Raymundo Gerardo<sup>1</sup>,  
Solé-Viñas Jesús<sup>2</sup>, Solís-Pichardo Gabriela<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica. <sup>2</sup>Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito institutos S/N, C. P. 04510, Ciudad de México.

[\\*cgcristiani\\_91@hotmail.com](mailto:*cgcristiani_91@hotmail.com)

### Resumen

En el área de Epazoyucan-Sierra de Pachuca (EP-SP), localizada en el sector oriental de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), se extiende una secuencia volcánica de ~130 km<sup>2</sup> que cubre discordantemente al Grupo litológico El Morro (Eoceno). De acuerdo con estudios previos, esta secuencia está conformada por flujos de lava asociados a conos de escoria y domos, brechas, depósitos piroclásticos, vitrófidos e ignimbritas que varían de composición máfica a silícica. En general, las rocas volcánicas del área EP-SP se emplazaron del Oligoceno al Pleistoceno y se relacionan a la evolución de la FVTM. No obstante, se han descrito rocas ignimbríticas silícicas cuyo origen no se ha esclarecido aún debido a la dificultad de establecer relaciones estratigráficas claras para algunas unidades. Además, sólo existe una edad K-Ar de 23.7-21.6 Ma en la Sierra de Pachuca y una edad U-Pb de ~22.6 Ma de la ignimbrita Epazoyucan. Por lo que estas rocas podrían correlacionarse con los primeros episodios de la FVTM o los últimos de la Sierra Madre Occidental.

En este trabajo se realizó la descripción geológica y petrográfica de rocas volcánicas del área EP-SP y se obtuvieron datos de geoquímica de elementos mayores, traza e isotópicos para intentar dilucidar el origen de las rocas silícicas.



Las rocas presentan composiciones intermedias a silíceas (55-78% en peso de SiO<sub>2</sub>) de carácter subalcalino. Las ignimbritas silíceas tienen patrones de REE con enriquecimiento de las ligeras respecto a las pesadas y anomalía negativa de Eu. Los patrones multielementales exhiben enriquecimiento de elementos LIL con respecto a los HFS y empobrecimiento de P y Ti. Mientras que sus valores isotópicos varían entre 0.705 y 0.708 para el <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr, de -2.57 a -0.80 para el εNd y los isótopos de Pb muestran una línea de mezcla entre rocas del manto y de la corteza. Por ello se infiere que las rocas ignimbríticas fueron producidas en un arco volcánico asociado a subducción; donde los magmas iniciales fueron diferenciados por procesos de cristalización fraccionada, posible mezcla y asimilación de corteza continental.

**Palabras clave:** ignimbritas, geoquímica, Faja Volcánica Transmexicana, Sierra Madre Occidental, subducción.

## NEW LITHOSTRATIGRAPHIC AND GEOCHEMICAL ANALYSIS OF THE LAVA-LIKE IGNIMBRITE SUCCESSION OF VILLA GARCIA (ZACATECAS).

**Pascal Sieck<sup>1\*</sup>, Pablo Dávila-Harris<sup>1</sup>, Rubén López-Doncel<sup>3</sup>, Alfredo  
Aguillón-Robles<sup>3</sup>; Gabriela del Carmen Lara Gonzalez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>División de Geociencias Aplicadas, Instituto Potosino de Investigación Científica  
y Tecnológica (IPICYT), Camino a la Presa San José 2055, C.P. 78216, San Luis  
Potosí, México

<sup>2</sup>Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel  
Nava 5, 78240 San Luis Potosí, México

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería en Minas Metalurgia y Geología, Universidad de  
Guanajuato, Ex Hacienda. de San Matías S/N, San Matías, San Javier, 36020  
Guanajuato, Guanajuato, México

\*Corresponding author: Pascal Sieck, [pascal.sieck@ipicyt.edu.mx](mailto:pascal.sieck@ipicyt.edu.mx)

### Abstract

Oligocene high-silica rhyolitic ignimbrites and lavas are common in the southern part of the Mesa Central, but not all have been studied in detail. The Oligocene Villa Garcia Ignimbrite complex lies in the NE of Aguascalientes and SE Zacatecas, covering an area of 550km<sup>2</sup>. A previous study describes the nearby area as a dome complex mainly. Locally, the oldest rocks exposed are clastic sediments and reef limestones, strongly folded during the Laramide orogeny. Discordantly, the early Cretaceous sedimentary succession is overlain by a younger conglomerate, that was not affected by the orogeny. A dacitic lava flow

with basal vitrophyre and 25vol.% of crystals (quartz, sanidine, plagioclase, biotite and pyroxene) initiates the volcanic sequence, which is directly overlain by a volcanoclastic sequence, not extensively exposed but up to 50m thick. This volcanoclastic succession might represent an intra-caldera lake sequence, consisting of mainly pumice-bearing sand- and siltstone. Two voluminous Ignimbrites form the top of the composite stratigraphy. First, the lower Villa Garcia Ignimbrite, is a densely welded, massive, reddish, up to 75m thick, and lava-like ignimbrite possibly rheomorphic, with 10 vol.% of quartz and sanidine. The amount of crystals and the size of fiamme increases to the top of the unit. Whereas the upper part shows possibly rheomorphic deformation and no fiamme. Second, the Loreto ignimbrite, shows a basal up to 5m thick black vitrophyre, followed by a massive and densely welded ignimbrite, which contains <5vol.% pumice clasts at the base. Its internal stratigraphy, with increase of crystals and possible rheomorphism, mirrors the Villa Garcia ignimbrite. The intense extensional episode of the Basin and Range extension favored the ascent of the magmas through the brittle crust, with a possible accumulation in a magma chamber close to the surface. Trace element behavior imply that the volcanic rocks were the result of a process involving partial melting of the lower crust and fractional crystallization in an intra-plate tectonic setting. Flat REE pattern indicate that for the generation of the magmas metasomatized and enriched lithospheric fluids were included. Work in progress includes new K-feldspar Ar/Ar as well as zircon U/Pb ages and mineral chemistry.

Keywords: Lava-like ignimbrites, Mesa Central Mexico, Oligocene, extension volcanism, Basin and Range

## Area temática Biogeoquímica

### ECOLOGÍA ALIMENTICIA Y EL HÁBITAT DEL CAMÉLIDO *CAMELOPS HESTERNUS* DEL PLEISTOCENO TARDÍO EN EL CENTRO OCCIDENTE DE MÉXICO USANDO LA VARIACIÓN ISOTÓPICA DE CARBONO Y OXÍGENO.

**María Luisa García-Zepeda 1\***, **Alejandro H. Marín-Leyva 1, 2**, **Ramón A. Plata-Ramírez 1**, **Sabrina Delgado García 1**, **Joaquín Arroyo-Cabrales 3**  
1 Laboratorio de Paleontología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edif. R 2°. Piso. Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México. 2 Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, C.P. 04150, Ciudad de México, México. 3 Laboratorio de Arqueozoología “M. en C. Ticul Álvarez Solórzano”, Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Moneda #16, Col. Centro, C.P. 06060, Ciudad de México, México.

[gzepedaml@yahoo.com.mx](mailto:gzepedaml@yahoo.com.mx)

En México existe un gran número de yacimientos del Pleistoceno (2.6 – 0.01 Millones de años) los cuales se han descubierto en diferentes provincias morfotectónicas del país, la provincia con el mayor número de localidades Pleistocénicas es el: Cinturón Volcánico Trans-Mexicano. Uno de los yacimientos encontrados dentro de esta provincia es: La Cinta-Portalitos, la cual se ubica en la zona Norte de la cuenca de Cuitzeo, y tiene una edad de mamíferos de norte América (NALMA'S North America Land Mammal Ages) del Rancholabreano (~0.21-0.16 – 0.095 Millones de años). Los trabajos paleontológicos en este sitio,

están enfocados principalmente en taxonomía y en paleoecología de mamíferos como: proboscídeos, équidos, bóvidos, camélidos, cérvidos, tayasuidos, roedores y xenartros, así como de anfibios, reptiles escamosos y quelonios. Sin embargo, hasta ahora no existe investigación paleoecológica en el grupo de los camellos y llamas de la Tribu Lamini, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo inferir la dieta y el hábitat, del camélido (*Camelops hesternus*) en esta localidad, analizando la variación de los isótopos estables de Carbono y Oxígeno, en los premolares y molares, con la finalidad de conocer la historia de vida de los individuos y la dinámica de la población de las diferentes especies de la tribu Lamini durante el Pleistoceno tardío época de grandes cambios climáticos y geológicos en México. Los resultados exhiben una gran variación con individuos con dietas preferentemente  $C_3$  y  $C_4$ , y un promedio poblacional de  $\delta^{13}C$  (-3.62) y de  $\delta^{18}O$  (-3.86) y un (59.17 %) de consumo de plantas  $C_4$  para la especie *C. hesternus*, lo que indica una dieta mixta compuesta por plantas  $C_3$  y  $C_4$ , en un ambiente heterogéneo compuesto por zonas abiertas (pastizales  $C_4$ ) y cerradas (bosques  $C_3$ ), lo cual se confirma con lo encontrado en équidos, proboscídeos y bóvidos, en esta área.

## Area Temática Geoquímica

# MODELO CRONOLÓGICO DE SEDIMENTOS DEL PLEISTOCENO-HOLOCENO Y ABUNDANCIAS DE MINERALES EVAPORITICOS-CLÁSTICOS EN LA CUENCA CIENEGUILLA, ESTADO DE TAMAULIPAS

Alejandra Chávez-Arteaga<sup>1,\*</sup>, Priyadarsi D. Roy<sup>2</sup>

alejandrachvz15@gmail.com

<sup>1</sup>Instituto de Geología, Ciudad Universitaria, UNAM, CP 04510, Ciudad de México.

### Resumen

La Cieneguilla (22.5° N, 99.5°O) es una cuenca sedimentaria y está ubicada en la margen de las regiones tropical-subtropical de México, en la parte sur-oeste del estado de Tamaulipas. Los sedimentos colectados de una trinchera con 302 cm de profundidad en la parte central de la cuenca están caracterizados por limo-arena (masivo), limo (masivo y laminado), limo-arcilla, nódulos de carbonado y cristales de evaporitas. Análisis de radiocarbono (<sup>14</sup>C) de materia orgánica en cinco muestras de sedimento total en las profundidades de 301 cm, 207 cm, 95 cm, 69 cm y 45 cm abarcan la columna sedimentaria en las últimas 13,509 cal años. En este trabajo, se presentan las tasas de sedimentación de la cuenca de Cieneguilla durante el Pleistoceno tardío y Holoceno y mineralogía de los sedimentos. Las tasas de sedimentación varían entre 3.8 y 66 cm/ka. Sedimentos caracterizados por limo-arcilla con presencia de evaporitas fueron depositados entre 13, 510 y 9364 cal a aP con una tasa de sedimentación de 23 cm/ka. Los limos depositados entre 9364 y 7680 cal a aP representan un intervalo con la mayor tasa de sedimentación (66 cm/ka). La mínima tasa (3.8 cm/ka) y un contacto abrupto entre limo-arena y limo con laminaciones en la profundidad de 45 cm indican un hiatos



en sedimentación entre 6875 y 526 cal a aP. Los minerales siliciclásticos están representados por cuarzo, plagioclasas y caolinita. La asociación de los minerales evaporíticos contiene calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), basanita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ) y halita ( $\text{NaCl}$ ). Variación en las abundancias de sulfatos y carbonatos representan las condiciones paleo-hidrológico de la cuenca. La basanita es un producto de deshidratación de yeso y posiblemente representan intervalos de sequías en la cuenca.

## **EVALUACIÓN GEOQUÍMICA AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO ÁLAMOS, NUEVA ROSITA, COAHUILA.**

**Rodríguez-Flores, W.I.\*1; Hernández-Terrazas, G.1; Díaz-Martínez, R.1,  
Dávila-Pulido, G.I.1 ; Salinas-Martínez, E.A.; Rodríguez-Vega, A.1, Rodríguez-  
Batista, J.A.1; Almaguer-Carmenates, Y1.**

1Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad  
Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita,  
Coahuila.

\*Correo electrónico del autor principal: walbertordz@gmail.com

### **RESUMEN**

El río Álamos es uno de los afluentes principales de la cuenca del río Sabinas, sus humedales forman un ecosistema que hospeda milenarios bosques riparios de sabino (*taxodium mucronatum*), especie considerada como árbol representativo de México y a la que debe su nombre. En esta región, el descuidado aprovechamiento de los recursos naturales, aunado a una cultura autóctona incongruente con la necesidad de una sociedad sustentable, perturban severamente este importante ecosistema. Por lo anteriormente expuesto, surge la necesidad de realizar un estudio geoquímico de las aguas superficiales y sedimentos activos del río Álamos con la finalidad de determinar su grado de contaminación y diseñar medidas de remediación destinadas a mitigar los efectos que sobre el medio están provocando la actividad doméstica, industrial y minera. Se tomaron 17 muestras a lo largo del curso del río, desde un punto ubicado 250 metros aguas arriba de la anastomosis con el río San Juan, hasta la cabecera de su afluente principal; de ellas 7 son de sedimentos de arroyo y 10 de agua. En los sedimentos se determinaron los principales metales pesados Cu, Pb, Zn, As, Ni,

Fe, V y Cr, mediante FRX y en agua se analizaron Pb, Cu, Zn y Cr mediante EAA. Cuatro muestras de agua se destinaron para determinación de presencia de bacterias coliformes. Los contenidos de Zn y Pb en sedimento alcanzan concentraciones de 3.7g/t y 170 g/t respectivamente; los resultados de los análisis de agua mostraron cantidades de Cr que exceden el límite de 0.05mg/L para agua potable por un factor de 3.8. Los coliformes están presentes en todas las muestras formando abundantes colonias. Se concluye que las aguas del río Álamos se encuentran contaminadas, concentrando metales pesados en los sedimentos activos como el Zn, proveniente de los jales de una antigua planta de fundición de Zinc que existió en la ciudad de Nueva Rosita. El agua del río Álamos concentra una cantidad de Cr que excede el límite permisible para consumo humano, además de estar altamente contaminadas con bacterias coliformes.

*Palabras: Geoquímica ambiental, río Álamos, río Sabinas, sedimentos, agua.*

## **FORTALEZAS Y DEBILIDADES EN CALIDAD Y PRECISIÓN ANALÍTICA DE UN EQUIPO PORTÁTIL DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (PFRX).**

**Arispuro Suarez Jesus Raymundo. Universidad de Sonora.**

arixpurox@gmail.com

### **Resumen**

En este estudio se llevó a cabo un análisis del rendimiento de la técnica Fluorescencia de Rayos X de un equipo portátil (pXRF) con la finalidad de determinar las fortalezas y debilidades de las lecturas obtenidas por el equipo, para su uso en la exploración geológica. Esto fue llevado a cabo mediante el análisis de muestras que previamente fueron analizadas por un laboratorio certificado, mediante los métodos de plasma inductivamente acoplado (ICP-AES), Espectroscopia de Absorción Atómica (ASS) y Ensaye al Fuego. Tomando estos resultados como “estándar” para calcular la eficacia y precisión del método de pXRF.

El equipo utilizado para realizar la comparación de los análisis de este estudio fue el Niton FXL de la marca THERMO scientific. El cual fue programado para realizar 6 lecturas a cada una de las 110 muestras tomadas como “estándar”, las cuales fueron colectadas durante una campaña de exploración, en Sonora Central. La calibración empleada en el equipo fue la de fábrica y el modo de análisis el “*Test All Geo*”. El rendimiento del equipo fue evaluado mediante la comparación de los resultados obtenidos por el laboratorio certificado y los obtenidos con el equipo de pXRF, para esto se elaboraron gráficas de pendiente ( $R^2$ ) donde se graficaron ICP-AES, ASS y Ensaye al Fuego vs pXRF.

El desempeño del equipo de pXRF vs ICP-AES muestra que para los siguientes elementos: As, Cu, Mo, Zn, Sb, V, Bi, Fe, Ca, poseen una buena correlación de  $R^2 > .9$ . Mientras que para siguientes elementos: Ag, Pb, Hg, Cd, Mn, Ba, se obtuvo una correlación moderada  $R^2$  de .6 – .8. Para el caso de los elementos que superaron el límite de detección por ICP-AES en la muestra analizada por el laboratorio certificado fueron reanalizadas por ASS (Cu, Pb) y Ensaye al fuego (Ag). Observándose en la comparación con el método de pXRF una correlación  $R^2 > .9$  para los 3 elementos.

Los resultados presentados en este estudio sugieren que pXRF es una herramienta rentable para determinar elementos considerados como *pathfinder*, tales como: As, Sb, Bi, Ag, Cu, Zn, Pb, Cd. Lo cual demuestra que esta técnica es adecuada como un primer filtro en la exploración mineral.

Palabras clave: *pXRF*, *ICP-AES*, *Ensaye al Fuego*, *ASS*, *pathfinder*, *Exploración mineral*.

## COMPLEJO METAMÓRFICO GNEIS NOVILLO, CD. VICTORIA, TAMAULIPAS. COMPARACIÓN GEOQUÍMICA CON EL MICROCONTINENTE OAXAQUIA.

ALEMÁN-GALLARDO, Eduardo Alejandro<sup>1</sup>, RAMÍREZ-FERNÁNDEZ, Juan  
Alonso<sup>2</sup>, JENCHEN, Uwe<sup>2</sup>, WEBER Bodo<sup>3</sup>, CASAS-PEÑA, Juan Moisés<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Posgrado Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León.  
<sup>2</sup> Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León,  
Hacienda de Guadalupe, Carretera Linares – Cerro Prieto km. 8, 67700 Linares,  
N.L. <sup>3</sup>CICESE, Departamento de Geología, Ensenada, B.C.

[ealeman.gallardo@gmail.com](mailto:ealeman.gallardo@gmail.com)

### RESUMEN

El basamento de la Sierra Madre Oriental en el NE de México se encuentra expuesto en el Anticlinorio Huizachal-Peregrina, en Ciudad Victoria, Tamaulipas. El núcleo erosionado de esta estructura exhibe una variedad de litologías que guardan la historia geológica de la región durante el Precámbrico y Paleozoico.

La unidad más antigua que aflora en el Anticlinorio Huizachal-Peregrina (AHP) es el Complejo Metamórfico Gneis Novillo, con componentes del Mesoproterozoico y Neoproterozoico, metamorfozados bajo facies de granulitas durante la orogenia Olmeca. En este trabajo se presenta una caracterización geoquímica de las diferentes unidades pertenecientes al complejo así como una comparativa con los complejos precámbricos del centro y sur de México.

El Complejo Metamórfico Gneis Novillo ha sido dividido en este trabajo en diversas unidades basado en propiedades petrográficas y geoquímicas las cuales son: gneis cuarzo-feldespático, gneis granítico-gabróico (gneis bandeado), granulitas máficas y granulitas ricas en K y mármoles de talco y serpentina. Se presentarán resultados de análisis geoquímicos del Gneis Novillo no estudiados del AHP, como los cañones Peregrina y Caballeros. Con estos datos se ha desarrollado una comparativa con los Complejos Huiznopala, Oaxaqueño, Guichicovi y el Triunfo.

Palabras clave: Oaxaquia, Gneis Novillo, Basamento, Petrología, Sierra Madre  
Orien



## Area temática geoquímica de isotopos y geocronología

### GEOCHRONOLOGICAL AND GEOCHEMICAL SIGNATURES OF THE SANUKITIDS AND ANATECTIC GRANITES OF THE BUNDELKHAND CRATON, INDIA: IMPLICATIONS FOR LATE- ARCHEAN CRUSTAL EVOLUTION

Singh Pradip K.<sup>\*1</sup>, Verma Sanjeet K.<sup>2</sup>, Singh Vinod K.<sup>3</sup>, Moreno Juan A.<sup>4</sup>,  
Oliveira Elson P.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Posgrado de la División de Geociencias Aplicadas, IPICYT, San Luis Potosí,  
México; <sup>2</sup>División de Geociencias Aplicadas, IPICYT San Luis Potosí 782, Mexico.

[sanjeet.verma@ipicyt.edu.mx](mailto:sanjeet.verma@ipicyt.edu.mx); <sup>3</sup>Department of Geology, Bundelkhand University,  
Jhansi, India. [vinodksingh@bujhansi.ac.in](mailto:vinodksingh@bujhansi.ac.in); <sup>4</sup>Centro de Investigaciones en Ciencias de  
la Tierra (CICTERRA), Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

[jmoreno\\_2@ugr.es](mailto:jmoreno_2@ugr.es); <sup>5</sup>Institute of Geosciences, University of Campinas – UNICAMP,  
Campinas, SP, Brazil. [elson@ige.unicamp.br](mailto:elson@ige.unicamp.br)

\*Corresponding author email: [pradip.singh@ipicyt.edu.mx](mailto:pradip.singh@ipicyt.edu.mx); [pradipbu92@gmail.com](mailto:pradipbu92@gmail.com)

#### ABSTRACT

The present study reports bulk-rock Sm–Nd isotopes, and a new zircon U–Pb age of sanukitoids, Bundelkhand craton (BC), India. Also reports the whole-rock geochemical characteristics of the sanukitoids (s.l.) and anatectic granites from the BC, are presented to elucidate their petrogenesis, time(s) of emplacement, and role in crust evolution. Sanukitoids characters with high-alumina (15–16 wt.%), Mg<sup>#</sup> (70–87), and TiO<sub>2</sub>(0.31–0.87 wt. %), enriched in large ion lithophile elements

(LILEs) and light rare earth elements (LREEs), and depleted in high-field strength elements (HFSEs), showing subduction-related characteristics with negative Nb-Ta and positive Pb anomalies. Anatectic granites are characterized by  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12–15) wt. %),  $\text{Mg}^\#$  (49–85), and  $\text{TiO}_2$  (0.06–0.8 wt. %); enriched and variable concentrations of LILEs and REEs; and negative Eu anomalies ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.15\text{--}0.93$ ). The bulk-rock  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  values (–3.64 to –1.66) indicate that the crustal component in the sources of sanukitoids magmas. Zircon U–Pb dating (LA–ICP–MS) results of the Sanukitoids indicate that these rocks were emplaced at  $2575 \pm 13$  Ma and are coeval with anatectic granites during late-Archean (2544–2583 Ma). These geochemical and isotopic characteristics suggest the sanukitoids plutons were produced by the mixing of metasomatized mantle melts with anatectic melts at shallower levels of emplacement. Whereas anatectic granitic plutons geochemical characteristics suggest that were formed by reworking (partial melting) of the pre-existing TTG and supracrustal rocks and were vastly emplaced during with cratonic stabilization at 2.5 Ga. These granitic plutons indicate a temporal evolution from TTG-dominated through sanukitoids (s.l.) to anatectic leucogranites-dominated (sodic to potassic) throughout the Archean, which is inferred to evidence the internal reworking and diversification of the continental crust. Hereby, we propose a supplement to the model of crustal growth and evolution in the BC, involving subduction and collision in the late-Archean.

*Key words: Sm–Nd isotopes, zircon age, Sanukitoids, anatectic granites, Late Archean, Bundelkhand craton (India)*

## **GEOCROLOGÍA $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Y GEOQUÍMICA DEL VULCANISMO EN LA CUENCA DE ARIVECHI, ESTE DE SONORA, MÉXICO**

**Amabel Ortega-Rivera<sup>1</sup>, José Luis Rodríguez-Castañeda<sup>1</sup>,  
Fernando Velasco Tapia<sup>2</sup> y Jaime Roldán-Quintana<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM, Blvd. Luis  
Donaldo Colosio y Madrid S/N, Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México;

E-mail: amabel@unam.mx

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra;  
Carretera Linares Cerro Prieto km. 8, 67700 Linares, Nuevo León, México

### **Resumen**

En este trabajo se reportan nuevos datos de geocronología  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y geoquímica para rocas volcánicas que afloran en la región de Arivechi, localizada al este de Sonora, México. Afloramientos de diques y rocas volcánicas de composición traquiandesítica, dacítica y riolítica, que se encuentran interestratificadas junto con rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias de la unidad de El Potrero Grande, Arivechi, fueron fechadas entre 77 a 61 Ma. Las rocas intermedias presentan una textura porfirítica con un arreglo de minerales dominado por plagioclasa + feldespato potásico  $\pm$  anfíbol, mientras que las félsicas incluyen plagioclasa + feldespato potásico  $\pm$  cuarzo  $\pm$  biotita. En ambos casos, los cristales se encuentran embebidos en una matriz vítrea a microlítica que contiene sericita, minerales opacos y/o calcita. El origen de la mayoría de estas rocas volcánicas podría explicarse como resultado de la asimilación de la antigua corteza de Norte América por magmas derivados del manto en un ambiente tectónico de subducción. Posteriormente, este volcanismo de edad cretácica-paleocénica fue

cubierto por un depósito de ignimbrita (cuarzo + feldespatos potásicos + biotita embebidos en una matriz vítrea con alteración a clorita), el cual fue fechado entre 35.8 a 34.8 Ma. Este volcanismo pudo originarse en un ambiente de arco continental por fusión parcial de la zona de interfase entre la corteza superior e inferior, durante la transición de un ambiente de compresión a un ambiente extensional. La estructura y composición del manto superior continental y la corteza en Sonora fue modificada, entre el Cretácico Superior y el Eoceno, como resultado de la variación en las condiciones del sistema de subducción. Esos cambios influenciaron el estilo y la composición química del vulcanismo que ocurre en la cuenca de Arivechi.

Palabras clave: Sonora; Arco Continental; Cretácico Superior; Eoceno; Noroeste de México;  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ; rocas volcánicas

## **PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ DE LAS ROCAS INTRUSIVAS DEL SW DE LA SIERRA LA MADERA, SONORA**

**Amabel Ortega-Rivera<sup>1</sup>, Fernando Velasco Tapia<sup>2</sup>,  
José Luis Rodríguez-Castañeda<sup>1</sup> y Guillermo Loera Quintanilla<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup> Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM, Blvd. Luis  
Donaldo Colosio y Madrid S/N, Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México;

E-mail: amabel@unam.mx

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra;  
Carretera Linares Cerro Prieto km. 8, 67700 Linares, Nuevo León, México

### **Resumen**

El magmatismo del Cretácico-Paleógeno expuesto en Sonora presenta, en general, composiciones félsicas. Sin embargo, en el SW de la Sierra La Madera o Batolito Oposura, se han reportado cuerpos elipsoidales de pequeñas dimensiones (diámetro  $\leq 1$  km) de roca intrusiva básica ( $n = 8$ ; %SiO<sub>2aj</sub> = 44.5 – 51.9; %MgOaj = 4.5 – 8.3) que ocurren dentro de los granitoides que dominan la geología del área. Las rocas se caracterizan por mostrar una textura hipidiomórfica equigranular a inequigranular y un arreglo de minerales de plagioclasa + anfíbol + opacos  $\pm$  biotita  $\pm$  epidota  $\pm$  titanita  $\pm$  circón  $\pm$  clinopiroxeno. Algunas muestras presentan indicios de alteración, reflejada por sericita + clorita  $\pm$  carbonato. De acuerdo a esquemas geoquímicos clásicos, las rocas se clasifican como gabro, diorita y monzodiorita. La aplicación de geocronología  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  a separados de hornblenda han revelado una edad

mínima de emplazamiento de 59.1 – 66.2 Ma, mientras que los de biotita indican edades de enfriamiento de 35.5 – 48.8 Ma. La geoquímica de elementos mayores indica características de magmas cordilleranos calco-alcalinos ( $n = 8$ ;  $[\text{FeO}^t]/[\text{FeO}^t + \text{MgO}]_{\text{aj}} < 0.7$ ;  $[\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}]_{\text{aj}} < -1$ ) que además, de acuerdo al arreglo modal de minerales, serían de naturaleza meta-aluminosa. La geoquímica de elementos traza indica una afinidad a ambientes de arco para estas rocas, aunque se caracterizan por mostrar altas concentraciones de Ba (185 – 1258 ppm) y Sr (564 – 894 ppm), pero bajas de Rb (15 – 66 ppm), condición típica de granitoides generados en ambiente post-orogénicos. Se plantea que el magmatismo básico de la Sierra de La Madera podría haberse generado durante el Eoceno por fusión parcial de un manto litosférico enriquecido, seguido de una asimilación cortical, en un ambiente tectónico en transición de arco a extensión.

Palabras clave: Sonora, Sierra la Madera, Cretácico-Paleógeno, rocas básicas,  
 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$



## UNA EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA SIMULACIÓN DEL TRANSPORTE DE VAPOR EN LAS REDES DE VAPORDUCTOS DE PLANTAS GEOTÉRMICAS DE LOS AZUFRES CON PIPEPHASE, SIMS.NET Y GEOSTEAM.NET

Verma Mahendra P.<sup>\*1</sup>, Torres-Encarnación José Augusto<sup>1</sup>, López-López Juan Christian<sup>1,2</sup>, González-Reyes Ismael<sup>1</sup>, Martínez-Estrella Juan Ignacio<sup>1</sup>, Hernández-Ochoa Abel<sup>1</sup>, Salinas-Vázquez Martínez<sup>2</sup>, Ruiz-Lemus Alejandro<sup>3</sup>, Casimiro-Espinosa Emigdio<sup>3</sup>, García-Gutiérrez Alfonso<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Geotermia, Instituto de Electricidad y Energías Limpias, Cuernavaca, Morelos, México. <sup>2</sup>Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México. <sup>3</sup>Campamento Agua Fría, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, CFE, Los Azufres, Mich. México.

<sup>4</sup>Investigador Privado, Cuernavaca, Mor., México

Autor correspondiente: [mahendra@ineel.mx](mailto:mahendra@ineel.mx)

En el proyecto de CeMIEGeo P14 (Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica), se está desarrollando el software "[GeoSteam.Net](#)" para la simulación de transporte de vapor en plantas geotermicas en la plataforma Web. El simulador será de utilidad para optimizar (i) diseño y construcción, (ii) monitoreo y operación y (iii) toma de decisiones en la actualización y modificación de plantas de energía geotérmica. Se han realizado enormes esfuerzos para comprender los mecanismos del transporte de vapor en las redes de vaporductos de varios campos geotérmicos de todo el mundo. Todos los programas se han enfocado en resolver un problema específico y no arrojan resultados satisfactorios cuando se usan para diferentes condiciones de producción. En los sistemas geotérmicos el vapor es el recurso primario para la generación de energía eléctrica, es con el que se produce el movimiento de las turbinas. En la mayoría

62

de los campos geotérmicos, el fluido producido es una mezcla de agua y vapor. Para obtener solamente vapor útil para las turbinas se usan distintos sistemas de separación en el cabezal de cada pozo. Una vez obtenido el vapor separado se transporta hacia la turbina a través de una red de vapor-ductos que consta de tubos, codos, válvulas, expansiones, reducciones, etc.

El flujo de vapor (fluido) en las redes de vapor-ductos de sistemas geotérmicos es más complejo que en cualquier otro tipo de sistema, debido a que la presión, temperatura y el flujo en los pozos geotérmicos dependen de las características naturales del yacimiento. Además, las distancias grandes entre los pozos y la configuración topográfica de un campo geotérmico influyen en la caracterización del flujo. Las condiciones de cabezal de pozo (es decir, el control de su presión, y flujo en la boca del pozo) producen problemas de incrustación (que consisten principalmente en depósitos de sílice y calcita) tanto en el yacimiento geotérmico, como en los ductos de la red.

De la misma manera, se ha observado inestabilidad en forma de fluctuación de la presión en la red de tuberías geotérmicas (incluso a veces en los pozos), si la apertura de los pozos no está sincronizada. Todo esto afecta la capacidad de producción de un sistema geotérmico. Típicamente, este problema es resuelto produciendo un exceso de vapor (es decir, vapor sin ningún tipo de uso) y descargándolo a la atmósfera, lo que tiene impactos económicos y ambientales. De ahí la importancia de comprender la complejidad del flujo de vapor en las redes de los sistemas geotérmicos.

En 2007 un equipo de investigadores del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL antes IIE) y de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) desarrollaron un modelo hidráulico y realizaron una simulación de la operación de la red de

vaporductos del campo geotérmico Los Azufres usando los paquetes de software comercial Pipephase y Sim.snet. Se desarrolló un modelo numérico computacional para representar los procesos de pérdida de presión y calor asociados con el transporte de vapor a las unidades generadoras y que permitió simular el crecimiento de la red de vaporductos para enviar vapor a las turbinas. El efecto de la topografía del campo juega un papel complejo en el transporte de vapor en las redes de vaporductos del campo geotérmico Los Azufres, y asimismo afecta directamente la cantidad de electricidad generada por unidad de fluido producido.

En el presente trabajo se realizará la simulación de transporte de vapor en las redes de vaporductos de las unidades U-07 y U-13 a través de GeoSteam.Net y un estudio comparativo con los resultados de PipePhase y Sim.snet. En el diseño de una red de vaporductos de plantas de energía geotérmica, hay varios factores a considerar como las características de pozo productores, la distancia entre los pozos y las plantas de generación, y la topografía del terreno. Del mismo modo, las características del pozo de producción pueden cambiar con el tiempo. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta una tolerancia en las características de producción en el diseño de la red de tuberías para una planta de energía geotérmica. Aquí se presenta una ilustración de GeoSteam.Net para definir la red de tuberías para el problema clásico de los tres reservorios anteriores. La aplicación se puede descargar desde la página web <http://www.INEELGeoSteam.Net/WtrStmTbl>. En resumen, el programa GeoSteam.Net constituye una herramienta muy útil para los ingenieros del campo y representa un desarrollo propio de nuestro país.

Agradecimiento:



El trabajo se realizó en el proyecto “CeMIEGeo P14: GeoSteam.Net: Un simulador de transporte de vapor para optimizar el diseño de las redes de vapor-ductos y la generación de energía eléctrica en un campo geotérmico”, financiado por la Secretaría de Energía (SENER) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

*Palabras clave: Sistema Geotérmico de Los Azufres, Optimización de Generación de Energía Eléctrica, PipePhase, Simsnet, GeoSteam.Net*

## **GEOCROLOGÍA DE ROCAS ÍGNEAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS TECTÓNICOS EN LA REGIÓN DE CHILPANCINGO - TIERRA COLORADA, ESTADO DE GUERRERO, SUR DE MÉXICO.**

**Teodoro Hernández-Treviño<sup>1</sup>, Peter Schaaf<sup>1</sup>, Gabriela Solís-Pichardo<sup>2</sup>,  
Vianney Meza-García<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>LUGIS. Instituto de Geofísica, UNAM. México, D.F., 04510. <sup>2</sup>LUGIS. Instituto de  
Geología, UNAM. México, D.F., 04510

**tht@geofisica.unam.mx**

### **RESUMEN**

En la región de Chilpancingo y Tierra Colorada en el estado de Guerrero documentamos la siguiente cronología de eventos magmáticos, estructurales y estratigráficos utilizando métodos geocronológicos de U-Pb y K-Ar, para obtener datos para el entendimiento de la evolución del sur de México.

Cretácico temprano- Cretácico medio

Las rocas metavolcánicas de la Formación Chapolapa fechadas en 126 Ma (U-Pb), se correlacionan con metagranitoides deformados de 130 Ma que intrusionan rocas del Complejo Xolapa, presenta en algunos sectores cinturones con texturas miloníticas y protomiloníticas (D2).

Cretácico superior – Paleoceno

Rocas volcánicas y rocas clásticas del Grupo Balsas (Formaciones Agua de Obispo, Conglomerados Balsas y Formación Papagayo). Las edades que arrojaron son importantes para distinguir los principales procesos tectónicos (D1, D2, D3) entre 70 y 40 Ma.

Las andesitas de Agua de Obispo se fecharon en  $64.8 \pm 1.3$  Ma (U-Pb) y  $56.3 \pm 1.4$  Ma (K-Ar), el granito deformado de Amatlán del Terreno Xolapa arrojó una edad de  $66.45 \pm 0.74$  Ma (U-Pb); este se caracteriza por presentar texturas miloníticas (D2). Las ignimbritas y domos riolíticos de la Formación Papagayo

dieron edades de U-Pb en zircón de  $51.36 \pm 0.97$  Ma,  $50.7 \pm 1.2$  Ma y  $49.89 \pm 0.78$  Ma y son afectadas por (D3).

#### Eoceno-Oligoceno

Plutones de Tierra Colorada y Azinyehualco y por la Caldera de Alquitrán. se emplazaron a lo largo de estructuras relacionadas con (D3).

Se obtuvo una edad de enfriamiento para el plutón de Azinyehualco de  $33.7 \pm 0.9$  Ma (biotita, K-Ar), similar a la edad del granito Tierra Colorada de 34 Ma calculada por U-Pb. Las rocas volcánicas de la Caldera de Alquitrán arrojaron edades de  $36.0 \pm 0.2$  Ma (U-Pb zircón) y  $30.3 \pm 0.8$  Ma (K-Ar-Biotita)

#### Eventos de deformación

Deformación Larámide (D1) afecta rocas de la plataforma Morelos Guerrero. Deformación dúctil (D2) corresponde a una falla normal regional-cortical con rumbo NW. Deformación Chilpanteca (D3) que genero pliegues y cabalgaduras, corrimientos regionales hacia el sur, haciendo cabalgar rocas del Complejo Acatlán sobre rocas del Complejo Xolapa y rocas de la Plataforma Morelos Guerrero y coberturas paleogenas sobre la Formación Chapolapa se calcula que sucedió entre 47 y 40 Ma, y afectó tanto a las fases D1 como a las D2.

**Palabras Clave.** Sur de México, Deformación Dúctil (D2), Deformación Chilpanteca (D3), Caldera de Alquitrán, Plutón de Amatlán.



## Area temática Geotermia

### MOVILIDAD DE ELEMENTOS MAYORES, REE Y TRAZAS DEBIDO A LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN EL SISTEMA GEOTÉRMICO ACOCULCO, MÉXICO.

Kailasa Pandarinath<sup>\*1</sup>. García Soto América Yosiris<sup>1</sup>. Santoyo Edgar<sup>1</sup>,  
Guevara Mirna<sup>1</sup> y González-Partida Eduardo<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM) <sup>2</sup>Centro de Geociencias-UNAM

[pk@ier.unam.mx](mailto:pk@ier.unam.mx)

#### Resumen

40 muestras superficiales del sistema geotérmico Acoculco, Puebla fueron analizadas química y mineralógicamente, con el fin de determinar los cambios inducidos por la alteración hidrotermal. Se selecciono una muestra como roca fresca o de menor grado de alteración hidrotermal, contra las muestras restantes como rocas de mayor grado de alteración hidrotermal, en las que se comparó el cambio de masa y la movilidad de los elementos mayores, traza y REE, cambio de concentración y el índice químico de alteración (CIA) para determinar el grado relativo de alteración. Entre los resultados obtenidos se encuentra que las muestras superficiales recolectadas cerca de los pozos geotérmicos en la zona de los Azufres en los alrededores de los manantiales en Alcaparrosa muestran el mayor grado de alteración hidrotermal en las que los principales minerales de alteración hidrotermal son el cuarzo y algunos polimorfos de sílice como la cristobalita y tridimita. El proceso de alteración hidrotermal ha afectado significativamente la movilidad en las concentraciones de casi todos los elementos principales, y la mayoría de REE y oligoelementos. Existe una clara movilidad química en las concentraciones de todos los óxidos principales, con una

ganancia en los contenidos de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ , y pérdida en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , así mismo existe una pérdida en HREE y MREE y comportamiento casi inerte (inmóvil) de LREE. En el caso de los elementos traza la mayoría son inmóviles. Los cálculos de cambio de masa han indicado el orden de la movilidad elemental, con Ta como el de menos movilidad y Co siendo el más móvil entre todos los elementos estudiados. Las rocas superficiales obtenidas de la zona de Alcaparrosa se ven afectadas por una alteración hidrotermal relativamente más intensa que las rocas recogidas en la zona de Los Azufres, debido a que los valores medios de masa y los cambios de concentración en elementos principales, REE y trazas son significativamente mayores para las rocas de Alcaparrosa en comparación con Los Azufres.

**Palabras clave:** Acoculco, alteración hidrotermal, geotermia, cambio de masa y índice químico de alteración (CIA)

## ESTUDIO GEOTÉRMICO PREELIMINAR DE LA FALLA PAJACUARAN EN LA ZONA DE PERIBAN, MICH.

José Martínez Reyes \*<sup>1</sup>, Ignacio Moreno Nava <sup>1</sup>, Iván Vera Romero <sup>1</sup>,  
Agustina Ortiz Soriano <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, Av.  
Universidad 3000, Sahuayo, Michoacán, Mex.

[jmreyes@geociencias.unam.mx](mailto:jmreyes@geociencias.unam.mx)

La zona de la Ciénega de Chapala se encuentra al este del rift Cítala que alberga un sistema geológico que da lugar a la actividad hidrotermal regional, principalmente las fallas Ixtlan y Pajacuaran. La geotermia regional se compone de un hidrotermalismo superficial constituido de manantiales y pozos de agua caliente con temperaturas entre 48 y 94 °C en Ixtlan de los hervores y San Juan Cósala así como de volcanes de lodo en los negritos. Las aguas y gases de estas manifestaciones hidrotermales poseen características físico-químicas que indican la presencia de fluidos geotérmicos.

En el presente trabajo se estudia la falla Pajacuaran de manera local en la población de Periban, Mich.

La temperatura de emanación de gases en la superficie de la zona geotérmica es de 200 C, a lo cual se le puede dar un aprovechamiento en generación de energía, al recurso geotérmico

**Palabras clave:** estudio geotérmico, Periban, Michoacán

## CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA E ISOTÓPICA DEL CAMPO GEOTÉRMICO LOS GEYSERS, NORTE DE LA FAJA VOLCÁNICA MEXICANA: UN ESTUDIO DESDE EL ORIGEN DE LOS FLUIDOS, HASTA LA PRECIPITACION DE GEYSERITAS

Reneé González-Guzmán<sup>1\*</sup>, Claudio Inguaggiato<sup>1</sup>, Thomas Kretzschmar<sup>1</sup>,  
Bodo Weber<sup>1</sup>, Loïc Peiffer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División de Ciencias de la Tierra, Centro de Investigación Científica y de  
Educación Superior de Ensenada, Baja California, Carretera Ensenada-Tijuana  
3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada, Baja California, México.

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

*Este estudio se enfoca en la caracterización de las manifestaciones geotermales en Los Geysers. Este campo geotérmico natural se ubica a solo 10 km al oeste de la ciudad de Querétaro, en el Norte de la Faja Volcanica Transmexicana. Las expresiones de la actividad geotérmica incluyen mas de 150 manifestaciones como manantiales termales burbujantes, humedales, diminutas fumarolas ricas en azufre, así como sinters activos y fósiles. Para el estudio se colectaron muestras de agua, gas y rocas. Las aguas termales oscilan entre 48 y 97 °C. Todas las aguas se pueden clasificar como Na-HCO<sub>3</sub>-Cl con base en sus principales iones y de tipo neutro a ligeramente alcalino (pH = 6.82-9.33). Los valores de Delta ( $\delta$ ) de oxígeno e hidrógeno sugieren un origen meteórico. Además, son isotópicamente más pesados que las líneas meteóricas (-9.98 a -8.04‰ para  $\delta^8\text{O}$  y de -75.61 a -69.67‰ para  $\delta\text{D}$ ), explicado por un fraccionamiento cinético producido por una pérdida de vapor. La disolución de calizas Cretácicas en profundidad arroja una firma isotópica de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de 0.706642-0.706979 para las aguas termales. La temperatura del yacimiento basada en el geotermómetro de solutos produce un*

*promedio de 163 °C, coherente con el equilibrio termodinámico de carbonatos y minerales de sílice en profundidad (155 ± 15 °C). Se analizaron muestras de gas, determinando especies principales, así como para relaciones isotópicas de  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$  y  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  para proponer su origen. Con base en los resultados de estos análisis se determina una componente mantélica que hipotetiza la idea del transporte de fluidos a lo largo de las fallas producidas por una tectónica extensional. La precipitación de sílice amorfo en forma de geyséritas indica una evolución inmadura de los sintérs. La diagénesis de estas rocas se encuentra estrechamente relacionado con el sílice disuelto en el agua y frústulas de especies de diatomeas termófilas.*

*Palabras claves: Faja Volcánica Trans-Mexicana, Hidrogeoquímica, Interacción agua-roca-gas, Geotermometría, Isótopos geotermales*

## **Area temática Geoquímica ambiental y salud**

### **ESTUDIO GEOQUÍMICO AMBIENTAL PRELIMINAR PROVOCADO POR METALES PESADOS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, NUEVA ROSITA, COAHUILA.**

**Hernández-Terrazas, G.<sup>1</sup>; Díaz-Martínez, R.<sup>1</sup>, Dávila-Pulido, G.I.<sup>1</sup>; Rodríguez-Flores, W.<sup>1</sup>; Salinas-Martínez, E.A.; Rodríguez-Vega, A.<sup>1</sup>, Rodríguez-Batista, J.A.<sup>1</sup>; Almaguer-Carmenates, Y.<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita, Coahuila.

(\*Autor de correspondencia: memoht\_97@hotmail.com)

#### **RESUMEN**

El río San Juan, afluente de primer orden de la cuenca del río Sabinas, nace en las estribaciones de la Sierra Santa Rosa y atraviesa los municipios de Melchor Múzquiz, San Juan de Sabinas, Nueva Rosita y Sabinas, donde se desarrolla una intensa actividad minera, ganadera y agrícola. El aprovechamiento de los georrecursos de esta región, caracterizados por la minería del carbón, barita y depósitos de Pb-Zn de tipo MVT afectan uno de los ecosistemas más frágiles de esta árida región, el humedal del valle de la cuenca del río Sabinas, con una endémica biodiversidad pero de muy alta fragilidad. Es por ello, que el presente trabajo de investigación se enfocó en la realización de un estudio geoquímico ambiental preliminar en la cuenca del río Sabinas, orientado a determinar el grado de contaminación de dicha cuenca por metales pesados y otros agentes, con el objetivo de tomar medidas de remediación a fin de mitigar los efectos que sobre el medio está provocando la actividad minera y humana. Para lo cual se



establecieron 8 estaciones a lo largo de la cuenca, abarcando desde el vado del río Sabinas hasta el parque del mismo nombre, ubicado en el municipio de Muzquiz, en las cuales se llevó a cabo la toma de muestras de agua y sedimentos. Las muestras de agua fueron analizadas por EAA para la determinación de metales pesados, tales como Cu, Zn, Pb y Cr, además de analizar la presencia de coliformes en dos de ellas. Mientras que el contenido de metales pesados en los sedimentos se determinó mediante fluorescencia de rayos X. Los resultados indican que el agua del río presenta concentraciones 0.203 ppm de Cr, 0.046 ppm de Cu y 0.057 ppm de Pb, así como una gran actividad bacteriana (i.e., coliformes). De igual manera el análisis de los sedimentos indica la presencia de metales tóxicos, con una concentración promedio de 18 g/t de Pb, 95 g/t de Cr y 7 g/t de As, como resultado de la intensa actividad minero-metalúrgica que se desarrolla en la región.

**Palabras clave:** *geoquímica, contaminación por metales pesados, río sabinas, georecursos, sedimentos.*

## **EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y ORGANOCLORADOS EN EL TRANSECTO MÉRIDA-PROGRESO, YUCATÁN.**

**Carrillo Monsrreal Mónica Marisol. Cardona Benavides Antonio. Giácoman  
Vallejos Germán. Flores Lorenzo Alfonso.**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. CIEP. Área de  
Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería.  
Maestría en Ingeniería Ambiental.

[ic.monica.cm@gmail.com](mailto:ic.monica.cm@gmail.com)

### **Resumen**

La superficie del planeta Tierra se conforma de un 29% de tierra firme y un 71% de agua. Siendo que solo el 0.4% (Tolba,1992) es apta para consumo humano. Por su localización se dividen en superficiales y subterráneas. Al sureste de México, se encuentra la península de Yucatán, donde se encuentra una de las reservas de agua subterránea más importante del país. El estado de Yucatán tiene como únicas fuentes de abastecimiento este tipo de aguas y es susceptible a la contaminación por el tipo de suelo kárstico. El estrés hídrico actual y debido al impacto negativo de la presencia de plaguicidas en aguas subterráneas, se han convertido en tema de interés social en el mundo por los efectos a largo plazo en la salud humana. El objetivo de estudio de ésta investigación es evaluar la evolución de plaguicidas organofosforados y organoclorados en el transecto Mérida-Progreso mediante un muestreo de 13 pozos resultado de una red de monitoreo óptima. Existen estudios anteriores de los plaguicidas en la zona de estudio. Los datos obtenidos de la temporada de secas se analizaron y

representaron a través de mapas de isoconcentraciones en sistemas de información geográfica para conocer la caracterización espacial y temporal. La metodología del trabajo consistió en toma de muestras de campo, extracción de sólidos, análisis de muestras en el cromatógrafo de gases y los resultados se compararon con los límites máximos permisibles según la norma así como con datos históricos.

## ESPECIACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA A PARTIR DE EXTRACCIONES QUÍMICAS SECUENCIALES EN JALES DE MINA DE ZACATECAS

Saucedo Eguía, Favela Mabel<sup>1\*</sup>, García-Arreola, María Elena<sup>1</sup>, Loredó-Tovías, Marcos<sup>1</sup>, Pinedo-Torres, Laura Alejandra<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Área de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P., C. P. 78240. <sup>2</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas, Instituto Politécnico Nacional, Zacatecas, Zac.

[\\*favelasaucedo@gmail.com](mailto:*favelasaucedo@gmail.com)

### Resumen

La industria minera en México ha generado, a lo largo de la historia una gran cantidad de desechos y un número importante de sitios contaminados, la unidad minera el “Bote” es uno de esos sitios con una extensión de 203 hectáreas localizada en la porción noroeste de la capital de Zacatecas a 5 Km de distancia. La importancia de su estudio se deriva de la cercanía de la población que se encuentra expuesta a los residuos mineros que contienen elementos potencialmente tóxicos (EPT). Para llevar a cabo este estudio, se realizó un muestreo en jales y suelos.

Con el objetivo de determinar la especiación, distribución y concentración de los principales contaminantes (Cr, Pb, Cd, Hg) en las diferentes zonas muestreadas, se realizaron extracciones secuenciales utilizando diferentes extractantes,

realizando seis fracciones: 1) soluble en agua a un pH 5.5, 2) fracción intercambiable soluble con  $C_2H_7NO_2$  1 M a pH 4.5, 3) extraíble para los elementos asociados a oxihidróxidos en  $C_2H_8N_2O_4$  0.2 M a un pH 3, 4) óxidos de hierro cristalinos 5) soluble en  $H_2O_2$  a un pH de 2.0 para determinar materia orgánica y sulfuros y 6) residual a través de una digestión ácida ( $HNO_3$ -HF-HCl). Las concentraciones extraídas para las primeras 4 fracciones se determinaron por Espectrometría de Masas con plasma acoplado inductivamente como fuente de ionización (ICP-MS) y para las últimas dos fracciones por Espectrometría de Emisión Óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). El comportamiento y distribución de los metales es diferente en cada extracto, condicionado por el pH y potencial Redox. Estos factores se midieron después de cada etapa en donde se observó un pH ligeramente ácido en los jales y zonas aledañas, las cuales podrían generar drenaje ácido, dentro de la zona UPIIZ se obtuvo un pH neutro. En los extractos de oxalatos se encontraron condiciones reductoras. Se determinó el contenido mineralógico de los residuos mediante Difracción de Rayos X (DRX) en donde se muestra la relación con la roca encajonante y las vetas de sílice que originó la mineralización.

Palabras clave: jales, extracción secuencial, elementos potencialmente tóxicos, plomo.

## INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOQUÍMICOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE CARBÓN PERTENECIENTES A LA CUENCA CARBONÍFERA DEL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO.

**Ibarra-Vázquez, Jorge Alejandro<sup>1\*</sup>; Maldonado-Castillo, Julio Cesar<sup>1</sup>;  
Guajardo-Lara, Juan José<sup>2</sup>; Rivera-García, José Jovany<sup>2</sup>.**

*(1). Estudiante, Escuela Superior de Ingeniería, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Lic. Adolfo López Mateos, s/n, Nueva Rosita, C.P. 26800, Coahuila, México. (2). Profesor, Escuela Superior de Ingeniería, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Lic. Adolfo López Mateos, s/n, Nueva Rosita, C.P. 26800, Coahuila, México.;*

*Email: [jorge.ibarra@uadec.edu.mx](mailto:jorge.ibarra@uadec.edu.mx)*

### RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en la interpretación de planos generados a partir de los valores obtenidos de los análisis geoquímicos hechos a muestras de estudio, que corresponden a carbones pertenecientes a la cuenca carbonífera del estado de Coahuila, México. Con los valores obtenidos se generaron una serie de planos de isovalores, empleando el método geoestadístico de kriging ordinario, en conjunción con el programa ArcMap® 10, con el objetivo de determinar la distribución espacial y hacer una correlación de estos parámetros con la distribución espacial de los distintos grupos macérales, así como el registro de una base de datos para un sector de la Cuenca de Sabinas. Dichos mapas pueden ser utilizados como referencia para futuras investigaciones, partiendo de

un previo conocimiento de algunas propiedades geoquímicas de las muestras colectadas en dicha área.

Los mapas de isovalores, permiten observar el comportamiento de estos parámetros dentro de la cuenca carbonífera de estudio. Concluyendo que el uso de estos mapas nos permite identificar los posibles alineamientos en las propiedades geoquímicas, así como ubicar las zonas donde el carbón presenta una mayor maduración dentro del área de estudio. Así mismo se pretende llevar a cabo una relación del comportamiento de las propiedades antes mencionadas con la geología regional.

*Palabras clave:* **Macérales; Geoquímica; Mapas; Carbón.**



## **CARACTERIZACIÓN DE LOS SÓLIDOS FORMADOS AL NEUTRALIZAR EL PH DE SALES EFLORESCENTES DE AMBIENTES DE RESIDUOS MINEROS CON ALTOS CONTENIDOS DE MG (II), ZN (II) Y CU (II).**

**Loredo Jasso Alan Ulises<sup>1\*</sup>, Villalobos Peñalosa Mario<sup>1</sup>, Pi Puig Teresa<sup>2</sup>,  
Meza Figueroa Diana María<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Laboratorio de Geoquímica Ambiental, Departamento de Ciencias Ambientales y del Suelo, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup> Laboratorio de Difracción de Rayos X, Departamento de Procesos Litosféricos, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>3</sup> Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Sonora.

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

En décadas pasadas, durante los procesos mineros los residuos o jales formados eran acumulados en grandes pilas o presas generalmente a la intemperie. Actualmente existen grandes extensiones de jales esparcidas por todo el país. En climas (semi)-áridos, estos jales presentan un fenómeno llamado eflorescencia, que consiste en la formación de sales en la superficie de los residuos mineros por insuficiente flujo de agua. Las sales eflorescentes son sales solubles en agua que se forman por la oxidación de los sulfuros presentes en los residuos mineros, a sulfatos. Dicha oxidación genera una alta acidez y disuelve la gran mayoría de

elementos potencialmente tóxicos (EPTs) presentes. Hoy en día, existen pocos estudios sobre los procesos geoquímicos que ocurren en jales localizados en estas zonas, a pesar de representar un riesgo de toxicidad debido al tamaño de partícula de las sales eflorescentes que ahí se generan. Dicho tamaño les permite ser fácilmente transportadas por el viento y posiblemente ser respiradas. Los valores de pH de las sales eflorescentes son ácidos, pero en los pulmones se amortiguan a neutro, por lo que es importante caracterizar su comportamiento a dicho valor. En esta investigación se neutralizaron sales con altos contenidos de Mg, Cu y Zn (representativos de una zona de jales en Sonora) utilizando NaOH, y se manejaron las variables geoquímicas más relevantes: pH, velocidad de reacción, concentración de sulfatos y la presencia de otros EPTs reportados como típicos en sales eflorescentes. Las muestras fueron filtradas a través de membranas de ultracentrifugación para evitar el paso de sólidos y, posteriormente, cuantificadas por cromatografía iónica (CI). La fase sólida se caracterizó por difracción de rayos X (DRX), y para obtener los productos de solubilidad (Kps), se utilizó el programa de modelación geoquímica MINEQL+ y las ecuaciones del equilibrio de solubilidad. Los resultados obtenidos muestran que los minerales formados se tratan de hidroxisulfatos de Zn y Cu con estequiometrias y cristalinidad variable. De tres de los cinco minerales obtenidos no se han encontrado reportados sus valores de Kps, por lo que este trabajo representa un aporte importante al área.

*Palabras clave:* Sales eflorescentes, hidroxisulfatos, jales mineros, zinc, cobre

## ANÁLISIS GEOQUÍMICO E ISOTÓPICO DE SM-ND Y SR DE LA SECUENCIA PLUTÓNICO VOLCÁNICA DE ARCO DE ISLAS DEL JURÁSICO MEDIO, EXTREMO SUR DEL CINTURÓN BATOLÍTICO PENINSULAR

Manuel Contreras-López<sup>1</sup>, Luis A. Delgado-Argote<sup>1</sup>, Bodo Weber<sup>1</sup>, Xóchitl G. Torres-Carrillo<sup>2</sup> y Doris K. Gómez-Alvarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, UAS

<sup>1</sup>Dirección: Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Zona Playitas, 22860, Ensenada, Baja California, México.

Correo: [mcontrer@cicese.edu.mx](mailto:mcontrer@cicese.edu.mx)

### Resumen

En la región de El Arco-Calmallí (paralelo 28° en la península de BC) aflora una secuencia de arco de islas del Jurásico Medio que incluye rocas plutónicas, volcánicas y sedimentarias. Fue deformada y metamorfozada regionalmente previo al emplazamiento de plutones cretácicos. En la sierra El Arco la secuencia está en facies de esquistos verdes, mientras que 15 km al norte, en la sierra El Veteado, predominan las rocas volcánicas y sedimentarias en facies de anfibolita, las cuales están intrusionadas por el plutón zonado gabroico-tonalítico Calmallí (104-100 Ma). Hacia el E-NE de esta región predominan cuerpos graníticos con xenolitos máficos y metamórficos, hasta de metros, de la roca encajonante.

En este trabajo presentamos datos isotópicos de Sm-Nd y Sr de las unidades litológicas de la secuencia jurásica y de tres xenolitos. Estos datos se integran a la cartografía, petrografía y geoquímica para reconstruir la historia prebatolítica de la región y establecer un marco de referencia al emplazamiento de los plutones cretácicos.

Las metalavas se clasifican geoquímicamente (elementos inmóviles) como basaltos y andesitas, intrusionadas por metaintrusivos faneríticos de composición basáltica a dacítica. Lavas e intrusivos están intrusionados por diques de composición basáltica a andesita basáltica. El conjunto define una tendencia calcoalcalina en el diagrama AFM.

Los valores isotópicos fueron recalculados a 165 Ma (U-Pb en zircón), edad de cristalización de un metaintrusivo. Las metalavas, metaintrusivos y metadiabasas tienen valores positivos de  $\epsilon\text{Nd}_t$  (+3.9 a +7.7, +3.0 a +6.2 y +4.2 a +8.7, respectivamente) y valores bajos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_t$  (0.7036-0.7045, 0.7030-0.7041 y 0.7037-0.7041, respectivamente), que sugieren proveniencia de una fuente empobrecida del manto. Los xenolitos de dos cuarzodioritas de Hbl-Bt y una anfibolita tienen valores de  $\epsilon\text{Nd}_t$  de +0.3, +0.9, +2.2, respectivamente y valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_t$  0.7041, 0.7037 y 0.7044, respectivamente. Las firmas isotópicas de Nd sugieren una fuente diferente con respecto a las rocas jurásicas.

Esta secuencia de arco de islas es correlacionable con rocas de la península de Vizcaíno (130 km al SW) y del norte de Sinaloa, las cuales pudieron tener una evolución conjunta antes de la formación del Golfo de California.

Palabras clave: Arco de islas, Jurásico, Sm-Nd, Sr, Geoquímica

## Area temática hidrogeoquímica

### GENERACIÓN DE UNA RED DE MONITOREO MULTIVARIABLE PARA LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA BASADO EN LA UBICACIÓN ESPACIAL, DENTRO DEL ACUÍFERO DE CALERA, ZACATECAS

Aceves De Alba Jorge<sup>1</sup>, Júnez Ferreira Hugo Enrique<sup>2</sup>, Cardona Antonio<sup>1</sup>,  
González Trinidad Julián<sup>2</sup>, Bautista Capetillo Carlos Francisco<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Área Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de  
San Luis Potosí, <sup>2</sup> Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad  
Autónoma de Zacatecas

[jaceves@uaslp.mx](mailto:jaceves@uaslp.mx)

#### Resumen

El diseño de redes de monitoreo de agua subterránea tiene como objetivo seleccionar para una o más variables (parámetros físico-químicos, contaminantes y piezometría), los pozos que proveen la mayor cantidad de información minimizando el costo. Resulta de gran ayuda el contar con este tipo de datos, ya que en ocasiones se cuenta con información histórica de una gran cantidad de pozos y se desea saber su orden de importancia en función de su localización y de las variables que se desea analizar.

Dentro de las líneas de investigación en este ramo, existen diferentes metodologías, algunas de ellas incluyen herramientas que se integran a Sistemas de Información Geográfica (SIG), que en muchos de los casos se trata de software comercial. En este trabajo se realiza una revisión de los resultados

85

obtenidos al aplicar una metodología de generación de redes de monitoreo basados en geoestadística y la ubicación espacial de los pozos. El proceso consistió primeramente en la selección de las variables que se deseaban utilizar para determinar la red de monitoreo, posterior a ello se revisó que todos aquellos pozos que se integrarían en el análisis contaban con información en los parámetros antes seleccionados, lo que dejó fuera a varios de los pozos con los que originalmente tenían considerados. Habiendo depurando la información, se procedió a hacer un análisis geoestadístico para cada una de las variables, que permitieron hacer un análisis exploratorio y estructural de los datos, por medio de histogramas, mapas de distribución de los datos y la representación gráfica de la información. Finalmente, a partir de todo este análisis, se pudo determinar el orden de importancia para cada uno de los pozos por medio del cálculo del número de nodos en la malla de estimación que tiene influencia cada pozo con base en el análisis geoestadístico en cada parámetro, lo que permitió la asignación de su rango de importancia, con lo cual es posible seleccionar los primeros  $n$  elementos en dependencia del recurso y tiempo que se tenga para obtener información del Acuífero de Calera.

Palabras clave: geoestadística, SIG, malla de estimación, mapas de distribución

## **EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA SOBRE EL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL DISTRITO DE RIEGO 049, RIOVERDE, SAN LUIS POTOSÍ.**

**Martínez Partida Maribel Emilia <sup>(1)</sup>, Cardona Benavides Antonio <sup>(2)</sup>, Giacomán Vallejos Germán <sup>(3)</sup>, Charcas Salazar Hilario <sup>(4)</sup>, Lorenzo Flores Alfonso <sup>(5)</sup>**  
<sup>(2)</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería,

Av. Dr. Manuel Nava No. 6, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P.

C.P. 78290, México.

<sup>(2)</sup>[acardona@uaslp.mx](mailto:acardona@uaslp.mx), [hidrogeoquimica@gmail.com](mailto:hidrogeoquimica@gmail.com)

<sup>(1)</sup>[maribel.martinez@uaslp.mx](mailto:maribel.martinez@uaslp.mx)

El agua subterránea es un recurso limitado y uno de sus usos más sensibles es el abastecimiento para consumo humano. Actualmente la accesibilidad a esta fuente de abastecimiento está en riesgo debido a la contaminación antropogénica. Las modificaciones realizadas en el ambiente debido a la implementación de cultivos pueden afectar la calidad del agua subterránea debido al riego excesivo y al empleo incorrecto de agroquímicos (fertilizantes y fumigantes) o como resultado de la actividad ganadera por el manejo inadecuado de las excretas de los animales. En superficies con cultivo intensivo, como la región agrícola de la zona media de San Luis Potosí se utilizan una gran cantidad de fertilizantes y plaguicidas durante las últimas décadas, lo que puede haber afectado la composición del agua subterránea. En el Distrito de Riego 049, Rioverde, San Luis Potosí, se ha definido que el abastecimiento de agua se sustenta a partir de un acuífero tipo libre heterogéneo y anisotrópico, que



está constituido por un medio superior granular y uno inferior kárstico. En este trabajo de investigación se realiza la evaluación del impacto que la contaminación difusa ha producido en el agua en el Distrito de riego 049. Con base en mediciones de campo y laboratorio en muestras de agua subterránea como la conductividad eléctrica, potencial redox, cationes (Ca, Na, Mg, K), aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , P), metales (Fe, Zn), plaguicidas organoclorados y organofosforados, además de la determinación de nitrógeno ( $\text{N-NO}_3^-$ ) se identificó el funcionamiento de los sistemas de flujo subterráneo y el impacto de los retornos de riego en la calidad del agua subterránea. Dentro de los resultados encontrados para nitrógeno ( $\text{N-NO}_3^-$ ) en muestreos realizados en dos temporadas del año se reportan los límites 1.4 mg/L, 28.1mg/L en la primera temporada, 1.7mg/L, 585.0 mg/L para el segundo muestreo; en el caso de plaguicidas se han cuantificado para la primera temporada 4,4'-DDD, Dieldrin, Metil-paration, Diazinon,  $\gamma$ -BHC, Dimetoato y Tionazina. Resultados adicionales de plaguicidas están en proceso, los datos permitirán establecer con detalle las zonas con mayor afectación y su presencia en el agua que se abastece a la población.

Palabras clave: Contaminación difusa, plaguicidas, agua subterránea, Rioverde.

## CONTROLES NATURALES PARA EL MANEJO DE LA CAPTACIÓN DE SISTEMAS DE FLUJO REGIONAL CON VALORES ELEVADOS DE FLUORURO EN SAN LUIS POTOSÍ

**Cardona Antonio<sup>1</sup>, Rivera-Armendáriz Cristian Abraham<sup>1</sup>, Alonso Torres  
Sócrates<sup>1</sup>, Aceves de Alba Jorge<sup>1</sup>, Castro-Larragoitia Javier<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Área Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de  
San Luis Potosí

[acardona@uaslp.mx](mailto:acardona@uaslp.mx)

El fluoruro es un constituyente químico con toxicidad muy bien documentada, por lo que se han establecido el límite permisible de 1.5 mg/l en el agua para consumo humano. En nuestro país se han identificado regiones con agua subterránea que presentan concentraciones elevadas de fluoruro (San Luis Potosí, Aguascalientes, Chihuahua, Baja California Norte, entre otros). En este trabajo se realiza una revisión de las concentraciones de fluoruro en rocas volcánicas, materiales de relleno de fosa tectónica y el agua subterránea que circula por estos materiales, en la región de San Luis Potosí, en la Sierra Madre Occidental de nuestro país. Las rocas volcánicas son predominantemente de tipo félsico la caracterización petrográfica permitió identificar que algunas unidades como la San Miguelito, presentan minerales (topacio y apatito) que contienen fluoruro. Esto condiciona que las concentraciones promedio de fluoruro en estas rocas sea del orden de 1700 mg/kg; en contraste, los valores de fluoruro correspondientes con otras unidades (del orden de 800 mg/kg). El análisis del grado de alteración de la roca realizado mediante un análisis cuantitativo Rietveld indica que en la medida de que se incrementa la alteración de la roca disminuye la presencia de apatito, mientras que la presencia de topacio se mantiene,

89

indicando que el primero constituye la principal fuente de fluoruro. En lo que se refiere al agua subterránea, más de la mitad de las muestras rebasan el límite permisible establecido en la NOM-127-SSA1-1994. Considerando información histórica, se ha identificado el incremento de la extracción de agua subterránea, ha amplificado la superficie del terreno en donde los pozos captan agua con valores de fluoruro superiores al límite permisible. Con base en el conocimiento de las fuentes del fluoruro a los sistemas de flujo subterráneo que captan los pozos, en conjunto con su diseño y régimen de operación, permitieron la identificación de controles de solubilidad para minerales como fluorita y calcita, de tal forma que es posible proponer alternativas para el diseño y operación de los nuevos pozos logrando que las concentraciones de fluoruro en el agua extraída sean menores que las identificadas actualmente.

*Hidrogeoquímica, fluoruro, manejo del agua subterránea, rocas volcánicas fracturadas*

## EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN ZONAS RURALES DEL ALTIPLANO DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

**Alonso Torres Sócrates<sup>1</sup>, Ruiz Rivera Claudia<sup>1</sup>, Cardona Antonio<sup>1</sup>, Rivera-Armendáriz Cristian Abraham<sup>1</sup>, Castro-Larragoitia Javier<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Área Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

[socratesalonsotorres@hotmail.com](mailto:socratesalonsotorres@hotmail.com)

En el altiplano del estado de San Luis Potosí, el agua subterránea constituye la principal fuente de abastecimiento. Es importante conocer las limitaciones que se tienen en la cantidad de agua disponible para el abastecimiento en esta región, pero debido a que la calidad del agua de los sistemas de flujo subterráneo puede ser modificada por factores naturales (disolución de minerales en el subsuelo) y antropogénicos (retornos de riego, infiltración de residuos líquidos, entre otros) se requiere evaluar su distribución espacial y evolución temporal. En este trabajo, se plantea realizar la caracterización química y bacteriológica del agua subterránea utilizada para abastecimiento de población principalmente rural en la zona norte del estado de San Luis Potosí. Se realizaron 4 periodos de toma de muestras de agua distribuidos de la siguiente manera: i) temporada de estiaje, ii) inicio de temporada de lluvia, iii) fin de temporada de lluvia y iv) temporada de estiaje del siguiente año, con la finalidad de entender la evolución geoquímica. Sodio, sulfato, nitrato, coliformes totales y coliformes fecales, fueron los parámetros que consistentemente presentaron valores superiores al límite permisible (NOM-127-SSA1-1994) a lo largo del año. Con respecto a la evolución de la calidad del agua entre la fuente y la toma en el domicilio, los coliformes totales y fecales en general se incrementan debido a deficiencias en el manejo del agua cuando es

almacenada en las piletas de distribución. Los datos indican la existencia de un sistema de flujo subterráneo intermedio, representado por agua SO<sub>4</sub>-Ca, que evoluciona geoquímicamente a SO<sub>4</sub>-Mix y SO<sub>4</sub>-Na. Los sistemas de flujo local son de tipo HCO<sub>3</sub>-Ca, que puede evolucionar a HCO<sub>3</sub>-Mix, se identificaron en los aprovechamientos de poca profundidad ubicados en las inmediaciones de los arroyos cercanos a las principales elevaciones topográficas. Mediante modelación geoquímica inversa se definió que las principales reacciones que condicionan la calidad del agua subterránea son la disolución de calcita y yeso, a lo largo de la dirección de flujo se produce la precipitación de calcita y el intercambio iónico de sodio y calcio. Para el agua superficial, el proceso de evapotranspiración es el que define su composición.

*Palabras claves: Hidrogeoquímica, fluoruro, manejo del agua subterránea, rocas volcánicas fracturadas*

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA DE LOS ALREDEDORES DE ACOCULCO, PUEBLA/HIDALGO

Kretzschmar, Thomas<sup>1\*</sup>, Lelli, Matteo<sup>2</sup>, Alfaro Ruth<sup>3</sup>, Sanchez Avila, Juan  
Ignacio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CICESE, Departamento de Geología, Ensenada, B.C., <sup>2</sup>CNR, Pisa, Italia,

<sup>3</sup>UMSNH, Morelia,

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

**Palabras claves:** Hidrogeoquímica, Hidrogeología, Acoculco, Geotermia.

Como parte del proyecto GeMEX, aprobado al final del 2016 se están desarrollando diferentes proyecto en esta zona de los cuales uno el la elaboración del un modelo hidrogeológico de la región de Acoculco, Puebla/Hidalgo. El área que abarca este trabajo incluye hasta este momento cuatro diferentes cuencas hidrológicas y cubre una área de alrededor de 8,000 km<sup>2</sup>. En el los muestreos de octubre 2017 y febrero de 2018 se muestrearon un total de 87 manantiales, norias y pozos y arroyos. De las muestras se determinaron aniones (Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> y F), cationes mayores (Na, Ca, K, Mg, Si), menores (Fe, Mn, Sr, Li) y trazas (Al, Ni, Cu, Cd, As, Se, Ti, entre otros). Además los isotopos estables de <sup>18</sup>O y D. En el campo se determinaron pH, conductividad eléctrica (CE), alcalinidad, oxígeno disuelto. Las muestras fueros tomados por duplicados, un juego esta

analizado en las instalaciones del CeMIE-Geo en Ensenada y el segundo juego en los laboratorios de CNR en Pisa, Italia.

Los resultados de campo mostraron para los manantiales frías (T hasta 15°C) una CE que varió entre 29 y mas de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pH entre 2.08 y 7.87 y oxígeno disuelto entre 3.23 y 8.2 mg/L. Las manantiales calientes con T de 32 y 48.3 °C respectivamente, mostraron CE más altas con valores de 1500 y 1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En los pozos la CE varió de 170 hasta 940  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sin embargo la mayoría tenían una CE de menos de 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El pH de estos pozos varia entre 6.4 y 7.9 y el oxígeno disuelto entre 1.7 y 6.4 mg/L.

La composición química de las muestras presentaron, como se esperaba variaciones significativas. Las concentraciones de Sodio varia entre 4.4 y 170 mg/L, de Calcio entre el limite de detección y 211 mg/L, de Magnesio entre 1.4 54 mg/L y de Potasio de 0.1 y 26 mg/L. A lado de los aniones se determinaron concentraciones entre 1.5 y 110 mg/l para Cl, entre el limite de detección y 875 mg/L para  $\text{SO}_4$  y entre el limite de detección y 87 mg/L para  $\text{NO}_3$ .



## IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES MINERALES COMO SOPORTE EN UNA INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

**Navarro Solís Osbaldo<sup>1\*</sup>, Júnez Ferreira Hugo Enrique<sup>1</sup>, González Trinidad Julián<sup>1</sup>, y Montes Isidro<sup>2</sup> Claudia Ivetthe Avila Sandoval<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Autónoma de Zacatecas,  
Campus Siglo XXI C.P 98160, Zacatecas, Zac, México

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Dr. Manuel Nava No 8, Col. Zona Universitaria Poniente, C.P. 78290, San Luis Potosí, SLP,  
México

\*navarrosoliso@yahoo.com.mx

### *Resumen*

La identificación de las especies minerales que conforman el entorno geológico en el cual se da el movimiento del agua subterránea, permite complementar su interpretación hidrogeoquímica una vez que se tienen sus características fisicoquímicas. En este trabajo se obtuvieron muestras de lodos en cortes litológicos a 100, 120, 150 y 200 metros de profundidad en una perforación cuyo fin fue un relocalización de un pozo agrícola. El análisis de los lodos se realizó mediante difracción de Rayos X, técnica que permite identificar la mayor parte de sustancias cristalinas, su estructura atómica, tamaño de partícula, composición química y otras características, para posteriormente relacionarlos con los datos de cationes y aniones de puntos de aprovechamientos monitoreados cercanos a este. Los resultados muestran una estructura litológica dominada por la presencia de silicatos, siendo el cuarzo  $-\text{SiO}_2-$  la especie de mayor abundancia, la segunda especie en abundancia fue la anortoclasa  $-(\text{Na}, \text{K}) \text{AlSi}_3\text{O}_8-$ , seguida de anortita

95

– (Ca)  $Al_2Si_2AlO_8$  y albita – (Na)  $Si_3AlO_8$  –. Con la peculiaridad que en el tercer corte monitoreado (150 m) ya se tiene presencias de calcita ( $CaCO_3$ ) y en último corte monitoreado (200 m), se sigue evidenciando al cuarzo como la especie más abundante, con la anortoclasa y la albita como especies que se manifiestan a esta profundidad, lo cual se refleja en la presencia de la facie Na- $HCO_3$  (Bicarbonatada sódica) durante la interpretación hidrogeoquímica, lo cual se puede atribuir a los fenómenos fisicoquímicos de liberación de  $HCO_3^-$  durante la hidrólisis del  $SiO_2$  y las reacciones del agua subterránea con la anortoclasa y albita.

*Palabras clave: especies minerales, hidrogeoquímica, cortes litológicos, sílice, anortoclasa*

## Area temática interface para el control de contaminantes

### DETERMINACIÓN EMPÍRICA DE LAS CONSTANTES DE ACIDEZ Y DE ADSORCIÓN DE PB (II) EN LOS SITIOS SUPERFICIALES ACTIVOS DE LA GOETITA USANDO EL MODELO CD-MUSIC.

**Mendoza Flores Arturo\***, **Villalobos Peñalosa Mario**

Laboratorio de Geoquímica Ambiental, Departamento de Ciencias Ambientales y  
del Suelo, Instituto de Geología, UNAM, CDMX (\*correspondencia:  
arturo.mendoza@ciencias.unam.mx)

#### Resumen

La acidez superficial es una de las características esenciales de la carga variable de óxidos metálicos minerales como la goetita ( $\alpha$ -FeOOH), la cual influencia considerablemente su comportamiento para adsorber iones. Las determinaciones teóricas de los valores individuales de pka de los sitios reactivos a protones se han llevado a cabo mediante simulaciones moleculares (Aquino et al., 2008) o modelaciones de complejación superficial (SCM) (Van Riemsdijk et al. 2006; Venema et al., 1998) y hasta el momento no han arrojado valores confiables que describan termodinámicamente el comportamiento de adsorción en la interfaz mineral/agua. Por esta razón, actualmente, cuando se realizan SCM (MUSIC) los valores de pka de los distintos sitios activos se igualan artificialmente al punto de carga cero neta protónica del mineral, y posteriormente al obtener las constantes de adsorción de otros iones, estas incluyen el error asociado a dichos pkas.

En este trabajo proponemos un enfoque empírico que calcula un conjunto único de valores individuales (y distintos) para cada uno de los dos sitios activos a protones de la goetita, así como las constantes de asociación de los electrolitos, así como la determinación de las constantes que describen distintos contornos de adsorción de Pb(II) en goetita. Esto se logró acotando los posibles valores que eran capaces de describir cualquier curva individual de carga protónica para cualquier goetita, usando dos preparaciones de goetita con una distribución de caras cristalinas muy distintas y por lo tanto, con una densidad de sitios activos considerablemente diferente.

Para lograr esto, se modificó un modelo de distribución de caras y sitios anteriormente propuesto para la goetita (Camacho et al., 2010), a través de mediciones independientes de las contribuciones de cada cara mediante imágenes TEM de alta resolución (Livi et al., 2017). De esta manera se calcularon las densidades de sitios correspondientes a cada tipo de sitio y subsecuentemente se emplearon para la SCM MUSIC.

Palabras clave: goetita, CD-MUSIC, plomo, adsorción.

## **DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE PROTECCIÓN DE CAMPO DE POZOS DE ABASTECIMIENTO. CAMPO DE POZOS MÉRIDA I, DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN, COMO CASO DE ESTUDIO.**

**Lorenzo-Flores Alfonso \*, Cabrera-Sansores Armando<sup>1</sup>, Pacheco-Ávila Julia Guadalupe<sup>1</sup>, Osorio-Rodríguez Humberto<sup>1</sup>. Antonio Cardona Benavides**

(\*) Universidad Autónoma de San Luis Potosí

(<sup>1</sup>) Universidad Autónoma de Yucatán

[lorenzo.alfonso@yahoo.com.mx](mailto:lorenzo.alfonso@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

El crecimiento acelerado de la Zona Metropolitana de Mérida (ZMM) en los últimos 30 años, ha traído consigo graves problemas de contaminación al acuífero. Considerando la importancia social y económica del campo de pozos Mérida I, principal fuente de abastecimiento de la Ciudad de Mérida, se plantea la delimitación de las áreas de protección de sus pozos. El objetivo general del presente trabajo fue delimitar las áreas de protección para el campo de pozos Mérida I, que permitan un manejo sostenible del recurso hídrico. Con datos de pruebas de bombeo generados entre octubre de 2012 y marzo de 2013, se elaboró el modelo conceptual del sitio de estudio y se utilizó para la delimitación de las áreas de protección el software Wellhead Protection Area de la EPA. En la presentación de los mapas con las áreas resultantes se utilizó un Sistema de Información Geográfica. La dirección de flujo en el sitio de estudio fue de 90°, de sur a norte y el gradiente hidráulico calculado fue de 3.395 mm/km. La longitud del área de protección obtenida con los datos de campo para 5, 10 y 20 años de tiempo de captura fueron 560 m, 1,120 m y 2,053 m respectivamente. Para los

datos con valores hidrogeológicos promedio fue de 4,480 m para 5 años, 9,000 m para 10 años y 18,000 m para 20 años de captura. La transmisividad fue el parámetro que ejerció mayor influencia en la extensión del área de protección. Las áreas de protección obtenidas con datos de campo son más factibles de implementar por sus dimensiones y por la presencia de la Reserva Ecológica Cuxtal, ya que áreas demasiado extensas puede presentar conflictos territoriales en su implementación.

Palabras clave: Acuífero, Protección de pozos, contaminación, karts.

## Área temática petrología ígnea

### “PETROLOGÍA DE LAS ROCAS GABRÓICAS CON CARACTERÍSTICAS DE MAGMAS PRIMARIOS, SIERRA DE SAN CARLOS, TAMAULIPAS”

Víctor Alejandro Leal Cuellar<sup>1\*</sup> y Juan Alonso Ramírez Fernández<sup>1</sup>  
Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. Carretera Linares-Cerro Prieto Km. 8.

67700 Linares, N.L.

\*viktor171@hotmail.com

#### Resumen

La Sierra de San Carlos (SSC), Tamaulipas, es un complejo magmático del Eoceno al Oligoceno, el cual pertenece a la Provincia Alcalina Oriental Mexicana (PAOM). El complejo intrusivo central está compuesto por tres litologías ígneas principales: monzodioritas, sienitas de feldespato alcalino y nefelínicas, y gabros siendo estos últimos el objeto de estudio del presente trabajo.

En campo se observan intrincadas estructuras deformacionales sinmagmáticas. En base a la petrografía, las rocas intrusivas han sido clasificadas como leuco y melanogabros de olivino y cumulatos gabróticos, los cuales presentan una mineralogía principal compuesta por Ol + Cpx + Plg (An principalmente) + Bt + Chl, y en algunos casos con Qtz o Ne, Zr y Ap como minerales accesorios. Estos gabros han sido sometidos localmente a diversas etapas de alteración hidrotermal, teniendo como evidencia la presencia de biotita, la cual es resultado de un proceso de biotitización de los Cpx, así mismo como la cloritización de las biotitas y clinopiroxenos.



Por otra parte, se establece un carácter calcoalcalino a alcalino. Además, se identificaron rocas generadas a partir de magmas primarios, es decir, que no han sufrido grandes modificaciones de la composición original del magma por procesos como asimilación o mezcla de magmas. De acuerdo con los diagramas multielementos y REE, se puede apreciar un enriquecimiento muy marcado en elementos LILE y LREE y un empobrecimiento en elementos HFSE y HREE, con lo anterior y apoyados en modelados de fusión parcial se postula que estos magmas fueron generados en un manto heterogéneo en la zona de transición del granate y la espinela. Por último, con la ayuda de diagramas de discriminación tectonomagmática, se propone que estas rocas fueron generadas en ambiente geotectónico de intraplaca.

**Palabras clave:** Sierra de San Carlos, PAOM, rocas gabróicas, intraplaca continental.

# **PETROGRAFÍA, MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LAS FERROCARBONATITAS Y ROCAS ASOCIADAS EN SIERRA DE CRUCES: IMPLICACIONES EN LA METALOGENIA Y LA EXPLORACIÓN MINERA DE TIERRAS RARAS Y OTROS METALES ESTRATÉGICOS**

**Sigala González J.L.<sup>\*1</sup>, Rodríguez Vega, A.<sup>1</sup>, Martínez Bermúdez, A.<sup>2</sup>, Díaz  
Martínez, R.<sup>1</sup>, Rodríguez-Batista, J.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería “Lic. Adolfo López Mateos”. Universidad  
Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita,  
Coahuila.

<sup>2</sup>“Exploraciones AMB”

(\*Autor de correspondencia: Jaime\_polo23@hotmail.com)

## **RESUMEN**

Las observaciones de campo, así como nuevos análisis petrográficos, mineralógicos y geoquímicos realizados a muestras de rocas y menas que afloran en Sierra De Cruces, realizadas por profesores y estudiantes de la Escuela superior de Ingeniería Lic. Adolfo López Mateos, han permitido obtener nuevos datos que permiten una mejor caracterización de los cuerpos mineralizados con elementos de Tierras Raras, radiactivos y metales base, que de acuerdo con anteriores trabajos han sido considerados como variedades de carbonatitas asociadas al magmatismo alcalino terciario de la región noroeste del estado de Coahuila, México. El objetivo es profundizar acerca de las características petrográficas, mineralógicas y geoquímicas de estos objetos con la finalidad de

103

esclarecer su génesis e importancia práctica como fuentes potenciales para la obtención de metales base y estratégicos, en estrecha relación con las características metalogenéticas correspondientes a la Provincia Magmática Alcalina Oriental Mexicana, como una prolongación del Trans-Pecos norteamericano. Para ello, se realizaron trabajos de reconocimiento geológico y muestreo en Sierra de Cruces, tomando 30 muestras para análisis petrográfico y determinación de Tierras Raras por ICP-MS y elementos mayores y trazas mediante FRX, así como 2 muestras para DRX. Específicamente las menas fueron estudiadas mediante SEM, lo que permitió la obtención de imágenes de microscopía electrónica, espectros de microanálisis químico y mapas de distribución de elementos químicos.

Como resultado de esta investigación se ha logrado una mejor caracterización petrográfica, mineralógica y geoquímica de la mineralización existente en Sierra de Cruces, cuyos resultados serán dados a conocer por primera vez.

Palabras clave: Sierra de Cruces, Tierras Raras, petrografía, geoquímica, mineralogía.

## **NUEVAS EVIDENCIAS DE MAGMATISMO ÁCIDO DEL ORDOVÍCICO EN EL BASAMENTO DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL, CD. VICTORIA, TAMPS.**

**RAMÍREZ-FERNÁNDEZ, Juan Alonso, ALEMÁN-GALLARDO, Eduardo  
Alejandro, VELASCO-TAPIA, Fernando y JENCHEN Uwe.**

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra.

Hacienda de Guadalupe, Carretera Linares – Cerro Prieto km. 8, Linares, Nuevo  
León 67700, México.

[alonso\\_fct@hotmail.com](mailto:alonso_fct@hotmail.com) , [juan.ramirezf@uanl.mx](mailto:juan.ramirezf@uanl.mx)

### **Resumen**

El basamento del Anticlinorio Huizachal-Peregrina de la Sierra Madre Oriental (NE de México) comprende una amplia variedad de unidades precámbricas y paleozoicas. Una unidad granítica, descrita aquí como Tonalita Peregrina, se emplazó en el Gneis Novillo del Neoproterozoico, que es la expresión más septentrional del microcontinente Oaxaquia. En contraste, su contacto con el Esquisto Granjeno del Carbonífero es tectónico, con fallas casi verticales con componente lateral. Esta litodema paleozoica forma parte del cinturón Granjeno-Acatlán.

La Tonalita Peregrina fue descrita anteriormente como un bloque alóctono asociado a un enigmático arco magmático del Carbonífero, a lo largo del margen noroeste de Gondwana. Nuevos datos U-Pb LA-ICP-MS obtenidos en zircones de este cuerpo ígnea tienen poblaciones definidas, la más antigua heredada de las

rocas grenvillianas, mientras que la más joven se ha interpretado como una edad de cristalización de  $449,2 \pm 2,9$  Ma (Katiense, Ordovícico Superior). Las concentraciones mayores y de elementos traza y las proporciones geoquímicas indican un vínculo con un arco continental desarrollado a lo largo del margen noroeste de Gondwana. Su antigüedad y posición permiten proponer un modelo integral para el desarrollo del basamento del NE de México, sin la participación de terrenos exóticos o huérfanos. La Tonalita Peregrina de Ciudad Victoria es parte de un arco magmático establecido durante el Ordovícico Superior, recién reportado en el noreste de México. Este podría representar una prolongación del Arco Famatiniano de América del Sur en México, en un sector ahora denominado Cinturón Plutónico Peregrina-Motozintla del Ordovícico.

Palabras Clave: *Ordovícico, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tonalita Peregrina, Arco Continental, Arco Famatiniano.*

## **PETROGÉNESIS DE ROCAS PLUTÓNICAS DEL PALEOZOICO TARDÍO EN EL SUR DEL COMPLEJO DEL MACIZO DE CHIAPAS: ¿AMBIENTE TECTÓNICO DE ARCO MAGMÁTICO O POST- COLISIONAL?**

**Reneé González-Guzmán<sup>1\*</sup>, Bodo Weber<sup>1</sup>, Alejandro Cisneros de León<sup>2</sup>,  
María Daniela Tazzo-Rangel<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>División de Ciencias de la Tierra, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada, Baja California, México.

<sup>2</sup>University of Heidelberg, Institut für Geowissenschaften Department. Im Neuenheimer Feld 234-236 69120 Heidelberg

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

### **Resumen**

Después de la formación de Pangea -durante el período Carbonífero-Pérmico Tardío- la actividad magmática generalizada en su margen occidental está vinculada al desarrollo de un sistema geodinámico coherente en respuesta a la subducción de la corteza oceánica del proto-Pacífico, debajo de los cratones y los terrenos recientemente amalgamados entre Gondwana y Laurentia, como los Andes de Mérida, Terreno Mixteca, Oaxaquia y el Bloque Maya.

El Complejo del Macizo de Chiapas (CMC) proporciona un registro crítico del mayor episodio de magmatismo a escala cortical en México durante el período Pérmico-Triásico. En este trabajo, se han identificado una serie de rocas plutónicas en el sur del CMC. Edades U-Pb en circón revelan que estas intrusiones se emplazaron entre 270 y 250 Ma. Las composición química de estas rocas indican que pertenecen a las series calcoalcalina a shoshonítica de alto K

( $\text{SiO}_2=48.60-63.56\%$ ;  $\text{K}_2\text{O}=1.12-4.94\%$  en peso). De acuerdo con sus características geoquímicas, las muestras exhiben firmas geoquímicas de alto Ba-Sr. Tienen altas concentraciones de Ba (849-9236 ppm) y Sr (360-932 ppm) en relación con los granitos típicos (tipo A, I y S): patrones de REE fuertemente fraccionados ( $[\text{La}/\text{Yb}]_N=7.0-26$ ), están enriquecidos en LILEs (e.g., K, Ba, Sr) y empobrecidos en HFSEs (e.g., Nb, Ta, Ti) en el diagrama multielementos normalizado a Manto primordial, con altos valores K/Rb (101-272) y Sr/Y (10.9-45.5). Como muestran los datos isotópicos de roca total ( $\epsilon\text{Nd}_{t=270}=-0.80$  a  $-6.94$ ;  $\epsilon\text{Hf}_{t=270}=-2.83$  a  $-5.99$ ) y la termometría de saturación de circón/monazita, la fusión parcial de una fuente enriquecida probablemente produjo la serie a una temperatura por debajo de  $800^\circ\text{C}$ . Esta fuente se sugiere que proviene de un manto litosférico con granate residual metasomatizado por fluidos relacionados con la subducción. La cristalización fraccionada y asimilación de la corteza de estos magmas dieron como resultado características geoquímicas e isotópicas variables pero coherentes en el conjunto. Tanto la fuente como la corteza asimilada están documentadas como componentes grenvillianos con base en la presencia de cristales de circón pre-magmáticos de  $\sim 1.0\text{Ga}$ . y datos isotópicos de Hf en circones magmáticos. Un régimen intracontinental posterior a la colisión del Bloque Maya se ve favorecida para la generación de estas rocas plutónicas.

**Palabras claves:** *Complejo del Macizo de Chiapas; Petrología Ígnea; Granitos con alto Ba-Sr; Ambiente post-colisional*



## LITHOMAP: HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL DE DATOS GEOQUÍMICOS

Ivan Zavala-Ibarra<sup>1</sup>, René González-Guzmán<sup>1\*</sup>, Omar Pérez-  
Valdovinos<sup>1</sup>, Thomas Kretschmar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División de Ciencias de la Tierra, Centro de Investigación Científica y de  
Educación Superior de Ensenada, Baja California, Carretera Ensenada-Tijuana  
3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada, Baja California, México.

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

### Resumen

Se presenta un software para visualizar espacialmente puntos de muestreo y generar gráficas de uso común dentro de la petrología ígnea. El software se presenta como un app multiplataforma escrito en C#, que utiliza librerías de Arcgis<sup>®</sup>, Google maps<sup>®</sup>, Bing maps<sup>®</sup> y OxyPlot<sup>®</sup>. Esta herramienta informática pretende ayudar tanto a los usuarios principiantes en el uso de sistemas de información geográfica, así como a usuarios avanzados que buscan una solución robusta al tratamiento de datos geoquímicos regionales. Adicionalmente Lithomap es capaz de vincularse con diferentes redes sociales para compartir la información e imágenes producidas por el software. Este trabajo se presenta con un caso de estudio regional en el Complejo del Macizo de Chiapas.

**Palabras claves:** Sistema de información geográfica, Software geoquímico, Apps geológico, Interpretación geoquímica

## Área temática petroquímica

### PALEO-AMBIENTE DE SEDIMENTOS CON ICNOFÓSILES EN LA CUENCA SANDIA (NUEVO LEÓN, MÉXICO): CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA Y CRONOLÓGICA

Guillermo Vera-Vera<sup>1,\*</sup>, Priyadarsi D. Roy<sup>2</sup>, José Luis Sanchez-Zavala<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, UNAM, CP 04510, Ciudad de México <sup>2</sup>Instituto de Geología, Ciudad Universitaria, UNAM, CP 04510, Ciudad de México

[vera.vera.guillermo@gmail.com](mailto:vera.vera.guillermo@gmail.com)

#### Resumen

La cuenca Sandia (24°09'42.2" N, 100°04'08.6" O, 1569 msnm) es efímera y endorreica. Esta cuenca sedimentaria se encuentra en el estado de Nuevo León, en la parte occidental de la Sierra Madre Oriental. En una columna sedimentaria de 290 cm de longitud excavada en la margen oriental de la cuenca y los sedimentos en una profundidad de 246-180 cm se encuentran caracterizados por limo masivo de tono amarillo con icnofósiles. En este trabajo se presentan las condiciones paleo-hidrológicas inferidas a partir de la caracterización mineralógica, química y cronológica de los depósitos con icnofósiles a través de las abundancias de carbono orgánico, carbonato y sulfato, así como las concentraciones de Si, Al, K, Ca, Fe, y Mn. La información cronológica proviene del análisis radiocarbono en materia orgánica del sedimento ubicado en la profundidad de 181-177 cm (7431-7287 cal. a aP).

El perfil sedimentario fue depositado a lo largo del Holoceno y los sedimentos están enriquecidos en Ca (15.3-43.6 %) asociado con la calcita y yeso. En comparación, las concentraciones de los elementos (Al: 0-1.5%; Si: 0.9-22.5%;

110

Fe: 0-0.4%) asociados con los silicatos y aluminio-silicatos son menores. La variación de salinidad del cuerpo de agua durante fue reconstruida a partir de la relación sulfato/carbonato y la relación Si/Ca aporta información de la erosión y abundancia de minerales clásticos en la cuenca. Los sedimentos con icnofósiles representan un intervalo posiblemente entre 10,124 y 7367 cal. a aP (Holoceno temprano). Se observa menor abundancia de sulfato (1.9-2.6%) en comparación con carbonato ( $\text{CO}_3$ : 42.5-57.9%). Mayor abundancia de los silicatos (Si: 3.3-17.5%) y aluminio-silicatos (Al: 0.2-1.2%) en los sedimentos con icnofósiles comprando con restos de los sedimentos representan un ambiente relativamente más húmedo con variación en condiciones hidrológicas en escala milenaria durante el Holoceno temprano. La presencia de Fe y Mn en los carbonatos indican un ambiente con condición reductora.

**Palabras clave:** Paleoambiente, Cuenca de Sandía, Geoquímica, Holoceno, Mexico.

## **CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA, MINERALÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LAS MANIFESTACIONES MINERALES DE ELEMENTOS DE LAS TIERRAS RARAS, RADIATIVOS Y RAROS DISPERSOS EN LA REGIÓN NOROESTE DEL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO.**

**Rodríguez Vega, A.<sup>1</sup>, Faz Aguilar A.C., Díaz Martínez, R.<sup>1</sup>, Rodríguez Batista,  
J.A.<sup>1</sup>, Almaguer Carmenates Y.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad  
Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita,  
Coahuila.

[arvega48@yahoo.com](mailto:arvega48@yahoo.com)

### **Resumen**

Desde hace mucho tiempo la región noreste del estado de Coahuila, México, como parte de la provincia del Trans-Pecos, es considerada de muy alto potencial en relación con los recursos de metales estratégicos, entre ellos: elementos de las Tierras Raras, radiactivos y raros dispersos.

En la parte norteamericanos del Trans-Pecos se reportan numerosos yacimientos y prospectos minerales de estos metales, mientras que en la parte mexicana, donde recibe la denominación de Provincia Magmática Alcalina Oriental, se conoce el importante depósito de berilio asociado a fluorita en el Aguachile, así como un prospecto poco conocido de Tierras Raras en Sierra de La Madera (El Caballo) ambos en la región noroeste del estado de Coahuila, además de las conocidas manifestaciones de Tierras Raras que se han reportado en el área de El Picacho, Sierra de Tamaulipas, Tamaulipas, México.

Como resultado de las recientes investigaciones llevadas a cabo por alumnos y profesores de la Escuela Superior de Ingeniería de la UADEC se han logrado obtener nuevos datos geológicos, petrográficos, mineralógicos y geoquímicos que permiten una evaluación más objetiva de la potencialidad de estos recursos minerales en la región objeto estudiada. El objetivo del presente trabajo es dar a conocer los nuevos resultados obtenidos a partir de estudio más profundo de las sienitas nefelínicas, pegmatitas, carbonatitas y rocas ricas en granate y apatito asociadas a los intrusivos alcalinos con características agpaíticas presentes en la región noreste del estado de Coahuila, México.

**Palabras claves:** ferrocronatita, apatito, Tieras Raras, sienitas nefelínicas, características agpaíticas

## UTILIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS GEOMATEMÁTICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS OBJETOS GEOLÓGICOS MINERALIZADOS: EN EL EJEMPLO DE LA REGIÓN NOROESTE DEL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO.

*Guzmán González G.\*<sup>1</sup>, Rodríguez Vega, A.<sup>1</sup>, Díaz-Martínez, R.<sup>1</sup>, Rodríguez-Batista, J.A.<sup>1</sup>, Almaguer Carmenates Y.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita, Coahuila.

[nicumaple@hotmail.com](mailto:nicumaple@hotmail.com)

### Resumen

La región noroeste del estado de Coahuila presenta rasgos geológicos, geoquímicos y metalogenéticos muy particulares, albergando numerosos depósitos de recursos minerales de gran importancia económica, entre ellos los conocidos depósitos de fluorita, acompañados de berilio y otros metales de interés, barita y celestita, manifestaciones de Tierras Raras y elementos radiactivos y los conocidos yacimientos polimetálicos de Ag, Cu, Pb y Zn, como es el caso de La Encantada. Teniendo en cuenta la gran diversidad de los recursos minerales existentes en esta región, los estudiantes y profesores de la Escuela Superior de Ingeniería de La UADEC han llevado a cabo tareas encaminadas a la obtención de un conocimiento más profundo de las particularidades geoquímicas de los yacimientos y prospectos de estos recursos, con la finalidad de elaborar metodologías de prospección más efectivas, conocer las características metalogenéticas y las potencialidades económicas de los mismos. En la

actualidad se dispone de una extensa base de datos con información geoquímica de numerosos objetos mineralizados, cuyo procesamiento estadístico ha permitido una caracterización suficientemente profunda de los objetos mineralizados de la región sobre la base de las concentraciones de los elementos de diferentes particularidades geoquímicas (calcófilos, litófilos, siderófilos, compatibles, incompatibles, etc.)

El análisis geoquímico efectuado mediante el procesamiento estadístico ha permitido la clasificación en grupos homogéneos de los objetos mineralizados, estableciendo claras asociaciones de elementos químicos que permiten definir marcadas similitudes y diferencias geoquímicas entre los objetos estudiados en las diferentes áreas y precisar, además, algunos rasgos geoquímicos y metalogénicos de la región.

**Palabras claves:** estadística multivariada, objetos mineralizados, grupos homogéneas, metalogénico, geomatemática



## **CARACTERIZACIÓN DE LOS MINERALES DEL GRUPO DE EUDIALITA Y SU PARAGÉNESIS ACOMPAÑANTE EN LAS MANIFESTACIONES DE TIERRAS RARAS DEL NOROESTE DEL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO.**

**Faz Aguilar A.C.\*<sup>1</sup>, Rodríguez Vega, A.<sup>1</sup>, Díaz-Martínez, R.<sup>1</sup>, Rodríguez-Batista, J.A.<sup>1</sup>, Almaguer Carmenates Y.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita, Coahuila.

[acecilia\\_faz@hotmail.com](mailto:acecilia_faz@hotmail.com)

### **Resumen**

Durante los tres últimos años los estudiantes y profesores de la Escuela Superior de Ingeniería Lic. Adolfo López Mateos de la UADEC han venido realizando investigaciones relacionadas con las mineralizaciones de elementos de las Tierras Raras y otros metales estratégicos presentes en la región noroeste del estado de Coahuila, México, asociadas a cuerpos intrusivos de composición alcalina y con clara evidencia de un carácter agpaíticos. Los estudios petrográficos, mineralógicos y geoquímicos realizados durante este tiempo han revelado la presencia de cuerpos de sienitas nefelínicas que por sus características se asemejan a kakortokitas y lujavritas, en las que los minerales del grupo de la eudialita y otros minerales portadores de elementos de las Tierras Raras, radiactivos y raros dispersos alcanzan concentraciones significativas. En la actualidad se han logrado obtener nuevos datos de DRX y microscopía electrónica de barrido (SEM) que han permitido conocer mejor las asociaciones de

minerales presentes en estas rocas y estudiar con mayor profundidad las características de algunos minerales, particularmente las eudialitas, a partir de imágenes de microscopía electrónica, espectros de microanálisis químico y datos puntuales acerca de su composición química, cuyos resultados se darán a conocer en el presente trabajo con la finalidad de contribuir a una mejor caracterización petrográficas, mineralógicas y geoquímicas de estos objetos, esclarecer su génesis y evaluar su importancia práctica como fuentes potenciales para la obtención de metales base y estratégicos, en estrecha relación con las características metalogenéticas correspondientes a la Provincia Magmática Alcalina Oriental Mexicana, como una prolongación del Trans-Pecos norteamericano.

**Palabras claves:** kakortokita, lujavrita, agpaítico, eudialita, Tierras Raras, elementos dispersos.

## INTERACCIÓN AGUA/ROCA EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS HUMEROS PUEBLA MÉXICO: APORTE DE NUEVOS DATOS PETROLÓGICOS

González- Partida E.<sup>1</sup> , González Ruiz D.<sup>2</sup>, y González Ruiz L.E.<sup>2</sup>, ,

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, UNAM, Apartado Postal 1-742, Querétaro 76001,  
Querétaro, México.

<sup>2</sup>Geología Minería y Consultoría (GEOMINCO), y Centro Nacional de  
Investigaciones Avanzadas en Petrofísica (CENIAPET), Cipreses 104 F. Juriquilla  
Querétaro, Qro., 76100, México

### Resumen

Los minerales hidrotermales se encuentran emplazados generalmente en fracturas y/o microfracturas, y en "vuggs" y en menos proporción reemplazando plagioclasas :la presencia de fallas parece estar íntimamente relacionada con la alteración total ya que ésta se incrementa preferentemente en zonas de intersección de fallas y fracturas. En superficie la alteración hidrotermal es silícica, argílica y argílica avanzada. La alteración silícica está representada por cristobalita y ópalo ; La argílica por esmectita + cuarzo + montmorillonita + ópalo, y la argílica avanzada por Kaolinita + cuarzo+ alunita + wroewolfeita + azufre nativo ± jarosita , en esta asociación paragenética destaca el descubrimiento de la wroewolfeita reportado por primera vez en este trabajo. La alteración profunda se ha separado en cuatro zonas paragenéticas profundas: La mas somera propilítica de baja temperatura o "de zeolitas" esta constituida por estilbita y/o mordenita+hematita+calcita+pirita+marcasita+cloritas+calcedonia+leucóxenos +hematita + esmactita-Na +kaolinita hacia la cima, transicional se encuentra la

zona denominada argilica por la presencia de arcillas del tipo Illita+ esmactita, de distribución local considerada a la base de la zona I; La zona II, es propilítica de mediana temperatura y esta representada por la paragénesis mineral de epidota +calcita+pirita+cloritas,+cuarzo+prenhita+wairakita±hematita) + Clinocloro +Esmectita+ Illita interestratificadas +poca clorita en la fracción arcillosa + marcasita (en piroclástos principalmente) ; La zona III denominada propilítica de alta temperatura esta representada por clinozoicita +epidota+ anhidrita (escasa)+biotita +sericita+ calcopirita ± (clorita+cuarzo+calcita) y clorita+ (Illita+ esmactita interestratificada) + magnetita +pirrotita + pirita ; Y la zona IV, silícica o “argilica avanzada profunda de alta temperatura y pH acido” representada por cuarzo (principalmente) + Anhidrita + pirofilita.

Este trabajo fue soportado por el proyecto GEMEX-UE PT 4.1

## INTERACCIÓN AGUA/ROCA EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS HUMEROS PUEBLA MÉXICO: APORTE DE NUEVOS DE INCLUSIONES FLUIDAS.

González- Partida E.<sup>1</sup> , González Ruiz D<sup>2</sup>,. , y González Ruiz L E.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, UNAM, Apartado Postal 1-742, Querétaro 76001,

Querétaro, México. <sup>2</sup>Geología Minería y Consultoría (GEOMINCO), y Centro Nacional de Investigaciones Avanzadas en Petrofísica (CENIAPET), Cipreses 104 F. Juriquilla Querétaro, Qro.,76100, México.

### Resumen

Las inclusiones fluidas fueron estudiadas en calcita, epidota, clinozoicita y principalmente cuarzo, son de carácter primario y se alojan principalmente en la red cristalina de los minerales; la tipología de las inclusiones fluidas es a líquido+vapor (L+V). La distribución de isotermas va de 150 °C aumentando con la profundidad hasta 385 °C, lo que indica un gradiente geotérmico de 174.23 °C/km. Al compararse las temperaturas estabilizadas con las obtenidas en las inclusiones fluidas se observó que las temperaturas actuales se presentan más profundas, lo que sugiere que el reservorio del CGH se encuentra en calentamiento, y/o que las estabilizadas están sub-estimadas. La salinidad profunda está entre el 10 % Eq. Peso NaCl, esta pasa a 1% en los niveles más someros, lo que indica un fenómeno de dilución tardía. La neutralización de la desgasificación magmática (reservorio profundo a vapor sobrecalentado ácido) por aguas meteóricas, parece ser el mecanismo más plausible para entender las paragénesis detectadas, dado que la silicificación profunda es reemplazada por un halo de propilitización que predomina en el reservorio a Líquido + vapor más somero instalado en el paquete volcánico andesítico - basáltico. El escape de fluidos ácidos profundos preferencialmente por el cortejo de fallas principales, se manifiesta en superficie por la existencia de una paragénesis típica de argilitización avanzada donde por primera vez se determina la wroewolfeita.

Este trabajo fue soportado por el proyecto GEMEX-UE PT 4.1

## EL DISTRITO MINERO DE LAS MINAS TATATILA: ESTUDIOS MULTIDISCIPLINARIOS

González- Partida E.<sup>1</sup> , González Ruiz L.E.<sup>2</sup>,. , y González Ruiz D.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, UNAM, Apartado Postal 1-742, Querétaro 76001,

Querétaro, México. <sup>2</sup>Geología Minería y Consultoría (GEOMINCO), y Centro Nacional de Investigaciones Avanzadas en Petrofísica (CENIAPET), Cipreses 104 F. Juriquilla Querétaro, Qro.,76100, México.

### Resumen

El Distrito Minero de Las Minas Tatatila, se localiza en la porción central del Estado de Veracruz, dentro de la Provincia Geológica del Macizo de Palma Sola. Geológicamente la zona estudiada está representada por una secuencia de rocas carbonatadas de edad Cretácica, las cuales están intrusionadas por una serie de stocks graníticos del Terciario (14.5 *M a*), mismos que generaron un proceso de metamorfismo de contacto que dio lugar a la formación de un skarn proximal con mineralización económica de tipo IOCG (Iron-Ore Copper-Gold, por sus siglas en inglés), con paragénesis típicas de sulfuros de cobre-magnetita +/- oro y ocasionales contenidos de cobre nativo. La componente mineral no metálica presenta granate tipo grosularita, wollastonita, clinopiroxenos y calcita, sobre todo en los frentes de mármol. En este Distrito las rocas intrusivas van de gabros, granodiorita a granitos. Los datos geoquímicos definen una correlación magmática sub-alcalina, metaluminosas a peraluminosas. Se observa enriquecimiento en REE ligeras y un ligero empobrecimiento en REE pesadas. Es característica la anomalía ligeramente negativa de Eu indicando la cristalización de plagioclasas en la fuente y presentan una suave tendencia a desarrollar un

patrón cóncavo, lo cual sugiere el fraccionamiento de anfíboles durante la evolución magmática. Se observa enriquecimiento relativo de elementos LILE (*large-ion lithophile elements*) Rb, Ba, K, Sr y un empobrecimiento en elementos HFSE (*high field strength elements*) Nb y Ta evidenciando que quedaron retenidas en el granate a profundidad. Este patrón de elementos trazas es típico de rocas asociadas a zonas de subducción (granitos de arco volcánico). las rocas presentan una tendencia de fusión parcial. La barrenación hoy en día lleva un total acumulado de 18,000 metros lo que ha permitido evaluar tan solo en la zona de Santa Cruz, un total de 300,000 onzas (Oz) de oro (Au) equivalente para una zona que representa el 10 % de la superficie concesionada. En la localidad de Nopaltepec presenta un valor de oro de 2.13 g/t, de plata 12.92 g/t y de cobre 2.30%. Santa Cruz (tabla 9), presenta leyes de 1.36 g/t de oro, 6.36 g/t de plata y 0.60 % de cobre; y por ultimo, El Dorado y Juan-Bra , presentan una ley media 1.5126 g/T de oro, 5.5609 g/t de plata y 0.99 % de cobre. Los minerales primarios de la zona corresponden a : calcopirita (Ccp), magnetita (Mag), bornita (Bn), oro (Au) , poca galena y esfalerita; la calcosita, azurita y malaquita son producto de la alteración tardía. La ganga consta de cuarzo, calcita, wollastonita, fuxchita en una extensa aureola de mármol. Por su parte, las rocas que corresponden al skarn muestran claramente mineralogía representativa de la zona progradante (grosularita, magnetita, ortopiroxenos) y retrograda (clinopiroxenos, serpentización (antigorita), wollastonita, calcita). Con respecto a estudio de inclusiones fluidas (IF) A.- El análisis petrográfico pone en evidencia un fenómeno de ebullición con presencia de todas las fases en abundancia heterogénea y presencia de CO<sub>2</sub>. B) IF multifásica: Vapor-Líquido-S<sub>1</sub> (no identificado)- S<sub>2</sub> (hematita); C) IF trifásica con presencia de CO<sub>2</sub> vapor, CO<sub>2</sub> líquido y H<sub>2</sub>O líquida lo cual indica inmiscibilidad por la presencia de diferentes fluidos que quedaron atrapados en la inclusión; E). Inclusiones fluidas monofásicas de vapor con sólido de hematita (S<sub>2</sub>). F). IF multifásica: Vapor- Líquido - S<sub>1</sub> (no identificado)- S<sub>2</sub>



(hematita), los datos microtermométricos y su interpretación permiten concluir que:

- De acuerdo a la distribución de datos del diagrama Th vs % peso Eq. NaCl con isobaras, se observa una despresurización en el sistema.
- La temperatura de homogenización y la salinidad de las inclusiones fluidas de la mina el Dorado en el distrito minero Tatatila-Las Minas son muy similares a los que podemos encontrar en otros depósitos tipo IOCG.
- De acuerdo a la configuración de los datos de las IF en el diagrama Temperatura vs Presión una disolución del sistema teniendo como salinidad promedio 21.4% peso Eq. NaCl.
- El yacimiento ubicado en Tatatila -Las Minas fue formado por la asociación de intrusiones de composición Granito-Granodiorita que afectaron a los paquetes de caliza del cretácico, desarrollando un contexto favorable para la formación de skarns.
- De acuerdo a la distribución de los datos en el diagrama Salinidad vs Th °C que ilustra rangos típicos para inclusiones para diferentes tipos de depósitos, los puntos se inclinan hacia los depósitos del tipo skarn.
- Los fluido presentan ebullición y dilución tardía.

El comportamiento de los azufres para el Skarn de Tatatila donde los valores variaron de  $-3$  a  $+4.2$  valor similar a los meteoritos y al MORB, donde los mas negativos son debido al procesó de oxidación del sistema pasando de magnetita a hematita debido al proceso de ebullición donde los valores de Oro se incrementan. En cuanto a los isotopos en carbonatos, el caso de los skarns algunos de los mecanismos más importantes que contribuyen al fraccionamiento isotópico son: 1°.- La descarbonatación, la cual deprime el  $^{18}\text{O}$  y el  $^{13}\text{C}$  porque el  $\text{CO}_2$  liberado de las calizas es enriquecido en estos isotopos. Hay dos casos

extremos de: separación en una sola etapa ó separación continúa siguiendo la ecuación de destilación de Rayleigh. 2º.- La mezcla de H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>, que puede haber un enriquecimiento en <sup>18</sup>O en el fluido del skarn, por la mezcla de agua equilibrada con la roca ígnea y la descarbonatación. Una característica común en los skarns es que el reemplazamiento de carbonato enriquecido en δ<sup>18</sup>O en la roca encajonante por silicatos de skarn es acompañado por una depresión en δ<sup>18</sup>O en el skarn miso adyacente a la intrusión (en equilibrio con esta). Es decir, siempre hay una depresión en δ<sup>18</sup>O en el skarn, en relación con el δ<sup>18</sup>O de la roca encajonante. Por otra parte, hay una buena correlación entre el δ<sup>18</sup>O del skarn y el de la roca intrusiva asociada, lo cual sugiere un origen del fluido común . Esto se asume como evidencia de fluidos magmáticos en la primera etapa del skarn. Los estudios de petrofísica revelan que las muestras de la andesita y caliza distal presentan mayor porosidad y permeabilidad que las anteriores y están dentro de los EGS hidrotermales, finalmente en el Skarn, donde la neofoemación mineral es total y donde por este fenómeno se crean espacios abiertos con oquedades donde la permeabilidad aumenta.

Este trabajo fue soportado por el proyecto GEMEX-UE PT 4.1

## EN EL DISTRITO MINERO DE LA DIATREMA DE ZACATLÁN PUE.: ASPECTOS METALOGENÉTICOS

González- Partida E.<sup>1</sup> ,

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, UNAM, Apartado Postal 1-742, Querétaro 76001,  
Querétaro, México.

### Resumen

En el Distrito minero de la Diatrema de Zacatlán Pue., el área de estudio se localiza dentro de la Provincia Sierra Madre Oriental (SMO), cerca del límite con la Faja Volcánica Transmexicana. La Diatrema de Zacatlán, presenta un basamento que está constituido por rocas sedimentarias de edad Jurásico a Cretácico, que corresponden a la Sierra Madre Oriental, presenta intenso plegamiento de dirección Noroeste-Sureste con vergencia hacia el Noreste, son afectadas por fallas y fracturas regionales del tipo lateral y orientaciones Noreste-Suroeste. El emplazamiento de la diatrema y su magmatismo asociado se dio en un periodo muy corto entre 4.9 a 5.1 *M a.*: En general las rocas ígneas relacionadas a la mineralización corresponden a dacitas, y rolitas con texturas porfídicas (emplazamientos dómicos que generalmente suturan el ring de la diatrema y intrusivos profundos cortados por barrenación de la misma composición y edad. La mayoría de las muestras del intrusivo estudiado pertenecen a la serie calciocalina muestran una composición ácida, entre los campos de los granitos metalumínicos a peraluminosos, tipo I. Las rocas intrusivas de la zona de estudio se encuentran enriquecidas en elementos LILE, con anomalías positivas de K, Pb y Sr y negativas de Nb y profunda de Ti estos patrones de elementos trazan están asociados a arcos magmáticos. Las variaciones de  $Eu/Eu^*$  son en su mayoría menores a 1, y el Eu no presenta ninguna anomalía en el diagrama, lo cual nos indica que estas rocas presentan

composiciones muy cercanas al líquido del cual se formaron. En general, se observa un enriquecimiento de las tierras raras ligeras con respecto a las pesadas, lo cual es característico de magmas calcoalcalinos, se determinó que los intrusivos generadores de mineralización en Zacatlán corresponden a granitos de arco volcánico.

Las anomalías del oro van desde 5ppb a 426 ppb; para la plata, las anomalías fluctúan desde 0.169ppm a 19.6ppm; en el caso del plomo los rangos van desde 30ppm a 88.4 ppm y para el zinc tenemos valores desde 95 hasta 1190 ppm y finalmente para el cobre se presentan valores desde 200ppm hasta 532; la alteración hidrotermal e argílica a propilitica, y la mena principal es pirita, galena, Esfalerita, Calcopirita, plata nativa y óxido y sulfatos de MnO. El análisis de inclusiones fluidas revela que las temperaturas de homogeneización ( $T_h$  °C) de los fluidos bifásicos a líquido + vapor variaron de  $T_h = 421$  °C a 280 °C con salinidades de 16 % a 10 % Eq, peso NaCl, en fluidos mineralizantes de la diatrema; Un evento más tardío acusa características de  $T_h = 276$  °C a 125 °C y salinidades de 9.2 % a 7.2% Eq, peso NaCl, evidenciando una dilución de fluidos de sistema hidrotermal. Una veta alejada (área de Xonotla) de la diatrema y relacionada a un dique de composición ácida presenta saturación de fluidos a sólido (NaCl)+líquido+vapor con  $T_h$  en un rango de 370 °C a 350 °C y salinidades de 36% a 40% Peso NaCl. La ebullición con acusada oxidación del sistema fue posiblemente la causa de la mineralización. De acuerdo con el comportamiento que presentan los fluidos es evidente un proceso de descompresión a medida que se enfrían; En este trabajo se asume que la salmuera es de origen magmático, y en su estadio final presenta un proceso de dilución. La ebullición con acusada oxidación (sulfuros que pasan a óxidos de manganeso) del sistema, fue posiblemente la causa de la mineralización. Estos datos son compatibles con salmueras de origen magmático. El comportamiento de los azufres de la

Diatrema parece tener un origen magmático al presentar un rango de -1 a + 7.6 similar al que presenta el SO<sub>2</sub> de los meteoritos y al MORB, donde los mas negativos son debido al procesó de oxidación del sistema pasando de magnetita a hematita debido al proceso de ebullición.

Las muestras de caliza y calcita que se midieron presentan valores de carbono entre -11.3 a 3.8 y de oxigeno entre 11.2 a 25.9 . Las cuales al correlacionar los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  del depósito de Zacatlán, se observa que los fluidos magmáticos se enriquecieron en el contacto de rocas calcáreas marinas, por lo cual, el origen del carbonato es derivado en una parte por magma y la mayor parte por rocas calcáreas, debido a la decarbonatación que produjo el enriquecimiento  $^{18}\text{O}$  durante la formación de la Diatrema.

Al comparar los resultados obtenidos con los de los reservorios actuales de humeros y Acozulco se puede afirmar que en Los Humeros (CGH) donde las inclusiones fluidas fueron estudiadas por González et al., en preparación) en calcita, epidota, clinozoicita y principalmente cuarzo, son de carácter primario y se alojan principalmente en la red cristalina de los minerales ; la tipología de las inclusiones fluidas es a líquido+vapor (L+V). La distribución de isoterma va de 150 °C aumentando con la profundidad hasta 385 °C , lo que indica un gradiente geotérmico de 174.23 °C/km. Al compararse las temperaturas estabilizadas con las obtenidas en las inclusiones fluidas se observó que las temperaturas actuales se presentan más profundas, lo que sugiere que el reservorio del CGH se encuentra en calentamiento, y/o que las estabilizadas están sub-estimadas. La salinidad profunda esta entre el 10 % Eq. Peso NaCl, esta pasa a 1% en los niveles más someros, lo que incida un fenómeno de dilución tardía. La neutralización de la desgasificación magmática (reservorio profundo a vapor sobrecalentado ácido ) por aguas meteóricas, parece ser el mecanismo más

plausible para entender las paragénesis detectadas, dado que la silicificación profunda es reemplazada por un halo de propilitización que predomina en el reservorio a Líquido + vapor más somero instalado en el paquete volcánico andesítico - basáltico. Se define que *“El escape de fluidos ácidos profundos preferencialmente por el cortejo de fallas principales”*, se manifiesta en superficie por la existencia de una paragénesis típica de argilitización avanzada donde por primera vez se determina la wroewolfeita. Por otro lado, y como se presentó en párrafos anteriores, en Tatatila Las Minas, datos microtermométricos de inclusiones fluidas monofásicas, bifásicas y trifásicas en granates, anfíboles, cuarzo y calcitas muestran temperaturas de homogenización de 130 °C a >570 °C con salinidades de 3% a 55% wt. Eq. NaCl. Los datos isotópicos obtenidos de galenas, piritas, calcopiritas y calcitas muestran valores de  $-8.5$  a  $+4$   $\delta^{13}\text{C}_{\text{‰VPDB}}$ ,  $+7.8$  a  $+26.3$   $\delta^{18}\text{O}_{\text{‰VSMOW}}$  y  $-1.9$  a  $+4.2$   $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰VCDT}}$ , que indican una interacción de fluidos a diversas temperaturas. Los fluidos relacionados a la mineralización se consideran de origen magmático con influencia de la roca encajonante, a partir de magmas generados en una zona de arco volcánico que evolucionaron a rocas más diferenciadas y al entrar en contacto con los carbonatos propiciaron el desarrollo de un Skarn, a profundidades de 3 km y 800 bares de presión, igualmente aquí el sistema de fallamiento y fracturamiento regional juegan un papel primordial en el emplazamiento del magma y su mineralización.

Este trabajo fue soportado por el proyecto GEMEX-UE PT 4.1



## ESTUDIO DIAGENÉTICO DE LA FORMACIÓN EAGLE FORD (CENOMANIANO TARDÍO -TURONIANO) COMO PRODUCTORA DE GAS NO CONVENCIONAL.

**González Betancourt Aurea Yahaira<sup>a</sup>. González Partida Eduardo<sup>b</sup>.**  
<sup>a, b</sup>Centro de Geociencias, UNAM, campus Juriquilla, Querétaro, México.

[aurea\\_1992@hotmail.com](mailto:aurea_1992@hotmail.com)

### Resumen

Desde la crisis energética de la década 70 ocurrió un cambio en la visión de exploración de hidrocarburos a nivel global, llevando a la búsqueda de nuevas reservas de hidrocarburos en zonas más inaccesibles y abriendo paso al estudio de los yacimientos “no convencionales”. Un yacimiento no convencional se distingue por tener una permeabilidad inferior a 0.1 mD, por lo que las lutitas suelen actuar como *roca madre* y como *roca almacén*. En México existen formaciones geológicas compuestas por lutitas ricas en materia orgánica que podrían considerarse como potenciales yacimientos de hidrocarburos. Entre estas formaciones se encuentra la Formación Eagle Ford (Cenomaniano Tardío-Turoniano) que es el objeto de estudio en este trabajo, localizándose dentro de la Cuenca de Sabinas y sobre la Paleoplataforma Burro-Peyotes, en el estado de Coahuila. Anteriormente se ha definido que la Formación Eagle Ford representa un sistema transgresivo depositado en un ambiente marino nerítico-medio con valores de COT entre 0.5 a 1%, por lo que podría considerarse como un posible yacimiento de hidrocarburos no convencional. Con el objetivo de determinar el grado de madurez térmico de las lutitas se realizó un muestreo sistemático en afloramientos del estado de Coahuila, para el desarrollo de estratigrafía a detalle (columnas CSI, CSII, CSV), análisis geoquímico (NITON) y microtermometría de



inclusiones fluidas. Como resultados tenemos que la Formación Eagle Ford se observa como una secuencia sedimentaria rica en materia orgánica, compuesta localmente por lutita calcárea carbonosa con estratificación laminar que alterna caliza arcillosa (mudstone- wackestone) y caliza clástica (packstone- grainstone), depositándose en condiciones anóxicas. Respecto a las alteraciones diagenéticas, la porosidad de origen primario se ve afectada por los procesos de compactación y precipitación de cementos, sin embargo, también se generó una microporosidad secundaria debido al desarrollo de neomorfismo, fracturas, estilolitización, etc. Además, se determinó que las temperaturas de homogenización (Th) que alcanzó esta Formación varía entre los 70.6°C y 102°C, alcanzando a entrar en la zona de generación del gas húmedo. Para finalmente señalar el ambiente de depósito local y una interpretación del modelo diagenético de la Formación Eagle Ford comparándolo con modelos térmicos propuestos por otros autores.

**Palabras clave:** yacimiento no convencional, madurez térmica, temperatura de homogenización, diagénesis.

## Área temática rasgos geodinámicos e historia geológica del NW de México.

### CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA Y ORIGEN DE LOS YACIMIENTOS DE PERLITA EN BABIDANCHI, NE DE SONORA, MÉXICO: IMPLICACIONES PARA LA CALIDAD DE SU EXPANSIÓN.

Melgarejo-Joris Emmanuel<sup>1\*</sup>, Vidal-Solano Jesús Roberto<sup>1</sup>, Hinojosa-García Héctor Jesús<sup>2</sup>, Hinojosa-Prieto Héctor Roberto<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora 83000 Hermosillo, Sonora, México. <sup>2</sup>Math&AgricultureDivision, Arizona Western College, Yuma, Arizona 85366 USA. <sup>3</sup>Cordillera Geo-Services, LLC, P.O. Box 3335 Somerton, Arizona, 85350 USA.

[melgarejo.joris@gmail.com](mailto:melgarejo.joris@gmail.com)

#### Resumen

La investigación se basó en el estudio de la perlita con interés económico para su explotación, integrando el conocimiento geológico por medio de distintas herramientas; como cartografía, petrología, geoquímica, DRX, y la relación con su expansión. Los resultados muestran que el depósito de perlita se encuentra confinado entre una secuencia volcánica bimodal del Mioceno, que ha sido depositada sobre una ignimbrita masiva del Oligoceno relacionada a la Sierra Madre Occidental. La caracterización petrográfica de distintas facies del depósito reconoció una matriz vítrea con fractura concoide, inclusiones fluidas, y laminaciones de flujo con triquitas de magnetita y/o microlitos, que generalmente se presentan de forma recta y paralela, aunque en ocasiones con distintos grados de contorsión, y que además en algunas litofacies están compuestas por

131

criptocristales de fayalita. Las distintas litofacies del yacimiento varían en el grado de su perlitización o fractura concoide, frecuentemente en esta fractura se observa una mayor población de inclusiones fluidas, y en pocos casos que estas son rellenas por cuarzo y zeolitas. Otras características físicas variables en las facies de la perlita es el cambio de color (gris a rojizo), además de un cambio en la textura, a una tobácea, y en niveles hacia los bordes del yacimiento ocurre una facies brechoide con fragmentos perlíticos que comparten las mismas características. Los análisis de difracción de rayos X permitieron identificar variedades de cuarzo que cristalizan a altas temperaturas, y corroboraron la presencia de fayalita y magnetita, mostrando que los magmas son de más alta temperatura, que los de la riolitas comunes. Geoquímicamente se trata de una riolita de la serie calco-alkalina con alto contenido en potasio y aluminio, y pérdidas por calcinación entre 4 y 6% (LOI, *loss of ignition*). Se propone que estas pérdidas por calcinación son asociadas a una hidratación secundaria, que hace que este material logre expandir al someterlo a temperaturas entre 600 y 1,000°C. Finalmente, de acuerdo a las pruebas de expansión de las muestras, se plantea una relación entre el LOI y el porcentaje de su expansión, así como también, la densidad de la muestra expandida con el rendimiento del horno.

**Palabras clave:** perlita, triquita, Sierra Madre Occidental.

## **CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO GEOARQUEOLÓGICO DE LAS PIEDRAS VERDES CON USO PREHISPÁNICO EN SONORA, MÉXICO: PETROGRAFÍA Y ANÁLISIS POR DRX.**

**Rojo-Méndez Luis Antonio<sup>\*1</sup>; Gómez-Valencia Alejandra Marisela<sup>2</sup>; Vidal-Solano Jesús Roberto<sup>3</sup>; Hinojo-Hinojo Adriana<sup>4</sup>; Orcí-Romero Adriana Aimée<sup>5</sup>; y Abraham Mendoza Córdova<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Licenciatura en Geología, Departamento de Geología, Universidad de Sonora. <sup>2</sup>

Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora. <sup>3</sup>

Departamento de Geología, Universidad de Sonora. <sup>4</sup> Instituto Nacional de Antropología e Historia, INAH-Sonora. <sup>5</sup> Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste, ERNO-UNAM. <sup>6</sup> Laboratorio de DRX, Departamento de Geología, Universidad de Sonora.

[larm9913@gmail.com](mailto:larm9913@gmail.com)

### **Resumen**

Las culturas que habitaron el centro-sur del país, sin lugar a duda tenían como piedra predilecta para la joyería y la ornamentación toda aquella que fuera de color verde-azul, pues para ellos, estas poseían una serie de valores intrínsecos desde el punto de vista social y religioso. En el estado de Sonora, se han encontrado una gran variedad de materiales arqueológicos que presentan tonalidades verde-azul, los cuales fueron utilizados por los antepasados indígenas para la elaboración de cuentas, figurillas, entre otros materiales de lítica pulida que en general habían sido clasificados como turquesa, cosa que ocurre comúnmente con la lapidaria del centro y sur de México, y en este caso en el noroeste no fue una excepción. Es evidente que tanto los análisis de lítica pulida, como de lítica tallada, carecen de una determinación mineral y/o petrológica, repercutiendo directamente en una identificación formal. Con este antecedente y

aprovechando las colaboraciones interinstitucionales entre el centro INAH-Sonora, la ERNO-UNAM y la UNISON, se busca dejar en claro el importante papel de la geología, utilizándola como herramienta para ayudar a los arqueólogos con la diferenciación, clasificación y descripción de los objetos encontrados, lo cual no es tarea fácil, ya que al ser muestras arqueológicas, no pueden ser destruidas, lo que reduce el uso de los métodos analíticos. Por esta razón se presenta aquí un protocolo para el análisis de los materiales arqueológicos verde-azul, mostrando como resultados que estas piezas pueden corresponder a minerales producto de las variedades del Cu (como malaquita y crisocola) y a rocas como hornfels de clorita-epidota y limolitas verdes. Esta contribución ejerce mayor relevancia en el establecimiento de fuentes de extracción de materia prima para la fabricación de artefactos prehispánicos verde-azul y en el establecimiento clave de las zonas de mayor importancia socio-económica en Sonora.

**Palabras Clave:** geoarqueología, piedras verdes, Sonora, prehispánico.

## **ARENA SILICA**

### **INVESTIGACIÓN, DEMANDA, EXPLORACIÓN, MERCADO**

**Carlos Pita de la Paz<sup>1</sup>; Marco A. Rubio R.<sup>1,2</sup>**

1 Geotem Ingeniería, S.A. de C.V. 2 UNAM, Facultad de Ingeniería.

[rma.geotem@gmail.com](mailto:rma.geotem@gmail.com); [cpita@geotem.com.mx](mailto:cpita@geotem.com.mx)

#### **Resumen**

El mercado de arena sílica en México ha sido poco desarrollado a pesar de sus múltiples usos. La demanda responde a las necesidades de la industria, particularmente en los estados de Nuevo León, Morelos y Estado de México.

A escala mundial existe un amplio sector que surte de arenas silíceas a un mercado diverso y dinámico, esperándose que tanto USA como Canadá aumenten la demanda regional considerando la reciente visión de desarrollo para su industria petrolera. En la región del continente americano USA y Canadá figuran en las estadísticas de países productores mientras que México, Centroamérica y Brasil solo se mencionan sucintamente. Las expectativas de crecimiento para el sector son de 5.5%, alcanzando un intercambio de 291 millones de toneladas métricas para el 2018 con valor de \$12.5 billones de USD.

Entre los múltiples productos a partir de arena sílica están: cristal flotado, vidrio templado y vidrio inastillable, vidrio (plano, liso o labrado), para la industria automotriz (aletas, medallones, parabrisas, vidrios laterales), en la fabricación de envases y ampollitas de vidrio para la industria farmacéutica, de perfumes, cosméticos, alimenticia, vidrio plano para la construcción, entre otros.

Un mercado adicional y específico de estos recursos de acuerdo con INEGI (2009) es para la elaboración de placas de fibra de vidrio (ingresos 2 202.1 millones de pesos) y artículos de uso doméstico (ingresos 119 millones de pesos).

Los materiales de este tipo pertenecen, junto con la fosforita, yeso y diatomita, al grupo de Minerales No Metálicos (MiNoMe), por lo que su actividad de minado y producción entra en el rubro industrial de valor de la producción minero-metalúrgica de México.

Con excepción de los años 2003 y 2009, cuando hubo mayor producción de azufre, el resto ha estado marcado por una mayor actividad en la explotación de recursos yesíferos y de arenas sílicas, con predominio de este último. En el comparativo con otros dos recursos estratégicos, la producción de sal fue menor respecto a las arenas silíceas y, desde luego menor a la fluorita considerando el tipo y magnitud de los principales yacimientos del fluoruro de calcio (i.e.: Distrito Minero Las Cuevas, S.L.P.).

**Palabras Clave:** arena silica, vidrio, minerales no metálicos, celda solar



## **GEOQUÍMICA, GEOCRONOLOGÍA E ISOTOPIA DE SR-ND: AVANCES SOBRE LA PETROGÉNESIS DEL COMPLEJO METAMÓRFICO CHIMO-YELAPA EN JALISCO, MÉXICO**

**Gutiérrez-Aguilar Fabián<sup>1</sup>, Schaaf Peter<sup>2</sup>, Solís-Pichardo Gabriela<sup>3</sup>,  
Hernández-Treviño Teodoro<sup>2</sup>, Arrieta-García Gerardo Fernando<sup>2</sup>, Vite-  
Sánchez Octavio<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CDMX. <sup>2</sup>LUGIS, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CDMX. <sup>3</sup>LUGIS, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CDMX.

### **Resumen**

El Complejo Metamórfico Chimo-Yelapa (CMCY) está localizado en la parte norte, central y occidental del municipio de Cabo Corrientes en Jalisco, México, en el Bloque de Jalisco. Se compone de una secuencia plutónico-metamórfica de paragneises de sillimanita, anfibolitas, ortogneises de anfíbol y ortogneises de biotita intrusionados por cuerpos graníticos. El CMCY forma parte del Batolito de Puerto Vallarta (BPV) expuesto en la margen occidental del Pacífico Mexicano.

Los resultados preliminares del análisis de elementos mayores en rocas metaígneas y granitoides evidencian que la composición de los magmas que dan origen a estas litologías son: alcalino-cálcicos, calco-alcalinos y cálcicos generados en un ambiente de arco volcánico. Por otra parte, los patrones de REE se caracterizan por un enriquecimiento de LREE con respecto a HREE y una

anomalía negativa de Eu, sin embargo, las rocas de composición máfica presentan valores  $(La/Yb)_N = 0.95-4.13$ .

Los paragneises presentan edades máximas de depósito de U-Pb en zircones en ~200-260 Ma. Las edades U-Pb en zircones de ortogneises de biotita evidencian un magmatismo Jurásico (164-151 Ma). Edades Cretácico Temprano (133-131 Ma) están presentes en una anfibolita y ortogneis de anfíbol, edades que anteriormente no habían sido reportadas en el BPV. Además, edades Cretácico Tardío (~83 Ma) son representadas por los granitoides del BPV. Finalmente, edades de U-Pb en monazitas de los paragneises revelan edades de ~140-120 Ma, edades que posiblemente representen la edad del metamorfismo en el CMCY.

Los resultados de la isotopía de Sr-Nd revela valores de  $\epsilon Nd_i = -8.36$  a  $-5.45$ ,  $\epsilon Sr_i = 67.72-125.28$  y  $tNd = 1387-1775$  Ma en los paragneises,  $\epsilon Nd_i = -4.74-5.64$ ,  $\epsilon Sr_i = -10.66-81.79$  y  $tNd = 352-1234$  Ma para ortogneises de anfíbol y biotita. Los valores en anfibolitas son de  $\epsilon Nd_i$  entre 3.91 a 8.09,  $\epsilon Sr_i -10.73$  a 80.64 y  $tNd = 491-531$  Ma y finalmente  $\epsilon Nd_i = -1.87$  a  $-1.03$ ,  $\epsilon Sr_i = 3.83-10.24$  y  $tNd = 932-1422$  Ma para los granitoides.

Los nuevos resultados geoquímicos y geocronológicos dan evidencias de la petrogénesis del magmatismo y el tipo de metamorfismo generado en el Jurásico-Cretácico que es expuesto en el NW de México.

**Palabras Clave:** CMCY, Batolito de Puerto Vallarta, U-Pb, Sr-Nd, Petrogénesis

## INTERACCIÓN DE ROCAS INTRUSIVAS Y METAMORFICAS EN EL BATOLITO DE PUERTO BALLARTA (ZONA DE PUNTA MITA), EVIDENCIAS GEOQUIMICAS, PETROGRÁFICAS Y GEOCRONOLOGICAS.

Vite, S. O<sup>\*1</sup>. Schaaf, P<sup>2</sup>. Gutiérrez, A. F<sup>1</sup>. Hernández, T. J. T<sup>2</sup>. Solís, P. G<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Posgrado de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

[ovite92@gmail.com](mailto:ovite92@gmail.com)

### Resumen

La margen convergente occidental de México ha sido objeto de estudio debido a la formación de grandes orógenos. Los mecanismos tectónicos han expuesto a rocas intrusivas y metamórficas coexistiendo entre sí, lo cual deja un panorama ideal para su estudio. Es el caso del batolito de Puerto Vallarta (BPV) en la zona de Punta Mita, donde recientemente se han descubierto cuerpos metamórficos compuestos de esquistos pelíticos, orto-anfibolitas, calco-silicatos, meta-tonalitas y una unidad meta-vulcanosedimentaria. Se observó en campo la intrusión de los cuerpos graníticos en los cuerpos metamórficos. En este trabajo se aportan edades por U-Pb en zircones de los cuerpos batolíticos ( $79.97 \pm 0.38$  Ma,  $78.36 \pm 0.48$  Ma y  $79.23 \pm 0.84$  Ma y  $77.02 \pm 0.84$  Ma) y datos termobarométricos (3.8kbar y 720°C) obtenidos mediante Al en hornblenda y Ti en zircón. Además, se reporta la existencia de rocas gabroicas en la zona de Punta Mita y a modo de comparación se reporta la datación de un gabro cerca del poblado de Tomatlán en la parte sur del BPV de  $83.3 \pm 0.44$  Ma (U-Pb) mediante zircones individuales. Los valores de  $\epsilon_{Nd}$  de los granitoides varían entre 1.07 a -1.1, mientras que los

gabros presentan un  $\epsilon\text{Nd}$  de 3.6 a 3.9. Sus elementos traza muestran un ambiente tectono-magmático de “arco volcánico”. La orto-anfibolita muestra los valores aún más primitivos de  $\epsilon\text{Nd}$  de entre 5.9 y 6.2 y mediante sus elementos traza se obtuvo un ambiente tectono-magmático de “arco continental” para el protolito. Esta unidad desarrolla la paragénesis de más alto metamorfismo, por lo que se realizaron cálculos termobarométricos obteniendo presiones de ~6.5 Kbar mediante el barómetro de anfíbol-plagioclasa recalibrado por Molina et al. (2015) y temperaturas estimadas de 720°C mediante el termómetro semicuantitativo de Ernst y Liu (1998). Existen también rocas basálticas intrusionando a toda las secuencias plutónicas y metamórficas con valores de  $\epsilon\text{Nd}$  3.5 a 3.9; mediante sus elementos traza se caracterizan como basaltos de arco continental. En este trabajo se discuten todos los datos obtenidos en el área, los cuales se comparan con el modelo geológico ya generado en la región. Finalmente se presenta un modelo tectono-magmático y su rol en la evolución en esta zona convergente del pacífico mexicano.

**Palabras Clave:** isotopía, geocronología, química mineral, termobarometría, NW de México.

## MAGMATISMO DEL SECTOR ORIENTAL DEL BLOQUE DE LOS CABOS, BCS: EVIDENCIAS GEOQUÍMICAS, ISOTÓPICAS Y GEOCRONOLÓGICAS.

Ing. L. Fernando Díaz López (fernando-diaz@ciencias.unam.mx) \*, Dr. Peter Schaaf \*, Ing. Teodoro Hernández Treviño \*, Dr. José A. Pérez Venzor \*\*, Mtra. Gabriela Solís Pichardo \*\*\*.

\*: Instituto de Geofísica, UNAM. Circuito de la investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México CDMX. \*\*: [Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur KM 5.5., Apartado Postal 19-B, C.P. 23080, La Paz Baja California Sur, México.](#) \*\*\*: Instituto de Geología, UNAM.

Circuito de la investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 02376, México CDMX.

### Resumen

El área de estudio se restringe al sector oriental del Bloque de Los Cabos (BLC) que se localiza en el extremo sur de la península de Baja California, limitada al oeste por la cuenca de San José del Cabo y al este por el Mar de Cortés. Principalmente afloran rocas graníticas (Bloque de La Trinidad y Cabo Pulmo) y rocas volcánicas asociadas a la Provincia Volcánica Sierra La Giganta (PVSLG). En general, el sector oriental del BLC carece de estudios geológicos detallados, por lo que este trabajo tiene como objetivo realizar un estudio geológico con análisis geoquímicos, isotópicos y geocronológicos para entender el origen y evolución del magmatismo en la región y a su vez, correlacionar los resultados con la parte central y occidental del BLC y los cuerpos plutónicos del occidente de México.

Se obtuvieron análisis de elementos mayores y traza mediante fluorescencia de rayos X e ICP-MS, también se realizaron análisis isotópicos de Sr y Nd mediante TIMS, así como fechamientos U-Th-Pb por LA-ICPMS en zircones. El magmatismo del sector oriental es más félsico que en otros sectores del BLC. Está representado por granitoides metaluminosos de alto magnesio típicamente cordilleranos, con firmas calcoalcalinas de alto potasio asociadas a arco volcánico.

Está conformado por: 1) granitos de feldespato potásico de ~80 Ma que afloran en la Sierra La Trinidad y alrededores, 2) micro-monzogranitos de ~76Ma ubicados al sur de S. La Trinidad; 3) granodioritas de ~83 Ma que afloran al sur y sureste de la S. La Trinidad. Los granitoides son intrusionados por un cuerpo subvolcánico porfírico de ~73Ma. También afloran tres unidades volcánicas representadas por ignimbritas (~80 Ma), riolitas-riodacitas y andesitas que afloran en la parte nortnoreste del área de estudio (Los Frailes, Cabo Pulmo), anteriormente asociadas al arco Comondú y/o Sierra Madre Occidental. La edad de la ignimbrita revela que el volcanismo está asociado al magmatismo cretácico y no a un volcanismo más joven. Las evidencias permiten un mayor entendimiento sobre la petrogénesis del BLC y el NW de México y reafirman la correlación magmática-temporal con el batolito de Puerto Vallarta en Jalisco.

**Palabras clave:** Magmatismo cretácico, Bloque de Los Cabos, geoquímica, geocronología.



## ALGUNAS CARACTERÍSTICAS ISOTÓPICAS DEL BLOQUE DE LOS CABOS, BAJA CALIFORNIA SUR Y SU RELACIÓN CON EL NOROESTE DE MÉXICO.

Pérez-Venzor José Antonio<sup>1</sup>, Schaaf Peter<sup>2</sup>, Schwennicke Tobias<sup>1</sup>, Cortés  
Martínez Mara Yadira<sup>1</sup>

1.- Departamento Académico de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de  
Baja California Sur, 2.- Instituto de Geofísica UNAM

[japerez@uabcs.mx](mailto:japerez@uabcs.mx)

### Resumen

Se presentan las características isotópicas del bloque de los Cabos ubicado al sur de la península de Baja California. Para el análisis isotópico se colectaron en el campo entre 5 y 25 kilos de material de roca fresca o sana. Para la geoquímica isotópica y obtención de edades se utilizaron los métodos de Rb-Sr y Sm-Nd en mineral y roca entera. Todo el procedimiento analítico fue realizado en el LUGIS (Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica) de la UNAM. Los datos isotópicos de Rb-Sr y Sm-Nd de 14 muestras de rocas plutónicas sin deformar calculadas para 80 Ma presentan relaciones iniciales de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  que varían de 0.70452 a 0.70756 y entre 0.51231 y 0.51255 respectivamente. Implican participación de una fuente derivada del manto y de materiales corticales en diferentes estadios de evolución. Las edades modelo de Nd ( $T_{\text{DM}}$ ) muestran un amplio rango, dando evidencia que diferentes materiales corticales fueron involucrados en su origen. En general las rocas del área de estudio reflejan la participación de corteza continental excepto las muestras de la Sierra de El Novillo que son rocas asociadas a magmas con un origen mantélico y poco evolucionadas. Las rocas del área de estudio definen tres poblaciones. Una corresponde a la cuña o arreglo del manto y representa las rocas gabroicas del



Novillo. La segunda población con valores de  $\epsilon\text{Nd}$  de  $-2.1$  a  $-2.4$  y relaciones de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de  $0.70488$  hasta  $0.70596$ , que grafica cerca de la composición inicial condrítica de La Tierra e implica que se trata de rocas poco evolucionadas pero con participación cortical. El tercer grupo con valores más negativos de  $\epsilon\text{Nd}$  ( $-4.5$ ) y más elevados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $0.70756$ ) corresponde a las rocas más evolucionadas y con mayor participación cortical, representadas principalmente.

**Palabras clave:** Bloque de los Cabos, relaciones isotópicas, edad modelo.

## NUEVOS DATOS GEOCRONOLÓGICOS DEL BLOQUE DE LOS CABOS, BCS

Schaaf, Peter\*<sup>1</sup>, Pérez Venzor, José Antonio<sup>2</sup>, Rochin, Hermes<sup>1</sup>, Díaz, Fernando<sup>1</sup>, Arrieta, Gerardo<sup>1</sup>, Gutiérrez, Fabían<sup>1</sup>, Hernández, Teodoro<sup>1</sup>, Solís Gabriela<sup>3</sup>

1 Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), Instituto de Geofísica, UNAM, 04510 Ciudad de México. 2 Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS. 3 LUGIS, Instituto de Geología, UNAM, 04510 Ciudad de México

[pschaaf@geofisica.unam.mx](mailto:pschaaf@geofisica.unam.mx)

### Resumen

Avances geocronológicos en los últimos años permiten afinar el conocimiento de los emplazamientos de cuerpos magmáticos en el Bloque de Los Cabos (BLC), Baja California Sur. El evento más importante es la intrusión de rocas tonalíticas, granodioríticas y graníticas en todas las partes del BLC con edades entre 78 y 86 Ma (U-Pb en zircones). Estos intrusivos no muestran rasgos de deformación y de metamorfismo. Junto con sus datos geoquímicos los intrusivos del BLC pueden considerarse consanguíneos a los plutones de Puerto Vallarta, Sinaloa, y de las Islas Marías. Igual al caso de las Islas Marías, en el BLC también hay rocas volcánicas contemporáneas a los intrusivos en el área de Cabo Pulmo. También, en el norte del Batolito de Puerto Vallarta hay edades de rocas volcánicas intermedias reportadas.

Las rocas intrusivas más maficas del BLC, los gabros del Complejo el Novillo, se fecharon en 104-115 Ma (U-Pb en zircones, Rb-Sr en biotita, K-Ar en hornblenda) y cuentan con contrapartes litológicas en el norte de la Baja California, en Jalisco y Michoacán (Jilotlán de Los Dolores) y en el área de Tomatlán en la parte sur del

batolito de Puerto Vallarta. También se obtuvieron edades jurásicas (ca. 160 Ma; U-Pb en zircones) de intrusivos deformados en el BLC en dos lugares: Arroyo de la Palma y Isla Espíritu Santo, los cuales son evidencias adicionales para el Cinturón Magmático Jurásico en el NW de México. Edades parecidas se han reportado de ortogneises en la isla María Madre, en Sinaloa (área de Mazatlán) y en la parte este del batolito de Puerto Vallarta rumbo a la mina de Cuale. Paragneises, migmatitas y metasedimentos del BLC muestran edades máximas de sedimentación entre 265 y 226 Ma (U-Pb en zircones detríticos), definidos por los zircones más jóvenes, posiblemente derivados de un arco magmático permo-triásico. Evidencias para este arco se encontraron en el complejo metamórfico Chimo-Yelapa en la parte este del batolito de Puerto Vallarta, en Sinaloa y también en las Islas Marías.

Los intrusivos del Peninsular Ranges Batholith y sus rocas encajonantes se extendieron por lo menos hasta la parte sur del batolito de Puerto Vallarta.

**Palabras claves:** Rocas intrusivas, Peninsular Ranges Batholith, Bloque de Los Cabos, eventos metamórficos transpeninsulares.

## EL VOLCANISMO MAFICO-ULTRAMÁFICO DE LA REGIÓN DE CABORCA Y SU RELACIÓN CON EL PROCESO DE RIFTING EN EL MARGEN SUR DE LAURENTIA.

**Barrón-Díaz, Arturo Joaquín 1,2\*;** **Paz-Moreno, Francisco Abraham 3;**  
**Herrera-Urbina, Saul 3;** **Lozano-Santa Cruz, Rufino 4**

1 Estación Regional del Noroeste (ERNO-UNAM), Hermosillo, Son. 83000, PCT -

Estudiante de Doctorado. 2 Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.

3 Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

4 Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd de México, México.

[arturo.barron@unison.mx](mailto:arturo.barron@unison.mx)

### Resumen

*La secuencia del Neoproterozoico-Cámbrico de la región de Caborca está formada por rocas sedimentarias que representan un prisma miogeoclinal desarrollado posiblemente en el margen sur de Laurentia. En esta región, la base del Cámbrico está representada por la Formación Puerto Blanco (FPB). En la Unidad 1 de la FPB se observa un volcanismo de poco volumen y de características máfico-ultramáficas que está representado por picrobasaltos, metabasaltos, metabasanitas, tobas, lapillitas, conglomerados tufáceos y aglomerados. Este volcanismo fue producido por pequeños edificios que generaron una posible actividad estromboliana. Los análisis geoquímicos evidencian un volcanismo bajo en sílice ( $\text{SiO}_2\text{N} = 34.32 - 48.21\%$ ), con altas concentraciones en titanio ( $\text{TiO}_2\text{N} = 3.63 - 7.52\%$ ) y con presencia de alteración hidrotermal y metasomatismo. Los diagramas multielementales muestran características de un volcanismo del tipo OIB. A pesar del metamorfismo*

*presente, algunos de elementos traza inmóviles no fueron afectados y evidencian características de un volcanismo primario. La paragénesis mineral metamórfica ubica a estas rocas en una facies de esquistos verdes. Este metamorfismo alcanzó temperaturas promedio de hasta 493 °C por lo que la mineralogía primaria quedo remplazada casi en su totalidad. El fósil índice *Trepichnus pedum* ha sido reportado en areniscas intercaladas durante los eventos volcánicos, por lo que se puede deduce que la edad del volcanismo es contemporánea al período de vida de este fósil, el cual también se ha observado posiblemente en tobas máficas en la localidad de los Cerros de la Ciénega. Los diagramas de ambiente tectónico indican un volcanismo asociado a un rift del tipo intraplaca continental. El volcanismo de la Unidad 1 de la FPB podría haberse formado como un rift abortado el cual se desarrolló en el extremo sur del rift que se abre en el margen suroeste de Laurentia, representado por eventos máficos contemporáneos desde Canadá hasta los estados de Idaho y Utah en Estados Unidos. Otra posible correlación es con el margen este de Laurentia, en el cual se encuentran eventos volcánicos contemporáneos en el Aulacógeno de Oklahoma y en Nueva Escocia.*

*Palabras clave: metabasanitas, cámbrico, precámbrico, volcanismo máfico, Caborca.*

## GEOQUÍMICA EN EL COMPLEJO METAMÓRFICO ÁLAMOS, SONORA.

Ricardo Vega Granillo<sup>1</sup>, Angélica Bourjac de Anda<sup>2</sup>, Jesús Roberto Vidal Solano<sup>1</sup>, Elizabeth Araux Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Sonora; <sup>2</sup>Compañía Minera Piedras Verdes

[rvega@ciencias.uson.mx](mailto:rvega@ciencias.uson.mx)

### Resumen

El Complejo Metamórfico Álamos es una secuencia volcanosedimentaria metamórfica expuesta al sur del orógeno Ouachita-Marathon-Sonora del Paleozoico tardío. Este orógeno es considerado como la continuación de las cadenas Alleghaniana y Variscana que se produjeron durante la etapa final de la conformación de Pangea. Las asociaciones mineralógicas en rocas metavolcánicas formadas por clorita-actinolita-epidota-plagioclasa indican que fue sometida a condiciones de la facies de esquistos verde, lo cual es confirmado por termobarometría que arrojó temperaturas promedio de 469°C, mientras que la presión debió ser menor que  $4.0 \pm 0.5$  kbar como es indicado por la presencia de andalucita en metapelitas. Las rocas metavolcánicas del Complejo muestran dos afinidades distintas: una anorogénica dominada por composiciones basálticas poco evolucionadas y con una firma de MORB enriquecido en la región de Tesia, y una orogénica con rocas más diferenciadas y con características de magmas de arco volcánico. Estudios de geocronología U-Pb en zircones detríticos de dos muestras indican que los grupos principales de edades en el Complejo son: mesoproterozoicos tardíos (“grevillianos”), mesoproterozoico temprano, y paleoproterozoicos. Además de algunos zircones del Silúrico temprano en la muestra de Tesia. La secuencia metamórfica es cubierta en discordancia por una secuencia sedimentaria que inicia con un conglomerado basal y que gradúa a

areniscas con intercalaciones de limolitas y capas de carbón, la cual se correlaciona con el Grupo Barranca del Triásico Medio-Jurásico Inferior. Un estudio de geocronología U-Pb en zircones detríticos en una muestra de dicha secuencia arrojó grupos principales de edades entre 484-690 Ma, un grupo menor entre 930-1240 Ma y algunas edades entre 1682 y 2016 Ma.



## **GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN DEL METAMORFISMO DE CONTACTO DEL ÁREA DEL RANCHO EL RETANQUE, MUNICIPIO DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.**

**LÓPEZ-VELARDE Gerardo Alonso<sup>1</sup>, PAZ-MORENO Francisco Abraham<sup>1</sup>,  
LOZANO-SANTA CRUZ Rufino<sup>2</sup>**

Maestría en Ciencias-Geología, Departamento de Geología, Universidad de Sonora<sup>1</sup>. Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México<sup>2</sup>

[alonsov.b82@gmail.com](mailto:alonsov.b82@gmail.com)

### **Resumen**

El área de metamorfismo de contacto del Rancho El Retanquese localiza a 50 km al ENE de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. El metamorfismo es producido por un cuerpo intrusivo granítico hipabisal de edad laramídica (75.8 ma) que intrusióna muy discretamente en forma de apófisis a un conjunto sedimentario del precámbrico-cámbrico medio en el cerro El Peñasquito del Diablo. Este conjunto litológico sedimentario se compone de una unidad de rocas carbonatadas (dolomías y calizas) de alcance Mesoproterozoico superior en contacto discordante con una secuencia detrítico-carbonatada de la Fm. El Gavilán del Cámbrico medio. Ocurren a manera de techo colgante formando una aureola de metamorfismo zonada con: endoskarn, exoskarn, skarnoides y mármol dolomítico de contacto (intercalado con zonas de hornfels). En los resultados geoquímicos de roca total, elementos mayores y trazas, se caracterizó al granito hipabisal, la unidad de rocas carbonatadas y a las litologías principales de la aureola de metamorfismo. El granito hipabisal es de afinidad calcoalcalina con alto contenido en potasio y de firma hiperaluminosa (presencia de corindón normativo). Presenta características típicas de ambiente de subducción que se

ven reflejadas en el diagrama multielemental normalizado con Manto primitivo, por una marcada anomalía negativa de Nb con respecto al Ba, que se corresponden con un contexto geodinámico de Margen Continental Activo y es consistente por su edad laramídica con el plutonismo batolítico de la región. La composición de elementos mayores (MgO y CaO) de las dolomías precámbricas concuerda con la que presenta el mármol dolomítico de contacto y las zonas de skarn del contacto intrusivo que varía presentando altas concentraciones de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Las asociaciones mineralógicas en la aureola de metamorfismo son para: el mármol dolomítico (lizardita y antigorita); exoskarn (vesuvianita, andradita, antigorita, wollastonita y flogopita rica en BaO) y endoskarn (grosularita y flogopita rica en BaO), mostrando variedades con composiciones de alto contenido en Mg consistentes con las rocas dolomíticas que conforman el protolito.

**Palabras clave:** Metamorfismo de contacto, Sonora, Skarn, Larámide

## NUEVAS CONTRIBUCIONES PARA DELIMITAR ESPACIAL Y TEMPORALMENTE EL ARCO MAGMÁTICO CORDILLERANO DEL NW DE MÉXICO (SONORA Y CHIHUAHUA): ALGUNAS IMPLICACIONES TECTÓNICAS.

Iriondo Alexander<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Querétaro, Qro., 76230, México

[iriondo@geociencias.unam.mx](mailto:iriondo@geociencias.unam.mx)

### Resumen

Gracias al descubrimiento de granitoides pérmicos en el noroeste de Sonora, se ha propuesto que el inicio de la subducción y, por consiguiente, el establecimiento del arco magmático cordillerano en el NW de México comenzó ~284 Ma (Cisuraliense). Este magmatismo parece haberse mantenido de forma continua en la región por lo menos hasta el Aptiense-Albiense, con la excepción de lo que pareciera ser un *gap* magmático entre ~220–192 Ma.

Este pequeño lapso de tiempo, sin aparente magmatismo, lo consideramos de gran interés porque quizá simplemente represente un fenómeno de falta de muestreo regional por la evidente escasez de afloramientos. Durante gran parte del Cretácico, toda la región de Sonora y Chihuahua fue cubierta por secuencias carbonatadas de origen marino y posteriormente por rocas volcánicas cenozoicas asociadas al evento de la Sierra Madre Occidental. La subsecuente compartimentación regional por cuencas sedimentarias, asociadas a la extensión del *Basin and Range*, complica aún más esta situación de escasez de afloramientos del magmatismo cordillerano del Mesozoico.

En esta plática se presentan nuevos fechamientos de U-Pb en zircones de una roca volcánica en la zona del Bámuri ( $191.6 \pm 1.3$  Ma) en Sonora y edades en Chihuahua de un canto volcánico en un conglomerado en Sierra Mojina ( $207.8 \pm 2.6$  Ma) y un xenolito en la ignimbrita de la Cascada de Basaseachic ( $234.2 \pm 1.3$  Ma); por último, una edad de ignimbrita en Plomosas ( $171.7 \pm 0.6$  Ma).

Comúnmente se ha considerado que el margen SW de Norte América ha sido truncado por fallas o sistemas de fallas de gran magnitud. El caso más relevante es la idea de la existencia de la megacizalla Mojave-Sonora (hMSM), supuestamente activa durante el Jurásico tardío, o también la menos conocida falla transformante California-Coahuila (CCT) activa desde finales del Pérmico hasta el Triásico medio. Si finalmente se demuestra que existe un continuo del magmatismo desde el Pérmico hasta el Cretácico temprano podríamos descartar la posibilidad de que este tipo de desplazamientos latitudinales hubieran sucedido en el NW de México. La delimitación espacial y temporal de este pulso magmático cordillerano en la región podrá poner a prueba estas ideas.

**Palabras clave:** magmatismo, arco cordillerano, tectónica, Sonora y Chihuahua, NW de México.

## **GEOQUÍMICA Y GEOCROLOGÍA DEL PÓRFIDO MONZONÍTICO CRETÁCICO TARDÍO DEL CERRO GASOLINERA, NORTE DE CABORCA SONORA, MÉXICO: UNA MARCA DEL MAGMATISMO ADAKÍTICO LARAMÍDICO.**

**PAZ-MORENO Francisco Abraham<sup>\*1</sup>, IZAGUIRRE-POMPA Aldo<sup>2</sup>, IRIONDO  
Alexander<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora, <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Geociencias, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, <sup>3</sup>Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Qro.

[francisco.paz@unison.mx](mailto:francisco.paz@unison.mx)

### **Resumen**

Los afloramientos del Cerro Gasolinera se localizan ca.10 km al norte de la Ciudad de Caborca, NW de Sonora. Ocurren a manera de lomeríos bajos aislados y de bajas altitudes (máxima 410 m.s.n.m.) que en su conjunto representan una superficie <2 Km<sup>2</sup>. Intrusionan a las calizas dolomíticas con estromatolitos del Precámbrico y a los conglomerados-areniscas del mesozoico y están cubiertos por el volcanismo intermedio-ácido Oligo-Mioceno.

Se trata de rocas porfídicas hipabisales leucocráticas con Pl-Anf-Biot en fenocristales y la matriz con la misma mineralogía ± Qz y FAlc y óxidos de Fe-Ti, con alteración en la biotita y escasos parches de epidota.

El estudio geocronológico se realizó combinando dos métodos radiométricos de manera eficaz, que arrojaron:  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  en anfíbol ( $75.9 \pm 0.4$  Ma) y U-Pb en circones ( $76.3 \pm 0.4$  Ma), típicos de la orogenia Larámide.

El diagrama de TAS ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )/ $\text{SiO}_2$  aplicado para rocas intrusivas (Middlemost, 1994) con la línea discriminante (Irvine & Baragar, 1971), clasifica a estas rocas como: monzonita próximas a la monzonita de cuarzo y dentro del dominio de las series subcalcalinas. Su afinamiento con  $\text{SiO}_2$  / (FeO<sub>t</sub>/MgO) (Myashiro, 1974) las ubica dentro de la serie calcoalcalina, con carácter en potasio de medio a alto según Le Maitre et al., 1989. El diagrama multielemental normalizado a manto primitivo de Sun & McDonough (1989) para estas rocas, muestra una marcada anomalía negativa en  $\text{TiO}_2$ , en (Nb-Ta)/Ba, característicos de magmas asociados a la subducción, que para el caso y dada la edad obtenida sería un ambiente de Margen Continental Activo, confirmado por su baja relación  $\text{Th}/\text{Ta} < 20$  (8-11). A pesar de su avanzado nivel de diferenciación: intermedio a ácido  $\text{SiO}_{2\text{N}}$  (62-63%), no presentan anomalía negativa en Eu como era de esperarse.

Un diagnóstico detallado de 5/7 análisis de roca total (óxidos mayores y trazas) representativos de los afloramientos monzoníticos, muestran características singulares y consistentes con los margmas adakíticos:

$\text{Sr}/\text{Y} > 50$  (56-119);  $\text{Sr}/\text{Yb} > 500$  (544-1216);  $\text{La}/\text{Yb} > 9$  (20-30);  $\text{Y} < 18$  (9.4-12.6);  $\text{Yb} < 1.9$  (0.9-1.21); Sr alto (974-1235);  $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15$  (16.3-17.5);  $\text{MgO} < 3.0$  (1.92-2.44).

**Palabras Clave:** Pórfido monzonítico, Cretácico tardío, laramídico, calcoalcalino, adakititas.

## **GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS SILICICLÁSTICAS DE LA FORMACIÓN SIERRA DE SANTA ROSA, SONORA, MÉXICO.**

**Jocelyn Galindo-Ruiz<sup>1\*</sup>, Jayagopal Madhavaraju<sup>2</sup>, Erik Ramírez-Montoya<sup>3</sup>,  
Carlos M. González-León<sup>2</sup>, Francisco J. Grijalva–Noriega<sup>4</sup>**

1Maestría en Ciencias Geología, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora 83000, México. 2Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora 83000, México. 3Posgrado en Ciencia de la Tierra, Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora 83000, México. 4Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora 83000, México

[Jocy\\_galindo@hotmail.com](mailto:Jocy_galindo@hotmail.com)

### **Resumen**

Las rocas sedimentarias del Grupo El Antimonio se encuentran expuestas cerca de la ciudad de Caborca, en el noroeste de Sonora. El Grupo consiste en las formaciones Antimonio, Río Asunción y Sierra de Santa Rosa, desde la base hasta la cima respectivamente. Se estudiaron los óxidos mayores y elementos traza, incluyendo los elementos tierras raras, en las rocas siliciclásticas de la Formación Sierra de Santa Rosa, expuestas en la Sierra El Álamo, para inferir las características de la roca fuente. Geoquímicamente, las areniscas y lutitas se clasifican como wacka, arcosa y lutita. Los valores del índice químico de alteración (CIA) y el diagrama ternario A-CN-K indican que las rocas originales de las areniscas y lutitas experimentaron una intensidad de meteorización química de baja a moderada en la región fuente. La concentración de elementos de tierras raras (REE) varió significativamente entre areniscas y lutitas. Se presentaron



patrones de enriquecimiento en LREE y un plano en HREE con anomalías negativas de europio en areniscas y lutitas. Las relaciones de  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ , los diagramas de patrones REE normalizados con condrita, bivariados y ternarios, así como los diagramas de función discriminante indican que los materiales terrígenos probablemente fueron erosionados de rocas de origen félsico e intermedio.

**Palabras clave:** Geoquímica; Procedencia; Grupo El Antimonio; Sierra El Álamo; Sonora.

## FECHAMIENTOS DE TERMOCRONOLOGÍA POR TRAZAS DE FISIÓN MEDIANTE ABLACIÓN LASER ICP-MS Y CONTEO DIGITAL EN LA REGION CENTRO-NORTE DE SONORA, MÉXICO.

Lugo Zazueta, Raúl Ernesto<sup>\*1</sup>; Calmus, Thierry<sup>2</sup>; Carrizoza Terrones, Francisco Javier<sup>3</sup>; Valencia Moreno, Martín<sup>2</sup>; Ochoa Landín, Lucas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora. <sup>2</sup>Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>3</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México.

[raul.lugo@unison.mx](mailto:raul.lugo@unison.mx)

### Resumen

El uso de microscopía digital y de cámaras de alta definición, combinado con el análisis por ablación láser y espectrometría de masas de plasma inductivamente acoplado (LA-ICP-MS), ha permitido la implementación de una nueva metodología para el fechamiento termocronológico por trazas de fisión. Dicha metodología, denominada “Conteo Digital y LA-ICP-MS”, tiene como una de sus mayores ventajas obtener resultados en un corto tiempo, al no ser necesaria la irradiación neutrónica requerida en la metodología del detector externo, la cual puede tardar hasta 4 meses debido a la irradiación de las muestras y al enfriamiento radiactivo. Por lo anterior, la realización de fechamientos por “Conteo Digital y LA-ICP-MS” puede realizarse en un lapso de dos semanas, con una mayor precisión en los conteos y las mediciones de las trazas de fisión sobre imágenes de alta definición. Se ha utilizado el “Conteo Digital y LA-ICP-MS” para determinar la edad de procesos tectónicos de exhumación asociados a la extensión *Basin and Range* en

Sonora. Rocas intrusivas del Cretácico tardío y Cenozoico temprano localizadas en el centro-norte de Sonora han sido exhumadas durante dicha fase extensional y constituyen rasgos geomorfológicos importantes, como lo son las sierras de Aconchi y Mazatán. Se reconoce que la actividad de fallas normales de bajo ángulo o de *detachment* representan el principal mecanismo para la exhumación de rocas localizadas a profundidad como lo son los plutones laramídicos. Las edades trazas de fisión en apatitos obtenidas en estas sierras indican que la exhumación se hizo en dos etapas: una primera entre 26 Ma y aproximadamente 18 Ma, con una alta tasa de desplazamiento a lo largo de fallas de *detachment*; una segunda hasta aproximadamente los 12 Ma durante la cual se registra una exhumación de menor magnitud. Se interpreta que las secuencias sedimentarias sintectónicas derivadas de la exhumación, sufrieron también erosión durante las etapas finales de la extension Basin and Range.

**Palabras clave:** Termocronología, LA-ICP-MS, Basin and Range, Exhumación.

## **GEOLOGÍA DE LA SIERRA LOS MOCHOS, PUERTO LIBERTAD, SONORA, MÉXICO: ÉNFASIS EN EL MAGMATISMO NEÓGENO Y SU SIGNIFICADO CON EL PROTO-GOLFO DE CALIFORNIA.**

**Gómez-Valencia Alejandra Marisela<sup>1, 2</sup>; Vidal-Solano Jesús Roberto<sup>3</sup>, Vega-Granillo Ricardo<sup>3</sup> y Carranza-Hernández Orlando<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Estación Regional del Noroeste ERNO-UNAM. <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora. <sup>3</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora. <sup>4</sup>Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, Taxco el Viejo, Universidad Autónoma de Guerrero.

### **Resumen**

La Sierra Los Mochos (SLM) se localiza a 45 Km al SW del poblado costero de Puerto Libertad, dentro del municipio de Pitiquito, Sonora. Presenta una extensión de 13 Km y su mayor elevación es de 640 msnm. La SLM presenta un basculamiento general al W y es fuertemente disectada por fallas asociadas a un evento extensión oblicua sobre puesto a uno ortogonal, lo cual provoca de manera general, la repetición de algunas unidades litológicas. Se aprecia de manera general direcciones preferenciales NW-SE y NNW-SSE con echados generales hacia el NE y SE. La cartografía geológica y el estudio petrográfico, geoquímico y de geocronología U/Pb, permitió establecer 9 grupos petrológicos: (1) granitoides Laramídicos; (2) volcanismo tipo Sierra Madre Occidental; (3) conglomerado tipo Báucarit con uno de sus miembros volcánicos de arco; (4) volcanismo explosivo asociado a las etapas finales del arco; (5) depósitos ignimbríticos distales relacionados al rift; (6) conglomerados superiores; (7)

volcanismo de rift con tendencia adakítica; (8) volcanismo toleítico de rift; y (9) volcanismo alcalino de rift con peperitas ultrapotásicas. Los rasgos geoquímicos del magmatismo estudiado hasta el momento para la Sierra Los Mochos, permite una clara distinción entre rocas orogénicas y anorogénicas. Estos rasgos los proporcionan principalmente las altas concentraciones en  $Al_2O_3$ , CaO y MgO en las primeras, y de  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  y  $K_2O$  en las segundas. En cuanto a los elementos traza, los mejores discriminantes son el V, Zr y el Sr, siendo este último elemento, el que marca una total separación entre los grupos magmáticos, ya que en las rocas orogénicas se encuentra mayormente concentrado. Esta característica aporta un carácter adakítico y coincide con la alta ocurrencia de plagioclasa y anfíbol. Finalmente, se propone que la SLM exhibe un registro completo de las unidades magmáticas asociadas, tanto con las etapas finales del arco volcánico Oligoceno-Mioceno, posiblemente relacionado con la subducción de las microplacas Soledad y Arguello, como con parte del rifting Mioceno medio-superior en la porción norte del Proto-Golfo de California.

## EVOLUCIÓN TECTONO-MAGMÁTICA DURANTE EL MIOCENO MEDIO-TARDÍO EN LA REGIÓN SUR DE LA SIERRA LIBRE, SONORA, MÉXICO.

Pérez-Aguilar Lidio <sup>\*1</sup>, Vidal-Solano Jesús Roberto <sup>1</sup>, Alva-Valdivia Luis Manuel <sup>2</sup>, Vega-Granillo Ricardo <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

<sup>2</sup>Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM, Cd. de México, México.

[lidgeolo@gmail.com](mailto:lidgeolo@gmail.com)

### Resumen

La Región Sur de la Sierra Libre (RSSL), localizada aproximadamente a 66 km al sur de Hermosillo, Sonora, en el interior de la Provincia Extensional del Golfo (PEG), forma parte de la actividad magmática hiperalcalina registrada durante el Mioceno Medio en el NW de México, y presenta un registro de eventos magmáticos entre los ~22 y ~8 Ma, teniendo su máxima manifestación entre 12 y 11 Ma, con vestigios que comprenden cuerpos subvolcánicos, coladas lávicas, domos, diques y depósitos piroclásticos de gran volumen. El magmatismo inicia con la efusión de lavas de arco (~22 a ~14 Ma) compuestas por andesita basáltica dolerítica de Olivino, Andesita de hornblenda y latita, y termina con cinco procesos de magmatismo syn-rift: (1) el emplazamiento a los ~12 Ma de un Granófiro en las rocas anteriores; (2) un evento, tanto efusivo como explosivo, de composición riolítica y afinidad hiperalcalina, mismo que destaca por su amplio espesor, volumen, y por contener al marcador estratigráfico denominado Ignimbrita de Hermosillo/Toba de San Felipe; (3) derrames probablemente fisurales, de

andesitas basálticas y basaltos; (4) un segundo evento ácido representado por diques hipovolcánicos de bordes vítreos, o de textura granofírica, emplazados en fallas o grietas de tensión de rumbo general N y NW; y (5) una última fase efusiva (11-8 Ma), que dio origen, primeramente a depósitos lávicos pertenecientes a traquitas y riolitas y, finalmente a andesitas islandíticas. La geoquímica de elementos mayores y trazas, permitió distinguir la naturaleza de los magmas involucrados en los dos contextos tectónicos, donde, por un lado, los más antiguos fueron de naturaleza calcoalcalina y asociados a un contexto de arco volcánico continental y, por otra parte, los magmas syn-rift inicialmente contaron con una firma de tipo transicional, que evolucionó a una de tipo toleítico al final del volcanismo en el Mioceno tardío.

**Palabras clave:** Sierra Libre, Sonora, riolitas hiperalcalinas, volcanismo syn-rift.



## **LOS INTRUSIVOS HIPABISALES RELACIONADOS AL RIFT OBLICUO DEL MIOCENO SUPERIOR EN SONORA, MÉXICO: PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA.**

**Velderrain Rojas, Luis Alonso\*1, Vidal Solano, Jesús Roberto2, Alva  
Valdivia, Luis Manuel3, Vega Granillo, Ricardo2**

1 Instituto de Geología, ERNO-UNAM, Hermosillo, Sonora, México. 2  
Departamento de Geología, UNISON, Hermosillo, Sonora, México. 3 Laboratorio  
de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM, CDMX México.

[Luis1523@hotmail.com](mailto:Luis1523@hotmail.com)

### **Resumen**

En la Costa Sur de Sonora, México, se ha puesto en evidencia en distintas localidades (Guaymas, San Carlos Nuevo Guaymas, Empalme), un intrusivo hipabisal miocénico de características litológicas similares. En campo, estos cuerpos, con grandes espesores, se encuentran emplazados en la secuencia volcánica del Mioceno y se exponen como lomeríos aislados con orientaciones N-S y NE-SW. Las características de campo, permiten definir una petrofábrica subhorizontal y proponer a estos intrusivos como cuerpos tabulares horizontales o sills. Las características petrográficas permiten correlacionarlos, en diferentes localidades, por presentar siempre una mineralogía anhidra y nombrarlos como granófiros, por presentar en la matriz texturas de intercrecimiento Qz+FA. Los datos geoquímicos ponen en realce su carácter ácido y muestran una relación genética con el volcanismo miocénico de la región costera y una diferencia con los intrusivos orogénicos expuesto como el basamento de la región. Las edades geocronológicas U-Pb en zircones, de 3 muestras, presentan una consistencia,

165

ubicando a estos cuerpos al Mioceno Superior, concordantes con edades Ar-Ar de la literatura. La distribución espacio-temporal de este magmatismo y su deformación, muestra por un lado, que es de tipo sin-Rift, y por otro, que la tectónica en la región, fue de tipo transtensional dextral. Por último, de acuerdo a la edad de este evento tectónico, en comparación con el reportado en la región norte del Golfo de California (Darín et al., 2016), se establece que el Rift oblicuo comenzó antes en la región centro del Golfo de California, correspondiendo así a una etapa temprana del Proto-Golfo.

**Palabras claves:** Guaymas, granófiro, transtensión dextral, rift oblicuo, Proto-Golfo

## **GEOLOGÍA DE LA PORCIÓN SUR DE LA ISLA ÁNGEL DE LA GUARDA, GOLFO DE CALIFORNIA: CONSIDERACIONES PETROTECTÓNICAS PARA LA FORMACIÓN DE MICROCONTINENTES**

**Adriana Piña-Páez<sup>1</sup>. Leah Sabbeth<sup>2</sup> Joann M. Stock<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Universidad de Sonora. <sup>2</sup>California Institute of Technology

[a215209030@alumnos.unison.mx](mailto:a215209030@alumnos.unison.mx)

### **Resumen**

En las principales cuencas oceánicas del planeta se han detectado decenas de microcontinentes, una característica de estos bloques corticales es que su formación data de millones de años. Un ejemplo es el bloque continental de Isla Ángel de la Guarda (IAG) en el Golfo de California, ubicado en el límite de las placas Pacífico-Norte América (PAC-NAM). La importancia tectónica de IAG en relación con el Golfo de California se debe a que se encuentra entre una zona de deformación transtensional delimitada por las fallas transformantes que acomodaron la mayor parte del desplazamiento durante la apertura del Golfo de California. En general, la geología del bloque continental IAG comprende un basamento subyacente por una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias neógenas, que documentan el cambio de un régimen de subducción, con volcanismo de arco, a uno transtensivo, con un volcanismo de composición diversa. El análisis petrográfico y geoquímico de las diferentes unidades volcánicas en la porción sur de la IAG, muestran que el volcanismo es más diverso que en el resto de la isla y, varía en composición de félsico-intermedio a intermedio-máfico. Lo cual permite inferir que la diversificación del volcanismo en el sur de IAG es producto de la proyección de las fallas transformantes que

controlan las cuencas pull-apart en esta zona de la isla. **Palabras clave:** Golfo de California, Isla Angel de la Guarda, PAC-NAM, Rifting, Transtensión.

## **NUEVAS EVIDENCIAS GEOLÓGICAS DEL MIOCENO SUPERIOR EN SAN CARLOS NUEVO GUAYMAS, SONORA, MÉXICO: IMPLICACIONES EN LA EVOLUCIÓN PETRO-TECTÓNICA DE LA PROVINCIA EXTENSIONAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA.**

**VIDAL-SOLANO Jesús Roberto <sup>1\*</sup>, Velderrain Rojas Luis Alonso <sup>2</sup>, Piña Páez Lillian Adriana<sup>1</sup>, Vega Granillo Ricardo<sup>1</sup>, Barreras Flores María Fernanda<sup>1</sup>, Bojorquez Lopez Denisse<sup>1</sup>, Mexia Duran Kevin<sup>1</sup> y Perez Gonzalez Luz Yazmin<sup>1</sup>.**

Departamento de Geología, Universidad de Sonora; <sup>2</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México.

[jrvidal@ciencias.uson.mx](mailto:jrvidal@ciencias.uson.mx)

### **Resumen**

El NW de México presentó, durante el Mioceno, un cambio geológico mayor, que fue regido por el cese de la subducción de las microplacas de Farallón y el nacimiento del límite divergente entre las placas Pacífico-Norte América, hasta desencadenar en el actual Rift del Golfo de California. Un estudio geológico de la secuencia volcánica miocénica en San Carlos Nuevo Guaymas, al sur del estado de Sonora, en la Provincia Extensional del Golfo de California, permitió establecer una distribución espacio-temporal de las unidades, su caracterización, evolución, así como su deformación. En el presente trabajo se reporta la ocurrencia de nuevas unidades magmáticas y sus relaciones de corte, que permiten considerar un historia geológica diferente a la hasta ahora documentada. Se trata de la presencia de un depósito ignimbrítico hiperlocalino extenso,

nombrado Toba de San Felipe-Ignimbrita de Hermosillo, de ca. 12Ma, que ha servido como un marcador estratigráfico para las primeras manifestaciones volcánicas asociadas al Rift continental y un referente para reconocer a la tectónica del Mioceno tardío en el NW de México. Esta unidad corresponde a un depósito distal, de entre 15 y 20m de espesor, conformado por una toba ligeramente porfírica de Feldespato Alcalino-Clinopiroxeno-Fayalita-Oxidos de Fe, poco soldada, con una base palagonitizada color naranja, sin presencia de un vitrófiro. Esta unidad, emplazada muy localmente por medio de paleocanales, ocurre fuertemente basculada y cubriendo discordantemente a rocas máficas e intermedias del arco Oligoceno-Mioceno (Grupo San Carlos, 28-15Ma). Sobreyaciendo discordantemente a lo anterior se encuentra la Formación El Parral (11-10Ma), constituida por coladas y depósitos piroclásticos félsicos, que son cortados por inyecciones hipovolcánicas intermedias con textura glomeroporfírica tipo *Turckey Track*, así como por diques y sills riolíticos con presencia de vidrio hacia los bordes de sus contactos. Las relaciones de corte entre los contactos de las unidades de la secuencia muestran que la tectónica fue sincrónica al magmatismo y que la deformación ocurrió en diferentes episodios de un régimen transtensional dextral, relacionado a un Rifting continental oblicuo, propiciando el emplazamiento de nuevos magmas como inyecciones en los depósitos volcánicos genéticamente asociados y previamente fallados.

## **GEOLOGÍA Y MODELO METALOGÉNÉTICO CONCEPTUAL DEL DISTRITO MINERO CENTELLA, SONORA CENTRAL, MÉXICO.**

**Willys Ortiz - Yaser Pavel<sup>1</sup>. Pérez Segura – Efrén<sup>2</sup>.**  
<sup>1,2</sup>Universidad de Sonora, Departamento de Geología.

### **Resumen**

El Distrito minero Centella se localiza en Sonora Central, México, a 60 km al noreste de la ciudad de Hermosillo, cubriendo una superficie de 6400 hectáreas.

En ésta zona afloran rocas sedimentarias de edad Paleozoico no diferenciado, constituidas por una alternancia de areniscas, calizas y lutitas las cuales presentan plegamiento y metamorfismo de contacto, suprayacida discordantemente por una secuencia volcánica de tobas intermedias a félsicas de posible edad Cretácico superior – Terciario inferior. Las anteriores son intrusionadas por una serie de cuerpos intrusivos de textura fanerítica y porfídica de composición que varía de granito-granodiorita y monzonita-monzodiorita, seguida por intrusiones de porfidos graníticos y pequeños cuerpos hipabisales o subvolcánicos en forma de domos y diques de composición riolítica. La edad de las rocas intrusivas es probablemente Terciario inferior, de un origen similar al de las rocas volcánicas. Las rocas más jóvenes están representadas por ignimbritas y tobas de composición riolítica (¿Eoceno-Oligoceno?), sobreyacidas por rocas de la Fm. Baucarit (Mioceno) las cuales son coronadas por delgados horizontes de riolitas y basaltos.

En el Distrito Centella ocurren varias zonas de mineralización con concentraciones de Au, Ag, Pb, Zn y Cu dispersas en el área, la cual ocurre en vetas y stockworks con una tendencia estructural E-W y NW-SE, en cuerpos domicos y zonas de skarn.

El objetivo de este trabajo es definir la tipología específica de cada una de las zonas mineralizadas, interpretar el nivel espacial y temporal entre ellos mismos, y tratar de definir un modelo conceptual global que enmarque los yacimientos en espacio y tiempo, dentro de modelos metalogénicos modernos.

A la fecha, se ha hecho un mapeo geológico y de alteración hidrotermal a semidetalle en el área y se ha hecho petrografía y geoquímica de roca total con el fin caracterizar las rocas de la zona. Para la mineralización se llevó a cabo un muestreo en las estructuras principales y en zonas de alteración, así como muestreo en las estructuras mineralizadas para un estudio de microtermometría con el objeto de investigar la temperatura de formación y composición de los fluidos mineralizantes.

**Palabras Clave:** Yacimientos minerales de Sonora, Depósitos Epitermales



## ***ARTÍCULOS EN EXTENSO***

## Area temática Biogeoquímica

### ESTABILIZACIÓN BIOGEOQUÍMICA DE JALES MINEROS GENERADORES DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA UTILIZANDO ROCA CALIZA Y UNA CUBIERTA VEGETAL

Labastida Núñez Israel\*<sup>1</sup>, Sánchez Gómez Víctor Hugo<sup>1</sup>, Armienta Hernández  
María Aurora<sup>2</sup>, Beltrán Villavicencio Margarita<sup>1</sup>, Álvarez Zeferino Juan  
Carlos<sup>1</sup>, Sotelo Navarro Perla X.<sup>1</sup>, Lara Castro René H.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, Departamento de  
Energía, 02200, Ciudad de México, México

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 04510, Ciudad  
de México, México

<sup>3</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas,  
Durango, Durango.

[\\*iln@correo.azc.uam.mx](mailto:*iln@correo.azc.uam.mx)

#### RESUMEN

En este trabajo se evaluó a escala laboratorio, la factibilidad de disminuir el impacto ambiental de jales mineros intemperizados de Zimapán, Hidalgo, estabilizándolos biogeoquímicamente. Lo anterior se logró mediante dos estrategias: la primera consistió en incrementar el pH de los lixiviados utilizando roca caliza local, con lo que se disminuyó la concentración de hierro soluble, característica del drenaje ácido de mina, y la segunda mediante el crecimiento de una cubierta vegetal formada por una mezcla de pasto para coadyuvar en el

proceso de remediación. Adicionalmente, considerando la importancia de los microorganismos en los ciclos biogeoquímicos y en el crecimiento de la planta, se cuantificaron bacterias mesófilas aerobias y hongos. El estudio se realizó en diferentes sustratos como: caliza-jal (en diferentes proporciones), caliza (control positivo 1), suelo local (control positivo 2) y jal (control negativo). El uso de suelo local, tuvo la finalidad de conferirle mejores condiciones de crecimiento a la especie vegetal y a la actividad microbiana rizosférica. Los experimentos se realizaron en rizotrones bajo condiciones de invernadero. Los resultados mostraron una disminución considerable en la concentración de hierro soluble, disminuyendo de 12 900 mg/kg hasta valores entre ~0.1 y 0.22 mg/kg, hecho atribuido a una sinergia entre la caliza y la especie vegetal. En los distintos sustratos, se obtuvo crecimiento vegetal, alcanzando longitudes hasta de 11 cm, con generación de biomasa y también se presentó actividad microbiana rizosférica, con excepción de los jales en donde no existió crecimiento vegetal ni actividad microbiana de hongos y bacterias mesófilas aerobias.

**Palabras clave:** impacto ambiental, mezcla de pasto, microorganismos, rizósfera, suelo

## ABSTRACT

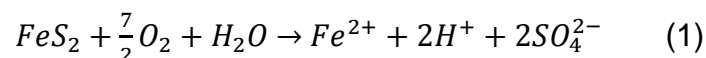
In this work, the feasibility of reducing the environmental impact of weathered mine tailings in Zimapán, Hidalgo was evaluated at a laboratory scale by biogeochemical stabilization. This was achieved by implementing two strategies: the first was to increase the pH of the leachate using local limestone, which decreased the concentration of soluble iron, characteristic of acid mine drainage, and the second by the growth of a vegetation cover formed by a grass mixture to assist in the remediation process. Additionally, considering the importance of microorganisms in the biogeochemical cycles and in the plant growth, mesophilic

aerobic bacteria and fungi were quantified. The study was carried out in different substrates such as: limestone-tailings (in different proportions), limestone (positive control 1), local soil (positive control 2) and tailings (negative control). The use of local soil had the purpose of conferring better conditions to the plant growth and to the rhizospheric microbial activity. The experiments were performed in rhizotrons under greenhouse conditions. The results showed a considerable decrease in the concentration of soluble iron, decreasing from 12 900 mg/kg to values between ~0.1 y 0.22 mg/kg, this was attributed to a synergy between limestone and plant species. In the different substrates, plant growth was obtained, reaching lengths of up to 11 cm, biomass was produced, and rhizospheric microbial activity was also present in all the substrates except in tailings, where no plant growth or microbial activity of fungi or aerobic mesophilic bacteria were observed.

**Key words:** environmental impact, grass mixture, microorganisms, rhizosphere, soil

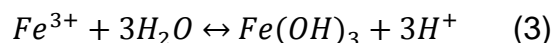
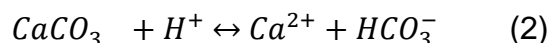
## INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental ocasionado por las actividades mineras ha retomado relevancia en los últimos años. Entre ellos se encuentra la problemática asociada a la generación del drenaje ácido de mina (DAM), que consiste en un efluente con altas concentraciones de metales pesados (incluyendo arsénico), sulfatos y un pH ácido. Su formación proviene principalmente del intemperismo químico de los jales mineros; por ejemplo, la oxidación de minerales como la pirita (entre otros), ha sido ampliamente reportada en varios estudios (Blowes *et al.*, 2005; Kefeni *et al.*, 2017) (Ec.1):



Como puede apreciarse en la Ec. 1, existen tres indicadores principales de la presencia de DAM, hierro en el efluente, un pH ácido y sulfatos. Por ello, se han

desarrollado diversas estrategias convencionales para su control, entre ellas los sistemas de remediación pasivos, los cuales son un método para tratar directamente el DAM proveniente de la presa de jales (Younger *et al.*, 2002; Johnson and Hallberg, 2005, Kefeni *et al.*, 2017). En estos sistemas el efluente atraviesa una barrera compuesta por diversos materiales, los cuales promueven la separación de los contaminantes. Las barreras pueden estar rellenas de materia orgánica, roca caliza o algunos otros materiales; recientemente Torres *et al.* (2018) propusieron el uso de roca caliza y carbonato de bario para la eliminación de sulfatos y metales del DAM. Otras alternativas de tratamiento consisten en la aplicación directamente de reactivos químicos, conocidos como tratamientos activos (Skousen *et al.*, 2000). No obstante, aunque ambos sistemas pueden ser eficientes, en ocasiones es necesario contar con otras alternativas que mitiguen el problema directamente desde la fuente. Entre éstas se encuentra la estabilización biogeoquímica de las presas de jales, compuesta por una sinergia entre un proceso geoquímico y uno biológico. Por ejemplo, puede considerarse como material el  $\text{CaCO}_3$ , ya que su disolución contribuye a la neutralización de la acidez del DAM (Ec. 2), a su vez, el incremento del pH promueve la hidrólisis del Fe(III) (Ec. 3) (Cravotta, 2008).



Tanto el incremento del pH como la formación de hidróxidos férricos contribuyen a la retención de elementos tóxicos por fenómenos de precipitación, coprecipitación y adsorción). Por su parte, la cubierta vegetal contribuye de diferentes formas: evita el transporte de los jales por escurrimientos superficiales, lo que disminuye a su vez la formación de escorrentías; además, las plantas son capaces tanto de fitoestabilizar los metales en la rizósfera (fitoestabilización) como de extraerlos a su parte aérea (fitoextracción). En esta zona también existen comunidades de

microorganismos que contribuyen al crecimiento de la planta (Mummey, 2002), por lo que también es importante monitorear la actividad microbiológica. En la literatura se han reportado distintos materiales para alcanzar una adecuada fitoestabilización en las presas de jales, entre los que se encuentra el uso de suelo rico en materia orgánica, de composta o de biosólidos (Brown *et al.*, 2003; Otemhof *et al.*, 2007; Méndez y Maier, 2008; Gil-Loaiza *et al.*, 2016). En el trabajo de Brown *et al.*, (2005) se combinaron biosólidos con roca caliza para remediar una presa de jales. Incluso Wu *et al.*, (2011), realizó un estudio similar al propuesto en el presente trabajo, combinando roca caliza con suelo y la planta *Jatropha curcas L.* para fitoestabilizar jales mineros ácidos. No obstante, la conjunción de roca caliza local, suelo y plantas para estabilizarlos, involucrando el monitoreo de la actividad microbiológica no ha sido suficientemente estudiada. Por ello, en este trabajo se realizó una investigación exploratoria, para utilizar dichos materiales con objeto de estabilizar biogeoquímicamente jales reportados como altamente generadores de DAM (con concentraciones altas de Fe y un pH ácido) del municipio de Zimapán, Hidalgo.

## ÁREA DE TRABAJO, MÉTODOS ANALÍTICOS Y MATERIALES

### Obtención de las muestras de jales, rocas y suelo

Los jales se obtuvieron de la presa de jales denominada Compañía Minera Zimapán (CMZ), la cual ha sido reportada como generadora de DAM, en las coordenadas geográficas 20°43'31.4 N, 99°23'12.5 W (Labastida *et al.*, 2013a). Las rocas calizas se colectaron en la Formación Tamaulipas y fueron nombradas KIT1, en las coordenadas geográficas 20°46'15.476 N, 99°24'59.354 W. El suelo nativo fue colectado en un terreno aledaño a la presa de jales llamada San Miguel Viejo, este suelo ha sido reportado como contaminado por arsénico y plomo por Armienta *et al.* (2015), sus coordenadas geográficas fueron 20°43'35.28 N, 99°23'54.94 W. La presa de jales y el suelo son mostrados en las Figuras 1a y 1b.

177



a)



b)



Figura 1. a) Imagen satelital de la presa de jales CMZ, el color que presenta es representativo del estado de intemperismo en el que se encuentra. b) Suelo del sitio, utilizado para los experimentos de estabilización biogeoquímica.

### **Caracterización fisicoquímica de los jales, suelo y rocas calizas**

Las muestras de suelo fueron secadas al ambiente, homogeneizadas y tamizadas a un tamaño de partícula de 2 mm. También fueron sometidas a una digestión ácida de acuerdo con la NOM-147-SEMARNAT-2004, utilizando una mezcla de ácidos nítrico y clorhídrico. Los jales de mina de CMZ han sido reportados como oxidados y generadores de DAM (Labastida *et al.*, 2013a), en el presente estudio únicamente se evaluó la generación de hierro soluble ( $Fe_s$ ) característica del DAM. Para ello, se siguió el protocolo de extracción de la fase soluble establecido en la NOM-141-SEMARNAT-2003, con interacción de los jales con una solución extractante a pH de 5.5. Esta prueba se realizó al inicio y al final del experimento para conocer la remoción del  $Fe_s$ . Una vez realizada la extracción del  $Fe_s$ , éste fue determinado por el método de la Fenantrolina, con un coeficiente de correlación de 0.994 en la curva de calibración. El contenido de  $CaCO_3$  de la roca



caliza (77%) y su mineralogía, fue reportado anteriormente por Labastida *et al.* (2017).

### Pruebas de viabilidad

Como especie vegetal se utilizó una mezcla de pastos: cañuela roja o festuca encarnada (*Festuca rubra*), zacate bermuda (*Cynodondactylon*), zacate italiano o criollo (*Loliummultiflorum*) y pasto gigante o pasto elefante (*Pennisetum spp*). Se realizaron pruebas de viabilidad con el protocolo OCDE 208 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2006). Se colocaron 20 semillas en una caja Petri con algodón y se adicionaron 20 mL de agua destilada. Fueron mantenidas a una temperatura constante de 25°C en una incubadora Millipore, por un tiempo de 96 h. Una vez transcurrido este tiempo, se verificó que el porcentaje de germinación fuera igual o mayor al 70%. Estas pruebas se realizaron por triplicado.

### Diseño experimental

Se prepararon distintos sustratos por quintuplicado en rizotrones, los cuales se especifican en la Tabla 1, con y sin presencia de especie vegetal. La experimentación tuvo una duración de 41 días.

Tabla 1. Composición porcentual de los sustratos utilizados para la estabilización biogeoquímica.

Muestras	Cultivo vegetal	Suelo (%)	Jales (%)	Carbonato de calcio (%)
M1	con	50	20	30
M2		50	40	10
M3		Control positivo 100%	--	--
M4		--	Control negativo	--

			100%	
M5		--	--	Control positivo 100%

Para determinar si el pasto contribuyó en la retención del Fe, se realizaron a la par, otra serie de experimentos bajo las mismas condiciones que los presentados en la Tabla 1, con la diferencia de que no se sembró la especie vegetal.

### Montaje y monitoreo

Las dimensiones de los rizotrones fueron de 30 cm de altura y 6 cm de diámetro. No obstante, para disminuir la cantidad de jales utilizada, 20 cm de los rizotrones fueron rellenos con material inerte como agrolita, disminuyendo la altura efectiva a 10 cm. Una vez disponible el rizotrón con el respectivo sustrato, se sembró 1 gramo de semillas de pasto y el cuerpo del rizotrón se envolvió con papel opaco para evitar inhibición por la luz solar en el crecimiento de las raíces de la planta. Los cultivos se regaron diariamente, manteniendo una humedad a capacidad de campo menor al 80% y mayor al 40%. Durante el tratamiento se monitoreó la temperatura del invernadero utilizando una USB Lascar Easy Log Data Logger, la cual se programó para medir la temperatura cada 6 h durante todo el experimento. Finalmente, se cuantificó la altura promedio de la parte aérea y de la raíz del pasto y su biomasa, así como la concentración de Fe<sub>s</sub>, como se mencionó anteriormente. En los cultivos en donde no se sembró la especie vegetal sólo se desmontó el rizotrón y se analizó la concentración de Fe<sub>s</sub>.

### Análisis microbiológico

En los cultivos que generaron mayor biomasa se realizaron análisis microbiológicos de hongos y bacterias mesófilas aerobias. Para ambos casos se aplicó la técnica de conteo en placa por diluciones seriadas hasta 10<sup>-4</sup>, se utilizó

agar extracto de papa y agar nutritivo para hongos y bacterias respectivamente, cada dilución se sembró por triplicado.

## RESULTADOS

### Viabilidad de la especie vegetal y condiciones del invernadero

Durante las pruebas de viabilidad, se obtuvieron germinaciones superiores al 70%, que es el valor establecido por la OCDE, lo que indicó que las semillas fueron aptas para experimentación. Durante la experimentación, la temperatura promedio fue de 24.3° C, dentro del rango recomendado por la OCDE (22°C ± 10 °C), la humedad relativa promedio fue de 41.28%, ligeramente debajo del límite inferior recomendado por la OCDE (70±25%); no obstante, no se observaron problemas en el crecimiento asociados a condiciones del invernadero.

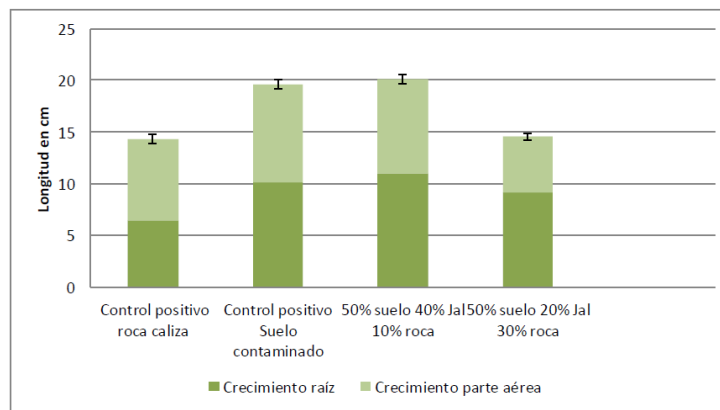
### Evaluación de la cubierta vegetal

En la Figura 2 se muestra el crecimiento del pasto en dos de los sustratos. No se observaron efectos negativos en la planta como clorosis o necrosis.



Figura 2. Crecimiento del pasto en dos sustratos distintos al finalizar el experimento.

En la Figura 3 se muestra el crecimiento longitudinal del pasto en los diferentes sustratos; como puede apreciarse, hubo crecimiento en todos ellos, con excepción del control negativo, constituido por jales. Las mayores longitudes en la parte aérea y en raíz, se registraron en la mezcla de 50% suelo, 40% jales y 10% roca y en el sustrato compuesto por suelo, con longitudes cercanas a los 10 cm para ambas partes de la planta (raíz y parte aérea).



**Figura 3. Crecimiento longitudinal del pasto en los distintos sustratos, se presenta el crecimiento en la parte aérea y en la raíz.**

En la Figura 4 se muestra la generación de biomasa en base seca, en los distintos sustratos, se observa que en los compuestos por 50% suelo, 20% jal y 30% roca caliza, así como en el compuesto únicamente por roca caliza se obtuvo la mayor generación de biomasa. Por lo tanto, de acuerdo con los resultados de la Figura 3, los sustratos que presentaron mayor crecimiento longitudinal total fueron los que presentaron menor generación de biomasa.

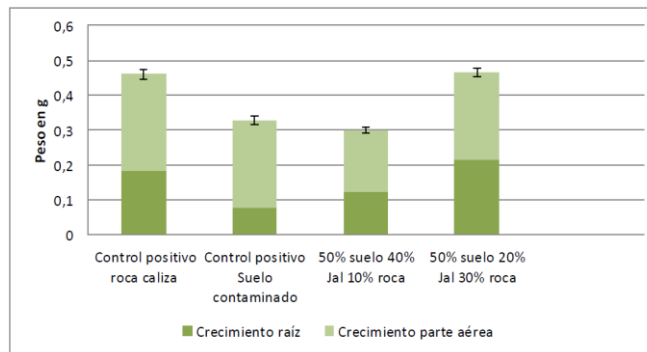
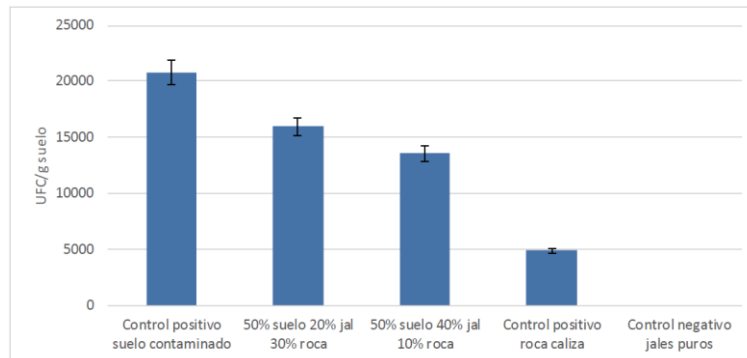


Figura 4. Generación de biomasa en los distintos sustratos, tanto en la parte aérea como en la raíz.

### Evaluación de la actividad microbiana rizosférica

Las Figuras 5a y 5b presentan la población de hongos y bacterias mesófilas aerobias al finalizar el experimento. Se aprecia una tendencia en general: a mayor concentración de jal se obtiene menor actividad microbiana. Por su parte, el suelo, pese a estar contaminado presentó la mayor concentración de hongos y bacterias. Los jales no presentaron actividad microbiana referente a mesófilas aerobias y a hongos.

a)



b)

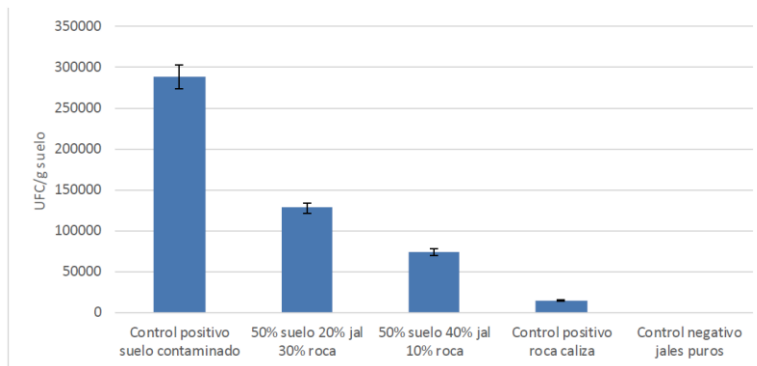


Figura 5. Población de hongos y bacterias mesófilas aerobias en los distintos sustratos al finalizar el experimento. 5a) Población de hongos, 5b) Población de bacterias

### Evaluación de la estabilización geoquímica del hierro soluble

La concentración de  $Fe_s$  en los jales al inicio del experimento alcanzó los 139 000 mg/kg de jal. Posteriormente a los tratamientos, las concentraciones solubles fueron menores a 0.43 mg/kg de jal en todos los sustratos, lo que representó una remoción de Fe cercana al 100% (exceptuando el control negativo). Por su parte, el pH se incrementó de 2.37 a valores entre 6.5 y 5.85 en los sustratos con contenido de jales, lo que indicó una neutralización en la acidez. Otro aspecto importante, es que, en los cultivos con presencia de cubierta vegetal, se obtuvo la menor concentración de  $Fe_s$  (Figura 6).

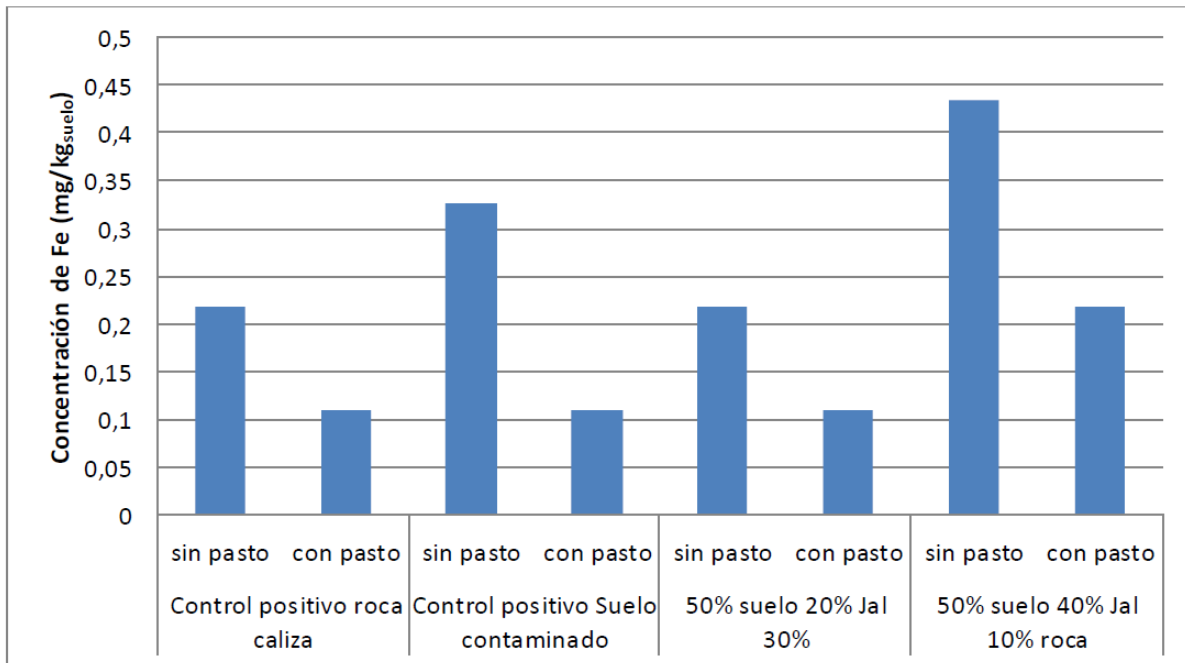


Figura 6. Concentración de hierro soluble en los distintos sustratos al finalizar el experimento. Con y sin presencia de pasto. Concentración inicial de hierro soluble de 139 000 mg/kg.



## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados indicaron que en todos los sustratos (con excepción de los jales), el impacto ambiental de los jales disminuyó considerablemente. El suelo utilizado en los sustratos, ha sido reportado como contaminado, con concentraciones de 641 mg/kg de As y 610 mg/kg de Pb (Armienta *et al.*, 2015), arriba de los límites máximos que establece la NOM-147-SEMARNAT-2004 (22 y 400 mg/kg de As y Pb respectivamente para suelos agrícolas); sin embargo, éste ha sido reportado como rico en materia orgánica, con un contenido medio de fósforo de fósforo (22.7 mg/kg) y con un pH representativo de suelos de ambientes áridos 7.51, factores que podrían haber contribuido en el desarrollo de la especie vegetal (Martínez *et al.*, 2016). Por otra parte, dicha materia orgánica podría haber contribuido en la retención de metales tóxicos, debido a su capacidad para complejarlos, disminuyendo su movilidad (Essington, 2004). Por su parte, la roca caliza fue esencial para neutralizar el pH, así también permite el crecimiento vegetal, de hecho, el control positivo con sólo caliza, presentó la mayor generación de biomasa aérea. El crecimiento de la especie vegetal directamente sobre la caliza podría deberse a que las rocas no fueron lavadas para su utilización como sustrato, por lo que probablemente presentaron elementos o compuestos químicos asociados a fases minerales solubles y necesarios para el crecimiento como sulfatos, hierro, sodio, potasio, entre otros, hecho que incluso podría haber favorecido también el crecimiento de los microorganismos. La estabilización geoquímica de los jales por la caliza podría haber sido influenciada por la reacción y formación de hidróxidos de hierro (Ec. 3), en los cuales pudieron haber coprecipitado elementos tóxicos o bien ser adsorbidos; las reacciones de complejos de superficie que involucran elementos tóxicos como Pb, As, Zn, Fe, sobre hidróxidos de hierro han sido ampliamente reportadas por Dzombak y Morel (1990). A pesar de que el sustrato con el mayor porcentaje de jales (40%)

presentó el pasto con mayor longitud (aunque menos grueso), la toxicidad de los jales fue evidenciada de diversas formas: no se obtuvo desarrollo vegetal ni de los microorganismos en el sustrato constituido únicamente por jales, el sustrato con mayor porcentaje de jales (40%) presentó una menor generación de biomasa en base seca (0.3 g) en comparación con el sustrato con 20% de jales (0.48 g). La población microbiana analizada disminuyó conforme se incrementó el porcentaje de jales. La toxicidad podría atribuirse al pH ácido y a la concentración de elementos potencialmente tóxicos, característica del DAM. No obstante, en el sustrato con 40% de jales se obtuvo actividad biológica, este hecho podría atribuirse a que dichas bacterias han desarrollado tolerancia a la presencia de elementos tóxicos, debido a que provienen de un suelo contaminado (Labastida *et al.*, 2013b). Por su parte, la especie vegetal contribuyó con la disminución del  $Fe_s$ , este hecho sugiere que también pudo contribuir en la estabilización de otros elementos tóxicos. De hecho, Ruiz *et al.* (2017) demostró que este tipo de pasto es capaz de fitoestabilizar elementos como antimonio. Los resultados obtenidos indicaron que la estabilización biogeoquímica propuesta es factible, por lo que en principio podría ampliarse el estudio que aquí se presenta considerando otras especies vegetales, o bien incluir el monitoreo de la concentración de elementos tóxicos presentes en los jales como el As.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armienta, M.A., Hernández-Viveros, J.A., Ramos-Villegas, J.A., Labastida-Núñez, I., Beltrán Villavicencio, M., Cenicerros, N., Cruz, O, Aguayo, A. (2015) Arsenic and heavy metals assimilation by corn grown near tailings. En E. Silva, A. Reis, y C.

Patinha (Eds.), *MedGeo 2015: book of abstracts of the 6<sup>th</sup> International Conference on Medical Geology* (pp. 133). Aveiro: UA Editora.

Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Jambor, J.L., Weisener, C.G. (2005) The geochemistry of acid mine drainage, En B.S. Lollar (Eds.), *Environmental Geochemistry Vol 9 Treatise on geochemistry* (H.D. Holland, K.K. Turekian Eds.) (pp. 149-195). Oxford: Elsevier-Pergamon

Brown, S., Sprenger, M., Maxemchuk, A. y Compton H. (2005) Ecosystem function in alluvial tailings after biosolids and lime addition. *Journal of Environmental Quality*, 34, 139-148. doi:10.2134/jeq2005.0139

Brown, S.L., Henry, Ch.L., Chaney, R., Compton H. y De Volder P.S. (2003) Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metal-contaminated mining areas. *Plant and soil*, 249, 203-215. doi:10.1023/A:1022558013310

Cravotta, C.A. (2008). Laboratory and field evaluation of a flushable oxic limestone drain for treatment of net-acidic drainage from a flooded anthracite mine, Pennsylvania, USA. *Applied Geochemistry*, 23, 3404-3422. doi:10.1016/j.apgeochem.2008.07.015

Dzombak D.A. y Morel F.M.M (1990) *Surface complexation model, hydrous ferric oxide*. New York: John Wiley & Sons.

Essington M. (2004) *Soil and water chemistry*. Boca Raton: CRC.

Johnson, D.B. y Hallberg K.B. (2005) Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of the total environment*, 338 (1-2), 3-14. doi:10.1016/j.scitotenv.2004.09.002

Gil-Loaiza, J., White, S.A., Root, R.A., Solís-Dominguez, F.A., Hammond, C.M., Chorove, J. y Maier R.M. (2016) Phytostabilization of mine tailings using compost-assisted direct planting: Translating greenhouse results to the field. *Science of the total environment*, 565, 451-461. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.04.168

Kefeni, K.K., Msagati, T.A.M. y Mamba, B. (2017) Acid mine drainage: prevention, treatment options, and resource recovery: a review. *Journal of cleaner production*, 151, 475-493. [doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.082](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.082)

Labastida, I., Armienta, M.A., Lara-Castro, R.H., Aguayo, A., Cruz O. y Cenicerros, N. (2013a) Treatment of mining acidic leachates with indigenous limestone, Zimapán, México. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 1187-1195. [doi:10.1016/j.jhazmat.2012.07.006](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.006)

Labastida-Núñez, I., Lázaro I., Celis, L.B., Razo-Flores, E., Cruz, R. y Briones-Gallardo, R. (2013b) Kinetic of biogenic sulfide production for microbial consortia isolated from soils with different bioaccessible concentrations of lead. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10, 827-836. [doi:10.1007/s13762-012-0123-x](https://doi.org/10.1007/s13762-012-0123-x)

Labastida, I., Armienta, M.A., Beltrán, M., Caballero, G., Romero, P. y Rosales, M.A. (2017) Limestone as a sustainable remediation option for water contaminated with fluoride, *Journal of Geochemical Exploration*, 183, part B, 206-213. [doi:10.1016/j.gexplo.2016.12.001](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.12.001)

Martínez, R., S., Beltrán, V.M., Armienta, H.M.A., Labastida, N.I., Velasco, P.M. y Cenicerros, B.N.E. (2016) *Asimilación de plomo en maíz (Zea mays L.) que crece en suelos cercanos a jales*. Memorias del 59° Congreso Internacional del Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables y el XXXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de AIDIS, Cartagena, Colombia.

Méndez, M.O. y Maier, R.M. (2008) Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7, 47-59. [doi:10.1007/s11157-007-9125-4](https://doi.org/10.1007/s11157-007-9125-4)

Mummey, D.L., Stahl, P.D. y Buyer, J.S. (2002a) Microbial biomarkers as an indicator of ecosystem recovery following surface mine reclamation. *Applied Soil Ecology*, 21, 251-259. [doi:10.1016/S0929-1393\(02\)00090-2](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(02)00090-2)

Ottenhof, C.J.M., Faz, C.A., Arocena, J.M., Nierop, K.G.J., Verstraten, J.M. y van Mourik, J.M. (2007) Soil organic matter from pioneer species and its implications to phytostabilization of mined sites in the Sierra de Cartagena (Spain). *Chemosphere*, 69, 1341-1350. [doi:10.1016/j.chemosphere.2007.05.032](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.032)

Ruiz, V.C.E., Beltrán, V.M., Armienta, H.M.A., Labastida, N.I. (2017) *Factibilidad de fitoestabilización de antimonio en suelos contaminados con jales de Zimapán, Hidalgo*. Memorias del 3er Congreso Nacional AMICA, Tabasco, México.

Skousen, J., Sextone, A. y Ziemkiewicz P.F. (2000) Acid mine drainage control and treatment. En R.I. Barnhisel, R.G. Darmody, W.L. Daniels (Eds.), *Reclamation of Drastically Disturbed Lands 2000* (pp. 140-150). Madison: American Society for Agronomy, pp. 140-150.

Torres E., Lozano A., Macías F., Gomez-Arias A., Castillo J. y Ayora C. (2018) Passive elimination of sulfate and metals from acid mine drainage using combined limestone and barium carbonate systems. *Journal of Cleaner Production*, 182, 114-123. [doi:10.1016/j.jclepro.2018.01.224](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.224)

Wu, Q., Wang, S., Thangavel, P., Li Q., Zheng, H., Bai, J. y Qiu, R. (2011) Phytostabilization potential of *Jatropha Curcas* L. in polymetallic acid mine tailings. *International Journal of Phytoremediation*, 13, 788-804. [Doi:10.1080/15226514.2010.525562](https://doi.org/10.1080/15226514.2010.525562)

Younger P.L., Banwart S.A., Hedin R.S. (2002) *Mine water-hydrology, pollution, remediation*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.442.

## Area Temática Geoquimiometría

### INTERACCIÓN ENTRE EL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA UTILIZANDO LOS DATOS DE ISOTOPOS ESTABLE EN LA REGIÓN DE CALERA, ZACATECAS, MÉXICO.

González-Trinidad J<sup>1\*</sup>; Júnez-Ferreira H.E<sup>1</sup>; Pacheco-Guerrero A.I<sup>1</sup>; Veyna-Gómez A.I<sup>1</sup>; Bautista-Capetillo C.F<sup>1</sup>; Zavala-Trejo M<sup>1</sup>; Hernández-Antonio A<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Docentes-Investigadores de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería. Av. Ramón López Velarde 801. Centro, Zacatecas, Zacatecas, México: [jgonza@uaz.edu.mx](mailto:jgonza@uaz.edu.mx); [hejunez@hotmail.com](mailto:hejunez@hotmail.com); [baucap@uaz.edu.mx](mailto:baucap@uaz.edu.mx); [anuard.pacheco@uaz.edu.mx](mailto:anuard.pacheco@uaz.edu.mx); [anai2130@hotmail.com](mailto:anai2130@hotmail.com); [mzaval73@yahoo.com.mx](mailto:mzaval73@yahoo.com.mx) <sup>2</sup> Centro del Agua para América Latina y el Caribe, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 64849 Monterrey, México; [heran@itesm.mx](mailto:heran@itesm.mx)

[jgonza@uaz.edu.mx](mailto:jgonza@uaz.edu.mx)

#### Resumen

El agua superficial y subterránea tiene un rol significativo en la economía de cualquier país ya que su uso para fines domésticos, industriales, agrícolas y paisaje, permite el desarrollo, buscando siempre el beneficio de la población bajo un enfoque sustentable. La relación aguas superficiales–aguas subterráneas en áreas con niveles freáticos someros requiere un buen conocimiento de la topografía y de las formas en que tiene lugar la recarga y la descarga, sobre todo cuando existe una explotación intensiva del agua proveniente del acuífero, el objetivo de esta investigación fue identificar posible relación entre el agua superficial y subterránea empleado modelos lineales. La metodología utilizada



consistió en recolectar muestras de agua de aprovechamientos superficiales y pozos profundos, a las cuales se les determinó los isótopos estables oxígeno dieciocho y deuterio, se utilizó un modelo lineal aplicando el algoritmo de mínimos cuadrados y utilizando como referencia el coeficiente de correlación de Pearson para identificar posible relación entre estas aguas.

## Introducción

Una de las características de las regiones consideradas árida o semiáridas es que el uso del agua para fines doméstico, industrial y agrícola generalmente depende de la cantidad de agua superficial almacenada en los cuerpos de agua, además del agua subterránea. En el estado de Zacatecas la mayoría de su superficie es árida, se estima que las precipitaciones son inferiores a 500 mm anuales, lo cual define un panorama adverso en cuanto a la disponibilidad del agua para los diferentes usos. Además la falta de infraestructura de almacenamiento hace que del escurrimiento superficial total virgen, el cual es de 2,524 Hm<sup>3</sup> sólo se capte en presas y bordos 734 Hm<sup>3</sup> (el 32%). El resto se exporta fuera del estado, y la mayoría de este volumen se transfiere a los estados de Nayarit y Jalisco por los afluentes del Río Santiago (Navarro, 2017).

El agua subterránea tiene un rol significativo en la economía, a que aporta volúmenes importantes de agua para riego y la industria de la alimentación. A nivel mundial el riego aprovecha más de 70% del total del retiro del agua (ambos agua de superficie u subterránea). Se estima que del total del agua que se ocupa para riego, 43% es del agua subterránea. Entender el origen del agua superficial y subterránea es un reto para los tomadores de decisiones, los trazadores de isótopos ambientales han sido una herramienta útil para proporcionar nuevos conocimientos sobre los procesos hidrológicos; integran la variabilidad a pequeña



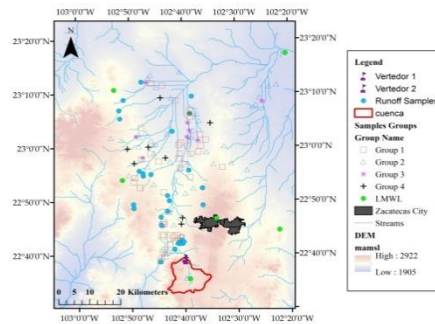
escala para proporcionar una indicación efectiva de los procesos a escala de cuenca (González et al., 2017)

Para una mejor comprensión del comportamiento hidrogeológico de la región es importante el conocimiento no solamente de la distribución de las unidades hidrogeológicas sino también el concepto de los sistemas de flujos de agua subterránea (THOMAS HERGT, 2009). Los isótopos ambientales proporcionan una herramienta útil para rastrear las rutas de flujo del agua. Los isótopos se pueden usar para distinguir entre rutas de flujo rápido y lento para recargar a través de la zona no saturada, determinar la (s) temporada (es) de recarga y estimar el tiempo de residencia del agua (es decir, "edad") en zonas saturadas e insaturadas (Sueker, 2003). La distribución de la edad del agua subterránea revela aspectos de la naturaleza de un régimen de flujo (Bethke & Johnson, 2008). El flujo regional puede ser viejo debido simplemente a sus bajas velocidades y largos recorridos de flujo, y pueden recibir entradas modernas en el entorno de recarga (Clark & Fritz, 1997). Por otro lado, entender el medio natural con algunos datos relativos a la hidrología, superficial y subterránea, pueden coadyuvar a determina el modelo de la región (Loeches y Rebollo, 2007). Esta investigación tuvo como objetivo identificar posible relación entre el agua superficial y subterránea empleado modelos lineales, utilizando los datos de isotopos estable.

### **Materiales y métodos**

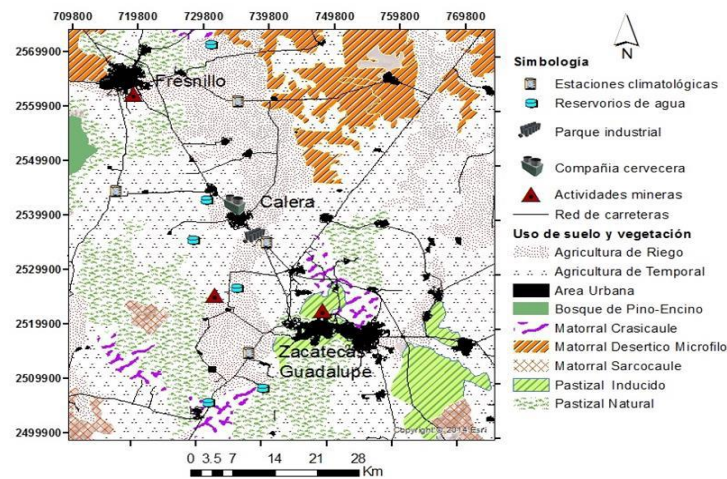
De manera específica la región de estudio corresponde al centro-sureste del Estado, zona geográfica estratégica para el desarrollo socio-económico del mismo ya que se esta se ubica el corredor agrícola-industrial de la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe-Fresnillo, incluyendo las cabeceras municipales de Calera,

Morelos, Vetagrande, Trancoso, Pánuco y Villa de Cos, corresponde a tres acuíferos; Calera, Benito Juárez y Chupaderos, abarca aproximadamente 7000 km<sup>2</sup> junto con los extremos este del acuífero Jerez, la zona norte del Villanueva, la parte norte del acuífero Ojocaliente así como la parte este del acuífero del Aguanaval, (Figura 1).



**Figura 1. Localización de la zona de estudio**

La actividad económica principal es la agricultura, donde la de temporal representa mayor área de cultivo, los matorrales y pastizales forman parte del ambiente y las zonas industriales se ubican en el corredor Guadalupe-Fresnillo. (Figura 2).



**Figura 2. Uso de suelo y actividades económicas principales.**

### Determinación de isótopos

Se determinaron las composiciones isotópicas de oxígeno del agua, utilizando el método de equilibrio de  $\text{CO}_2$  estándar modificado. Un mililitro de agua se equilibra a 700 mbar con una cantidad conocida de  $\text{CO}_2$  en un 10 ml frasco sellado por un tabique de silicio-teflón. Un alícuota del  $\text{CO}_2$  equilibrada se purifica y se analiza para O composición isotópica en una doble entrada de VG 602D modificada en un espectrómetro de masas.

Para los análisis de composición isotópica H, se utilizó la técnica de reducción de cromo de flujo continuo descrito por (Price, et al., 2008). Un espectrómetro de masas GV-Isoprime se acopla con un analizador elemental EA3000, equipado con un automuestreador líquido. 0,3 ml de agua se inyectaron en una carcasa septum calentada (140 8C) utilizando un sistema automatizado jeringuilla micro litro. El vapor de agua resultante se calentó por un flujo constante de ultra-alta pureza de helio (130 ml / min) a través de una sonda de acero inoxidable que se extiende 15 cm en un cuarzo tubo de reactor de cromo se mantuvo a 1.050 8C. El agua inyectada en el reactor se reduce en Cr, lo que resulta en la conversión cuantitativa al gas hidrógeno. H<sub>2</sub> generada en el reactor de Cr es transportado por un flujo de corriente a través de una columna rellena (1,5 m, 5 un tamiz molecular) en un horno a 60 8C y luego en la fuente de los IRMS. Picos de H<sub>2</sub> en m / z = 2 y HD a m / z = 3 se integraron y se corrige para H<sub>p</sub>3 contribuciones. El análisis se realiza sobre una parte alícuota de 2 ml se inyecta a través de un bloque calentado para vaporizar la muestra en la cavidad láser. Análisis de δ D puede verse afectada por pequeñas concentraciones de CH<sub>4</sub> o de mayor peso de hidrocarburos. El instrumento puede detectar muestras tan afectadas y la pantalla, pero inducen correcciones de errores significativos (Navarro, 2017).

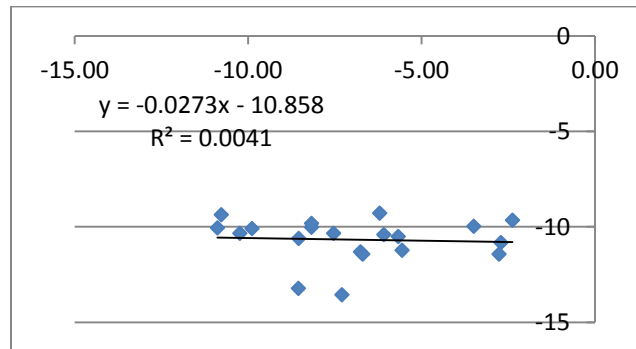
## Resultados y discusión

Se analizaron 20 muestras de oxígeno dieciocho y deuterio para cuerpos de agua superficiales y aprovechamientos subterráneos los valores encontrados se muestran en el Cuadro 1.

*Cuadro 1. Comportamiento de los isotopos estables*

$\delta^{18}\text{O}$ Asup	$\delta^{18}\text{O}$ Asub	$\delta\text{D}$ Asup	$\delta\text{D}$ Asub
-5.56	-11.2162	-50.55	-81.0763
-8.17	-10.0259	-61.90	-71.9682
-6.21	-9.27975	-52.93	-68.3868
-5.67	-10.5091	-56.49	-74.1672
-3.49	-9.96836	-41.84	-76.6674
-2.38	-9.64254	-32.31	-76.3695
-2.71	-10.824	-34.62	-72.3227
-6.76	-11.3089	-57.21	-78.8258
-2.76	-11.4202	-37.47	-77.6522
-6.09	-10.4103	-55.66	-68.7203
-7.54	-10.3418	-58.53	-69.0763
-10.24	-10.3284	-75.90	-75.5923
-10.89	-10.0486	-76.26	-75.5004
-9.88	-10.0878	-70.09	-74.6268
-8.17	-9.81318	-66.75	-74.0073
-10.78	-9.36747	-81.76	-69.2038
-8.54	-10.5969	-65.36	-73.7779
-6.70	-11.4211	-61.30	-75.3148
-7.29	-13.5458	-65.72	-62.2338
-8.55	-13.2257	-76.01	-59.657

Se realizó una regresión lineal entre el oxígeno monitoreado en el agua superficial y subterránea, considerando esta última como la variable dependiente, el comportamiento del modelo se presenta en la Figura 3.



**Figura 3. Modelo lineal para el oxígeno**

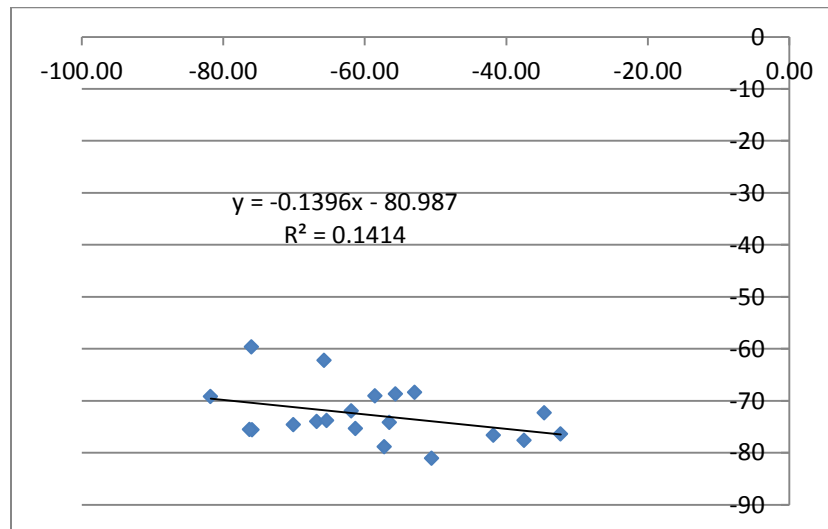
Al realizar el análisis de varianza del modelo de regresión utilizando la distribución Fisher indica que no es significativo (Cuadro 2), es decir que no existe una correlación entre los cuerpos de agua superficial localizados en la zona de estudio y el agua subterránea, por lo cual se puede asumir que probablemente estos cuerpos de agua no están contribuyendo a la recarga del acuífero.

**Cuadro 2. Análisis de varianza para oxígeno dieciocho**

Fuente de variación	G.I	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft (0.05)
Modelo	1	,092	,092	0.069	4.41
Error	18	23,942	1,330		
Total	19	24,034			

El comportamiento del deuterio se presenta en la Figura 4 se observa un mejor comportamiento que el oxígeno el valor de  $r^2$  es de 0.1414, sin embargo, es un

valor muy pequeño, que no permite definir una posible relación entre las aguas por lo cual no se puede inducir una posible zona de recarga de los aprovechamientos superficiales hacia el cuerpo de agua subterránea es importante considerar otras características químicas del agua como el cloro, sodio, calcio para tratar de formular con mayor detalle el modelo conceptual y estar en condiciones de entender mejor el comportamiento del agua subterránea y su relación con los cuerpos de agua superficiales.



**Figura 4. Comportamiento lineal del deuterio**



## Conclusiones

De esta investigación de acuerdo al objetivo planteado se concluye que no se encontró una posible relación entre los cuerpos de agua superficiales y el agua subterránea que se extrae a través de los pozos profundos, utilizando para ello los datos de isotopos estable y correlacionando los datos obtenidos.

Se sugiere realizar la determinación de otros elementos como el cloro, sodio, calcio entre otros para comprender mejor el modelo conceptual y estar en condiciones de realizar algunas sugerencias de la relación entre el agua subterránea y cuerpos de agua superficiales.

## Literatura citada

Bethke, C. M., & Johnson, T. M. (2008). Groundwater Age and Groundwater Age Dating. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36(1), 121-152. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124210>

Clark, I. D., & Fritz, P. (1997). *Environmental isotopes in hydrogeology*. Boca Raton, FL: CRC Press/Lewis Publishers.

González-Trinidad, J., Pacheco-Guerrero, A., Júnez-Ferreira, H., Bautista-Capetillo, C., & Hernández-Antonio, A. (2017). Identifying Groundwater Recharge Sites through Environmental Stable Isotopes in an Alluvial Aquifer. *Water*, 9(8), 569. <https://doi.org/10.3390/w9080569>

Loeches G, M.M y Rebollo F L.F. (2007). Aguas superficiales y subterráneas. Universidad de Alcala, España. ISSN 1885-625X.

Navarro S. O. (2017). *Metodología para identificar patrones de flujo en un sistema de acuíferos*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, México.

Sueker, J. K. (2003). Isotope applications in environmental investigations part II: Groundwater age dating and recharge processes, and provenance of sulfur and methane. *Remediation Journal*, 13(2), 71-90. <https://doi.org/10.1002/rem.10065>

Thomas Hergt. (2009). Diseño optimizado de redes de monitoreo de la calidad del agua de los sistemas de flujo subterráneo en el acuífero 2411 “San Luis Potosí”: hacia un manejo sustentable.

## OPORTUNIDADES PARA SUSTITUIR LA IMPORTACIÓN DE ARENA SÍLICE PARA USO INDUSTRIAL EN FUNDICIÓN

**Encina Montes Lizette<sup>1</sup>, Ortiz Morales Alejandro<sup>2, 3</sup>, Pérez Aguilar Nancy<sup>\*1</sup>,  
López Badillo Claudia<sup>1</sup>, Hernández Chavero Edgardo<sup>1</sup>, Flores Castro  
Kinardo<sup>4</sup>, Oyervides Muñoz Ernesto<sup>1</sup>, Ramírez Cardona Màrius<sup>4</sup>**

(1)Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Venustiano Carranza y José Cárdenas Valdez, Republica Oriente, 25280, Saltillo, Coahuila, México. (2)Instituto Politécnico Nacional, UPIITA, Av. IPN, No. 2580 Col. La Laguna Ticoman, Gustavo A. Madero, Ciudad de México C.P. 07340, México. (3)Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad de Irradiación y Seguridad Radiológica, Instituto de Ciencias Nucleares, A.P. 70-543, 04510 Ciudad de México, México. (4)Laboratorio de Geoquímica, Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Mineral de la Reforma, Hidalgo. C.P. 42184.

\*Autor de correspondencia: [nancyperez@uadec.edu.mx](mailto:nancyperez@uadec.edu.mx)

### Resumen

La arena sílice para uso industrial en fundición se importa de Estados Unidos, aún cuando México cuenta con yacimientos importantes de este mineral en Veracruz, Coahuila y Nuevo León. En esta investigación se reportan resultados del análisis de arena sílice de diferentes yacimientos en México, como referencia se utilizó una muestra de Estados Unidos. Los análisis para conocer la composición química y mineralógica de estas muestras incluyeron fluorescencia de rayos-X (FRX), difracción de rayos-X (DRX). Otros ensayos fueron la morfología por microscopía electrónica de barrido (SEM), la granulometría, pH, humedad y termoluminiscencia (TL). De las muestras del estudio, se seleccionaron las

202

siguientes: S-02 de Nuevo León, S-12 de Durango y S-13 de Baja California Norte. Con la muestra S-02 se realizaron pruebas de limpieza y de atrición. Posteriormente, se prepararon probetas mezclando cierta cantidad de arena con un aglutinante, para medir su resistencia mecánica. Los resultados de DRX reportaron que la fase predominante en las arenas nacionales fue bajo cuarzo y las impurezas principales fueron aluminosilicatos. La composición química fue 98% de SiO<sub>2</sub> en la arena de referencia y 96% en S-02 y S-12, por su parte, S-13 reportó 88%. Las impurezas principales fueron 7% de alúmina en S-13 y en menor proporción otros elementos metálicos, como hierro, sodio, magnesio, potasio, etc. Las pruebas de lavado y atrición de la muestra S-02 reportaron que un reactivo adecuado para eliminar impurezas adheridas en la superficie de los granos es el ácido oxálico. La TL reveló que la arena sílice contiene impurezas de alúmina en forma de defectos en la red cristalina, difícilmente podrían eliminarse con el lavado. Por otro lado, la granulometría de las muestras registró deficiencias en la distribución, principalmente en las mallas 100 y 140. Finalmente, las probetas preparadas con las arenas seleccionadas registraron resistencias menores que 100 psi/in<sup>2</sup>. En conclusión, existe la oportunidad de modificar y ajustar algunas características de la arena sílice de yacimientos de México, principalmente en relación con la morfología y a la eliminación de impurezas. Es preciso utilizar tecnologías de separación y procesamiento adecuadas a la calidad que se busca en una arena para fundición.

*Palabras clave: Arena sílice, Fundición, Atrición, Termoluminiscencia, Resistencia.*

## Abstract

Industrial silica sand is a commodity imported from the United States, even though Mexico has important deposits of this mineral in Veracruz, Coahuila and Nuevo León. This research reports data of the analysis of silica sand from different deposits located in Mexico, a sample of silica sand from the United States was used as reference. The characterization of these samples included chemical and mineralogical composition using X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), as well as scanning electronic microscope (SEM) to observe the morphology, other assays were the size distribution, pH, humidity and thermoluminescence (TL). From the studied samples, the following were selected: S-02 from Nuevo León, S-12 from Durango and S-13 from Baja California Norte. Only the sample S-02 was washed and attritioned with acid and basic reagents. Subsequently, clean sand was mixed with binders to prepare test specimen and measure their mechanical strength. The XRD results reported that the main mineral phase was low quartz and the main impurities were aluminosilicates. The chemical composition was 98% SiO<sub>2</sub> in the reference sand and 96% in S-02 and S-12, meanwhile, S-13 reported 88%. The main impurities were 7% of alumina in S-13 and in smaller proportion other metallic elements, such as iron, sodium, magnesium, potassium, etc. The washing and attrition tests of sample S-02 reported that oxalic acid is an adequate reagent to remove impurities onto the surface of the grains. The TL revealed that the silica sand contains alumina impurities in the form of intrinsic defects in the crystal lattice, which could hardly be eliminated by washing. On the other hand, the granulometry of the samples showed deficiencies in the distribution, mainly in meshes 100 and 140. Finally, the specimens prepared with the selected sands, reported resistances of less than 100 psi. In conclusion, there is the opportunity to modify and adjust some

ZU4

characteristics of silica sand from deposits in Mexico, mainly in relation to morphology and the elimination of impurities. It is required the use of adequate separation and processing technologies to reach the quality that is sought in a foundry sand.

*Keywords: Silica sand, Foundry, Attrition, Thermoluminescence, Strength.*

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Consumo de arena sílice industrial en México

La arena sílice tiene muchas aplicaciones industriales, desde la fabricación de vidrio, hasta la filtración y fabricación de abrasivos. El principal productor de arena sílice industrial es Estados Unidos; las dunas en las costas de los Grandes Lagos, son los depósitos más grandes que se conocen. Por esta razón, se han explotado desde hace más de cien años, e históricamente, el 95% de su uso ha sido como arena de fundición. La arena industrial para fundición se usa para crear moldes y corazones en los que se puede vaciar el metal fundido. Las características de esta arena de fundición son su refractariedad, permeabilidad, resistencia mecánica, finura de grano y reactividad química, mismas que están determinadas por la forma y tamaño de grano, contenido de arcilla, pH, demanda de ácido y contenido de humedad. (Schrotenboer y Arbogast, 2010).

Recientemente, la arena de los Grandes Lagos se ha comercializado como arena de fractura debido a su alta calidad. En el periodo del 2009 al 2012, se registró un rápido aumento en la producción de arena sílice, debido al auge de la industria de hidrofractura para la extracción de hidrocarburos no convencionales. La demanda

de este mineral creció 85%, 101% y 28%, respectivamente, para un total de 30 millones de toneladas (USGS, 2012). Durante el proceso de hidrofractura se utiliza agua, reactivos químicos y un apuntalante suspendido que se conduce al interior del subsuelo bajo presiones suficientemente altas para fracturar las rocas, cuando la presión se libera, el apuntalante evita que estas fracturas se cierren, permitiendo la liberación de petróleo o gas de estos depósitos abiertos. Los apuntalantes pueden fabricarse sintéticamente a partir de aluminio o esferas cerámicas, pero en los Estados Unidos, se prefiere utilizar la arena sílice por su abundancia y fácil disponibilidad (Locke, 2015).

De acuerdo a los datos estadísticos del 2015 publicados por la Secretaría de Economía (SE), México tiene un déficit comercial de 65 millones de dólares por la importación de productos del sílice, donde el 98% del volumen se importa de Estados Unidos y el 2% restante de otros países. Las arenas síliceas y arenas cuarzosas son el producto que más se importa (95%), un volumen cercano a 740 mil toneladas con valor de 65 millones de dólares. Otros productos de sílice son el cuarzo (3%) y el silicio superior (2%), de los que se importa un volumen de 3.6 mil toneladas con valor de más de 2 millones de dólares, y 50 toneladas con valor de \$1.4 millones de dólares, respectivamente (Secretaría de Economía, 2017).

La industria de fundición es uno de los principales consumidores e importadores de arenas síliceas, aún cuando en México existen sitios con una tradición en la producción de arena sílice, principalmente en Veracruz, Coahuila y Nuevo León. Las arenas síliceas para uso industrial que se extraen en estos sitios, se destinan al mercado del vidrio y en un pequeño porcentaje a la fundición. También se reconoce que para conseguir una arena de calidad para fundición, es preciso usar



tecnologías y maquinaria de costo elevado que no se tienen instaladas en las empresas areneras del país (Secretaría de Economía, 2017).

El transporte de arena desde sitios lejanos de producción, hasta los centros de consumo en México representa un alto costo para las empresas fundidoras. Aunado a ello, existe el riesgo de desabasto de esta materia prima por la competencia en el mercado, por ejemplo, la alta demanda de arena por la industria del fracking. En la industria de fundición, se utiliza la arena sílice de alta calidad en la preparación de corazones de fundición, las características físicas, químicas y morfológicas están bien documentadas y son conocidas por los industriales del ramo. El proceso de fundición ocurre en condiciones de temperatura, presión y esfuerzo mecánico agresivos, por lo que los corazones para fundición deben prepararse aglutinando los granos de arena con resinas especiales para obtener estructuras con resistencia mecánica adecuada. Se ha reportado que la adhesión de la resina con los granos de arena está relacionada con la morfología de los mismos, por lo que se prefieren granos redondeados, aunque también es frecuente utilizar arena con granos de morfología subangular (De Hoyos et.al., 2017).

## 1.2 Minería y beneficio de arena sílice industrial

Los depósitos de arena cruda de sílice se excavan en minas a cielo abierto; la minería básica de la arena consiste en la extracción superficial utilizando excavadoras y transporte desde el sitio de la mina hasta la planta de procesamiento, mediante camiones o en algunos casos con bandas transportadoras o gusanos helicoidales. En la mina se remueve la capa superior del suelo que contiene minerales como arcilla, feldespatos, moscovita, minerales pesados y/o carbonatos, que en su conjunto se denominan gangas. En una planta

de procesamiento se elimina la ganga; la complejidad del proceso para obtener un concentrado con 95% o más de sílice, así como el tamaño y la forma de los granos, determinan la aplicación final de la sílice: vidrio o productos químicos, sandblasteo, fundición, construcción e ingeniería civil, filtración, agricultura, fracking, etc. Las principales operaciones de separación y limpieza de arena en una planta de beneficio incluyen lavado y clasificación, que puede ser con tamices, por fricción o con hidrociclón. Algunas plantas de beneficio pueden utilizar diferentes alternativas para la concentración/separación: separación electrostática y magnética; flotación; concentración gravimétrica (Grbeš, 2015).

Existe una serie de requisitos que deben cumplir los depósitos de arena de cuarzo, para ser considerados como fuentes potenciales para diferentes aplicaciones industriales. Las industrias más estrictas en relación a la pureza de la arena son la industria química y la del vidrio, que exigen un contenido inicial de 0.1% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Después del lavado, el contenido de hierro se reduce aún más mediante separación magnética, o flotación por espuma. Por otro lado, hay industrias que pueden tolerar concentraciones mayores de hierro en la arena de cuarzo, por ejemplo, la de filtros para agua, la de hormigón celular y la industria de fundición. Para pinturas y rellenos se demanda una arena blanca para obtener colores consistentes y con alto brillo (Platias et.al., 2014).

Para la purificación de arena se utiliza un proceso de lavado y atrición. La atrición es un proceso que puede modificar la textura y morfología de los granos, aunque debe utilizarse bajo condiciones bien controladas para prevenir la fractura o quebrado de los granos. Esta operación promueve la fricción entre los granos de arena que están en suspensión en un líquido, generalmente agua. Además, los granos también se impactan contra las paredes y los impulsores del recipiente de

atracción. Las fuerzas que mantiene unidos los contaminantes a la superficie de la arena pueden ser de tres tipos (Bailey y Biggs, 2005):

- Posibles enlaces químicos entre sustancias húmicas sobre la superficie de los granos y los contaminantes.
- La solubilidad de los contaminantes, que pueden ser hidrofóbicos o hidrofílicos.
- Fuerzas superficiales de van der Waals entre los contaminantes y la superficie sólida.

### 1.3 Arena sílice para corazones de fundición

Es importante que la arena para corazones de fundición esté limpia para que los procesos de producción ocurran sin problema, específicamente el proceso de caja fría, que se utiliza ampliamente en la industria para producir los corazones. Este proceso ha permitido la producción de corazones con alta resistencia mecánica, resistencia térmica y buena precisión estructural. El proceso de caja fría fenólico uretánico (PUCB) está entre los más utilizados en las fundiciones de metales, principalmente aluminio y hierro, debido a su bajo costo, alta productividad y disponibilidad de aglutinantes, propiedades versátiles y facilidad para trabajar con cualquier tipo de arena. El proceso consiste de un sistema de aglutinantes en dos partes, la parte I contiene una resina fenólica y la parte II un isocianato polimérico. La arena se recubre con los componentes de la resina parte I y parte II y se sopla en el interior de un patrón a temperatura ambiente. Se inyecta un catalizador de base amina para endurecer la mezcla de arena. Después se purga con aire, para eliminar los residuos de amina. El grupo hidroxilo de la resina fenólica de la parte I reacciona con los grupos isocianato de la parte II, en presencia del catalizador de amina para formar enlaces de uretano que mantienen unidos a los granos de arena (González et.al., 2011; Archibald y Smith, 1988).

Debido a las reacciones que ocurren en la interfase arena-resina, es probable que la composición química de la red cristalina de la arena, tenga alguna influencia, principalmente si existen impurezas o defectos. La sílice puede tener defectos puntuales, que se entiende como la presencia de un átomo de la red con un índice de coordinación diferente al que tendría en la red ideal, también se consideran defectos a la ausencia de un átomo vacante, o su presencia en una posición diferente o intersticial. Los defectos puntuales pueden ser intrínsecos, que están presentes en el material sin irradiar y que se forman durante el proceso de fabricación debido a diferentes procesos térmicos como por ejemplo átomos con un índice de coordinación diferente del que le corresponde a la red. Los defectos extrínsecos corresponden con impurezas del material y pueden proceder de los diferentes procesos de fabricación o del origen geológico de la muestra (Manzano, 2014).

Por las características de los corazones para fundición y a las condiciones del proceso en que éstos se utilizan, es indispensable que la calidad de la arena que se destina a esta aplicación cumpla las especificaciones de calidad señaladas por la industria. En esta investigación se reportan las condiciones de limpieza y atrición para el procesamiento de arena sílice de yacimientos localizados en México, y la resistencia de las probetas de prueba preparadas con estos materiales. Además, se trata de discernir si estas arenas contienen impurezas en la red cristalina, y que éstas influyan en la resistencia de las probetas de prueba.

## **2. ÁREA DE TRABAJO, MÉTODOS ANALÍTICOS Y MATERIALES**

### **2.1 Origen e Identificación de Muestras de Arena Sílice**

En esta investigación se recolectaron en total 13 muestras, algunas fueron facilitadas por empresas dedicadas a la explotación de arena para uso industrial, y algunas otras fueron muestras de yacimientos de arena sílice. Las muestras se identificaron como sigue: S-00, muestra de referencia, de Estados Unidos; S-01, arena de Veracruz; S-02 a S-04 de Nuevo León; S-05, S-06, S-08 y S-09, de Coahuila; S-07 de Chihuahua; S-10 y S-11 de San Luis Potosí; S-12 de Durango y S-13 de Baja California Norte.

## 2.2 Caracterización de Muestras de Arena Sílice

Las muestras se analizaron por difracción de rayos-X (DRX), para identificar las fases minerales principales. Para el análisis se utilizó un difractómetro de rayos-X PANalytical, modelo Empyrean. Se utilizó una fuente de cobre de longitud de onda de 0.154 nm en el intervalo de 10 a 80 grados  $2\theta$  con un incremento de 0.02 grados  $2\theta$ /min. Los minerales se identificaron analizando los patrones de difracción con el software High Score Plus. La composición química de las muestras se determinó por fluorescencia de rayos-X (FRX) con un equipo PANalytical modelo Epsilon 1. El límite de detección del equipo es de concentraciones del orden de ppm. La morfología de los granos de arena se observó por microscopía óptica con un microscopio Dino-Lite Basic Digital Microscope el cual tiene un objetivo de 200X de amplitud. Para mayores magnificaciones se utilizó un microscopio electrónico de barrido (SEM) de tipo ambiental (ESEM: FEI QUANTA200).

Otros ensayos fueron el de granulometría, con una muestra de 100 g en los tamices US std 20 a 270, y fondo, agitando con un rotap durante 15 minutos, Al final se pesó la masa retenida y se registró como % retenido, con estos datos se calculó el tamaño promedio o índice de finura del grano (AFS). La humedad se determinó por gravimetría, secando 100 g de muestra de arena en una estufa

Felisa y calentando hasta 105 °C hasta peso constante, la diferencia de masa inicial y final de la muestra se registró como % de humedad. El pH de la arena se midió poniendo en contacto 50 g de arena con agua destilada y dejando en agitación, después de cierto tiempo, se utilizó un potenciómetro con un electrodo de vidrio para medir el pH del agua.

### 2.3 Procesamiento de Arena Sílice

Las pruebas de lavado de arena se realizaron con la muestra S-02 con tres reactivos ácidos: ácido clorhídrico 0.01 N (pH 2), ácido oxálico en solución de 1% en peso (pH 1.4) y ácido cítrico en solución de 1% en peso (pH 2.1). También se hicieron pruebas con una solución alcalina de hidróxido de sodio al 3% en peso y con una solución neutra de pirofosfato de sodio de 2.5% en peso. Para las pruebas se puso en contacto una masa inicial de 1 g de arena previamente lavada con agua, con 1 ml de las soluciones de lavado. Los ensayos se colocaron en viales de vidrio y se dejaron en agitación por 24 h a temperatura ambiente. Al finalizar se separaron los granos de arena para enjuagarlos con agua desionizada hasta que el agua de enjuague registró un pH igual al del agua limpia.

Las pruebas de atrición se realizaron con un recipiente de acero inoxidable y un agitador de dos propelas, con recubrimiento de poliuretano para reducir la fuerza del impacto con los granos de arena. Un motor marca (Caframo) proporcionó la agitación con velocidades variables desde 60 hasta 6000 rpm. Las pruebas de atrición se realizaron con una suspensión de arena con ácido oxálico (CAS 144-62-7) en concentración 70% peso/volumen (w/v), agitando a 800 rpm, durante cuatro horas.



## 2.4 Evaluación de la Calidad de la Arena Sílice

La calidad de la arena para preparar probetas y medir su resistencia, se realizó a las muestras S-02 después de su procesamiento por lavado y atrición, y a las muestras S-12 y S-13. De estas muestras se midió su granulometría por tamizado con las mallas US std 20 a 270 y base, en un rotap, agitando durante 15 min. Al terminar, se pesó la arena contenida en cada tamiz y se registró el % de retención. Con estos datos se calculó el índice de finura de grano, AFS.

El volumen de la demanda de ácido (ADV) se determinó por titulación colorimétrica. En un matraz Erlenmeyer se mezclaron 50 g de muestra con 50ml de ácido clorhídrico, HCl 0.1 N y se calentó hasta el inicio de su punto de ebullición. Posteriormente, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se agregaron 2 a 3 gotas de indicador de fenolftaleína y se tituló con una solución de hidróxido de sodio, NaOH 0.1 N, hasta observar el cambio de color. El ADV es el volumen gastado de hidróxido de sodio.

Para el ensayo de resistencia se preparó una mezcla de arena-resina en un agitador Hobart style con 3 kg de muestra y cierto porcentaje de resinas. Esta mezcla se inyectó a una sopladora para preparar las probetas para medir su resistencia a la tensión, con un equipo Thwing-Albert. Se registró la resistencia inmediata y a 1 hora.

## 3. RESULTADOS

Las muestras recolectadas en este estudio fueron 13 en total, incluida la muestra de referencia. Por su distribución geográfica el 77% de las muestras analizadas fueron de yacimientos en el norte de México, 15% en el centro del país y 8% del Golfo de México. La mayoría de las muestras procedían de Coahuila y de Nuevo León.



### 3.1 Caracterización de Arena Sílice

#### 3.1.1. Mineralogía y composición química

La Figura 1 presenta los patrones de DRX de algunas de las muestras, en los que se identificaron las señales principales de minerales de sílice en 26 y 21 grados  $2\theta$ .

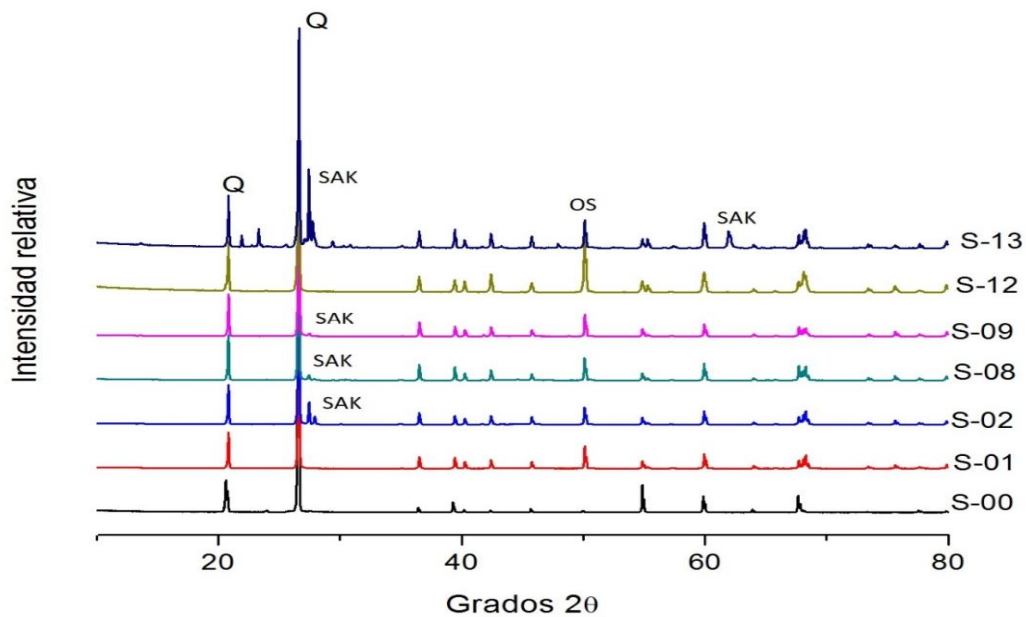


Figura 1. Patrones de difracción de rayos-X de muestras de arena analizadas. En color negro se indica la muestra de referencia S-00. Las leyendas Q, SAK y OS son para el cuarzo, aluminosilicatos de potasio y dióxido de silicio.

En la arena de referencia, S-00, el patrón de difracción coincidió con el de bajo cuarzo (PDF 01-089-1961), además se detectaron señales de annita-1, que es un

mineral de hierro (PDF 00-026-0909). En las muestras de arena nacional, la fase principal correspondió con bajo cuarzo (PDF 98-064-7410) y con óxido de silicio (PDF 01-070-3755) y las impurezas con aluminosilicatos de potasio (PDF 00-001-0705).

Los resultados del análisis químico por FRX mostraron que las impurezas con mayor concentración fueron compuestas de aluminio, en menor concentración se identificaron óxidos de potasio y óxidos de hierro. La Figura 2 presenta la concentración de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de las muestras analizadas, donde el límite mínimo para  $\text{SiO}_2$  es de 98.5% y el límite máximo para  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es de 0.9%. Las muestras S-01, S-07, S-08, S-10, S-11 y S-13 presentaron concentraciones mayores de 0.9% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  por lo que se descartaron para las pruebas de atrición.

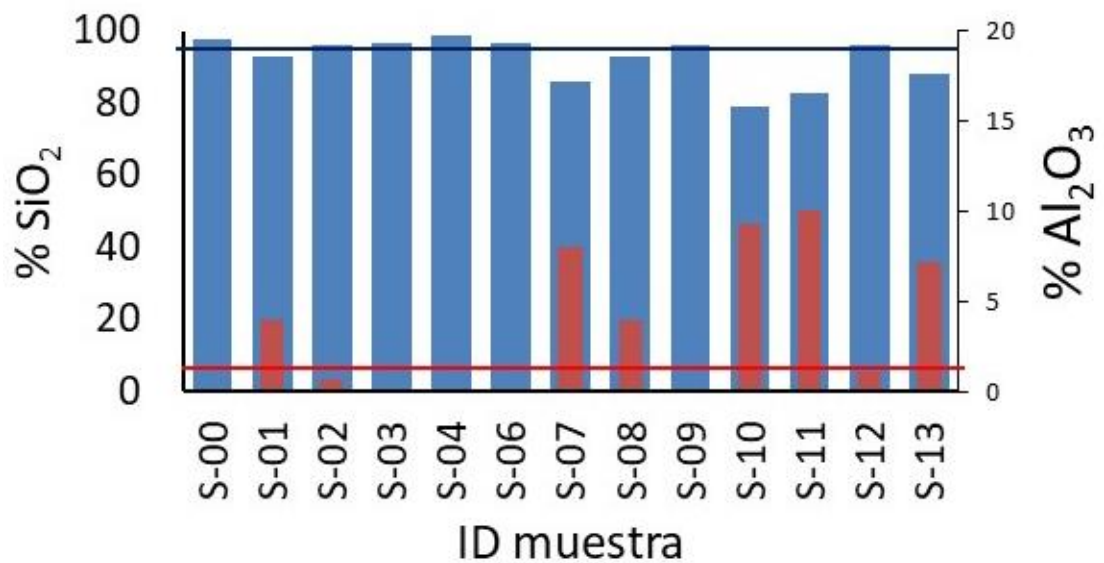


Figura 2. Composición química por FRX de muestras analizadas, en color azul se representa el % de óxido de silicio, en color rojo el porcentaje de óxido de

alumnio. Las líneas color negro y rojo corresponden a la especificación para el contenido mínimo de sílice y el contenido máximo de aluminio para una arena de fundición.

### 3.1.2. Morfología y granulometría

La Figura 3 muestra la apariencia general de algunas de las arenas observadas por SEM.

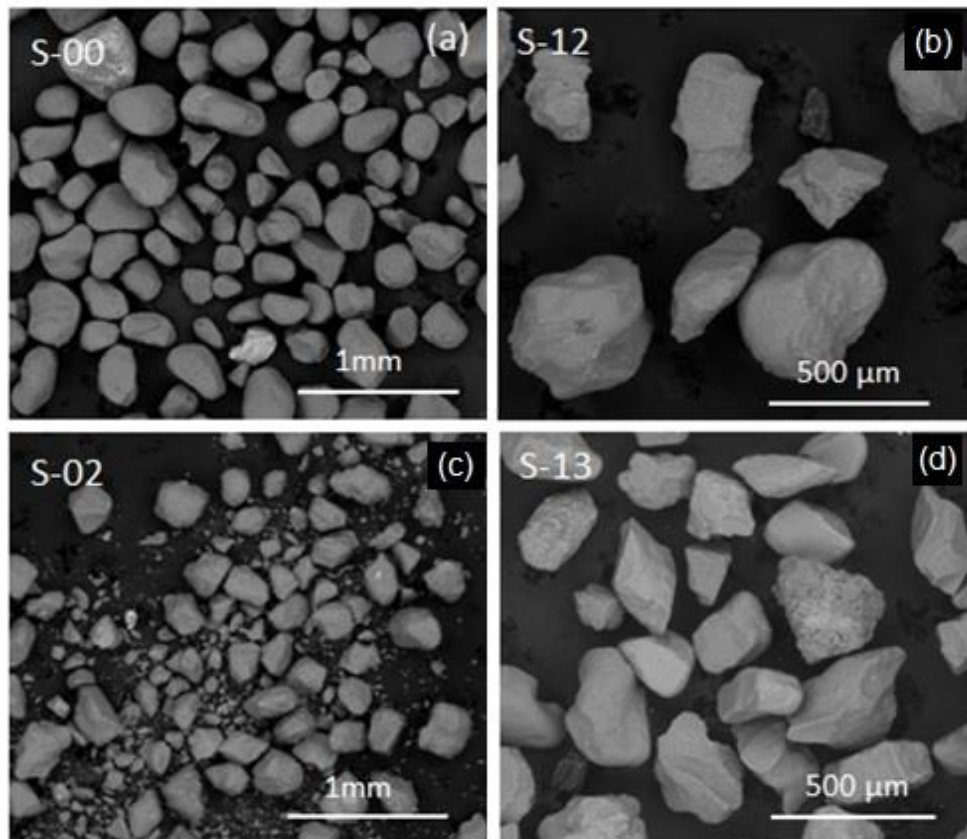


Figura 3. Micrografías SEM para observar la apariencia general de algunas de las arenas evaluadas. (a) Muestra de referencia; (b) muestra S-12; (c) muestra S-02 y (d) muestra S-13.

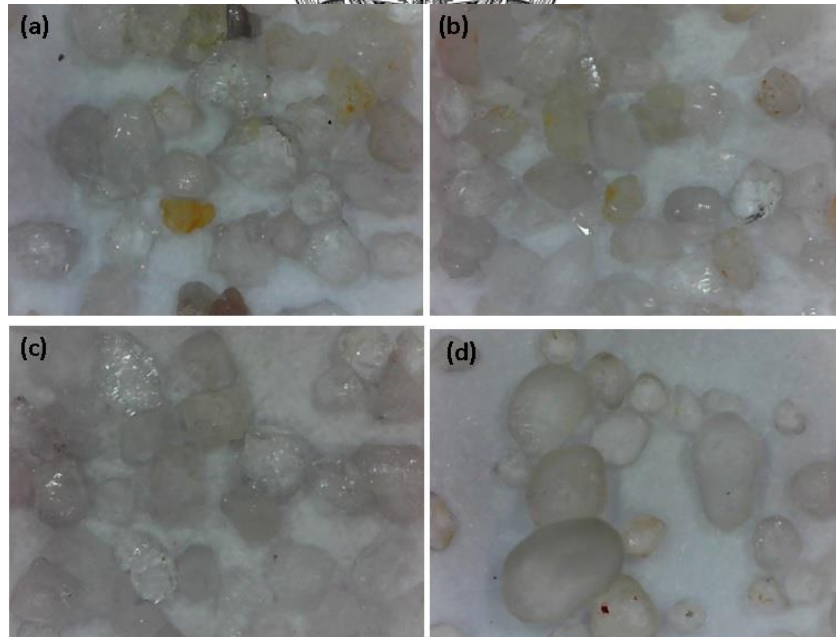
En la Figura 3a se observaron los granos redondeados de arena de la muestra de referencia, S-00, éstos presentaron una distribución de tamaño regular con ausencia de finos. En la Figura 3b, la muestra S-12 mostró que la morfología de los granos es de aspecto subangular y algunos otros son angulares, hay ausencia de finos y la distribución de tamaños de granos fue uniforme. La muestra S-02 (Figura 3c) mostró mezcla de finos y granos gruesos de contorno subangular y algunos granos angulares. Finalmente, en la Figura 3d de la muestra S-13, se observaron granos subangulares y angulares de distribución de tamaño uniforme con ausencia de finos.

La granulometría es una prueba para conocer la distribución de tamaño de grano y saber si se ajusta a la especificación requerida para corazones de fundición. Esta prueba se realizó a las muestras S-02, S-12, S-13 y a la muestra de referencia, S-00. Esto se reflejaría en el valor del índice de finura, AFS, ya que las muestras analizadas registraron AFS de 75, 48 y 49, para S-02, S-12 y S-13, respectivamente, la recomendación es que el AFS esté entre 50 y 60.

### 3.2 Limpieza y Atrición de Arena Sílice

La muestra S-02 se lavó con soluciones ácidas y alcalinas, en la Figura 4 se muestran imágenes de microscopía óptica en las que se observó la apariencia de los granos después de lavarlos con las soluciones ácidas. El ácido oxálico proporcionó un mejor resultado al eliminar las impurezas adheridas a los granos de arena. Las soluciones de ácido clorhídrico y ácido cítrico dejaron residuos de

impurezas, que se identificaron por una coloración amarilla en algunas grietas de los granos. Después de la atrición con ácido oxálico, se midió la granulometría de la arena S-02 procesada y se comparó con la que se tenía para la arena sin procesamiento de lavado ni de atrición (Figura 5). La muestra sin procesar contenía una cantidad de finos mayor que la especificación en los tamices 70 (máximo 32%) y 100 (máximo 9.7%). Después del proceso de lavado y atrición con agua se observó que la granulometría se ajustó en esos dos tamices reduciéndose hasta 26% en el tamiz 70 y a 13% en el tamiz 100; comparando con el proceso del lavado y atrición con ácido oxálico se observó que en el tamiz 50 se incrementó la retención hasta 36% y en los tamices 100 y 140 hubo una disminución en la retención, hasta 10% y 1% respectivamente. El AFS de estas muestras procesadas con ácido oxálico y con agua fue 43 y 46.2, respectivamente. Como resultado del procesamiento, se retiraron los finos en exceso al tiempo que se obtuvieron granos limpios.



**Figura 4. Micrografías a 200X en fondo claro, de la muestra S-02 lavada con (a) ácido clorhídrico al 1%; (b) ácido cítrico al 1%; (c) ácido oxálico al 1%; (d) muestra S-00 de referencia.**



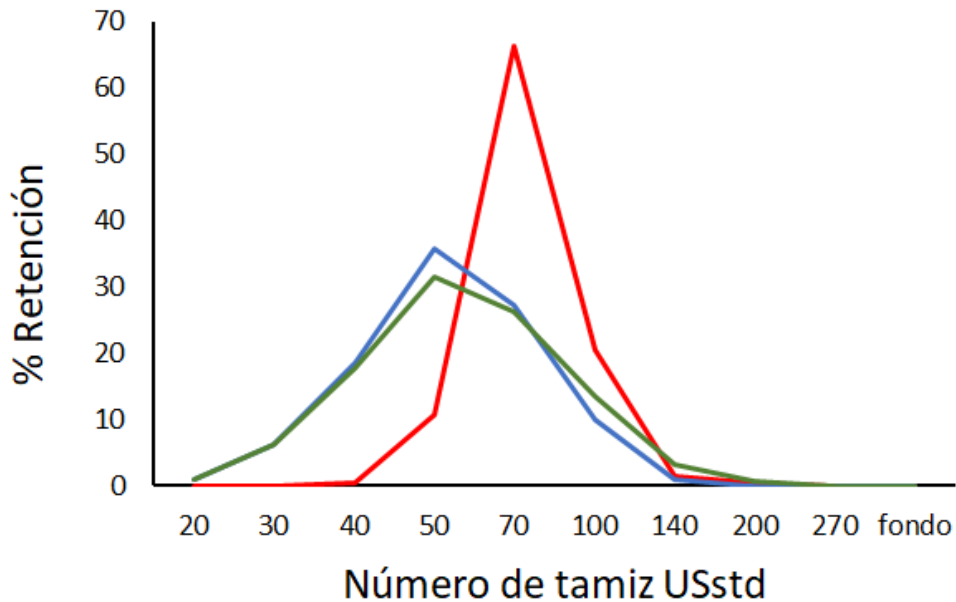


Figura 5. Granulometría de (a) arena S-02 sin procesamiento (línea roja); (b) arena después del lavado ácido oxálico (línea verde) y arena lavada y atricionada (línea azul).

Kong y col. (2014) reportaron que los ácidos orgánicos producen mayor efecto en la transformación de las arcillas en comparación con ácidos inorgánicos. Esto ocurre con un mecanismo de ataque ácido y de formación de complejos metálicos que precipitan en forma de sales como oxalatos y citratos. En este proceso de descomposición de arcillas y de minerales del suelo se libera silicio y aluminio, se reportó que el ácido oxálico tiene mayor efecto que el ácido cítrico. Esto se explica por las constantes de disociación,  $pK_a$ ; el ácido oxálico tiene dos constantes:  $pK_{a1}= 1.23$  y  $pK_{a2}=4.19$  y el ácido cítrico tiene tres constantes:  $pK_{a1}=3.14$ ,  $pK_{a2}=4.77$  y  $pK_{a3}=6.4$ , lo que significa que a menor constante de disociación mayor habilidad para liberar protones. Por otra parte, Du y col. (2011) reportaron que el ácido oxálico remueve compuestos de hierro de la arena sílice, al formar sales de oxalato de hierro y la liberación de  $CO_2$ . Esto explicaría el mejor



desempeño con el ácido oxálico en comparación con las otras soluciones de lavado utilizadas para la limpieza de la arena.

Considerando los costos de los ácidos orgánicos, el precio unitario por cada kilogramo es de \$50 y \$34 pesos en moneda nacional mexicana, para el ácido oxálico y cítrico, respectivamente. Por lo tanto, el ácido oxálico es 1.5 veces más caro que el ácido cítrico, pero el primero dió mejor resultado.

### **3.3 Pruebas de resistencia mecánica de probetas preparadas con arenas procesadas**

La arena procesada en el laboratorio, S-02, y las muestras S-12 y S-13 se analizaron conforme a las normas de la AFS, para medir su calidad. Uno de los parámetros importantes es el volumen de la demanda de ácido, un indicador de la reactividad de las arenas por la presencia de impurezas como sales y carbonatos. Un valor bajo de ADV tiene una baja reactividad con los ácidos, pero si el ADV es alto, se puede alterar la reactividad de la arena con los aglutinantes, (Schrotenboer y Arbogast, 2010).

El ADV de la muestra S-02 después de lavado y atrición registró  $5.2 \text{ cm}^3$ , esta es una reducción considerable en comparación de la muestra sin procesar que tenía un ADV de  $31 \text{ cm}^3$ . Cabe mencionar que con estas características iniciales esta muestra no se aglutinaba para formar una probeta que permitiera medir su resistencia mecánica. Después del procesamiento, la arena si se aglutinó con las resinas. La probeta preparada con esta arena registró una resistencia inmediata de 50 psi. Por otra parte, la muestra S-12 registró un ADV menor que  $8 \text{ cm}^3$  y la resistencia inmediata de la probeta fue de 70 psi. La muestra S-13 registró un ADV cinco veces mayor que el límite establecido y la probeta una resistencia inmediata de 90 psi.

Además de la granulometría, la textura y la presencia de impurezas como arcillas, la química de la superficie del grano de arena puede influir en la resistencia de la probeta preparada con resinas. En la Figura 6, la micrografía de las probetas fracturadas permitió observar cómo se aglutinan los granos con la resina.

En el caso de la muestra de referencia S-00 (Figura 6a), se observó mayor contacto entre granos adyacentes, con la formación de puentes de resina que tenían espesores variables entre 15 y 20  $\mu\text{m}$ . En la Figura 6b, de la probeta preparada con S-02, se observaron menor número de puentes de resina, a causa de la morfología y la textura irregular de los granos. Los puentes de resina que se observaron tenían aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  de espesor y longitudes de 40 a 50  $\mu\text{m}$ . Un análisis de EDS-FRX complementó la información de la composición química aproximada de los puentes de resina en cada probeta. Uno de los datos más relevantes fue la diferencia en la concentración de aluminio, en la probeta preparada con S-02 se registró aluminio en concentración superior de 1.3% en peso, contra 0.04% en la probeta de S-00.

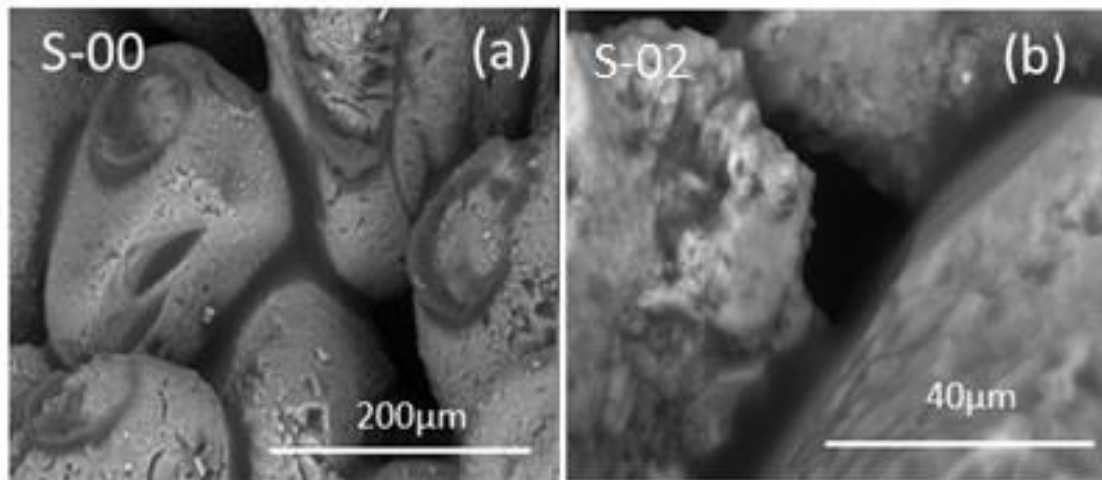


Figura 6. Micrográficas SEM de probetas de arena aglutinadas con resina. (a) Probeta preparada con la arena de referencia S-00; (b) Probeta preparada con arena S-02 lavada y atricionada.

Es probable que la diferencia entre los puentes de poliuretano que aglutinan los granos de las dos muestras puedan atribuirse a la presencia de algunas impurezas sobre las arenas S-02P, por la presencia de  $Al_2O_3$  y  $K_2O$ . Aunque no debe descartarse la morfología y la textura que podrían incrementar la superficie a recubrir por la resina.

Para conocer cómo ocurre la presencia de compuestos de aluminio en la superficie de la arena, se utilizó la técnica de termoluminiscencia (TL); las muestras S-00, S-02 (lavada con los diferentes reactivos ácidos), S-12 y S-13, se irradiaron con rayos  $\beta$  a una dosis de 1 kGy. Como resultado se obtuvieron las curvas de brillo en las que se observó una diferencia importante en el perfil de las arenas nacionales en comparación con la muestra de referencia, S-00. El perfil de las curvas de S-02 podría estar compuesto por varios picos traslapados, el más prominente se registró en forma de una banda amplia desde 100 a 200 °C con un máximo alrededor de 110 °C y otro en 150 °C con un hombro alrededor de 200 °C. El perfil de la muestra S-13 fue semejante al de las muestras S-02, pero de menor intensidad. Para la muestra S-12 se observaron bandas de menor intensidad, la primera tuvo un máximo en 90 °C y el segundo cerca de 140 °C. La curva de brillo de S-00 mostró un perfil mejor definido con máximos localizados alrededor de 140 °C, 230 °C y 380 °C.

La TL se ha usado para reconocer información sobre la distribución de estados de defectos de materiales aislantes. En particular, los experimentos de TL revelaron diferentes defectos de la estructura cristalina de arena, que se identificaron por la posición e intensidad de las señales de las curvas de brillo. La literatura reporta

que la señal centrada entre 115 °C y 145 °C se debe a electrones liberados de defectos de  $\text{Al}^{3+}$ , estos pueden ser centros de luminiscencia de tipo  $(\text{AlO}_4)^0$  y el de  $(\text{H}_3\text{O}_4)^0$  (Mckeever, 1984).

En conclusión, las arenas de yacimientos localizados en México tienen potencial para utilizarse en la industria, tanto de fundición y como alternativa, en la industria del vidrio de productos especializados, en los que se requiera de baja concentración de impurezas. Debe considerarse que para lograr un buen grado de limpieza, se requiere utilizar procesos de lavado y de atrición con reactivos químicos, así como equipos de diseño mecánico específico. Para el caso de su posible uso en corazones de fundición, debe considerarse que la presencia de defectos de aluminio en sustitución de silicio en la red cristalina de arena, es un factor importante que podría influir en la resistencia de los corazones de fundición. Por lo que este aspecto debe investigarse con mayor profundidad para establecer el procesamiento específico para la purificación de las arenas nacionales.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las facilidades otorgadas por Gladis J. Labrada Delgado y Ana Iris Peña Maldonado del IPICYT-LINAN para el análisis de muestras de arena en el SEM.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bayely, R. W., Biggs, C. A., “Characterization of an attrition scrubber for the removal of high molecular weight contaminants in sand”, *Chemical Engineering Journal*, 2005, 71–79.

De Hoyos, L.M., Pérez, A.N.V., Hernandez, Ch. J. Imaging of silica sand to evaluate its quality to use it as foundry core sand. *International Journal of Metalcasting*. 2017, 11(2):340-346.

Du, F., Li, J., Li, X., Zhang, Z., “Improvement of iron removal form silica sand using ultrasound-assisted oxalic acid” *Ultrasonic Sonochemistry*, 2011, 18: 389-393.

[Grbeš, A. “A life cycle assessment of silica sand: Comparing the beneficiation process”, \*Sustainability\*, 2016, 8, 11: 1-9.](#)

Kong, M., Huang, L., Li, L., Zhang, Z., Zheng, S., Wuang, M.K., “Effects of oxalic and citric acids on three clay minerals after incubation” *Applied Clay Science*, 2014, 99: 207-214.

Locke, C., “Frac Sand Mines Are Preferentially Sited in Unzoned Rural Areas”, *PLOS ONE*, 2015, 1-21.

Manzano, S., J., “Daño por excitación electrónica en SiO<sub>2</sub> mediante irradiaciones con iones pesados de alta energía” Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Madrid, 2014.

McKeever, S., W., S., “Thermoluminescence in quartz and silica” *Radiation Protection Dosimetry*, 1984, 8: 81-98p.

Platias, S., Vatalis, K. I., Charalampides, G., “Suitability of quartz sands for different industrial applications”, *Procedia Economics and Finance*, 2014, 491 – 498.

Secretaría de Economía. (SE). (2017). Perfil del mercado del sílice. Disponible en el sitio:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287808/Perfil\\_Silice\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287808/Perfil_Silice_2017.pdf)

Fecha del último acceso: 1º de agosto de 2018.

Schrotenboer, B.R., Arbogast, A.F., “Locating alternative sand sources for Michigan’s foundry industry: A geographical approach” *Applied Geography*, 2010, 30: 697-719.

United States Geological Survey (USGS). 2012. Silica: Minerals Year Books 2002-2012 . Disponible en línea:  
<http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/silica/>.



## Area Temática Geoquímica

### EVALUACIÓN GEOQUÍMICA AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO ÁLAMOS, NUEVA ROSITA, COAHUILA.

Rodríguez-Flores, W.I.<sup>\*1</sup>; Díaz-Martínez, R.<sup>1</sup>, Dávila-Pulido, G.I.<sup>1</sup>; Martínez-Salinas, E.A.; Hernández-Terrazas, G.; Rodríguez-Vega, A.<sup>1</sup>, Rodríguez-Batista, J.A.<sup>1</sup>; Almaguer-Carmenates, Y<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita, Coahuila.

walbertordz@gmail.com

#### RESUMEN

Se escogieron seis puntos de muestreo tanto de agua como de sedimento activo del río Álamos y de los afluentes que drenan la ciudad de Nueva Rosita. El criterio para elegir la ubicación de los puntos de muestreo consideró el curso del río, la ubicación de los afluentes y la relación espacial del drenaje fluvial respecto a la ciudad. Fueron recolectadas siete muestras de sedimento y diez muestras de agua. Para la identificación y cuantificación de elementos en el sedimento se utilizó la técnica de espectroscopia por fluorescencia de rayos x en la fracción granulométrica menor a 180 micrómetros, con la que se identificaron valores de 3 de elementos (Zn, Ti y Pb) con concentraciones anómalas. Seis muestras de agua se destinaron a análisis físico químico mediante conductímetro, turbidímetro, potenciómetro y espectrómetro de masas. En donde las muestras de los arroyos de la ciudad Nueva Rosita arrojan valores de pH superiores a 8, turbidez de hasta 173 NTU, sólidos disueltos de hasta 698 mg/L y valores de cromo por encima de los valores permisibles para agua potable. Cuatro muestras de agua se emplearon para confirmar la presencia de bacterias coliformes por el método de vertido en placa.



## ABSTRACT

Six sampling points were chosen for both water and active sediment from the Álamos River and from the tributaries that drain the city of Nueva Rosita. The criteria for choosing the location of the sampling points considered the course of the river, the location of the tributaries and the spatial relationship of the river drainage with respect to the city. Seven sediment samples and ten water samples were collected. For the determination of elements in the sediment, the x-ray fluorescence spectroscopy technique was used in the granulometric fraction smaller than 180 micrometers, with which values of 3 elements (Zn, Ti & Pb) concentration shown anomalous values. Six water samples were assigned to physical and chemical analysis by conductivity meter, phmeter, turbidimeter and mass spectrometer, where samples from the Nueva Rosita streams show pH values above 8, turbidity up to 173 NTU, dissolved solids up to 698mg / L and chrome values above the permissible values. Four water samples were used to confirm the presence of coliform bacteria by the plate pour method.

## INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud, cerca de 2 mil millones de personas se abastecen de fuentes de agua contaminadas por heces. Se proyecta que, en el año 2025 la mitad de la población mundial tendrá problemas de abasto. El crecimiento poblacional, la agricultura y el desarrollo industrial. Son factores que propician tanto el aumento en la demanda de agua como la contaminación y decremento en la disponibilidad de la misma (Drinking-water. World Health Organization. <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>).

La evaluación geoquímico ambiental de la cuenca del río Álamos se realizó con la finalidad de evaluar el grado de contaminación producido por los elementos

naturales y antrópico en una región donde la actividad minera ha sido, es y será el principal renglón económico. Estos resultados son considerados preliminares ya que se corresponden con la primera etapa de muestreo en época de verano, faltando la etapa de invierno. La presente investigación constituye el fundamento teórico-práctico para la elaboración de la tesis de titulación en opción a la obtención del título de ingeniero geólogo del autor principal.

En este trabajo se combinan diferentes técnicas analíticas según el material a analizar. En tal sentido se utilizó fluorescencia de rayos X portátil para el análisis de sedimentos de arroyo, la absorción atómica para el análisis químico de agua y la siembra por vertido en placa con agar nutritivo para la determinación de la presencia de coliformes. Además, se realizaron ensayos de propiedades físicas de las aguas con ayuda de un phmetro.

### **Ubicación del área de estudio**

La cuenca del río Álamos es una tributaria de la cuenca del río Sabinas, que a su vez tributa a la cuenca Falcón Río Salado, cuya extensión en el estado es de 46000 Km<sup>2</sup>. La anterior es a su vez una de las 37 cuencas que conforman la región hidrológica número 24 “Río Conchos”. El río Álamos nace en la serranía del burro en el municipio de Múzquiz hacia la región noroeste del estado de Coahuila (Figura 1). Discurre con dirección NO-SE, cruza el municipio de San Juan de Sabinas, llega al municipio de Sabinas donde se anastomosa con el río San Juan en el lugar conocido como “adjuntas”.

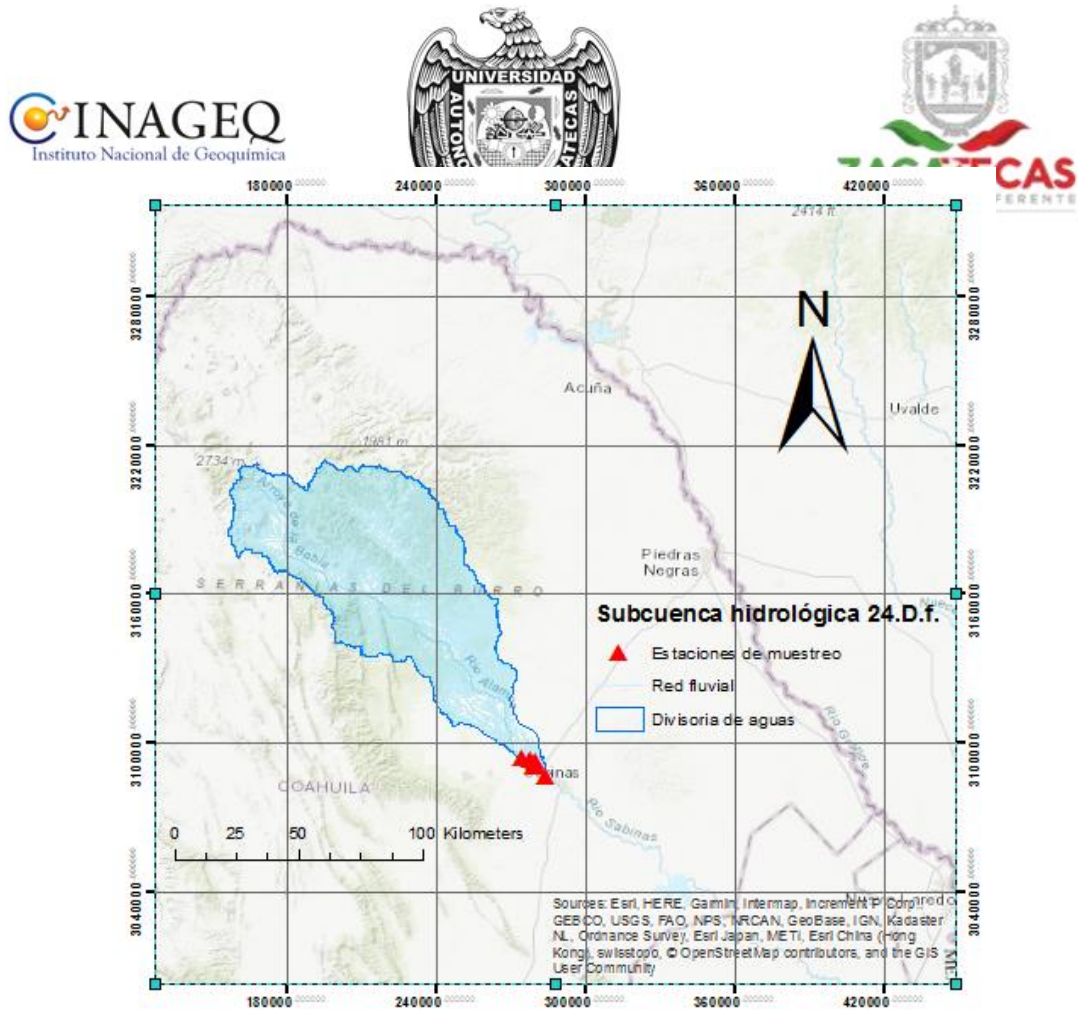


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Álamos elaborado usando ArcMap con datos de INEGI.

La mayor parte del agua potable en la región de Nueva Rosita proviene del acuífero Región Carbonífera. Este acuífero, definido con la clave 0512 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción Noreste del estado de Coahuila, entre los paralelos 27° 03' y 28° 58' de latitud norte y los meridianos 100° 16' a 102° 31' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de

15,754 km<sup>2</sup> (CONAGUA, 2015). Aun así, los ríos son un medio de transporte de partículas, intercambio de elementos, fuente de agua para la agricultura y un hábitat de organismos tanto beneficiosos como perjudiciales. La comprensión del entorno lleva a la optimización en la explotación de recursos. Conocer la cinética de los componentes del drenaje fluvial, es necesaria para identificar los factores que se pueden modificar en pos de un ambiente más saludable y eficiente.

## METODOLOGÍA

### Muestreo de agua y sedimentos de arroyo

El muestreo de agua y sedimentos de arroyo se realizó el día 21 de junio del 2018 en el curso principal del río Álamos y en dos de sus afluentes que drenan aguas de la ciudad de Nueva Rosita, considerando en todo momento que el mismo se ejecute en dirección contraria a la dirección del flujo de agua del río, es decir aguas arriba. El muestreo comenzó en un punto 200 metros aguas arriba del lugar conocido como Las Adjuntas y culminó en el Ejido Pazo del Coyote (Figura 2).

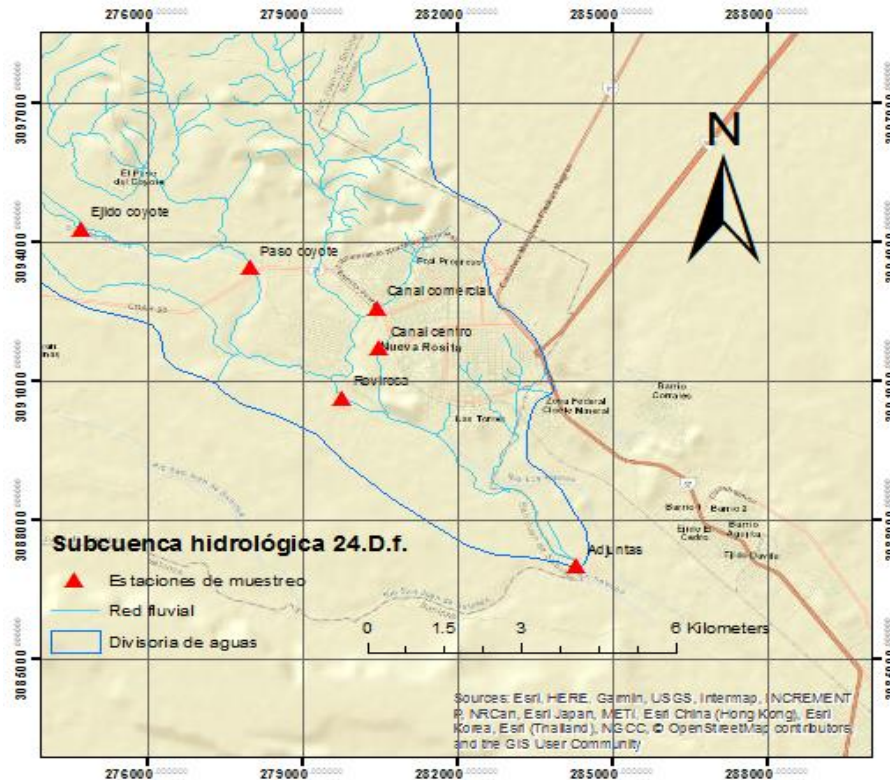


Figura 2. Mapa de ubicación de las muestras de agua y sedimentos de arroyo en la cuenca del río Álamos elaborado mediante la aplicación ArcMap con datos de INEGI.

En total, se establecieron 6 estaciones de trabajo, de las cuales, cuatro se ubicaron en el cauce del río y dos en los arroyos tributarios en la ciudad de Nueva Rosita (Tabla 1).

Tabla 1. Estaciones de muestreo de agua y sedimentos de arroyo del río Álamos.

Estación	Localidad	X	Y	Z
1	Adjuntas	284343	3087014	346
2	Canal centro	280508	3091724	370
3	Rovirosa	279793	3090649	360
4	Canal comercial	280471	3092603	375
5	Paso del coyote	278013	3093472	371
6	Ejido del coyote	274723	3094307	374



### **Recolección y procesamiento de muestras de agua para determinación de elementos pesados.**

Se utilizaron 6 envases de vidrio con capacidad de 1 L, los cuales fueron previamente esterilizados y sellados con parafina, de acuerdo a la norma (NOM-109-SSA1-1994). Una vez sobre el punto de muestreo se rompió el sello y el envase se sumergió en la corriente de agua. Una vez, recolectada la muestra, el envase fue sellado nuevamente con parafina y depositado en un contenedor aislante a una temperatura aproximada de 5°C. En el laboratorio, se analizó la muestra utilizando las herramientas de: espectrometría de masas por absorción atómica, determinación de propiedades eléctricas mediante resistivímetro y cálculo de turbidez.

### **Recolección y procesamiento de muestras de agua para análisis microbiológico**

Se utilizaron 4 recipientes herméticos y el procedimiento se realizó conforme la norma ya mencionada (NOM-109-SSA1-1994). Las muestras se mantuvieron a una temperatura aproximada de 5°C y no transcurrieron más de 4 horas después de la obtención hasta que las muestras fuesen enviadas a un laboratorio privado para su análisis con la técnica de siembra por vertido en placa con agar nutritivo.

### **Recolección y procesamiento de muestras de sedimento**

Para el análisis de sedimento activo se recolectaron 7 muestras. En el campo, para cada punto de muestreo se procedió a retirar la cubierta de suelo, aproximadamente 5 cm para evitar la contaminación de la muestra por material volante. De la zona descubierta se extrajo alrededor de un kilogramo de

sedimento el cual fue transferido a una bolsa de nylon para muestreo y etiquetada de acuerdo al lugar de la toma.

En el laboratorio, las muestras fueron secadas en una estufa de aire caliente a 110°C durante 2 horas, y posteriormente clasificadas mediante una serie tamices Tyler (-200,-80,-60,-25). Una vez que las muestras fueron clasificadas en las diferentes fracciones granulométricas, la fracción de sedimentos con granulometría menor a 180 micrómetros fue analizada mediante FRX, con el objetivo de conocer su composición química y relacionarla con las anomalías geoquímicas.

### **Parámetros evaluados**

Se evaluaron tres aspectos a las muestras de agua colectadas: físico, químico, y bacteriológico, entre los que se encuentran pH, conductividad, sólidos disueltos totales (TDS), conductividad, turbidez, así como la determinación de elementos pesados (i.e., Cu, Cr y Zn) mediante espectroscopia de absorción atómica (EAA), además de determinar la presencia de bacterias coliformes. Por su parte, las muestras de sedimentos recolectados fueron analizados la técnica de espectroscopia por fluorescencia de rayos X (FRX).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **pH de las aguas**

Las aguas del río Álamos muestran valores de pH en el rango de 7.7 a 8.5, considerándose como aguas ligeramente alcalinas. En estas condiciones determinados metales pueden precipitar e incorporarse a la fase sólida de los sedimentos aluvionares; tal es el caso del Fe y el Zn, por citar solo dos ejemplos.



Estos valores están en correspondencia con el ambiente geológico donde se desarrolla la cuenca, pues el río corre sobre un substrato de rocas carbonatadas. Los mayores valores de pH se observan en los afluentes Centro y Comercial con valores de 8.2 y 8.5 respectivamente. Es probable que las aguas de ambos afluentes estén influenciadas por la actividad antrópica de la ciudad de Nueva Rosita, al atravesar estos un área considerable de la ciudad. Se concluye que las aguas de la cuenca del río Álamos son de ligeramente alcalinas a alcalinas.

Tabla 2. Resultados de los análisis físicos (pH conductividad eléctrica, STD-Sólidos Totales Disueltos en muestras de agua del río Álamos. Se utilizaron un phmetro Hach Sension 378 y un conductímetro Sevencompact.

Estación	Localidad	pH	conductividad (µS)	STD mg/L
1	Adjuntas	8.2	516	258
2	Afluente Centro	8.2	1397	698
3	Rovirosa	7.9	543	271
4	Afluente Comercial	8.5	1056	528
5	Paso del coyote	7.95	349	174.3
6	Ejido del coyote	7.7	388	194

### Turbiedad

Se utilizó un turbidímetro para obtener la información de la tabla 3. El agua en los puntos 1, 2, 4 y 5 supera el límite de 5 NTU mencionado en la norma NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 3 Datos obtenidos mediante turbidímetro HANNA HI93703

Estación	Localidad	turbidez NTU
1	Adjuntas	9.5
2	Canal centro	173

3	Rovirosa	1.72
4	Canal comercial	7.74
5	Paso del coyote	9.715
6	Ejido del coyote	0.52

### Contenido de metales (Cu, Cr, Zn)

Mediante espectrometría de masas por absorción atómica, utilizando la norma NMX-AA-051-SCFI-2001. Se determinaron las concentraciones de tres metales (Cu, Cr, Zn). Se observa que en todas las muestras el cromo supera el valor permisible de 0.05 mg/L según la norma NOM-127-SSA1-1994. Se concluye que este metal es muy anómalo en las aguas analizadas, siendo la estación 2 la que presenta el valor más elevado, al superar en valor permisible 3.84 veces. Estos valores pudieran estar relacionados con desechos de la actividad antrópica de los pobladores de la ciudad de Nueva Rosita.

Tabla 4 Composición química de las aguas del río Álamos. Los valores se expresan en mg/L.

Estación	Localidad	Cu mg/L	Cr mg/L	Zn mg/L
1	Adjuntas	0.026	0.068	
2	Canal centro	0.028	0.192	0.006
3	Rovirosa	0.029	0.114	0.003
4	Canal comercial	0.052	0.137	0.007
5	Paso del coyote	0.029	0.149	
6	Ejido del coyote	0.035	0.151	

### Análisis microbiológico

Los resultados del laboratorio muestran que las 4 muestras de agua analizadas se obtiene crecimiento de colonias de bacterias coliformes a las 24 horas de haber sido sembradas en el medio de cultivo.

## Análisis de sedimento

Tres elementos arrojan resultados anómalos (varios órdenes por encima de los Clarke) para rocas carbonatadas: Zn, Ti y Pb. El clarke de Zinc para rocas carbonatadas es de 20 ppm (Fleischer Michael, 1967, *Data of Geochemistry*, Washington, United States, United States Government Printing Office), sin embargo, su concentración en las estaciones dos y tres sobrepasa las 2500 ppm, esto se puede explicar por la presencia de un antiguo vertedero de colas de hornos de zinc en el lugar de la recolección de muestra. En relación con las estaciones 4 y cinco se debe hacer una indagación en el suelo de las colonias aledañas para identificar la fuente de la anomalía. El plomo, con clarke de 9 ppm (Fleisch, 1967) muestra concentraciones anómalas de bajas a media en las estaciones 2 y 3. Por último, el titanio sobrepasa el clarke de 400 ppm (Fleisch, 1967) en todas las estaciones teniendo su mayor concentración en la estación 3.

Tabla 5 Concentraciones anómalas de metales en el sedimento.

Estación	Localidad	Zn	Ti	Pb
1	Adjuntas	648	2201	39
2	Nilo lecho	2489	2320	104
3	Nilo ladera	3657	3192	166
4	Rovirosa	1045	2562	51
5	Canal comercial	850	2028	40
6	Paso coyote	98	1836	16
7	Ejido coyote	68	2728	13

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se llegan a las siguientes conclusiones:

1. Los mayores valores de pH se observan en los afluentes Centro y Comercial con valores de 8.2 y 8.5 considerándolas como ligeramente alcalinas a alcalinas.
2. El Cr presenta valores muy anómalos superando en 3.8 el valor permisible por lo que se sugiere que la actividad antrópica sea la responsable de provocar estos valores elevados.
3. El análisis microbiológico reveló una gran contaminación producidas por colonias de bacterias coliformes.
4. Los metales pesados que más se concentran en los sedimentos de arroyo son el Zn, Ti y Pb.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAGUA, 2015, Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Región Carbonífera (5012), Estado de Coahuila. Publicada en el diario oficial de la República, 20 de abril de 2015.

INEGI, 1986, Coahuila Hidrología, Cafetal No. 240 Colonia Granjas México Delegación Iztacalco 08700 México, D.F.

Drinking-water, 2018. World Health Organization. <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> last visited on august 30 2018.

“NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994” México, D.F., a 30 de noviembre de 1995.

“NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-109-SSA1-1994” México, Distrito Federal, a 26 de mayo de 1994



“NORMA MEXICANA NMX-AA-051-SCFI-2001” Análisis de agua.-medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas método de prueba. DOF 07/12/2016

Recursos Hídricos en el estado de Coahuila. Informe de la situación del sector de agua potable en Coahuila en el año 2007. Fuente Web CEAS.

Fleischer Michael, 1967, *Data of Geochemistry*, Washington, United States, United States Government Printing Office

## **CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA PRELIMINAR DE OBJETOS MINERALIZADOS EN EL NOROESTE DEL ESTADO DE COAHUILA MEDIANTE ESTADÍSTICA MULTIVARIADA: IMPORTANCIA EN LA EXPLORACIÓN Y LA METALOGENIA**

**Díaz-Martínez, R.\*1; Rodríguez-Vega, A.1.; Hernández-Rosales, A.1.  
Martínez-Salinas, E.A.1; Rodríguez-Batista, J.A.1; Almaguer-Carmenates,  
Y.1; López-Saucedo, F. de J.1.**

1Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad  
Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita,  
Coahuila.

rdmart91@gmail.com

### **RESUMEN**

La región noroeste del estado de Coahuila presenta rasgos geológicos, geoquímicos y metalogénicos muy particulares, albergando numerosos recursos minerales de importancia económica, entre los que destacan los depósitos de fluorita acompañados de berilio, barita y celestita, algunas manifestaciones de Tierras Raras, así como depósitos y manifestaciones de Zn, Pb, Ag, Cu tipo MVT. La presente investigación revela las particularidades geoquímicas de diferentes objetos mineralizados en los distritos mineros Puerto Rico, La Vasca y Minerva mediante estadística multivariada permitiendo orientar y ejecutar las tareas de exploración geoquímica y evaluación económica de los recursos minerales. Los análisis químicos realizados a 24 muestras se ejecutaron por el método ICP-MS en Chemeq Guadalajara para 49 elementos. Se realizó la prueba de fiabilidad

mediante Alfa de Cronbach obteniéndose un valor de 0.842 lo que se considera aceptable para 16 elementos raros y dispersos (Ce-Cs-Ga-Ge-Hf-In-La-Rb-Re-Sc-Te-Th-Tl-U-Y-Zr. El ACP se realizó con ayuda del programa IBM SPSS Statistic 24. La prueba KMO arrojó un valor de 0.7, lo que corrobora una correlación aceptable, mientras que la Prueba de esfericidad de Bartlett dio un valor de Sig de 0.00. El ACP permitió reducir la dimensionalidad de los datos a 4 factores principales con un 83.426 % acumulado de la varianza. El componente 1 explica el 50.023% de la varianza y está compuesto por Y-Hf-Ce-La-U-Zr-Re-Th-Ga-(Rb-Cs); el componente 2 explica el 14.186% de la varianza y está representado por Ga-In-Rb-(Sc-Tl), el componente 3 explica el 9.690% de la varianza con los elementos Cs- (Sc-Ga) y el Componente 4, que explica el 9.527% de la lo integran los elementos (Ge-Sc-Cs). La asociación paragenética representada por el componente principal 1 es consistente con las litologías presentes en la sierra La Vasca donde afloran cuerpos de sienitas nefelínicas con minerales del grupo de la eudialita, asociadas a los denominados procesos agpaíticos en macizos de rocas alcalinas. Estos cuatro componentes principales nos avocan a pensar preliminarmente la gran complejidad geoquímica del área objeto de estudio y su potencial en recursos estratégicos para la región y el país.

Palabras clave: Geoquímica, Análisis de componentes principales, metalogenia.

## ABSTRACT

The northwest region of the state of Coahuila presents geological, geochemical and metallogenic features very particular, occurring numerous mineral resources of economic importance, among which stand out the deposits of fluorite accompanied by beryllium, barite and celestite, some manifestations of Rare Earth, as well as deposits and manifestations of Zn, Pb, Ag, Cu type MVT. The present investigation reveals the geochemical peculiarities of different mineralized

241



objects in the mining districts of Puerto Rico, La Vasca and Minerva through multivariate statistics, allowing orientation and execution of the tasks of geochemical exploration and economic evaluation of mineral resources. The chemical analyzes performed on 24 samples were carried out by the ICP-MS method in Chemeq Guadalajara for 49 elements. The reliability test was performed by Cronbach's alpha, obtaining an acceptable value of 0.838 for 16 rare and dispersed elements (Ce-Cs-Ga-Ge-Hf-In-La-Rb-Re-Sc-Te-Th-Tl-U-Y-Zr). The ACP was carried out with the help of the IMB SPSS Statistic 24 program. The KMO test yielded a value of 0.7, which corroborates an acceptable correlation, while the Bartlett's Sphericity Test gave a Sig value of 0.00. The ACP allowed to reduce the dimensionality of the data to 4 main factors with an accumulated 83.426% of the variance. Component 1, explains 50.023% of the variance and is composed of Y-Hf-Ce-La-U-Zr-Re-Th-Ga- (Rb-Cs); component 2, explains 14.186% of the variance and is represented by Ga-In-Rb- (Sc-Tl), component 3, explains 9.690% of the variance with the elements Cs- (Sc-Ga) and Component 4, which explains the 9.527% of the elements are integrated (Ge-Sc-Cs). The paragenetic association represented by the main component 1 is consistent with the lithologies present in La Vasca Mountain, where bodies of nepheline sienites appear with minerals from the eudialite group, associated with the so-called agpatic processes in alkaline rock massifs. These four main components lead us to think first about the great geochemical complexity of the area under study and its potential in strategic resources for the region and the country.

Keywords: Geochemistry, Principal component analysis, metallogeny

## INTRODUCCIÓN

Importantes mineralizaciones sulfurosas de Pb-Zn-Ag-Cu y Pb-Zn-Ag, Pb-Zn tipo Calaminas y fluoritas con berilio se hospedan en las secuencias carbonatadas del Cretácico de los distritos mineros Puerto Rico, La Vasca y Minerva ubicados en noroeste de estado de Coahuila (Figura 1). Las ocurrencias reveladas recientemente (inédito) de elementos de las tierras raras (REE-por sus siglas en inglés) son reportadas en la sierra La Vasca en relación con rocas magmáticas del Terciario cuyas composiciones se corresponden con kakortokitas, lujavritas y agpaitas con abundantes minerales del grupo de las eudialitas y probablemente formen parte integrante de la Provincia Magmática Alcalina Oriental Mexicana (PMAOM).

El análisis estadístico multivariante ha mostrado ser una herramienta muy efectiva en la exploración geoquímica (Varmuza and Filzmoser, [2009](#); Reimann et al., [2011](#)) y en el reconocimiento de asociaciones multivariante con coherencia geoquímica. La combinación del análisis de Correlación Múltiple (ACM o correlación de Pearson, conjuntamente con el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis de Factores (AF) ha sido empleado en estudios geoquímicos con mucho éxito mostrando robustez y efectividad práctica (Kaiser, 1958; Goovaerts, 1993). La aplicación de esta técnica ha permitido establecer cuatro asociaciones geoquímicas de gran importancia y utilidad práctica en la exploración minera y el análisis metalogenético.

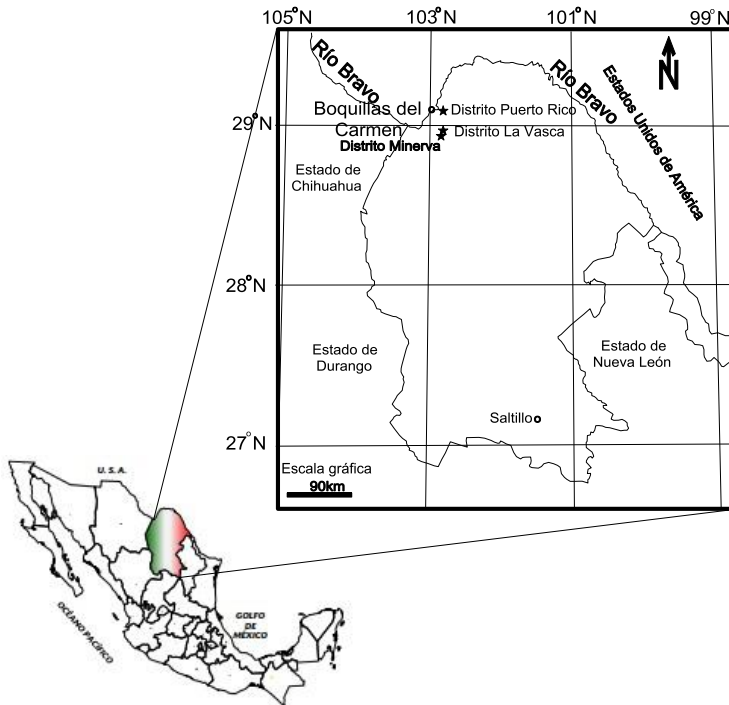


Figura 1. Ubicación de los distritos mineros Puerto Rico, La Vasca y Minerva

Este trabajo pretende revelar los rasgos geoquímicos más significativos de diferentes objetos mineralizados en el noroeste del estado de Coahuila mediante el análisis estadístico multivariado, técnica que permite lo que a su vez permite orientar y ejecutar tareas de prospección geoquímica y de evaluación del potencial metalogénico de esta región.

## ANTECEDENTES

Los estudios precedentes dirigidos a profundizar en el conocimiento geológico de la región noroeste del estado de Coahuila se relacionan con los trabajos de cartografía geológica-minera a escala 1:250 000 y 1:50 000 efectuados por el

Servicio Geológico Mexicano (SGM); además, se destacan los trabajos de numerosos investigadores (Trilla et al., 2006; González-Sánchez et al., 2007): relacionados con mineralizaciones de Pb-Zn-Cu-Ba-F-Sr epigenéticos estratoligados encaminados a lograr un mayor grado de conocimiento de cuestiones de carácter metalogenético, proponiendo numerosas ideas y modelos acerca los tipos genéticos de los depósitos minerales distribuidos en esta extensa región. Muchos investigadores se han ocupado del estudio de los yacimientos de fluorita, de Ba y Sr y de Pb, Zn, Ag, Au y otros metales y materias primas minerales.

La selección de la región de estudio para realizar este estudio se fundamenta en el hecho de que en esta zona afloran cuerpos intrusivos alcalinos de edad Terciaria que intrusionan las secuencias carbonatadas del Cretácico. Estas rocas magmáticas están constituidas por kakortokitas, lujavritas y agpaitas y constituyen las rocas huéspedes de importantes mineralizaciones de tierras raras y elementos radioactivos, que sus descubridores en sus inicios la describieron como minerales de manganeso, cuando se trataba de minerales del grupo de las eudialitas. El otro aspecto que avala la selección de los distritos mineros para realizar el análisis multivariante es que se dispone de una base de datos de calidad representada por 24 muestras analizadas en Chemex, Guadalajara para 49 elementos por la técnica ICP-MS.

## MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

### Contexto regional

El contexto geológico regional en que se enmarcan los distritos mineros estudiados se relaciona con la denominada “Provincia Magmática del Trans-Pecos” (PMTP) la cual constituye una muy extensa provincia magmática de

carácter alcalino que se originó a lo largo de un período de tiempo geológico comprendido entre 48 y 24 Ma atrás, enmarcada entre el final de la Orogenia Laramide (casi 50 Ma) y el inicio del evento geotectónico que dio origen al sistema de “Cuencas y Cordilleras” norteamericano (casi 24 Ma) en el lejano Oeste de Texas, cuyo sector noroeste, que incluye el Campo Volcánico de las Montañas Davis, sobreyacen al basamento Laurentiano, mientras que el sector sureste, que incluye el área del Parque Nacional Big Bend, sobreyace a las rocas sedimentarias y metasedimentarias acrecionadas a Laurentia a finales de la era paleozoica (white, 2011).

En esta provincia magmática las rocas volcánicas predominantes en volumen son las riolitas y cuarzotraquitas cuyas características varían desde metaluminosas hasta peralcalinas; las traquitas nefelínicas y las fonolitas se presentan a modo de una cadena de cuerpos extrusivos con tendencia NW-SE a lo largo del borde oriental de la provincia.

El marco tectónico de la PMTP se ha descrito alternativamente como orogénico (un segmento de arco volcánico discontinuo profundamente internado en el continente y que se extendió hacia el norte hasta Montana) y anorogénico (una de las numerosas provincias magmáticas relacionadas con las cuencas de rift del Rio Grande).

En base a la comparación con los ambientes modernos la PMTP pudo haber sido formada en un ambiente tectónico transicional consistente de cuatro fases principales, durante las cuales los campos de esfuerzos variaron desde compresionales hasta neutrales y extensionales, al tiempo que las fuentes magmáticas cambiaron desde ambientes más litosférico a más astenosférico:

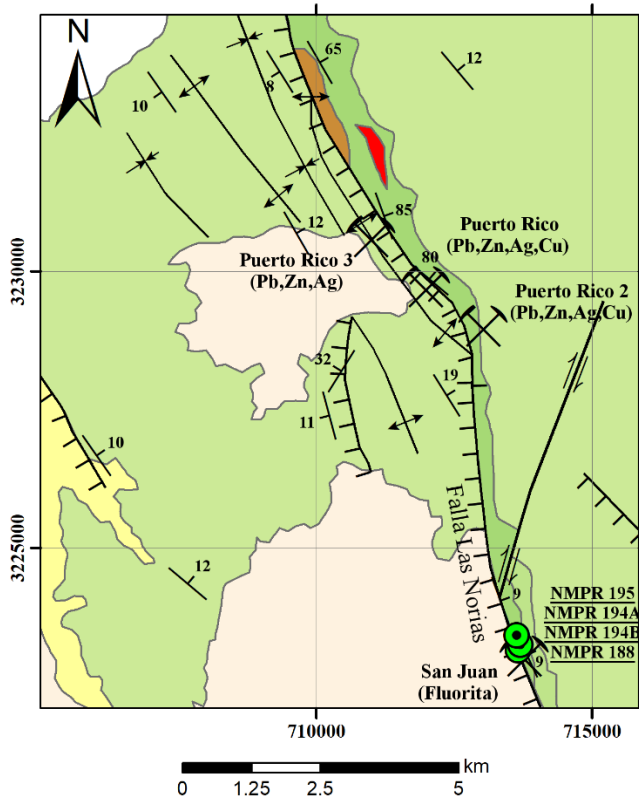
1.- La fase de colisión (Laramide) que dio lugar al apilamiento de la litósfera y al levantamiento orogénico, siendo menos favorable para el ascenso del magma (100-45 Ma);

- 2.- La fase de postcolisión iniciada durante la inclinación hacia atrás o la delaminación de la placa subducente, lo que provocó el ascenso astenosférico, la fusión parcial del manto litosférico (la placa metasomatizada por fluidos), la fusión parcial de la corteza debido a la intrusión de magma basáltico y al extenso y voluminoso vulcanismo (45-36 Ma);
- 3.- La fase postorogénica caracterizada por el levantamiento y un incremento en el vulcanismo bimodal y peralcalino a partir de la delaminación de la litósfera (36-27 Ma);
- 4.- La fase de relajación (Cuencas y Cordilleras) caracterizada por fallamiento normal, ausencia de magmatismo silícico y un rápido y total declive del magmatismo (27-17 Ma).

### **Contexto geológico y metalogénico local**

El distrito Puerto Rico se caracteriza por ser una zona de poca accesibilidad en la sierra del Carmen, muy cercano a Boquillas del Carmen. Forman parte de este distrito las minas Puerto Rico, San José y Puerto Rico 3. Las rocas encajonantes están constituidas por calizas con intercalaciones de lutitas y horizontes dolomitizados con intercalaciones de lutitas.

Las mineralizaciones del distrito tienen un notable control estructural, emplazándose a lo largo de la falla Las Norias, formando zonas irregulares, vetas, mantos y bolsadas, con un rumbo general  $N28^{\circ} - 70^{\circ} W$  y buzamiento de  $25^{\circ}$  a  $65^{\circ}$  NE. La mena está constituida por óxidos de plomo-zinc. En este distrito se conocen las minas Puerto Rico, San José y Puerto Rico 3 (Figura 2).



## Leyenda

### Litologías

Qho	Coluvial, Aluvial
Qpt	Cong. poligénico
Tpl	Cong. poligénico
Ka	Caliza, Lutita, Dolomía, Marga, Arenisca
Kap	Caliza, Lutita
Kha	Caliza, Cong. poligénico, Arenisca
Pd(?)	Esquisto
To	Granito - sienita

### Elementos estructurales

	Anticlinal
	Falla normal
	Falla rumbodeslizante
	Sinclinal

### Otros

	Yacencia
	Indicio minero
	Punto de muestreo



Figura 2. Distrito minero Puerto Rico. Se observa los puntos de muestreo de las cuatro muestras recolectadas y analizadas en este trabajo.

En el distrito La Vasca ocurren mineralizaciones de Ag, Pb y Zn, con contenidos discretos de Au. Cuatro minas inactivas actualmente ocurren en este distrito: Susana, San Agustín 2, San Agustín y La Esperanza (Figura 3). Este distrito se caracteriza por un complejo y variado mosaico de rocas de diversa composición y origen, donde afloran calizas, en ocasiones marmorizadas, diques de andesitas y cumulos de rocas magmáticas terciarias de composición alcalina muy similares a las de otros complejos alcalinos ellas son kakortokitas, lujavritas y agpaitas, cuya distribución espacial se manifiesta en forma circular, ocupando el borde exterior de la estructura geológica.

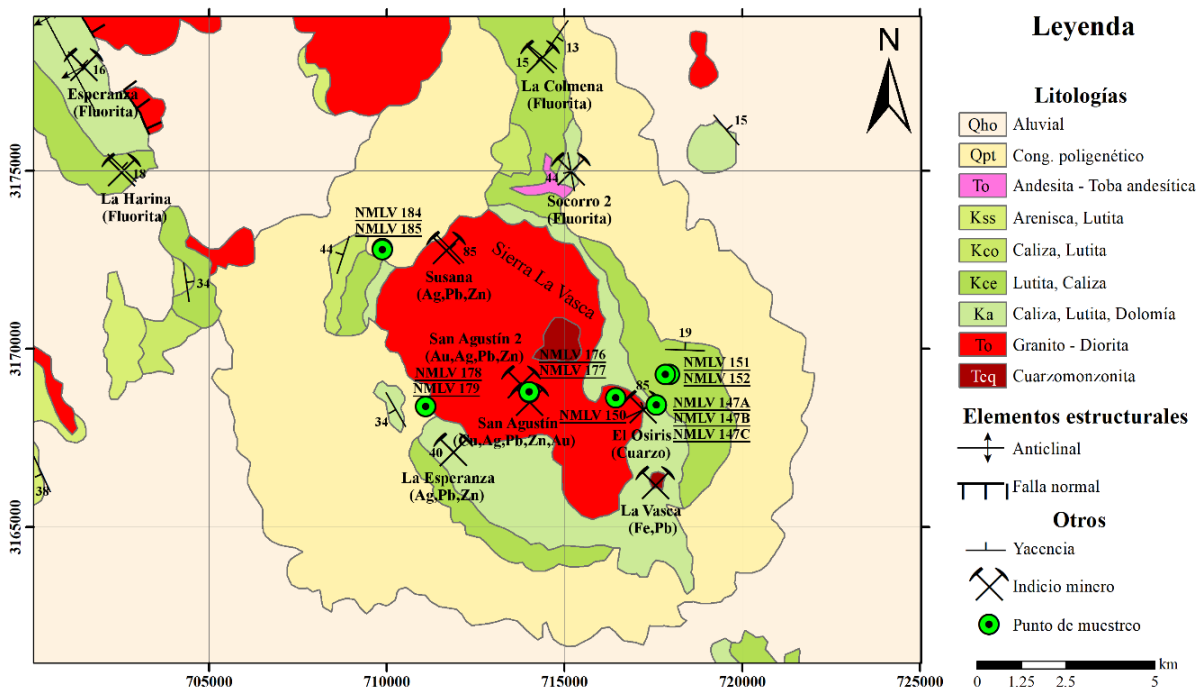


Figura 3. Mapa de ubicación del distrito La Vasca. Se observan los puntos de muestreo donde se recolectaron doce muestras de diferentes objetos geológicos.

El distrito minero Sierra Minerva, ubicado al sur de la Sierra La Vasca, se caracteriza por presentar cuatro mineralizaciones de Zn, Pb, Ag, Fe y Cu; ellas son: Margaritas, Minerva, Minerva 2 y Zacate (Figura 4). Estas mineralizaciones se presentan en forma de óxidos y carbonatos razón por la cual se consideran en este trabajo, de tipo calaminas. En este distrito se tomaron ocho muestras de diferentes objetos geológicos.

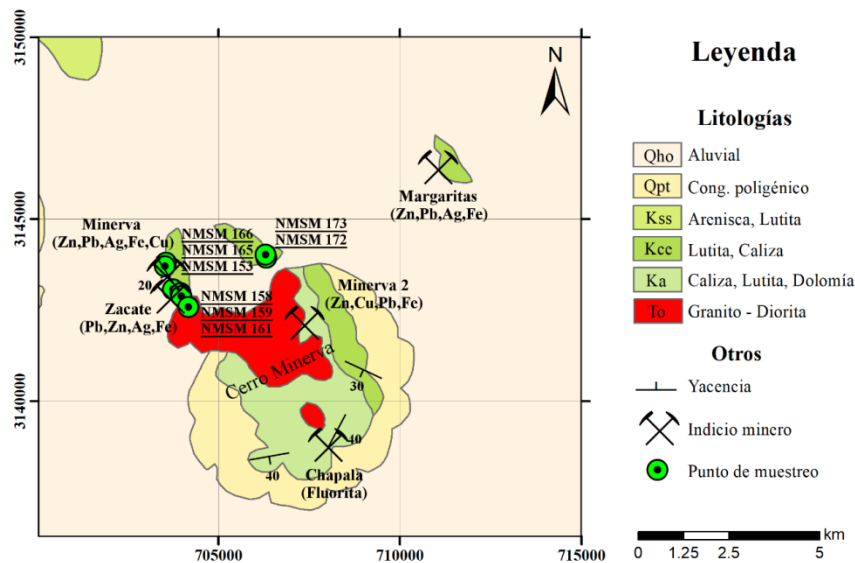


Figura 4. Mapa de ubicación del distrito Sierra Minerva. Se observan los puntos de muestreo donde se recolectaron ocho muestras de diferentes objetos geológicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis multivariante basado en el análisis factorial es una técnica de reducción de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de variables. Estos grupos se forman con las variables que correlacionan mucho entre sí, pero que los grupos sean independientes entre sí.

El Análisis Factorial es, por tanto, una técnica de reducción de la dimensionalidad de los datos. Su propósito es buscar el número mínimo de dimensiones capaces de explicar el máximo de información contenida en los datos.

Se realizó un muestreo de diferentes materiales geológicos durante una campaña de reconocimiento geológico entre el 21 y el 25 de marzo de 2012, colectando aleatoriamente muestras de calizas frescas, brechas andesíticas, zonas de oxidación, jasperoides, algunas rocas alteradas hidrotermalmente, así como rocas alcalinas en los tres distritos seleccionados (Puerto Rico, La Vasca y Minerva). En total fueron recolectadas 24 muestras las que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio Chemex, Guadalajara por el método de roca total mediante la técnica ICP-MS para un paquete de 49 elementos químicos. La base de datos empleada para el desarrollo de esta investigación fue aportada por Revi Mineral S.A de C.V. (Tabla 1).

**Tabla 1. Resultados de los análisis químicos (ppm) por ICP-MS de muestras colectadas en los distritos estudiados. NMPR-muestras de Puerto Rico; NMLV- muestras de La Vasca; NMSM-muestras de Sierra Minerva.**

Muestras	Ce	Cs	Ga	Ge	Hf	In	La	Rb	Re	Sc	Te	Th	Tl	U	Y	Zr
NMPR 188	6	0.5	5	27.5	1.7	0.2	3	4.2	5	0.6	0.1	0.6	0.5	7.8	4.6	63.2
NMPR 194A	7	0.2	2	16.2	1.5	0.05	4	1.9	5	0.7	0.5	1	1.4	8.4	4.6	65.7
NMPR 194B	5	0.5	5	6.9	1.1	0.17	3	3.8	9	1.4	0.1	0.9	2.4	10.8	2.3	31.6
NMPR 195	6	0.9	2	3.9	0.4	0.05	3	9.8	8	1.4	0.1	0.9	0.2	4.8	4.2	14.2
NMLV 147A	35	1.7	5	2.5	0.8	0.24	23	7.9	11	4.2	1.3	2.6	3.7	8.2	10	33.8
NMLV 147B	44	2.1	6	3.3	0.8	0.81	29	10	13	3.6	3	3.4	6.4	8.1	8	29.2
NMLV 147C	35	4.5	7	5.1	0.3	5.03	7	5.9	8	0.8	0.3	1.3	0.4	6.9	5.9	13.8
NMLV 150	31	2.5	10	2.2	8.9	1.69	15	2.6	5	1	0.2	23.3	0.4	14.1	38.3	388
NMLV 151	2	0.2	4	4.4	0.1	0.06	1	0.3	5	0.1	11.4	0.2	0.8	3	0.7	4.7
NMLV 152	21	2	6	1.5	0.3	0.04	11	16.8	5	6.1	0.1	2.3	0.7	4.8	7	15.1
NMLV 184	278	2.6	3	1.9	0.2	0.09	222	2.4	5	0.4	2.3	8.9	0.2	21.6	76.8	8.4
NMLV 185	1000	2.8	29	3.6	293	0.09	727	118	49	4.1	0.5	45.4	1	51.8	1000	1000
NMLV 176	70	1.7	14	1.2	1	38.3	38	142	5	4	2.3	3.1	1.6	1	16.3	34.4
NMLV 177	45	2.4	21	0.7	1.3	16.2	24	24.7	6	15.5	0.1	1.9	0.3	0.6	13.4	42.5

NMLV 178	70	1.9	15	1.2	1.4	26.1	37	179	6	4.2	0.1	3.3	2.4	1	16.3	41.3
NMLV 179	11	0.6	5	0.3	0.1	0.88	9	9.2	9	0.1	1.4	0.1	4.3	3.4	1.7	4.8
NMSM 172	44	3.1	7	2.2	0.5	0.1	21	20.4	5	5.3	0.4	2	0.2	2.2	20.2	14.9
NMSM 173	37	4.3	10	3.4	1.5	0.26	18	24.2	5	4	0.1	2.6	0.6	3.7	12.6	57.5
NMSM 153	36	0.7	11	12	0.2	0.17	18	5.4	6	4.7	0.1	1.3	3	5.5	8.5	7.5
NMSM 158	2	0.5	6	3.2	0.1	0.03	1	1.7	7	1.9	0.1	0.5	1.1	3.3	1.9	5.9
NMSM 159	4	0.5	6	54.3	0.3	0.03	1	3	5	2.2	0.1	1	0.3	1.9	2.3	12.7
NMSM 161	12	2	7	9.1	0.7	0.07	6	9.3	10	11.1	0.1	0.5	0.4	1.2	6.2	25
NMSM 165	15	4.2	5	3.4	0.7	0.04	9	19.5	7	5.9	0.1	1.9	0.6	1.8	6.7	28.5
NMSM 166	24	2.3	2	21.5	0.5	0.05	6	11.9	6	2	0.1	1.8	0.2	7.8	3.1	21.3

El análisis de confiabilidad o fiabilidad es un índice de consistencia interna y se obtiene mediante el cálculo de Alfa de Cronbach. Este índice va desde cero a uno y los valores más altos indican mayor consistencia, considerando como regla general valores altos aquellos que están por encima de 0.8.

La prueba KMO (Kaiser, Meyer y Olkin) relaciona los coeficientes de correlación,  $r_{jh}$ , observados entre las variables  $X_j$  y  $X_h$ , y  $a_{jh}$  son los coeficientes de correlación parcial entre las variables  $X_j$  y  $X_h$ . La medida KMO de adecuación de muestreo nos indica la presencia de buenas correlaciones entre los datos o variables y se considera bueno cuando es superior a 0.5.

La prueba de esfericidad de Bartlett cuando el valor es inferior a 0.5 nos avala una buena correlación entre variables, si el sig es 0.00 significa que las correlaciones son significativas y por tanto el análisis factorial es adecuado.

El análisis factorial se realizó mediante el método de componentes principales con autovalores mayores que 1, rotación Varimax y normalización Keiser

Los Clarkes de concentración de cada elemento químico fueron calculados a partir de los valores normales en la corteza terrestre.

El análisis estadístico multivariante se realizó con ayuda del programa IBM SPSS Statistic 24.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de confiabilidad mediante el cálculo de Alfa de Cronbach arrojó un valor de 0.842 indicando un índice de consistencia interno muy bueno, lo que explica buenas correlaciones entre las variables.

Como se observa en la Tabla 2 la prueba KMO arrojó un valor de 0.677, el cual es superior a 0.5 y por tanto existen buenas correlaciones entre los ítem o variables analizadas. Por su parte, la prueba de esfericidad de Bartlett dio un sig. de .000, muy bajo y por tanto el análisis factorial es adecuado.

**Tabla 2. Prueba de KMO y Bartlett para los 16 elementos analizados en las 24 muestras de los distritos Puerto Rico, La Vasca y Minerva.**

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		.677
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	685.835
	gl	120
	Sig.	.000

La varianza total explicada (Tabla 3) muestra un porcentaje acumulado para sumas de rotación de cargas al cuadrado de 83.426, valor considerado muy bueno para los cuatro componentes principales obtenidos. Se han extraído cuatro factores tras un proceso de rotación del espacio factorial por el método Varimax normalizado.

Los cuatro factores extraídos explican en conjunto el 83.426 % de la variabilidad de la información geoquímica y todos los factores representan, cada uno, más del 5 %.

Tabla 3. Varianza total explicada obtenida tras un proceso de rotación del espacio factorial por el método Varimax con normalización de Kaiser.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de var.	% acum.	Total	% de var.	% acum.	Total	% de var.	% acum.
1	8.259	51.621	51.621	8.259	51.621	51.621	8.004	50.023	50.023
2	2.370	14.814	66.435	2.370	14.814	66.435	2.270	14.186	64.209
3	1.554	9.713	76.148	1.554	9.713	76.148	1.550	9.690	73.899
4	1.165	7.278	83.426	1.165	7.278	83.426	1.524	9.527	83.426
5	.923	5.771	89.197						
6	.750	4.690	93.887						
7	.394	2.465	96.352						
8	.257	1.604	97.956						
9	.147	.917	98.873						
10	.090	.560	99.433						
11	.064	.403	99.836						
12	.016	.102	99.938						
13	.008	.050	99.988						
14	.002	.011	99.999						
15	.000	.001	100.000						
16	2.784E-5	.000	100.000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Como resultado del análisis factorial de la matriz de componentes rotados (Tabla 4), en que la rotación ha convergido con 5 iteraciones se redujo la dimensionalidad de las muestras a cuatro componentes principales; ellos son:

Tabla 4. Pesos factoriales del análisis de componentes principales. Factores extraídos con rotación Varimax.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Y	.987			
Hf	.981	.101		
Ce	.972	.113		
La	.970			
U	.958	-.136		
Zr	.955			
Re	.945			
Th	.936		.100	
Ga	.641	.612	.234	.175
In	-.153	.938		
Rb	.335	.869		
Ge		-.151	-.798	.432
Cs	.154		.763	.357
Sc		.385	.487	.426
Tl		.111		-.698
Te				-.697

Factor 1: Y-Hf-Ce-La-U-Zr-Re-Th-Ga- (Rb-Cs)

Explica el 50.023% de la varianza total

Esta asociación formada principalmente por elementos del grupo de las tierras raras ligeras, elementos de transición, radiactivos y calcófilos. Estos elementos se concentran en los materiales geológicos del distrito La Vasca, donde afloran rocas tales como kakortokitas, lujavritas y agpaitas.

Factor 2: In-Rb-Tl-(Ce-Hf)

Explica el 14.186% de la varianza

Esta asociación pudiera estar relacionada con la presencia de mineralizaciones de estaño, aunque no se descarta un control litológico. Su distribución matiza el



factor 1 y la complementa y se caracteriza por su afinidad geoquímica. Su presencia se hace notoria en la sierra La Vasca donde afloran rocas alcalinas con minerales del grupo de las eudialitas.

#### Factor 3: Cs-Sc-(Ga-Th)

Explica el 9.690% de la varianza

Esta asociación de elemento alcalino, escandio y galio al parecer se relaciona con los tipos litológicos magmáticos presentes en la región, específicamente magmáticas, de ahí que esta asociación se relaciona con los cuerpos de rocas ígneas que afloran en La Vasca y en el distrito de Puerto Rico.

#### Factor 4: Ge- (Sc-Cs-Ga)

Explica el 9.527% de la varianza total y pudiera estar relacionada con las mineralizaciones sulfurosas de los distritos Puerto Rico y Minerva

El cálculo de los Clarkes de concentración (Tabla 5) permitió revelar valores extremadamente anómalos para los elementos Re, Te, In, Hf y Ge. Todos ellos se concentran significativamente en el distrito minero La Vasca. Esto se debe probablemente a la presencia de ocurrencias minerales en zonas de brecha con molibdenita y estannina muy cerca de la mina San Ignacio.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de los datos. Los valores de clarke se refieren a los de la corteza terrestre (ppm).

Elementos	Clarke	Media	Desviación estándar	N de análisis	Kc
Ce	70	76.67	204.266	24	1.10
Cs	3.7	1.863	1.3051	24	0.50
Ga	19	8.04	6.342	24	0.42
Ge	1.4	7.979	12.0125	24	5.70
Hf	1	13.225	59.6173	24	13.23
In	0.25	3.7813	9.54907	24	15.13
La	29	51.5	150.46	24	1.78
Rb	150	26.413	47.711	24	0.18

Re	0.0007	8.54	8.9	24	12200
Sc	10	3.554	3.603	24	0.36
Te	0.007	1.038	2.3616	24	148.29
Th	13	4.617	9.8797	24	0.36
Tl	1	1.379	1.5833	24	1.38
U	2.5	7.654	10.5683	24	3.06
Y	32	52.983	202.3514	24	1.66
Zr	170	81.833	209.7856	24	0.48

## CONCLUSIONES

La presencia de una asociación geoquímica muy particular, revelada en el análisis multivariante de datos geoquímicos del noroeste del estado de Coahuila, constituida por Y-Hf-Ce-La-U-Zr-Re-Th-Ga- (Rb-Cs), indica que esta región es particularmente importante para la exploración de mineralizaciones de tierras raras y elementos radioactivos. Estos resultados deben ser considerados en futuras campañas de exploración minera y el análisis metalogénico.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la empresa Revi Minerals S.A. de C.V, y especialmente al Sr. Jesús Hernández Villareal por permitirnos acceder al área de estudio y aportar la base de datos para realizar el presente estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

González-Sánchez, F., Puente-Solís, R., González-Partida, E., Camprubí, A., 2007, Estratigrafía del Noreste de México y su relación con los yacimientos estratoligados de fluorita, barita, celestina y Zn-Pb: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 59(1), 43- 62.

Goovaerts, P., 1993. Spacial orthogonality of the principal components computed from coregionalized variables. Mathematical Geology. 25, 3, 281-302.

Kaiser, H.F., 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika, 23, 187-200.

[Hikaru Iwamori](#), H., [Yoshida](#), K., Makamura, H., Kuwatani, T., Hamada, M., Haraguchi, S., Ueki, K., 2017. Classification of geochemical data based on multivariate statistical analyses: Complementary roles of cluster, principal component, and independent component analyses. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 99-1012

Reimann, C., P. Filzmoser, R. Garrett, and R. Dutter, 2011 Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R, John Wiley, N. J.

Tritlla, J., Levresse, G., Corona-Esquivel, R., Banks, D., Lamadrid, H. y Bourdet, J., 2006, Depósitos de Pb-Zn-Cu-Ba-F-Sr epigenéticos estratoligados en series sedimentarias en relación con salmueras de cuenca: depósitos de tipo “Mississippi Valley” (MVT) y similares en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana volumen conmemorativo del centenario revisión de algunas tipologías de depósitos minerales de México tomo LVIII, núm. 1, 2006, p. 103-139



Varmuza, K., and P. Filzmoser, P., 2009. Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics. Taylor & Francis - CRC Press, Boca Raton, FL, 2009. ISBN: 9781420059472.

White, J.C., 2011. The Trans-Pecos magmatic province, Texas: an example of magmatism in a transitional tectonic setting. South-Central Section - 45th Annual Meeting (27-29 March 2011).

# PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE ROCAS Y MINERALIZACIONES DE ETR Y RADIOACTIVOS DE LA SIERRA LA VASCA: IMPLICACIONES EN LA METALOGENIA Y LA EXPLORACIÓN MINERA

Martínez-Salinas, E. A.<sup>\*1</sup>, Díaz-Martínez, R.<sup>1</sup>, Rodríguez-Vega, A.<sup>1</sup>, Batista-Rodríguez, J. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita, Coahuila.

(\*Autor de correspondencia: [alan-14-307@hotmail.com](mailto:alan-14-307@hotmail.com))

## RESUMEN

Observaciones de campo y análisis petrográficos y geoquímicos realizados a muestras de rocas y mineralizaciones aflorantes en la Sierra La Vasca, conducidos por profesores y estudiantes de la institución educativa, han permitido esclarecer importantes rasgos composicionales acerca de la existencia de cuerpos de rocas alcalinas con mineralizaciones de elementos de Tierras Raras (eudialitas) y U-Th, de suma importancia en el escenario metalogénico para la exploración minera del norte del estado de Coahuila. El objetivo es dar a conocer la existencia de un nuevo complejo magmático alcalino y sus mineralizaciones asociadas, el cual pudiera estar vinculado a la provincia magmática de Trans-Pecos, cuya prolongación hacia el territorio nacional se denomina Provincia Magmática Alcalina Oriental. Para ello, se realizaron trabajos de reconocimiento geológico y muestreo en la porción occidental y norte de la Sierra La Vasca,

tomando 12 muestras para litogeoquímica a las que se les realizó ICP-MS, 10 para análisis petrográfico en la ESI-UAdeC, así como 27 mediciones de K, U y Th con un espectrómetro RS-125.

Los cuerpos de sienitas nefelínicas en los sectores estudiados en Sierra La Vasca se acompañan de anomalías gamma-espectrométricas intensas, producto de contenidos marcadamente elevados en estas rocas de U, Th y K, que conjuntamente con la presencia de minerales del grupo de la eudialita, constituyen sólidos indicios acerca de la existencia real de mineralización de Tierras Raras asociadas a los denominados procesos agpaíticos en macizos de rocas alcalinas. Se revelan altas concentraciones de Tierras Raras, donde el La oscila hasta 727 ppm y el Ce se eleva a más de 1000 ppm. Petrográficamente se ha confirmado que las sienitas nefelínicas de La Vasca se corresponden con rocas ricas en eudialita, semejantes a las lujavritas egirínicas, kakortokitas y eudialititas muy comunes en importantes depósitos de Tierras Raras conocidos.

Palabras clave: Sierra La Vasca, tierras raras, petrografía, geoquímica.

### ABSTRACT

Field observations and petrographic and geochemical analysis done to rock samples and mineralization outcrops in Sierra La Vasca, conducted by students and professors of the educational institute, have allowed to clear up important compositional features about the existence of alkaline rock bodies with Rare Earth elements (eudialytes) and U-Th, of great importance in the metallogenic environment for the mining exploration in the north of the state of Coahuila. The objective is to present the existence of a new alkaline magmatic province and its associated mineralizations, which could be linked to the Trans-Pecos magmatic province, whose extension to the national territory is denominated Eastern Alkaline Magmatic Province. For this, geological field recon and sampling works were done

261

in the western and northern of the Sierra La Vasca, taking 12 samples for litho-geochemistry which underwent ICP-MS, 10 for petrographic analysis at the ESI-UAdeC, as well as 27 measurements of K, U and Th with an RS-125 spectrometer.

The nepheline syenite bodies in the studied sectors of Sierra La Vasca are coupled by intense gamma-spectrometric anomalies, product of markedly elevated contents in these rocks of U, Th and K, which altogether with the presence of eudialyte group minerals, constitute solid hints about the real existence of Rare Earths mineralization associated to the so called agpaític processes in alkaline rock massifs. High RE concentrations are revealed, where La oscillates up to 727 ppm and Ce to higher than 1000 ppm. Petrographically it has been confirmed that the nepheline syenites of La Vasca are corresponded to eudialyte-rich rocks, similar to the aegirine lujavrites, kakortokites and eudialytites commonly found in important known Rare Earth deposits.

Keywords: Sierra La Vasca, rare earths, petrography, geochemistry.

## INTRODUCCIÓN

La exploración por elementos de tierras raras (TR) ha repuntado en los últimos años conforme a la demanda y avance tecnológicos de la sociedad moderna. Se asocian con cuerpos como carbonatitas, intrusiones alcalinas agpaíticas, entre otros (Chakhmouradian et al., 2012; Sørensen, 1997; Thrane et al., 2014). Estos elementos frecuentemente son catalogados como “metales estratégicos o críticos” debido a la importancia que tienen actualmente y se estima que ésta crezca en el futuro inmediato; sus aplicaciones únicas para las que no hay reemplazos, y los yacimientos explotables existentes son controlados por un reducido número de países, siendo China el proveedor de más del 75% del mercado (Amezcuca y Caballero, 2013).

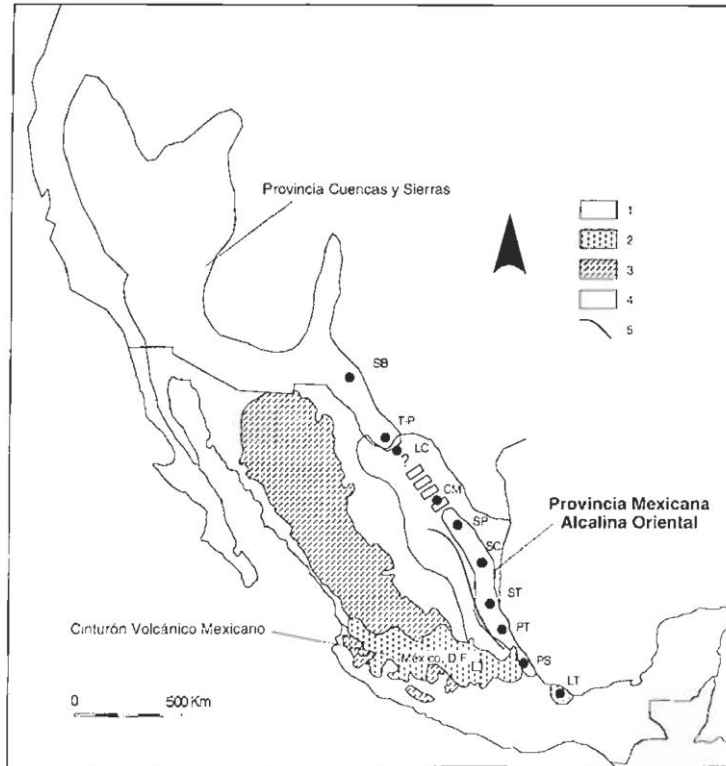


En el caso de México, existen proyectos que han explorado por estos recursos en la república, empezando desde los años 70 con el Consejo de Recursos Minerales, donde se visualizaron prospectos ocurrencias de mineralizaciones de TR en lugares como cerca de Tampico. La región de El Picacho en Tamaulipas, las fosforitas jurásicas de Zacatecas, areniscas en Oaxaca y arenas en Baja California ricas en monazita, son localidades que han captado interés para su exploración de TR (Arriaga et al, 2013); más recientemente se tiene el Proyecto de Sustentabilidad Energética a partir de Tierras Raras, en el año 2013, dirigido por la UNAM. Debido a esfuerzos como éste, el conocimiento que se tenía sobre ciertas regiones requiere actualizarse para ajustarse a los nuevos datos. El objeto de estudio de este trabajo padece del mismo efecto.

Los trabajos de reconocimiento y mapeo de la zona San Miguel es lo único que se tiene al momento, y en base a lo propuesto aquí, surge la necesidad de reevaluarlos, así como el contribuir aportando nueva información. En el presente trabajo, se presentan datos inéditos sobre la Sierra La Vasca, que ha captado nuestro interés por lo inusuales que son y el potencial que ofrecen para mejorar la percepción de este objeto que no ha salido a la luz de la comunidad científica.

**MARCO**

**GEOLÓGICO  
REGIONAL**



*Figura 1. Distribución de la Provincia Cuencas y Sierras y la Provincia Mexicana Alcalina Oriental. Tomado de Ramírez Fernández et al., 2000.*

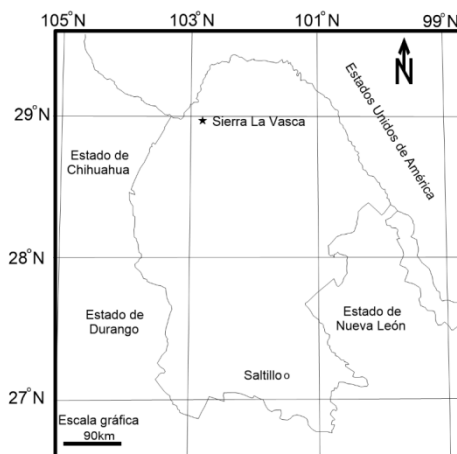
En el noroeste del estado de Coahuila se encuentra la gran provincia de la Sierra Madre Oriental (Sedlock et al., 1993), y dentro de ella la subprovincia de Cuencas y Sierras. Se manifiesta gran parte de la secuencia sedimentaria cretácica de la Cuenca de Sabinas, que fue afectada por los procesos tectónicos ocurridos durante la orogenia Laramide a finales del mesozoico, deformando en gran medida los cuerpos litológicos en forma de anticlinales, sinclinales y

cabalgaduras, seguido de la etapa distensiva post-laram-ídica dando origen al falla-miento normal y lateral existente, probablemente también a los diversos derrames volcánicos que se presentan. Además de esto, el magnetismo asociado al retroceso de la placa Farallón en el terciario se observa en forma de un gran número de cuerpos intrusivos con variable morfología.

La Provincia Alcalina Oriental Mexicana (PAOM) es una región que engloba a diversas manifestaciones de cuerpos magmáticos de composición alcalina, con una disposición semi-continua en dirección NNW-SSE, abarcando desde Coahuila hasta Veracruz (aprox. 2000 km)(Figura 1). La mayoría de los cuerpos muestran haberse incrustado en el Terciario, y en algunas ocasiones el Cuaternario (Viera et al, 2009). Comúnmente se le asocia a la provincia magmática de Trans-Pecos, Texas, como su continuidad en territorio mexicano (Ramírez et al., 2000).

En general, el área circundante a la Sierra La Vasca ha sido pobremente documentada. Se tiene cartografía geológica, geofísica y prospección geoquímica (Servicio Geológico Mexicano, 2008; Servicio Geológico Mexicano, 2002; Servicio Geológico Mexicano, 2003), junto con estudios menores de algunos cuerpos volcánicos no muy alejados de la zona (Aranda, 2005; Valdez, 2011).

### Geología de la Sierra La Vasca



La Sierra La Vasca se encuentra aproximadamente a 13 km del pueblo de San Miguel, Coahuila, y a 170 km de la ciudad de Ocampo, Coahuila (Figura 2).

De acuerdo con la información de la carta geológica a escala 1:50,000 del cuadro

te H13-67 San Miguel (Servicio Geológico Mexicano, 2006), la Sierra La Vasca está constituida por un gran cuerpo intrusivo constituido de rocas graníticas y monzoníticas, a su vez con intrusivos más pequeños, como troncos, diques y sills, incrustados sobre el cuerpo mayor, de pórfidos andesíticos y dacíticos, todos supuestamente del oligoceno y encajonados en la secuencia carbonatada de edad cretácica, que ha sido dislocada por influencia del gran intrusivo, plegando enormemente los estratos y fracturándolos. Se expresa que algunos contactos entre el cuerpo intrusivo y las rocas carbonatadas, estas últimas fueron metamorfizadas en skarn, y en menor medida mármol (según algunos indicios mineros de la carta).

Como se discutirá a detalle más adelante, los nuevos trabajos de reconocimiento geológico y prospección efectuados recientemente por los autores demuestran que, aunque de manera preliminar, en la Sierra La Vasca existe una gran abundancia de sienitas nefelínicas, riolitas de topacio y otras rocas no reportadas con anterioridad.

## ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Dos sectores en la Sierra fueron designados para su estudio, la primera (área I) en el suroeste del intrusivo, y la segunda (área II) al noroeste (Figura 3).

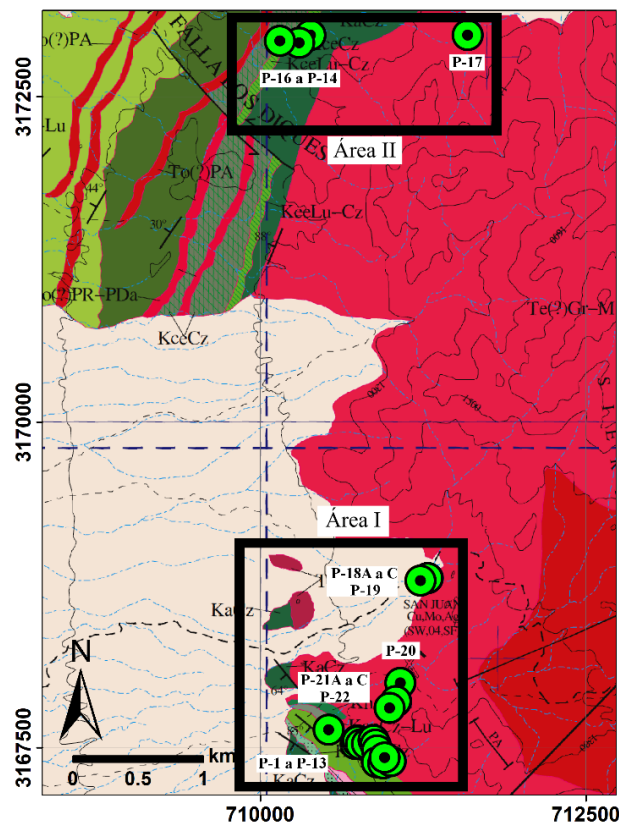


Figura 3. Áreas de estudio y puntos de mediciones gamma-espectrométricas, sobre el mapa geológico San Miguel (Tomado de Servicio Geológico Mexicano, 2008).



Se tomaron 12 muestras en campo, las cuales se enviaron a los laboratorios de ALS Chemex de México S.A. de C.V., para realizarles a 10 de ellas análisis litogeoquímicos por medio de las técnicas analíticas de ICP-MS y ICP-AES para Pt, Pd y Au. Los factores de concentración (FC) se determinaron mediante la relación entre el contenido medio (Clarke) en las rocas ígneas de composición intermedia y los contenidos promedios calculados en las pruebas de laboratorio.

Otras 10 muestras fueron empleadas para inspección petrográfica, llevada a cabo en laboratorios de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Coahuila. Por último, se hicieron en campo 27 mediciones de concentraciones para U, Th y K, con el uso de un espectrómetro Radiation Solutions RS-125.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Reconocimiento de campo

En un primer vistazo, se tiene que la geología reportada en las cartas difiere de lo visto en campo dentro de las áreas I y II. Desde nuestro punto de vista, no existe el skarn mencionado, y los diques y pequeños cuerpos intrusivos muestran una composición litológica diferente. En el caso del área I, donde supuestamente existe un cuerpo de skarn, lo que se presenci

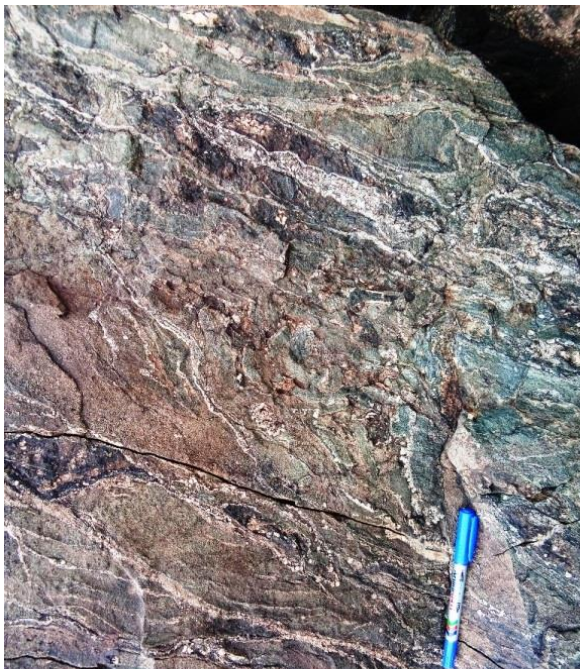


Figura 4. Afloramiento de sienitas nefelínicas bandeadas ricas en egirina. Posiblemente se trate de lujavritas que fueron afectadas por segregaciones mineralizadas. fue una relación muy compleja entre

fragmentos relícticos de una unidad de mármol de granularidad muy gruesa, filones de calcita muy gruesamente cristalizada y cuerpos de sienitas nefelínicas (lujavritas y otras variedades) que aparentemente pre-sentan una relación de yacencia concor-dante con las rocas encajonantes; en puntos aislados es donde esporádicamente se observan indicios de skarnitización, dado fundamentalmente por la presencia de algunos cristales de epidota en afloramientos de cuerpos intrusivos, posiblemente de gabro o monzonita. Las rocas consideradas como sienitas nefelínicas macroscópicamente constituyen una alternancia de bandas gruesas de una roca de apariencia porfídica con finas bandas de una roca melanocrática, de colores verdosos y oscuros debido a su alto contenido de egirina, tratándose probablemente de lujavrita, además de bandas también finas de una roca constituida predominantemente por minerales leucocráticos y euhedrales, que pudieran ser feldespatos y nefelina (Figura 4). Las rocas de aspecto porfídico y que constituye las bandas más gruesas se caracterizan por una muy elevada radioactividad gamma (como consecuencia de altos contenidos de K, Th y U) y en superficies frescas presentan una coloración blanca a grisácea, mientras que en las superficies meteorizadas exhibe colores pardos quemados, muy oscuros llegando incluso a negros; como regla general, esta roca, aún en las superficies frescas, presenta notables indicios de alteración debido a la presencia de pequeños minerales muy susceptibles a meteorizarse químicamente, como es el caso de los minerales de grupo de la eudialita.

En el área II, más alejada del contacto entre el cuerpo intrusivo y la secuencia carbo-natada-terrígena, se notó la presencia de numerosos di-ques de las mismas sienitas nefelínicas observadas en el área I, pero como cuerpos de menor potencia y atenuado grado de meteorización, pero junto a estos, coexisten numerosos cuerpos menores de muy escasa potencia (entre 5 y 10 cm) que en la mayoría de los casos aparentan yacer de manera concordante respecto a la



secuencia estratigráfica sobre la que encaja, y en contados casos parece mostrarse discordante. Estos pequeños cuerpos presentan un acentuado bandeamiento composicional y casi siempre se encuentran encajados en mármoles de muy gruesa cristalinidad. Hacia el contacto con el



*Figura 5. Detalle de un bloque rodado de sienita nefelínica eudialítica con un marcado bandeamiento. Puede tratarse de una*

mármol siempre aparecen bandas centimétricas de un mineral de aspecto prismático largo o fibroso, color blanco o a veces pardo, que pudiera corresponder a pectolita u otro mineral relacionado (wollastonita); hacia el interior del cuerpo aparecen bandas muy ricas en eudialita, nefelina y posiblemente fel-despatos alcalinos, todos dentro de una matriz de egirina. El mayor o menor enriquecimiento en egirina acentúa el carácter bandeado composicional de esta roca, pudiendo considerarse como una lujavrita o una kakortokita (Figura 5). Ocasionalmente estos cuerpos de sienitas nefelínicas eudialíticas se transforman en verdaderas pegmatitas constituidas por cristales centimétricos de egirina, feldespatoides y/o feldespatos, acompañados por segregaciones de cristales de eudialitas. Viendo bajo lupa binocular, en estas pegmatitas los cristales de egirina son euédrales y están “cementados” por feldespatos y/o feldespatoides. Estas sienitas nefelínicas del área II suelen presentar contenidos relativamente bajos de K, en comparación con sus homólogas del área I, lo cual se explica por la gran abundancia de minerales sódicos como la eudialita y la egirina en las mismas.

## Geoquímica

Partiendo de las muestras analizadas (Tabla 1), los resultados indican que todos los elementos de las Tierras Raras se han enriquecido notablemente en el objeto analizado, notándose un acentuado incremento de esta relación en los elementos de las Tierras Raras pesadas y el ytrio (Y, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, y Lu; en conjunto conocidos como grupo o tierras del ytrio), aunque se nota claramente que dos elementos de las Tierras Raras ligeras (La y Ce) desempeña el papel más importante en el contenido total de las Tierras Raras en su conjunto. Es bueno destacar el comportamiento del Eu y del Pm ya que el primero sólo experimenta un bajo enriquecimiento, mientras que el segundo es tan disperso que ni siquiera se analiza, por ser radiactivo.

El conjunto denominado elementos raros dispersos, por su escasa tendencia a formar minerales independientes, entre ellos Zr, Hf, Nb, Ta, Rb y Cs, exhiben una

**Tabla 1. Resultados de concentraciones de Tierras Raras, elementos raros dispersos y radioactivos**

Muestra	Método		ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
	Analizado	Peso recup.	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy
	Unidades	kg	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	LOR	0.02	0.5	0.5	10	0.01	0.05
443430		2.53	14	148	10	1.73	9.87
443431		3.08	36.5	69.6	<10	1	6.69
443432		2.85	46.7	320	<10	2.57	24.2
443433		3.72	45	889	<10	4.07	161.5
443434		2.68	57.6	474	10	1.11	45.2
443435		3.23	53.4	1300	10	2.39	159
443436		2.63	310	59.3	150	12.9	4.98
443437		2.98	67.4	1080	<10	7.75	197.5

443438	4.07	54.3	263	10	1.39	21
443439	2.57	89.1	1310	10	1.23	144

ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0.03	0.03	0.1	0.05	0.2	0.01	0.5
6.69	0.36	41.7	9.16	78.1	2.24	71.6
4.2	0.24	36.4	5.68	47.6	1.39	26.3
15.25	0.77	47.9	19.55	92.4	5.17	143
110	4.44	38.9	121.5	451	37	387
30.5	1.49	45.2	35.9	141	10.1	177.5
103	4.81	40.4	124.5	371	35.3	579
2.43	2.24	21.1	6.82	6.3	0.97	27.7
129	5.16	34.3	153	593	43.6	438
13.4	0.6	37.8	17.6	70.4	4.54	114
90.8	4.29	34.6	113	213	31.5	620

ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
Lu	Nb	Nd	Pr	Rb	Sm	Sn
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0.01	0.2	0.1	0.03	0.2	0.03	1
1.95	64.9	61	17.45	350	11.8	78
1.5	26.2	36	9.2	141.5	824	58
2.85	89.6	123	35.7	203	24.3	43
17.5	1045	452	113	274	116	64
5.11	133.5	186	51.1	337	41.1	42
15.8	762	597	158.5	244	137.5	60
0.29	29.3	33.5	7.83	47.5	7.32	2
19.9	1260	574	141.5	323	148.5	93
2.59	146	97.9	28	293	20.2	49

12.5	1090	542	151	195	120.5	49
------	------	-----	-----	-----	-------	----

ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0.1	0.1	0.03	0.05	0.01	0.05	5
18.6	6.5	1.67	7.69	1.15	2.92	<5
43.9	2.7	1.07	5.25	0.74	1.74	5
45.4	15.9	3.64	21	2.45	10.5	6
556	183	23.8	81.6	17.75	47.6	7
38.2	27.1	6.91	6.45	4.96	9.59	<5
526	140	24.1	49.6	16.4	26.9	8
902	2	0.97	2.56	0.36	0.89	332
643	265	29.5	60.7	20.6	42.5	9
24.3	15.6	3.27	16.65	2.2	6.46	<5
245	141.5	22.1	279	13.95	19.75	17

ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES
W	Y	Yb	Zr	Au	Pt	Pd
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	0.5	0.03	2	0.03	0.03	0.03
1	54.8	9.7	2580	<0.03	<0.03	<0.03
1	31.7	6.45	1540	<0.03	<0.03	<0.03
1	130	16.75	3800	<0.03	<0.03	<0.03
26	971	114.5	>10000	<0.03	<0.03	<0.03
5	236	32.6	6190	<0.03	<0.03	<0.03
43	929	106.5	>10000	<0.03	<0.03	<0.03
3	25.2	2.04	260	<0.03	<0.03	<0.03
25	1160	132.5	>10000	<0.03	<0.03	<0.03
3	111.5	15.3	2780	<0.03	<0.03	<0.03
11	853	87.3	>10000	<0.03	<0.03	<0.03

concentración muy marcada, que podrían ser igual de importantes en conjunto con los elementos de Tierras Raras, exceptuando Cs y Rb, los que no se han manifestado tan acumulados.

La concentración de los elementos radiactivos U y Th también deben tomarse en cuenta, ya que sus factores de concentración son moderadamente altos (Tabla 2).

**Tabla 2. Resultados de mediciones gamma-espectrométricas**

Puntos	RT (nGy/h)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
P-1	92.5	3.1	3.8	11.6
P-2	286.5	4.8	15.8	51.2
P-3	65.8	0.9	6.2	11
P-4	266.6	3.8	20.8	38.4
P-5	292.3	5.9	20.8	38
P-6	460	4.6	49.9	48
P-7	48.9	1.6	2.2	6.2
P-8	109.4	4.3	4.2	11.1
P-9	517	4.6	30.5	108.1
P-10	753.1	3.5	110.1	40.5
P-11	418.1	3	52.6	34.5
P-12	628	3.3	42.7	131.2
P-13	117.7	4.2	5.7	11.8
P-14	483.9	1.2	25.5	122.4
P-15	218.5	2.7	14.9	37.9
P-16	426	0.9	24.9	103.4
P-17	221.7	4.2	11.7	38.5
P-18A	228	6.2	11.1	32
P-18B	612	5.3	3	141.2
P-18C	271.1	6	9.5	52.6
P-18D	261.1	6.1	10.9	46.4
P-19	179	6.4	4.5	26.3
P-20	248.4	4.4	11.5	47.9



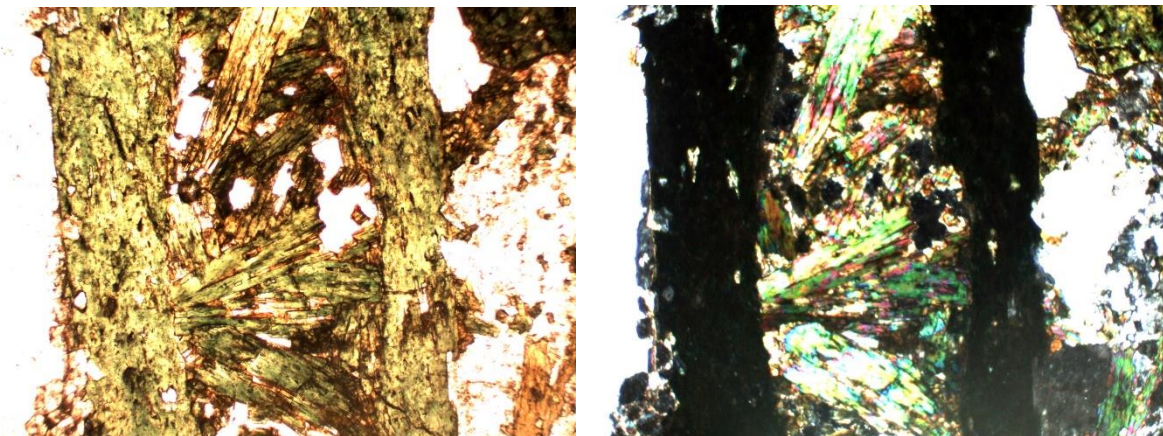
P-21A	1200	4.8	39.7	351.7
P-21B	1100	4.9	35.1	329.8
P-21C	1300	6.6	63.6	318.9
P-22	404.3	3.4	24	85.1

Un grupo de tres elementos litófilos comunes tienden a dispersarse en el objeto mineralizado; ellos son Ba, Cr y V, los dos últimos muy compatibles y el primero incompatible típico. Con relación a los metales nobles no hay nada que decir debido a que los resultados obtenidos para Au, Pd y Pt están por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada.

### **Petrografía**

Resaltan esencialmente dos clases de sienitas nefelínicas, una posible lujavrita, y otra probablemente kakortokita.

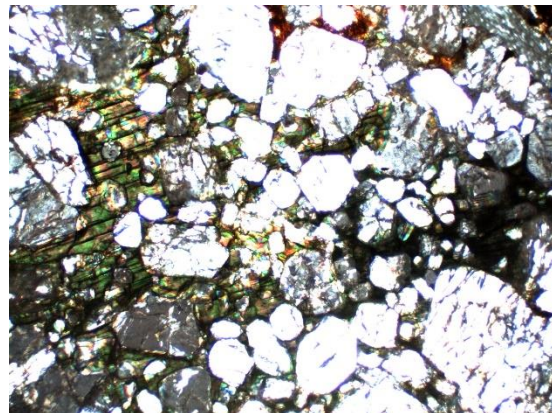
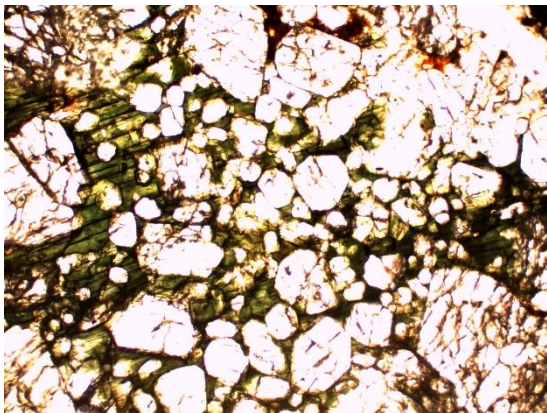
Las rocas dentro del espectro de la primera variedad suelen presentar apariencia afanítica hipocristalina de grano fino, con textura seriada, de cristales subidio-mórficos equidimensionales de egirina y nefelina. En algunas ocasiones, aparecían conjuntos de cristales de egirina que asemejaban haber surgido en



distintos momentos (Figura 6). Acorde a lo visto, esta roca se corresponde en gran medida con una lujavrita.

*Figura 6. Cristales de egirina en matriz de nefelina.*

Sobre aquellas en la segunda categoría, muestran apariencia afanítica holocristalina de grano medio, textura poiquilítica de eudialita sobre egirina, de cristales idiomórficos equidimensionales de eudialita, egirina y nefelina. La



eudialita cristalizó sobre la egirina y nefelina en amplias porciones de las muestras (Figura 7). Todo indica que se está en presencia de una kakortokita.

*Figura 7. Eudialita con textura poiquilítica cristalizada sobre egirina.*

## CONCLUSIONES

La Sierra La Vasca ha mostrado ser un objeto con alto potencial de atraer la vista para su prospección a fondo. Los resultados sobre la geoquímica y petrología del lugar ofrecen un vistazo a la imagen emergente del carácter alcalino del cuerpo, que inclusive podría asemejarse a los complejos alcalinos de rocas agpaíticas de ser que continúe cumpliendo con los rasgos de éstos al estudiarse con detalle. Los altos contenidos de Tierras Raras y moderados de elementos radioactivos, podrían ser indicios de mineralizaciones poco comunes en el país.

Además de esto, se fortalecería la idea de la continuidad de la Provincia Alcalina Oriental Mexicana en Coahuila desde la región de Trans-Pecos, generando la



posibilidad que otros cuerpos intrusivos semejante posean las características correspondientes a los de otros elementos de la provincia, y elevaría el potencial prospectivo del estado para las Tierras Raras.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amezcu Torres, N., & Caballero Martínez, J. A. (2013). Minerales críticos y estratégicos en México. *XXX Convención Internacional de Minería* (págs. 2-9). AIMMGM.
- Aranda Gómez, J. J., Luhr, J. F., Housh, T. B., Valdez Moreno, G., & Chávez Cabello, G. (2005). El volcanismo tipo intraplaca del Cenozoico tardío en el centro y norte de México: una revisión. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LVII(3), 187-225.
- Arriaga García, G., Garza González-Velez, C. E., & Rosique Naranjo, F. (2013). Minerales que no se explotan en México. *XXX Convención Internacional de Minería* (págs. 17-23). AIMMGM.
- Barker, D. S. (1987). Tertiary alkaline magmatism in Trans-Pecos Texas. (J. G. Fitton, & B. J. Upton, Edits.) *Alkaline Igneous Rocks*(30), 415-431.
- Chakhmouradian, A. R., & Zaitsec, A. N. (Octubre de 2012). Rare Earth Mineralization in Igneous Rocks: Sources and Processes. *Elements*, 8, 347-353.
- Ramírez Fernández, J. A., Keller, J., & Hubberten, H.-W. (2000). Relaciones genéticas entre las carbonatitas y las rocas nefelínicas del Complejo El Picacho, Sierra de Tamaulipas, NE de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 45-65.
- Sedlock, R. L., Ortega Gutiérrez, F., & Speed, R. C. (1993). *Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of México*. Estados Unidos: The Geological Society of America.

- Sørensen, H. (Agosto de 1997). The agpaitic rocks - an overview. *Mineralogical Magazine*, 61, 485-498.
- Thrane, K., Kalvig, P., & Keulen, N. (2014). REE deposits and occurrences in Greenland. *1st European Rare Earth Resources Conference*, (págs. 301-307). Milos.
- Valdez Moreno, G., Aranda Gómez, J. J., & Ortega Rivera, A. (2011). Geoquímica y petrología del campo volcánico de Ocampo, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(2), 235-252.
- Viera Décida, F., Ramírez Fernández, J. A., Velasco Tapia, F., & Orozco Esquivel, M. T. (Enero-Marzo de 2009). Relaciones petrogenéticas del magmatismo en la Provincia Alcalina Oriental Mexicana. *Ciencia UANL*, XII(1), 42-29.

## ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) EN NORIAS DEL ACUÍFERO CHUPADEROS

Robles Pinedo Claudia<sup>1</sup>, Dagoberto Chávez Carlos<sup>2</sup>, Ángel Alfonso  
Villalobos de Alba<sup>2</sup>, Alba Nélida García Beltran<sup>2</sup>

M. en I. Universidad Autónoma de Zacatecas, 2 Docente Investigador de la  
Maestría en Ingeniería Aplicada con Orientación en Recursos Hidráulicos

Universidad Autónoma de Zacatecas Av. Ramón López Velarde # 801 Col.  
Centro Zacatecas Zac; C.P. 98068 Teléfono (492) 9256690 ext. 4254.

<sup>1</sup>[claus\\_iqu@hotmail.com](mailto:claus_iqu@hotmail.com)

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue conocer el estado de la calidad del agua subterránea de acuerdo con los límites máximos permisibles para consumo humano establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994) del acuífero de Chupaderos en Zacatecas. Los parámetros fisicoquímicos analizados fueron pH, temperatura (T), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ); además se emplearon mapas de distribución temporal de concentraciones. Para el cálculo del ICA se hizo una ponderación a cada parámetro acorde con su importancia relativa en la calidad del agua para su consumo humano; la ponderación máxima fue de cinco y se asignó a los nitratos y sodio debido a sus efectos adversos en la salud. Se concluyó que el 57 % del total de los aprovechamientos sobrepasan al menos en una característica a la Norma Mexicana, teniendo un valor promedio del ICA de 119.48 %, permitiendo constatar una degradación en la calidad del agua.

Palabras clave: Noria, Índice de Calidad del Agua, Agua subterránea, Salud

## ABSTRAC

The objective of this investigation was to know the status of groundwater quality in accordance with the maximum permissible limits for human consumption established in the Official Mexican Standard (NOM-127-SSA1-1994) of the Chupaderos aquifer in Zacatecas. The physicochemical parameters analyzed were pH, temperature (T), sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), chlorides ( $\text{Cl}^-$ ), nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) and sodium ( $\text{Na}^+$ ); In addition, maps of temporary distribution of concentrations were used. For the calculation of the ICA, a weight was made to each parameter according to its relative importance in the quality of the water for human consumption, the maximum weighting was five and it was assigned to the nitrates and sodium due to its adverse effects on health. It was concluded that 57% of the total exploitation exceeds at least one characteristic of the Mexican Standard, having an average ICA value of 119.48%, allowing for a degradation in water quality.

Keywords: Noria, Water Quality Index, Groundwater, health

## INTRODUCCIÓN

El deterioro del recurso hídrico está asociado principalmente con vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y de producción agrícola y ganadera, además de aguas de extracción minera y residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios (IDEAM, 2001). En este sentido el conocimiento de la composición química y su distribución espacial es fundamental desde el punto de vista de su amplitud para el consumo humano y su salud. A nivel mundial se han desarrollado diferentes ICA (índice de calidad del agua) tanto para aguas superficiales como

280

para subterráneas. Abessi et al (2010) aplicaron como componentes más importantes del agua ocho parámetros en los que se incluye  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ , entre otros para el desarrollo de un índice de calidad de aguas subterráneas en Irán. El ICA define el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de muestreo, expresado como el porcentaje de agua pura, donde 0 % del ICA representa agua altamente contaminada y 100 % agua de excelentes condiciones (Lateef, 2011). En esta investigación se propone un sistema estimativo de la calidad del agua subterránea a través del ICA basado en la medición física de cinco parámetros fisicoquímicos, cada uno de ellos con pesos relativos diferentes tomados según los diversos impactos negativos a la salud humana y los usos de este recurso hídrico, en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) creando mapas de distribución temporal de las concentraciones de los analitos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El Acuífero de Chupaderos se sitúa en el extremo oriental del estado de Zacatecas, el cual colinda con el estado de San Luis Potosí (Figura 1); Está constituido por un medio granular, formado por arenas, gravas y arcillas que

manifiestan en general una permeabilidad alta (CONAGUA 2015).

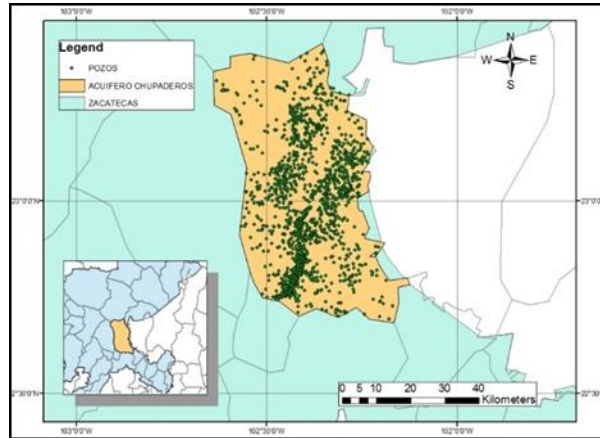


Figura 1. Localización del área de estudio

## Muestreo de agua subterránea

El muestreo se llevó a cabo entre los meses de marzo y junio de 2017 obteniendo un total de 70 muestras las cuales fueron colectadas en envases de polietileno. La metodología para obtener las muestras fue bajo los lineamientos descritos en APHA-SMWW 2006 y la normativa mexicana vigente.

## Análisis de agua subterránea

Los parámetros fisicoquímicos: pH y temperatura se midieron en campo mediante instrumentos portátiles previamente calibrados utilizando el conductímetro marca HACH HQ14d, mientras que en el laboratorio se analizaron el sodio ( $\text{Na}^+$ ) empleando la técnica de espectrometría de absorción atómica de acuerdo con la norma oficial mexicana de la materia (SCFI 2001) con el equipo ThermoScientific ICE AA 3300, sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) por colorimetría de acuerdo a la NMX-AA-074 -1981 con un equipo marca HACH modelo DR/890, cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) por medio de titulación y

282

los nitratos se determinaron por colorimetría con base a los métodos descritos en la (NMXAA-079-SCFI-2001 y APHA 2006) .

### Cálculo del ICA

Para el cálculo de la ICA se eligieron los parámetros más comúnmente utilizados en la literatura, así como de mayor importancia de acuerdo a la utilización que se le da al agua. La técnica de ICA se destaca por ser una metodología flexible respecto al tipo y número de parámetros empleados; se analizaron el pH, temperatura (T), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ). El cálculo consistió en tres etapas: la primera fue asignar a cada una de las entidades químicas y físicas un valor acorde a su importancia relativa en la calidad de agua para consumo humano, utilizando la ponderación máxima de cinco concediéndosele al nitrato y sodio por sus efectos adversos sobre la salud, a los iones sulfato y cloruro se asignó el cuatro y tres respectivamente mientras que al potencial de hidrogeno se le designo el valor de uno. En la segunda etapa se calculó el peso relativo conforme a la calidad del parámetro de acuerdo a los límites permisibles según su concentración en la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994). En la tercera etapa se estableció una escala de valoración de la calidad del agua dividida en cinco categorías: excelente (0-50), buena (51-79), pobre (80-145), muy pobre (146 -200), y no apta para consumo humano (201-250). Finalmente el ICA se determinó utilizando la ecuación (1):

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i * W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

Donde  $W_i$  son los pesos específicos asignados a cada parámetro y  $I_i$  es la calidad del parámetro en función de su concentración con respecto al límite permisible por la Norma Oficial Mexicana.



## **Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

En esta investigación se utilizaron los patrones de distribución espacial utilizadas para ajustar la modelación espacial. El método de Kriging Ordinario se aplica para mapear la distribución espacial de la química del agua subterránea. La evaluación de la correlación espacial de las variables hidroquímicas es una herramienta importante en el análisis de la química de las aguas subterráneas, especialmente en las zonas áridas y semiáridas (Kuswantoro et al., 2013).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Índice de Calidad del agua subterránea**

Se observó gran variación en los índices de calidad del agua, teniendo un valor medio de 119.48, lo que indica que la mitad de los aprovechamientos se encontró en la categoría de pobre. De las norias muestreadas solo el 10% se ubicó en la categoría de excelente, el 18.57% en la escala de buena, 41.43% en la categoría de pobre y el 12.86 % no es apta para consumo humano; el índice más bajo encontrado fue de 23.58 y el máximo de 250. Estos valores permitieron constatar una degradación en la calidad del agua, pues la mayoría de los aprovechamientos (29) se situó en la escala de pobre. Conforme a lo estipulado en Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), se tiene que el 57% de las norias sobrepasan al menos en una característica.

### **Mapas de distribución**

#### ***Nitratos***

La distribución espacial de los nitratos podría darse como resultado posible de las actividades agrícolas y por las fuentes de aguas residuales que circulan cercanas al área en estudio; es de suma importancia recalcar que cuando el nitrato se

encuentra presente en concentraciones de 10mg/l o superiores el agua no es deseable para el consumo humano debido a su posible efecto toxico que puede tener en los niños (cianosis)(Hernández, 2008;Pacheco et al.,2003). En la Figura 2 se observa que las concentraciones mayores de este ion se encuentran cercanas a las poblaciones y a los centros de agricultura intensiva.

### **Sodio**

La Figura 3 muestra la distribución espacial de sodio encontrándose las concentraciones más altas en las norias localizadas en la comunidad de Zóquite la cual cuenta con un problema de sistema de drenaje sanitario obsoleto. Algunos efectos adversos en la salud de este ion son la hipertensión y enfermedades renales; entre otros (Catalán, 1981).

### **Sulfatos**

El efecto de las altas concentraciones del ion sulfato (mayores de 750mg/l) en las agua utilizada para beber contiene un efecto laxante (Catalán, 1981). Encontrando que ocho de las setenta norias estudiadas superan el valor de los 750 mg/l y que otras 14 superan el límite permitido por la Norma Oficial Mexicana antes mencionada. La Figura 4 indica que los valores más altos de los sulfatos se encuentran en la parte sur del acuífero.

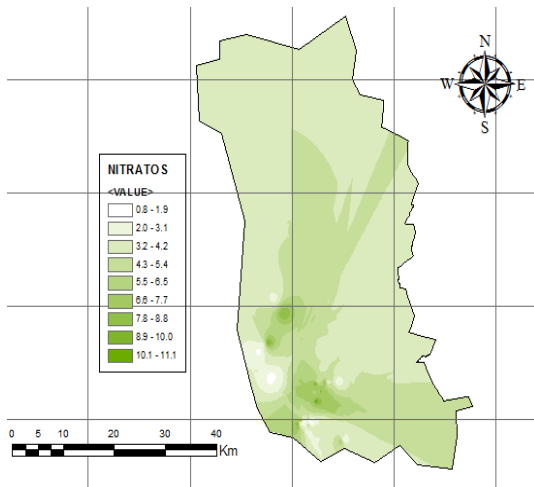


Figura 2. Distribución espacial de los Nitratos

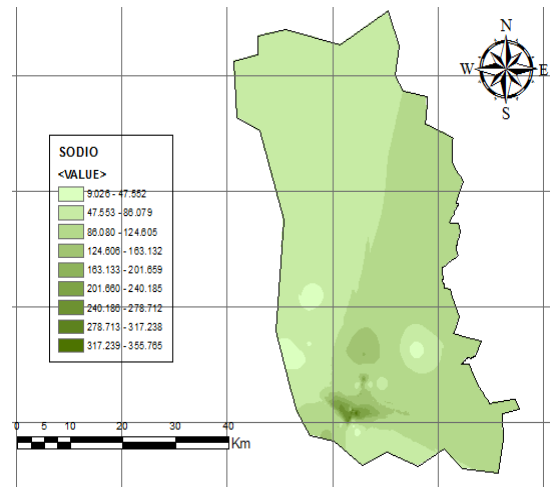


Figura 3. Distribución espacial del Sodio

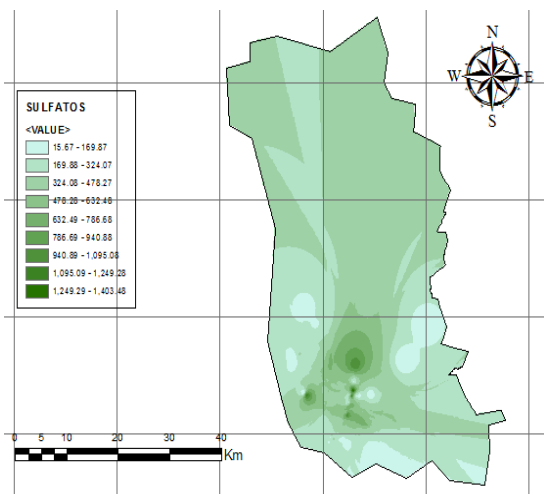


Figura 4. Distribución espacial de los Sulfatos

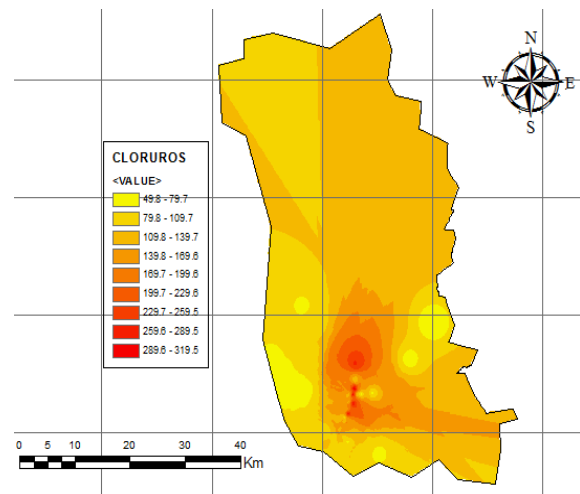


Figura 5. Distribución espacial de los Cloruros

## Cloruros

Específicamente en las muestras ubicadas en la comunidad de las Norias, Vetagrande (Figura 5) se encuentran localizados los valores más altos de este ion y a partir de estas comunidades los valores comienzan a disminuir.

### **Potencial de Hidrogeno (pH)**

Los valores del potencial de hidrogeno de la muestra alcanza valores que ronda el valor de 8, los cuales se encuentran en la parte este del acuífero, mientras que los valores más pequeños se encuentran en la parte oeste, es decir, el valor de pH va en aumento de oeste a este como se puede observar en la Figura 6.

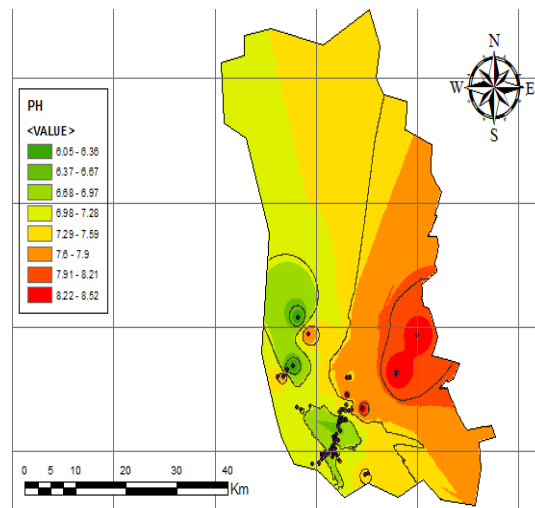


Figura 6. Distribución espacial del pH

### **CONCLUSIONES**

Resulta imprescindible conocer la calidad del agua especialmente la destinada para uso y consumo humano, los resultados obtenidos a partir de las norias estudiadas, permiten concluir que las concentraciones de los iones y cationes excedieron el límite permisible de la NOM-127-SSA1-1994 en cuanto a los nitratos (7.17%), sodio (17.14%), cloruro (11.43%) y sulfatos (31.43%). La elaboración de mapas de distribución espacial de concentraciones a partir del uso de los sistemas de información geográfica permitió observar que las mayores

concentraciones de los iones exceptuando las del nitrato se observan en la zona sur del acuífero en las comunidades y luego comienzan a disminuir, atribuyendo posiblemente este tipo de contaminación a las actividades antropogénicas. El ICA de acuerdo a la las cinco escalas propuestas se encontró que el 10% de las muestras se ubicó en la categoría de excelente; el 18.57% en la escala de buena, 41.43% en la categoría de pobre y el 12.86 % no es apta para consumo humano; Mostrando una degradación del agua subterránea en el sitio de estudio. Sánchez et al.,(2016) comentan que el ICA es un método que muestra con claridad y es de gran utilidad para evaluar la calidad del agua subterránea, proporcionando valiosas herramientas a los tomadores de decisiones, a fin de comprender de forma integral el estado de la calidad del agua subterránea.

## REFERENCIAS

Abessi, O.,Saeedi, M.,Sharifi, F., Meraji,H.(2010). Development of Groundwater Quality Index. Environ Monit. Assess, 163:327-335.

Catalán, L. (1981). Química del agua. Madrid. Fuenlabrada.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), (2015), Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero chupaderos, estado de Zacatecas.

Hernández J. (2008). Efecto de la evolución química en la calidad del agua subterránea en la porción central de la zona media del estado de San Luis Potosí, tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí México, Facultades de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina .Pp 59-61.

IDEAM, (2001). El Medio Ambiente en Colombia, Bogota.

Kuswantoro M., Nassir A., Amro M., (2013). Geostatistical analysis using GIS for mapping groundwater quality: case study in the recharge area of Wadi Usfan, western Saudi Arabia, Arabian Journal of Geosciences. DOI 10.1007/s12517-013-1156-2.

Lateef, K (2011). Evaluation of Groundwater Quality for Drinking Purpose for Tikrit and Samarra Cities Using Water Quality Index. Eur. J. Sci. Res, 58(4), 472481.



Pacheco A.J., Cabrera S.A., (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en las aguas subterráneas. Vol. 7, núm. 2, pp. 47-54.

Sánchez J., Álvarez T., Pacheco J., Carrillo L., Amilcar R., (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VII, núm. 4, pp. 75-95.

## Area temática Geoquímica ambiental y salud

### IMPACTOS AMBIENTALES DERIVADOS DEL FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO

**Nungaray Anguiano Edna Judith<sup>1\*</sup>, Olmos Trujillo Edith, González Trinidad Julián y Ávila Sandoval Claudia Ivethe<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, <sup>1</sup>Unidad Académica de Ciencias

Químicas, <sup>2</sup>Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, <sup>1,2</sup> Campus Siglo XXI C.P  
98160, Zacatecas, México

\*enungaray1b@gmail.com

#### Resumen

El fracturamiento hidráulico o “fracking” es una técnica que permite la extracción de petróleo o gas natural, durante el proceso se inyectan agua, arena y sustancias químicas a profundas formaciones rocosas subterráneas, como areniscas compactas, lutitas y algunos lechos de carbón. A pesar de que el fracturamiento hidráulico ha contribuido enormemente a la expansión de la producción de gas natural en el mundo y sobre todo en los Estados Unidos, así como en la obtención de petróleo, la práctica, aumenta también la preocupación por los impactos asociados al ambiente y los riesgos a la salud humana. En este trabajo se analizan los riesgos ambientales durante el proceso y sus implicaciones a la salud. El fracking, se relaciona específicamente: con la disponibilidad de agua, los derrames de productos químicos en la superficie, degradación de la calidad del agua superficial y subterránea, además de la sismicidad inducida por la inyección de fluidos, entre otros. Estudios indican que el fracking tiene un potencial de causar un impacto significativo en los entornos locales y circundantes



debido a dicha actividad. Existe también una mayor probabilidad de que los pozos de agua subterránea y agua potable más cercanos tengan contaminación por gases y productos químicos; el riesgo para la salud humana es especialmente alto. Es importante tener en cuenta que muchos impactos se pueden evitar o mitigar con las prácticas adecuadas y que necesariamente se debe desarrollar una comprensión más amplia y una evaluación de impactos de fracking en cualquier lugar donde se desee implementar.

*Palabras clave: Fracking, impacto ambiental, riesgo a la salud, petróleo, gas natural*

## **Introducción**

El petróleo, el gas natural y la energía geotérmica pueden extraerse por medio de un proceso llamado fracturamiento hidráulico, conocido informalmente como "fracking", es un proceso para obtener petróleo y gas, generalmente involucra la inyección de agua, arena y productos químicos a alta presión en una formación rocosa a través de un pozo. El objetivo de este proceso es crear nuevas fracturas en la roca y aumentar el tamaño, la extensión y la conectividad de las fracturas existentes. La fracturación hidráulica es una técnica de estimulación de pozos utilizada comúnmente en rocas de baja permeabilidad, como areniscas compactas, lutitas y algunos lechos de carbón para aumentar el flujo de petróleo y/o gas a un pozo proveniente de formaciones rocosas que contienen petróleo (USGS).

El fracking influye en la calidad de los recursos hídricos, incluyendo 1) la contaminación por gas a aguas subterráneas poco profundas que cubren cuencas de gas esquisto 2) vías y conectividad hidráulica entre las formaciones de gas de esquisto profundo y acuíferos superficiales de agua potable; y 3) en la eliminación inadecuada de las aguas producidas y de reflujo asociadas con la exploración de gas de esquisto que causa la contaminación de las aguas superficiales y sus

efectos ecológicos a largo plazo (Vengosh, Warner, Jackson, & Darrah, 2013). Algunos estudios indican que el fracking puede liberar fluidos y contaminantes de las rocas a los acuíferos cercanos (Myers, 2012).

## 2. Proceso

Específicamente, la perforación horizontal combinada con la perforación vertical (figura 1) tradicional permite la inyección de fluidos de fracking (figura 2) altamente presurizados en las capas de lutitas para crear nuevos canales dentro de la roca, a partir de los cuales se libera gas natural a tasas mucho más altas que la perforación tradicional. El fracking hidráulico produce más de la mitad del suministro de gas natural de EE. UU. Y está transformando los suministros de energía en varias partes del mundo (Meng & Ashby, 2014).

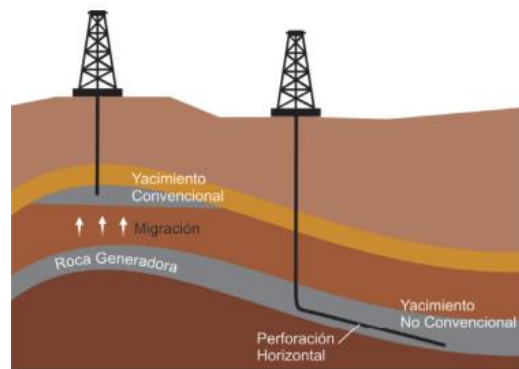


Figura 1. Esquema de un pozo vertical y un pozo horizontal

Durante el fracking, esencialmente, se busca incrementar la producción en pozos maduros y obtener hidrocarburos en rocas no convencionales:

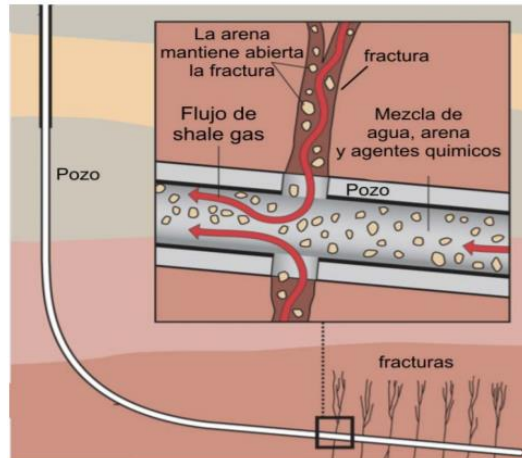


Figura 2. Esquema de la técnica "fracking" (tomado de Bustos, 2013)

### 3. Problemas ambientales asociados al fracturamiento hidráulico

La actual práctica de fracking es solo una parte del proceso general de perforación, terminación y producción de un pozo de petróleo y gas.

Los problemas ambientales que están específicamente relacionados al fracking incluyen:

- Disponibilidad de agua.
- Derrames de productos químicos en la superficie.
- Impactos de la extracción de arena para su uso en el proceso de fracturación hidráulica.

- Degradación de la calidad del agua superficial a partir de la eliminación de los líquidos de desecho.
- Degradación de la calidad del agua subterránea.
- Sismicidad inducida por la inyección de fluidos residuales en pozos de disposición profunda.

Cualquier tipo de perforación de petróleo y gas puede causar adicionalmente:

- Reducción de la calidad del aire.
- Ruido.
- Contaminación lumínica del cielo nocturno.
- Cambios de paisaje como la fragmentación forestal.
- Interrupción de los corredores y hábitats de la vida silvestre.

Es importante tener en cuenta que no todos estos impactos potenciales ocurren en cada sitio y muchos impactos se pueden evitar o mitigar con las prácticas adecuadas (USGS).

#### **4. Impactos ambientales del fracturamiento hidráulico**

La técnica de fracturamiento hidráulico para la explotación del suelo y subsuelo trae consigo riesgos, cambios o alteraciones en las condiciones del medio físico que se ven reflejadas en impacto ambiental, según el medio que afecte aire, suelo, agua y comunidades (Cuadro 1).

Cuadro 1. Riesgos ambientales durante el fracking

ACTIVIDAD	COMPONENTE	ASPECTO	RIESGO
Fracturamiento hidráulico	Suelo	Estabilidad de terreno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimientos en masa</li> <li>• Activación de fallas geológicas</li> <li>• Sismicidad</li> </ul>
	Agua	Fuentes superficiales y subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación por disminución del caudal (cambio en los patrones de drenaje)</li> <li>• Contaminación (cambio en características físicas, químicas y microbiológicas)</li> </ul>
	Aire	Emisión de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la calidad de los ecosistemas</li> <li>• Detrimento de la salud de las personas</li> </ul>

Tomado de (Romero Fuentes, Laura, 2016)

Otro problema asociado con la contaminación de los *recursos hídricos*, es la proximidad en algunas zonas entre el nivel freático y la formación objetivo, haciendo que al momento de realizar la fractura dicho fluido fracturante se infiltre a través de las grietas generadas hasta los sistemas de acuíferos e inclusive hasta el nivel freático, que son fuentes potenciales para posibles pozos de agua subterránea.

En cuanto al *suelo*, existe incertidumbre debido a los sismos producidos por las fracturas ya que la magnitud e intensidad de las vibraciones que generan el procedimiento de fracturamiento hidráulico no alcanza a ser catalogado en la escala de Richter ni siquiera como un microsismo.

Por otro lado, los impactos ambientales asociados al componente *aire* se evidencian en la emisión de distintos gases a la atmósfera que contaminan de manera significativa y que en ocasiones contribuyen al debilitamiento de la capa de ozono aumentando así el denominado efecto invernadero (Romero Fuentes, Laura, 2016).

### 5. El fracking y sus implicaciones con la salud

Se cree que las posibles consecuencias a la salud a causa del fracking, se dan en la primera etapa donde se lleva a cabo la perforación, y puede tener larga duración aun después de que se concluye la perforación.

Por último, pero no menos importante, existe la contaminación de aire y agua, además del daño ecológico. No solo hay consecuencias en la salud, también las hay económicas con el deterioro del terreno debido a las violentas perforaciones, de esta manera también se ve afectada la comunidad circundante donde se está llevando a cabo el proceso. Una de sus principales consecuencias en la perforación será la fuga de metano ( $CH_4(g)$ ) (McDermott-Levy, Kaktins, & Sattler, 2013).

Cuadro 2. Implicaciones a la salud por fracking

Sector	Efecto	Consecuencia	Riesgo mayor
Agua	Contaminación a causa del fracturamiento hidráulico	Contaminación de agua	Evitar su consumo y obligación a conseguir agua de fuentes externas.
		Migración de metano	Alto riesgo de explosiones y riesgos de asfixia en hogares.

		Compuestos orgánicos (benceno, xileno, hidrocarburos purgables, diésel, subproductos de gasolina)	Neurotoxicidad, problemas reproductivos y cáncer.
<b>Aire</b>	Contaminación de aire por el fracturamiento hidráulico	Contaminación de aire	Liberación de gases efecto invernadero. Liberación al medio de metano gaseoso.
		Liberación de gases (benceno)	Altos niveles carcinógenos.
<b>Suelo</b>	Contaminación del suelo por el fracturamiento hidráulico	Aumenta nivel de O <sub>3</sub> y materia en particulada	O <sub>3</sub> potente irritante pulmonar, responsable de la función pulmonar reducida y la exacerbación del asma.
			El alto nivel de materia particulada aumenta la incidencia de asma, enfermedades cardiovasculares y ,enfermedad pulmonar obstructiva crónica y cáncer.

\*Cuadro realizado con información de (McDermott-Levy, Kaktins, & Sattler, 2013)

### Conclusiones:

La ponderación de los beneficios y el impacto ambiental del fracturamiento hidráulico debe contemplar un ineluctable análisis, debido a que su proceso implica un alto riesgo a la salud humana al comprometer la calidad del agua, suelo y aire.



Si se desea realizar de forma efectiva se deben implementar las mejores técnicas operacionales, las cuales deben ser monitoreadas constantemente, sin embargo, esto solamente puede reducir el riesgo, pero no eliminarlo, convirtiendo a este proceso en una técnica insostenible.

### Referencias:

- Bustos, J. (2013), Aplicación de la Fractura Hidráulica en la Cuenca Oriente Ecuatoriana; Madrid, 59 p. Tesis Máster en Geología Ambiental y Recursos Geológicos, Especialidad en Cuencas Sedimentarias. Facultad de ciencias geológicas, Universidad Complutense.
- McDermott-Levy, R., Kaktins, N., & Sattler, B. (2013). Fracking, the Environment, and Health. *AJN The American Journal of Nursing*, 113(6), 45. <https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0000431272.83277.f4>
- Meng, Q., & Ashby, S. (2014). Distance: A critical aspect for environmental impact assessment of hydraulic fracking. *The Extractive Industries and Society*, 1(2), 124–126. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.07.004>
- Myers, T. (2012). Potential Contaminant Pathways from Hydraulically Fractured Shale to Aquifers. *Groundwater*, 50(6), 872–882. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2012.00933.x>
- Romero Fuentes, Laura. (2016). Análisis de los riesgos ambientales asociados a la explotación de yacimientos no convencionales desde un contexto internacional y su aplicación en Colombia. Retrieved from <http://repository.uamerica.edu.co>
- USGS. (2018). USGS.gov | Science for a changing world. Retrieved June 24, 2018, from <https://www.usgs.gov/>
- Vengosh, A., Warner, N., Jackson, R., & Darrah, T. (2013). The Effects of Shale Gas Exploration and Hydraulic Fracturing on the Quality of Water Resources in the United States. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7, 863–866. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.03.213>

## **ESTUDIO QUÍMICO Y MINERALÓGICO DE LAS CENIZAS VOLANTES Y DE FONDO DE HORNO PARA SU UTILIZACIÓN COMO MATERIAL PUZOLÁNICO Y PRODUCCIÓN DE ZEOLITAS SINTÉTICAS.**

**Morales-González, Fernando (1); Rodríguez-Vega, Antonio (2), Maldonado-Castillo, Julio Cesar (3); Guajardo-Lara, Juan José (4)**

(1)(3). Estudiante, Escuela Superior de Ingeniería, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Lic. Adolfo López Mateos, s/n, Nueva Rosita, C.P. 26800, Coahuila, México.

(2)(4). Profesor, Escuela Superior de Ingeniería, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Lic. Adolfo López Mateos, s/n, Nueva Rosita, C.P. 26800, Coahuila, México.;

*\* Email: [juan.guajardo@uadec.edu.mx](mailto:juan.guajardo@uadec.edu.mx)*

### **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo consiste en caracterizar de manera química y mineralógica las cenizas volantes y de fondo de hornos producidas durante la combustión de carbones procedentes de la cuenca carbonífera de Sabinas, ubicada en el estado de Coahuila, México. Este material es considerado en la actualidad como desecho der la industria generadora de electricidad, la cual produce grandes volúmenes del mismo, sin embargo, la experiencia mundial ha demostrado su utilización con múltiples propósitos, tales como: agricultura, industria del cemento y la cerámica, recuperación de metales valiosos y producción de materiales sintéticos. En el presente trabajo se ha logrado caracterización preliminar de las cenizas producidas en las centrales carboeléctricas de la región, tanto volantes como del fondo de los hornos,

llegándose a interesantes conclusiones acerca de su posible utilización como material puzolánico y como materia prima para la producción de zeolitas sintéticas. La caracterización química se llevó a cabo mediante la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos "X" (EFX) la que permitió determinar la presencia y concentración de los componentes mayores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ . Etc) y elementos trazas ( Sr, Zr, V, Th, Pb, Cu, Zn, Y, Rb, Ni, U, W, Mo, As y Hg). Para conocer las características mineralógicas se empleó la técnica de DRX, la que permitió determinar la presencia de las principales fases minerales presentes en las cenizas, así como la presencia de fases amorfas o de bajo grado de ordenamiento en ellas. La composición mineralógica se estudió también a partir de láminas delgadas de las cenizas embebidas en resina epoxi, mediante el empleo del microscopio petrográfico, lo que permitió la caracterización, morfológica, granulométrica y mineralógica de estas cenizas. Los resultados obtenidos han permitido comparar las cenizas objeto de estudio con las estudiadas a nivel mundial con la finalidad de ser utilizadas como material puzolánico y para la producción de zeolitas sintéticas, llegándose por su semejanzas de que nuestras cenizas pueden utilizarse con el mismo fin.

*Palabras clave:* **Cenizas volantes; Ceniza de carbón; Mineralogía; Material puzolánico.**

## SUMMARY

The objective of this work is to chemically and mineralogically characterize the fly ash and bottom ash from kilns produced during the combustion of coals from the Sabinas coal basin, located in the state of Coahuila, Mexico. This material is currently considered as waste of the electricity generation industry, which produces large volumes of it, however, the world experience has shown its use with multiple purposes, such as: agriculture, cement industry and ceramics,

recovery of valuable metals and production of synthetic materials. In the present work, preliminary characterization of the ash produced in the region's coal-fired power plants has been achieved, both the flyers and the bottom of the furnaces, reaching interesting conclusions about its possible use as a pozzolanic material and as a raw material for the production of synthetic zeolites. The chemical characterization was carried out by means of the X-ray fluorescence spectrometry (EFX) technique which allowed to determine the presence and concentration of the major components ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ , Etc. ) and trace elements (Sr, Zr, V, Th, Pb, Cu, Zn, Y, Rb, Ni, U, W, Mo, As, and Hg). To know the mineralogical characteristics, the XRD technique was used, which allowed to determine the presence of the main mineral phases present in the ashes, as well as the presence of amorphous phases or of low degree of ordering in them. The mineralogical composition was also studied from thin sheets of ash embedded in epoxy resin, using the petrographic microscope, which allowed the characterization, morphological, granulometric and mineralogical of these ashes. The results obtained have allowed us to compare the ashes under study with those studied worldwide with the purpose of being used as pozzolanic material and for the production of synthetic zeolites, arriving by their similarities that our ashes can be used for the same purpose.

Keywords: Fly ash; Coal ash; Mineralogy; Puzzolanic material.

## Introducción

Los carbones utilizados como fuente de energía para la producción de electricidad en las carboeléctricas de la región provienen de los depósitos de las denominadas Cuenca de sabinas y Cuenca de burgos, ambas en la región noreste del estado

de Coahuila. A continuación se ofrecen algunos datos relacionados con la geología de los depósitos de carbón y las principales características del carbón utilizado en las carboeléctricas de la región

La Región Carbonífera de Coahuila, constituida fundamentalmente por la denominada “Cuenca de Sabinas”, es la más importante del país, aportando más del 90% de la producción nacional de carbón, de acuerdo a las últimas cifras indicadas por el Consejo de Recursos Minerales (2003). Esta región se ubica en la porción norte-central del Estado de Coahuila y se extiende al oriente hasta incluir una pequeña área del Estado de Nuevo León (Figura 1; Robeck et al., 1956, 1960; Flores-Galicia, 1988; Flores-Espinoza, 1989; Brizuela, 1992).



**Figura 1.- Plano de localización de las cuencas carboníferas de los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Tomado de Rivera-Martínez y Alcocer-Valdés 2003).**

Las rocas que afloran dentro de la Región Carbonífera de Coahuila varían en edad del Jurásico Tardío al Cuaternario (Young, 1972, 1983; Flores-Galicia, 1988; Santamaría Orozco, 1990; Eguiluz de Antuñano, 2001; Román-Ramos y Holguín-Quiñones, 2001). Los materiales mesozoicos están esencialmente representados por rocas sedimentarias de ambientes marinos; los sedimentos del Terciario y Cuaternario están esencialmente representados por rocas de tipo continental, incluyendo algunos derrames de basalto. Dentro de la columna estratigráfica de la cuenca de Sabinas los depósitos de carbón se asocian fundamentalmente a la Fm. Olmos, cuya edad es Cretácico Tardío (Robeck et al., 1956), conocida también como “Formación del Carbón” por contener los principales mantos de carbón de mayor importancia económica. Fue definida por L.W. Stephenson (1927, p. 14) como una unidad geológica con un espesor que varía desde casi imperceptible hasta 400 ó 500 pies, consistente de arcilla lutítica gris verdosa y arcilla arenosa fina, interestratificadas irregularmente con arenisca gris verdosa, fina a gruesa, blanda a dura, de estratificación delgada a maciza, más o menos diastratificada, que contiene algunas capas con ondulitas y mantos de carbón y lignito. Según este mismo autor la Fm. Olmos es subyacida, al parecer discordantemente, por la San Miguel (Campaniano) y sobreyacida, también discordantemente por la Fm. Escondido (Maastrichtiano) ambas de composición terrígena, con predominio de lutitas la primera y de areniscas la segunda. La importancia económica del carbón contenido en la Fm. Olmos, dentro de los límites de la Cuenca de Sabinas y en la aledaña Cuenca de Burgos (Fuentes-Rio Escondido) se desprende de los datos contemplados en la tabla 1, lo que puede dar una idea de los grandes depósitos de jales que se han generado y que pudieran generarse desde las fechas en que se evaluaron las reservas de este recurso.



Tabla 1.- Algunos datos acerca de las reservas de carbón en la región noreste del estado de Coahuila

	Sabinas-Monclova, Coah. Rivera y Alcocer (2003)	Fuentes-Río Escondido, Coah. Verdugo y Ariciaga (1988b)	Colombia-San Ignacio, Coah, N.L., Tam. Rivera y Alcocer (2003)
Reservas (Toneladas)	538'234,684*	419'000,000*	56'966,618*
Carbón fijo (%)	45.61	36	21.9-32.4
Materia volátil (%)	16.97	27	34.4-42.6
Ceniza (%)	40.43	-	21.5-44.0
Azufre (%)	01	01	1.2-3.5
Poder calorífico	-	4,400 cal/kg	4,481-6 189 cal/kg

### Métodos analíticos y materiales utilizados

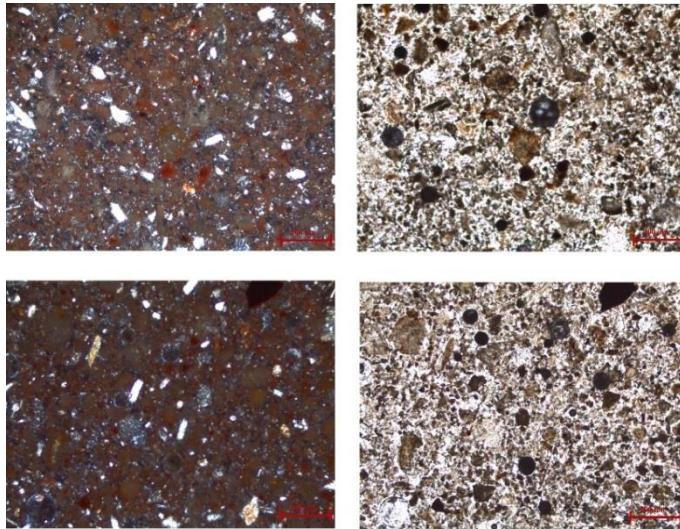
Durante la realización de la presente investigación se realizaron las siguientes tareas:

- 1.- Obtención de muestras representativas de cenizas volantes y de fondo de hornos producto de la combustión de los carbones de la región en las carboeléctricas de Nava.
- 2.- Preparación de láminas delgadas de las cenizas embebidas en resina epóxido y su posterior estudio con ayuda del microscopio petrográfico.
- 3.- Estudio de las fases minerales y amorfas presentes en las cenizas mediante el empleo de la técnica analítica DRX
- 4.- Determinación de las concentraciones de los elementos mayores, oligoelementos y elementos traza en las cenizas mediante la técnica de FRX.
- 5.- Ensayo de lixiviación para la determinación de cal libre.

### Discusión y conclusiones

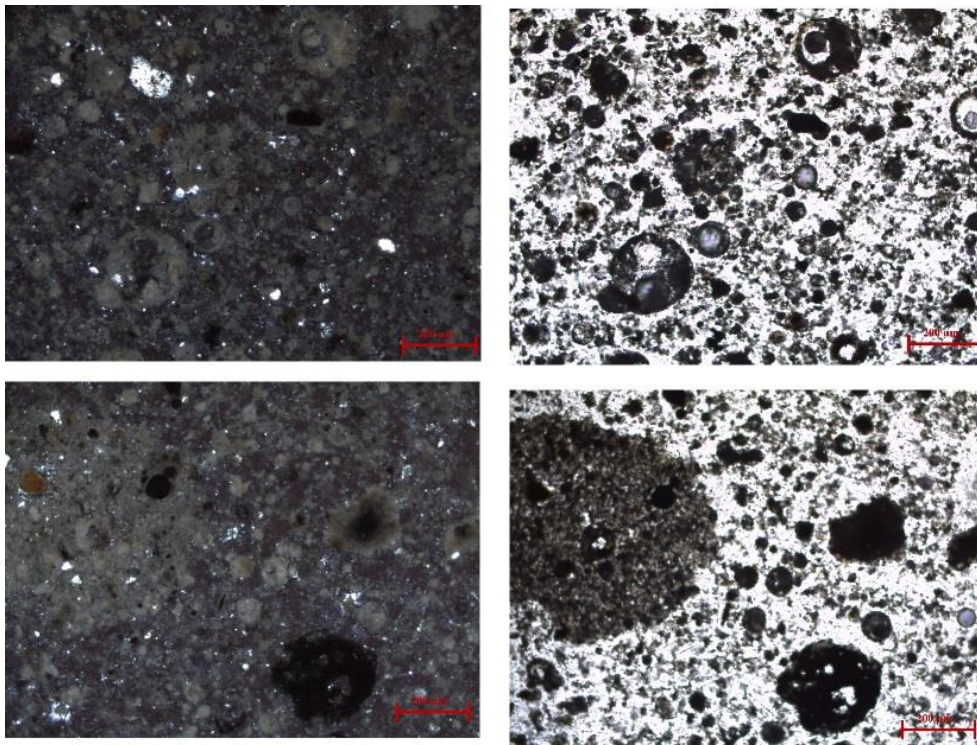


El estudio petrográfico de las cenizas de carbón embebidas en resina epóxido muestra que existen marcadas diferencias, desde el punto de vista de la composición mineralógica y la presencia de fases amorfas, entre las cenizas volantes y las de fondo de hornos. Las de fondo de hornos están constituidas esencialmente por partículas de diferentes minerales, con predominio del cuarzo, óxidos e hidróxidos de hierro y muchos otros minerales accesorios y en traza difíciles de identificar por sus pequeñas dimensiones (circón, rutilo, monacita entre otros) con muy escasa abundancia de fases amorfas (Fig. 2).



**Figura 2.- Microfotografías de láminas delgadas de cenizas de fondo de hornos con diferentes aumentos, a la izquierda con analizador y a la derecha sin analizador.**

Por su parte, las cenizas volantes en láminas delgadas exhiben un marcado predominio de la fase amorfa en forma de infinidad de esferulitas de diferentes dimensiones de material vitro o de muy baja cristalinidad que engloban muy pequeñas fases minerales, muy probablemente de silicatos de aluminio, como pudieran ser la mullita y la sillimanita (Fig. 3)

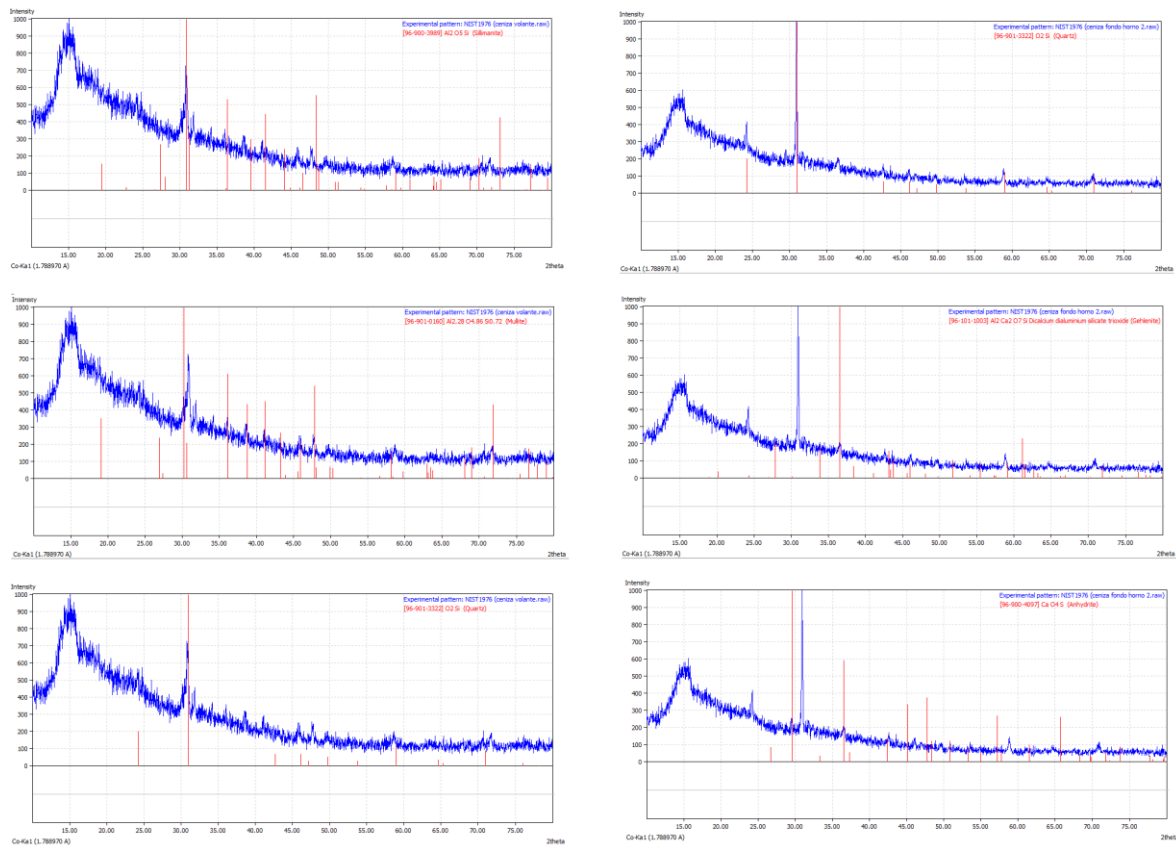


**Figura 3.- Microfotografías de láminas delgadas de cenizas volantes con diferentes aumentos, a la izquierda con analizador y a la derecha sin analizador.**

Los resultados de la difracción de rayos X (DRX) permiten confirmar la presencia de una fase amorfa (vidrio) o de muy baja cristalinidad en las cenizas volantes, acompañada de la presencia de mullita, sillimanita y cuarzo como principales fases minerales, algo típico en la mayoría de las cenizas volantes originadas a partir de la combustión del carbón en las plantas de generación de energía

eléctrica, aunque llama la atención la macada presencia de sillimanita, la que en otras cenizas volantes es menos común que la mullita (Fig. 4)

Por su parte, los difractogramas de las cenizas de fondo de hornos indican que las mismas poseen una fase amorfa o de baja cristalinidad menos significativa que la exhibida por las cenizas volantes, además de una composición mineralógica muy diferente, con predominio de cuarzo, ausencia de fases minerales de silicato de aluminio y presencia de anhidrita, silicatos de calcio parecidos a los que se originan en el clinker utilizado en la fabricación de cemento portland (Fig. 4)



**Figura 4.- Difractogramas de las cenizas volantes (izquierda) y de fondo de hornos (derecha).**



Los resultados de la lixiviación para la determinación de la cal libre (CaO) en las cenizas volantes y de fondo de hornos se muestran en la tabla 2. En ambos casos estos resultados guardan plena correspondencia con los obtenidos en las cenizas de los carbones utilizados en las plantas de generación de electricidad en todo el mundo.

**Tabla 2.- Resultados de los ensayos de lixiviación de cal libre en las cenizas volantes y de fondo de hornos.**

Ceniza volante	pH	
	1 minuto	60 minutos
1	10.1	10.9
2	10.3	11.1
Ceniza fondo de horno	1 minuto	60 minutos
1	10	10.2
2	10.1	10.4

Los análisis de fluorescencia de rayos X (FRX) efectuados a las cenizas volantes y de fondo de hornos de las carboeléctricas de Nava aparecen reflejados en la tablas 3 y 4. Los mismos guardan una buena correspondencia con los resultados obtenidos en cenizas semejantes en numerosas plantas generadoras de electricidad a partir de la combustión de carbón en muchos lugares del mundo.

**Tabla 3.- Contenido de elementos mayores expresado en % en óxido en las cenizas volantes y de fondo de hornos**

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	SrO
Cenizas Volantes	57.32	26.07	6.51	2.646	1.08	0.99	0.75	—
Cenizas fon. hor.	41.72	25	4.82	9.12	0.32	0.86	1.07	0.22

**Tabla 3.- Contenido de oligoelementos y elementos traza en las cenizas volantes y de fondo de hornos expresados en ppm.**

<b>ceniza volante</b>			
Elementos traza	Contenido (ppm)	Elementos traza	Contenido (ppm)
Sr	388.66	Ni	28.33
Zr	286.6	U	18.33
V	319.33	W	35.66
Mn	136.66	Hg	17.66
Th	35.66	Mo	6
Pb	51.66	As	24.66
Cu	55.66	Cr	44.66
Zn	94	Se	7
Rb	59.33		
<b>Cenizas de fondo de hornos</b>			
Zr	294	Rb	30
V	341.66	Ni	23.66
Mn	238.33	U	20.33
Th	54.66	W	26
Pb	63	Hg	16
Cu	61.33	Mo	9.66
Zn	42.33	As	3.66

### **Conclusiones**

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirma de un modo irrefutable que las cenizas volantes y de fondo de hornos, en particular la primera, reúnen las condiciones necesarias para ser utilizadas como materia prima en la producción de zeolitas sintéticas y como material puzolánico.

### **Bibliografía consultada**

Jewel, R. B. y Rathbone, R.F., 2009. "Optical properties of Coal Combustion Byproducts for Particle-Size analysis by Laser Diffraction", Coal Combustion and Gasification Products, 1, 1-7.

Querol, X., Umaña, J.C., Plana-LLevat, F., Alastuey, A., López-Soler, A., Medinacelli, A., Valero, A., Domingo, M.J., Garcia-Rojo, E., Synthesis of zeolites from Fly Ash in a Pilot Plant scale. Examples of Potential environmental Applications. In: International ash Utilization Symposium, paper No.12.

Colin, R.W. and French, D., 2005. Relation between coal and fly ash Mineralogy, Based on Quantitative Mineralogy, Based on Quantitative X-Ray Diffraction methods, In: World of Coal Ash (WOCA), 11-15 de abril, Lexington, Kentucky, USA.

Medina, A., Gamero, P., Querol, X., Moreno, N., De León, B., Almanza, M., Vargas, G., Izquierdo, M., Font, O., 2010. Fly ash from a Mexican mineral coal I: Mineralogical and chemical characterization, Journal of Hazardous Materials, 181, 82-90.

## TRATAMIENTO DE ARSÉNICO EN EL LIXIVIADO ÁCIDO DE MINA CON HIDROTALCITA MG/AL/FE SECA

**Margarita Beltrán Villavicencio<sup>\*1</sup>, Guillermo Enrique Negrón Silva<sup>2</sup>, Norma Cristina Rangel Alvarez<sup>1</sup>, María Elena Sánchez García<sup>1</sup>, María Aurora Armienta Hernández<sup>3</sup>, Israel Labastida Núñez<sup>1</sup>, Deyanira Ángeles Beltrán<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, Departamento de Energía, 02200, Ciudad de México, México

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, Departamento de Ciencias Básicas, 02200, Ciudad de México, México

<sup>3</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 04510, Ciudad de México, México

[\\*mbv@correo.azc.uam.mx](mailto:mbv@correo.azc.uam.mx)

### RESUMEN

En México, la minería es una de las actividades económicas de mayor tradición; sin embargo, esta actividad también conlleva un problema de acumulación de residuos mineros conocidos como jales. Estos jales en contacto con agua y oxígeno propician la oxidación de algunos sulfuros metálicos que contienen, dando lugar a la producción de lixiviados que pueden contener arsénico; así mismo, éstos pueden llegar a aguas subterráneas o superficiales, por lo que es de suma importancia tratarlos. Una alternativa son las arcillas aniónicas, también conocidas como hidrotalcitas, ya que presentan una capacidad para el intercambio iónico, así como propiedades adsorbentes y catalíticas.



En este trabajo se llevó a cabo la síntesis de un hidróxido doble laminar Mg/Al/Fe seco (HDL) para el tratamiento de arsénico en el lixiviado ácido de mina procedente de jales de Zimapán, Hidalgo. El hidróxido doble laminar Mg/Al/Fe seco se caracterizó por espectroscopía de infrarrojo (IR), difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDS). Posterior a la síntesis, el HDL se utilizó para dar tratamiento a los lixiviados y evaluar la eficiencia de sorción, se trabajó con 3 lixiviados generados con el contacto de los jales con agua en diferentes relaciones, 3 agua:1 jales, 20 agua:1 jales y simulando precipitación pluvial característica de la zona sobre jales, a 28 días. Las concentraciones iniciales de arsénico fueron (mg/L): 500.75, 3.207 y 0.03244, los cuales presentaron pH de: 2.08, 2.15 y 7.38 unidades respectivamente.

Como resultado del tratamiento, se logró disminuir la cantidad de arsénico, en los dos últimos casos hasta concentraciones por debajo a 0.025 mg de As/L (valor límite para agua potable, según la NOM-127). La eficiencia de remoción fluctuó entre 84.73 % y 99.93 %.

En la caracterización final del HDL, después del tratamiento, se encontraron cambios de la morfología donde de una estructura laminar pasan a una amorfa, indicativos de adsorción de iones presentes en los lixiviados. Se comprobó en el espectro por dispersión de energía, la presencia de arsénico y de otros elementos procedentes de los lixiviados, como hierro y cinc.

**Palabras clave:** Drenaje ácido de mina, arcillas aniónicas, jales, Zimapán.

## ABSTRACT

In Mexico, mining is one of the most traditional economic activities; however, this activity also has a problem of accumulation of mine tailings known in Mexico as “jales”. In these tailings the contact with water and oxygen causes the oxidation of some metal sulfides that they contain, giving rise to the production of leachates that may contain arsenic that may reach ground or surface water. It is thus important to treat these leachates to protect the environment. One alternative in this regard is the use of anionic clays, also known as hydrotalcites (or LDH), which also have a capacity for ion exchange, as well as adsorbent and catalytic properties. In this work, we carried out the synthesis of the dried LDH Mg/Al/Fe for the treatment of arsenic in the acid leachates from Zimapán, Hidalgo mine tailings. Several tests were performed to characterize the LDH as infrared spectroscopy (IR), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and X ray energy dispersive spectroscopy (EDS). After the synthesis, it was used to treat the leachates and evaluate the arsenic sorption efficiency. We worked with 3 leachates generated with the tailings-water contact in different ratios, 3 water:1 tailings, 20 water: 1 tailings and simulating the rainwater characteristic of the area, during 28 days. The initial concentrations of arsenic were (mg/L): 500.75, 3.207 and 0.03244, with pH of: 2.08, 2.15 and 7.38 units respectively. In the treatment, the arsenic concentration diminished, in the two last cases below 0.025 mg of As/L (limit value for drinking water, according to NOM-127). The removal efficiency fluctuated between 84.73% and 99.93%. In the final characterization of the LDH after the application of the treatment, morphological changes were found in which the structure passes from laminar to amorphous, due to the adsorption of ions present in the leachates. The energy dispersion spectrum showed the presence of arsenic and other elements as iron and arsenic coming from the leachates.

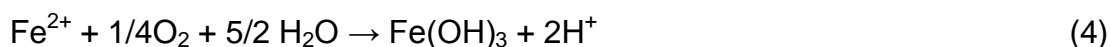
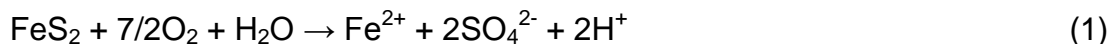
**Key words:** Acid mine drainage, anionic clays, tailings, Zimapán.

## INTRODUCCIÓN

En el valor total de la producción minera en México, los principales estados que participan son: Sonora, Zacatecas, Chihuahua, Durango, Coahuila, Guerrero, San Luis Potosí, Baja California Sur, Colima, Nuevo León, Nayarit, Guanajuato, Hidalgo, Sinaloa, entre otros (SE, 2018). México ocupa el primer lugar de producción mundial de plata, contribuye con el 20.7 % de participación en la producción mundial de este metal y se encuentra en los 10 primeros lugares en la producción de minerales metálicos y no metálicos a nivel mundial (SE, 2018). Sin embargo, aunado a esta actividad se generan jales durante los procesos de recuperación de metales a partir de minerales metalíferos, tras moler las rocas originales que los contienen y mezclar las partículas que se forman con agua y pequeñas cantidades de reactivos químicos que facilitan la liberación de los metales (Cortinas, 1998; Moreno *et al.*, 2012).

El manejo inadecuado y la disposición de estos residuos, han generado problemas como son: drenaje ácido de mina (DAM) acompañado de la lixiviación de metales y metaloides (Salas, 2014).

En el distrito minero de Zimapán en el estado de Hidalgo, los jales constituyen presas históricas y recientes, que en contacto con agua y oxígeno propician la oxidación de algunos sulfuros metálicos. En la ecuación (1), se presenta la oxidación de la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) con la liberación de ion ferroso y sulfato, así como la producción de iones hidronio, esto genera una cadena de reacciones dependientes del pH (2 a 4), donde se obtienen como productos finales hidróxido de hierro y iones hidronio. De igual manera en la reacción (5), se muestra la oxidación de la arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), que en su caso produce la liberación del ion ferroso, sulfato, arseniato y de iones hidronio. Los iones de  $\text{Fe(II)}$ , que se oxidan a  $\text{Fe(III)}$  (reacción 2), los cuales catalizan la oxidación de la arsenopirita para formar ácido arsénico (reacción 6); el cual puede ser transportado por agua al subsuelo (Méndez y Armienta, 2002):

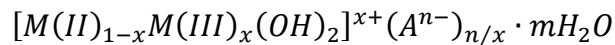


Dado lo anterior, los lixiviados que contienen arsénico (As) pueden llegar a aguas subterráneas o bien al río cercano, suelos y sedimentos, donde se ha observado un incremento en la concentración de este elemento (Méndez y Armienta, 2002; Ongley *et al.*, 2007)); por ende, es de suma importancia el tratamiento a estos lixiviados.

En estudios realizados en el distrito minero de Zimapán, estado de Hidalgo, México, se han registrado concentraciones de As en aguas naturales y suelos más altas que las establecidas por las normas oficiales mexicanas, tales como la NOM-127-SSA1-1994 (SEMARNAT, 1994) y la NOM- 147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT, 2004); las cuales indican que el contenido de As en agua para consumo humano no debe exceder los 0.025 mg/L y para suelo 22 mg/kg. La generación de lixiviado ácido de mina es evidente en los jales mineros del sitio, que provocan concentraciones de As en agua subterránea de hasta 0.3 mg/L y en suelo de hasta 26 mg As/kg y 19 mg/L de As soluble (Méndez y Armienta, 2002). El As es un metaloide tóxico (Luengo *et al.*, 2007), que al estar presente en sus estados de oxidación III y V es altamente dañino, puede ocasionar daños en la piel e incluso cáncer (Ng *et al.*, 2003).

Por otro lado, los compuestos tipo hidrotalcita pertenecen a una clase de compuestos llamados arcillas aniónicas, que están formadas natural o sintéticamente por hidróxidos mixtos laminares, cuyos espacios interlaminares contienen aniones intercambiables. Estos materiales son nombrados de diferentes maneras según la composición y la simetría de los minerales; como los hidróxidos dobles laminares (HDL) (Allmann, 1968; Miyata, 1983).

Las arcillas aniónicas se definen por su composición química, su espaciado basal y la secuencia de apilación. La siguiente fórmula representa su composición química (Nezhad *et al.*, 2013):



Donde M es un catión metálico y A un anión interlaminar. Las arcillas aniónicas tienen estructuras similares a la de la brucita:  $Mg(OH)_2$  y cristalizan en una red tipo laminar como consecuencia de la presencia de cationes relativamente pequeños, cargados positivamente en la proximidad de iones  $OH^-$  muy polarizables y que no poseen simetría esférica. Cada  $Mg^{2+}$  está rodeado en coordinación octaédrica por seis iones  $OH^-$  y los diferentes octaedros comparten sus vértices, de manera que se forman capas infinitas (Nezhad *et al.*, 2013).

En este proyecto se evaluó la eficiencia de tratamiento de lixiviados provenientes de los jales mineros de Zimapán, Hidalgo, con un sistema pasivo con una hidrotalcita seca, para reducir la concentración de arsénico presente. De esta forma se evitaría la incorporación de concentraciones de este metaloide tanto en agua como en suelo. Además, esta información podría ser de gran utilidad para nuevas investigaciones sobre la retención de arsénico mediante las hidrotalcitas y los hidróxidos dobles laminares.

## ÁREA DE TRABAJO, MÉTODOS ANALÍTICOS Y MATERIALES

### Obtención de jales mineros

Los jales se obtuvieron de la presa Compañía Minera de Zimapán (CMZ), la cual se muestra en la Figura 1, esta presa fue elegida por su antigüedad, ya que presenta avanzados procesos de intemperismo, además de las altas concentraciones de As en los lixiviados que se generan (Labastida *et al.*, 2013).

Las muestras de la presa presentaron un color rojizo, y se tomaron de las zonas en donde había un color más intenso que otros, con tonalidades amarillas – ocres.



**Figura 1.** Fotografía de la presa de jales CMZ (Fotografía propia Área de Tecnologías Sustentables, 2015).

### Caracterización fisicoquímica de los jales mineros

La caracterización fue llevada a cabo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, la cual establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, cabe mencionar que los jales no son suelo, pero pueden ser caracterizados de manera similar, para ello se obtuvo el pH, densidad aparente, densidad real, porosidad, textura, materia orgánica, nivel de nitrógeno inorgánico, nivel de fósforo extraíble, nivel de potasio y conductividad eléctrica.



### **Síntesis del hidróxido doble laminar Mg/Al/Fe seco**

La técnica utilizada para la síntesis del HDL fue el método de coprecipitación, el cual es el más empleado en arcillas aniónicas. Al ser ternaria, éste consistió en la adición paulatina y por goteo de una solución acuosa que contiene la mezcla de tres sales metálicas ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) (Turk *et al.*, 2009) a otra disolución alcalina formada por hidróxido de sodio y carbonato de sodio ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) simultáneamente, con el fin de fijar el pH a un valor entre 9 y 10 que es el valor óptimo para producir la coprecipitación de las sales metálicas. Si el pH es de 9, se realiza la filtración por medio de vacío, de lo contrario, se llevan a cabo una serie de lavados al precipitado con agua desionizada hasta obtener dicho valor de pH. Al término de la filtración el precipitado (HDL húmedo) se secó a  $80^\circ\text{C}$  por 24 h; posteriormente fue molida.

### **Caracterización del hidróxido doble laminar (HDL)**

#### ***Espectroscopía de infrarrojo (IR)***

Esta técnica se empleó con el fin de caracterizar la estructura química del HDL sintetizado, los espectros de infrarrojos se llevaron a cabo en un equipo Platinum-ATR modelo Alpha con láser clase 1. El rango de números de onda estudiado comprende desde  $400$  hasta  $4000\text{ cm}^{-1}$ .

#### ***Difracción de rayos X (DRX)***

Esta técnica fue realizada mediante un equipo de difracción de rayos X modelo Phillips X'Pert. Este análisis se lleva a cabo en un rango de  $2\theta = 4$  hasta  $80$ .

#### ***Microscopía electrónica de barrido (MEB)***

Esta técnica de caracterización se realizó con el microscopio electrónico de barrido Zeiss modelo SUPRA 55VP con una resolución de 3072 por 2304 pixeles.

### ***Espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDS)***

Esta técnica de caracterización se realizó con el microscopio electrónico de barrido Zeiss modelo SUPRA 55VP, con una resolución de 3072 por 2304 pixeles. Se usaron 25 KV y una apertura de 120 mm.

### **Generación de drenaje ácido de mina (DAM)**

Para la obtención del DAM se establecieron 3 condiciones experimentales con la intención de tener concentraciones iniciales diferentes y así evaluar el comportamiento de la hidrotalcita en cada situación, las cuales fueron denominadas de la siguiente manera:

- Lixiviado A = generado con una relación másica 3 agua:1 jales para obtener una alta concentración de As
- Lixiviado B = relación másica 20 agua:1 jales (se utilizó el procedimiento de extracción con base en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004)
- Lixiviado C = con simulación de lluvia característica en la zona Zimapán, se utilizó una columna de vidrio de aproximadamente 15 cm de altura, 3 cm de diámetro, a la cual se agregaron los jales. Con base en la precipitación pluvial anual registrada en la zona de Zimapán, Hidalgo, la cual es de 391 mm de agua por año con un periodo lluvioso de mayo a junio (INAFED, 2010), se realizó el cálculo correspondiente respecto al volumen de la columna y con la ayuda de una bomba peristáltica se generaron los lixiviados en 28 días.

### Determinación de la concentración de arsénico en el DAM

La determinación de arsénico se realizó por espectroscopía de absorción atómica con generación de hidruros que permite cuantificar en el orden de partes por billón (ppb). El equipo utilizado para la determinación de arsénico es de la marca Perkin Elmer AAnalyst 200 con FIAS 100.

### Eficiencia de sorción de As en el tratamiento

La sorción de arsénico presente en los lixiviados se llevó a cabo con el HDL Mg/Al/Fe seco por lotes con tres réplicas, como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Diseño de experimentos de lixiviados con la HDL

Tipo de lixiviados	HDL Mg/Al/Fe
A (relación 3 agua:1 jales)	*
B (relación 20 agua:1 jales, según NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004)	*
C (simulación de lluvia por 28 días)	*

Para el contacto de los lixiviados con la HDL, se utilizó una relación de 0.3 g de HDL/100 mL de solución con 15 ppm de As (Turk *et al.*, 2009), ésta fue la base para determinar la cantidad para cada una de las diferentes concentraciones de As presentes en los lixiviados A, B y C. Los lixiviados fueron mezclados en reactores por lotes, en condiciones de temperatura ambiente y agitación continua durante 3 h (Turk *et al.*, 2009). El HDL se recuperó del lixiviado por medio de filtración al vacío con la ayuda de una membrana de 45  $\mu\text{m}$  y un equipo de microfiltración.

Para determinar la eficiencia de remoción de As en los lixiviados se utilizó la siguiente fórmula:

*% de remoción de As*

$$= \left( \frac{\text{Concentración inicial de As} - \text{Concentración final de As}}{\text{Concentración inicial de As}} \right) \times 100$$

## RESULTADOS

### Caracterización fisicoquímica de los jales mineros

En la tabla 2 se enlistan los diferentes parámetros fisicoquímicos iniciales determinados para los jales mineros.

**Tabla 2.** Resultados de la caracterización fisicoquímica de los jales mineros.

Parámetros	Jales mineros
pH	2.4355 ± 0.016
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.23 ± 0.1
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2.53 ± 0.16
Porosidad (%)	51.38
Textura	Franco arcilloso
Materia orgánica (%)	1.2 ± 0.1
Nivel de nitrógeno inorgánico (mg/kg)	Trazas
Nivel de fósforo extraíble	Medio
Nivel de potasio	Trazas
Conductividad eléctrica (dS/m)	10.045 ± 0.021

El pH que presentan los jales mineros se encuentra clasificado como fuertemente ácido, con una densidad aparente de entre  $1.23 \text{ g/cm}^3$  en promedio que podría compararse al de arcillas, con un bajo contenido de materia orgánica y con una conductividad eléctrica alta (SEMARNAT, 2003).

### Comportamiento del pH del DAM en el proceso

En la tabla 3 se muestran los resultados del pH antes y después del tratamiento.

**Tabla 3.** Comportamiento del pH antes y después del tratamiento.

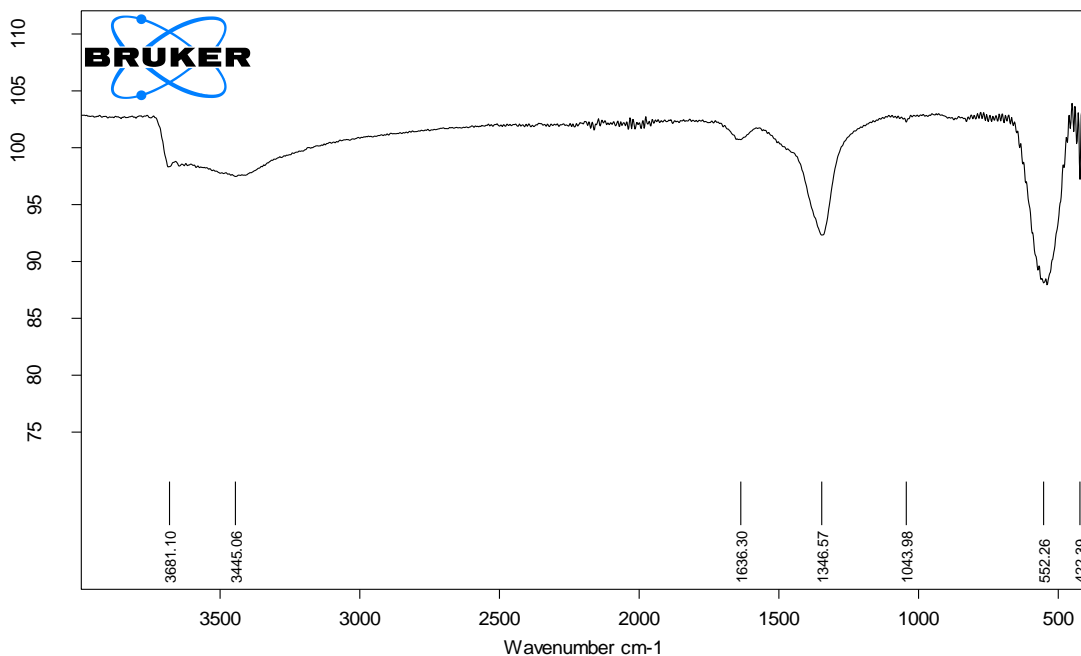
Tipo de lixiviado	Lixiviados sin tratamiento	Lixiviados después del tratamiento con el HDL
	pH  (unidades)	pH  (unidades)
A	$2.08 \pm 0.03$	$5.27 \pm 0.081$
B	$2.15 \pm 0.06$	$5.49 \pm 0.01$
C	$7.38 \pm 0.11$	$8.13 \pm 0.021$

Para los lixiviados más concentrados (A y B) se observó un pH inicial ácido y una vez que fueron tratados con el HDL, el aumento de pH fue considerable. En el lixiviado C hubo una acumulación de agua durante 28 días lo que lo diluyó presentando un pH neutro y al finalizar el tratamiento aumentó hasta 8.13 unidades.

## Caracterización inicial del hidróxido doble laminar

### *Espectroscopía de infrarrojo (IR)*

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el espectro correspondiente al HDL, donde se observa la presencia de bandas de absorción características en  $3445.06\text{ cm}^{-1}$  atribuidas al estiramiento de grupos OH presentes en las láminas tipo brucita. La banda que se observa alrededor de  $1636.30\text{ cm}^{-1}$  corresponde a la torsión de los grupos  $\text{OH}^-$ . Además, la banda en  $1346.57\text{ cm}^{-1}$  se atribuye al estiramiento de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) localizados en la región interlaminar. Mientras que en la región de entre  $400$  y  $600\text{ cm}^{-1}$  se aprecia la banda que pertenece a las vibraciones de red tipo  $\text{M(II)} - \text{O} - \text{M(III)}$  de estiramientos y flexión.

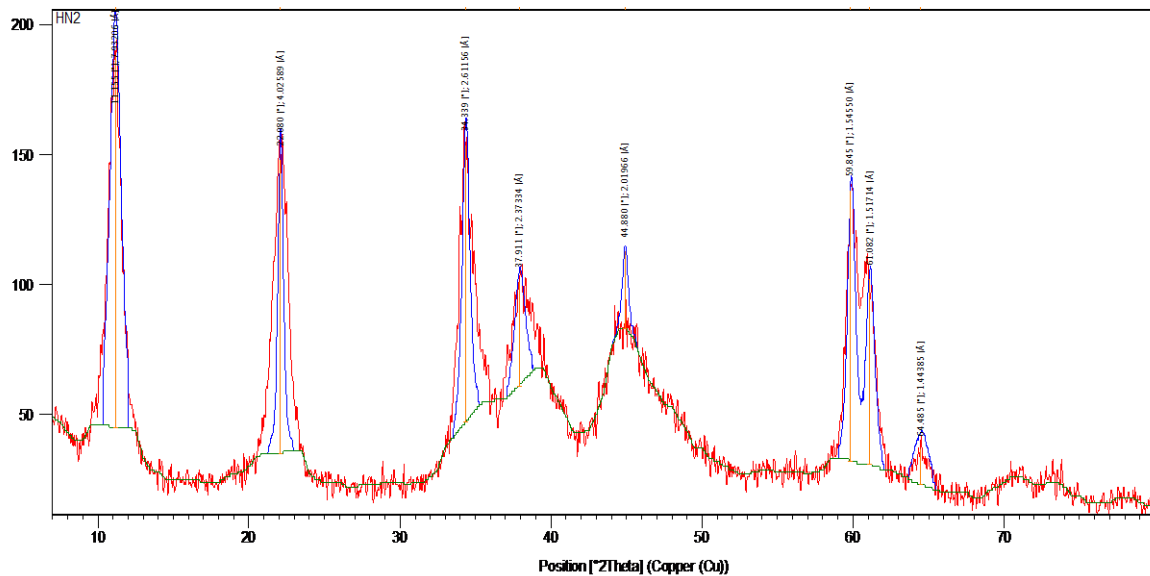


**Figura 1.** Espectro de infrarrojo del HDL Mg/Al/Fe seco.

### *Difracción de Rayos X (DRX)*



En la Figura 3.3 se muestra el difractograma del HDL en donde pueden observarse los picos característicos, los cuales son finos y simétricos para los planos (003), (006), (110), (113), además de picos anchos y asimétricos para los planos, (009), (015) y (018), los cuales son representativos de arcillas minerales con estructura laminar.

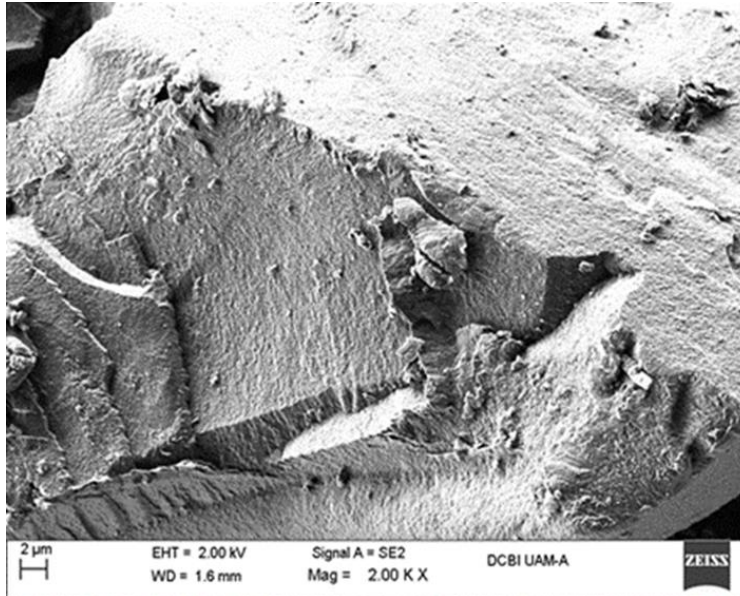


**Figura 3.** Difractograma del HDL Mg/Al/Fe seco

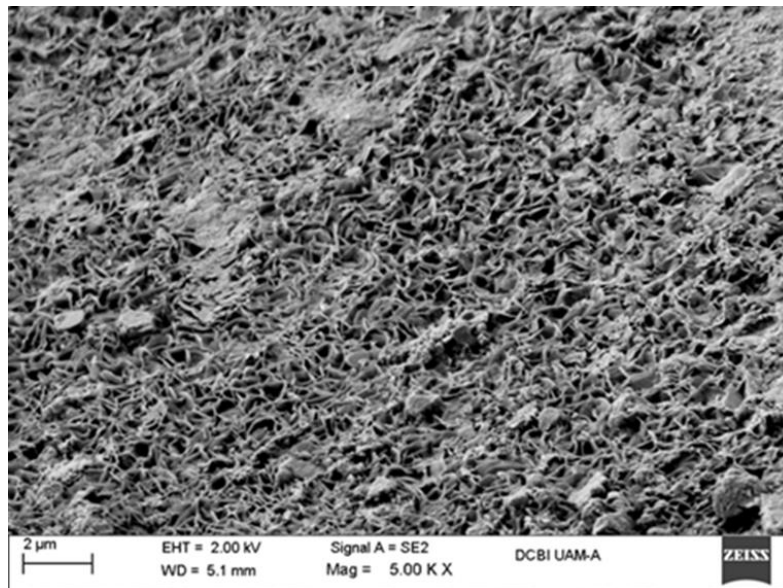
### ***Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)***

Tanto en la figura 4-a) como en la figura 4-b), se observa la morfología del HDL Mg/Al/Fe, al inicio muestra la morfología característica, con cierta porosidad en la superficie, la cual es homogénea, además el material contiene algunas deformaciones y por lo tanto se espera que tenga un área de contacto alta. En la figura 4-b), se aprecia la micrografía de la HT después del tratamiento, en su morfología presenta un contraste entre secciones lisas y rugosas que denota una estructura amorfa y una aglomeración de partículas que puede atribuirse a los distintos iones adsorbidos.

a)



b)

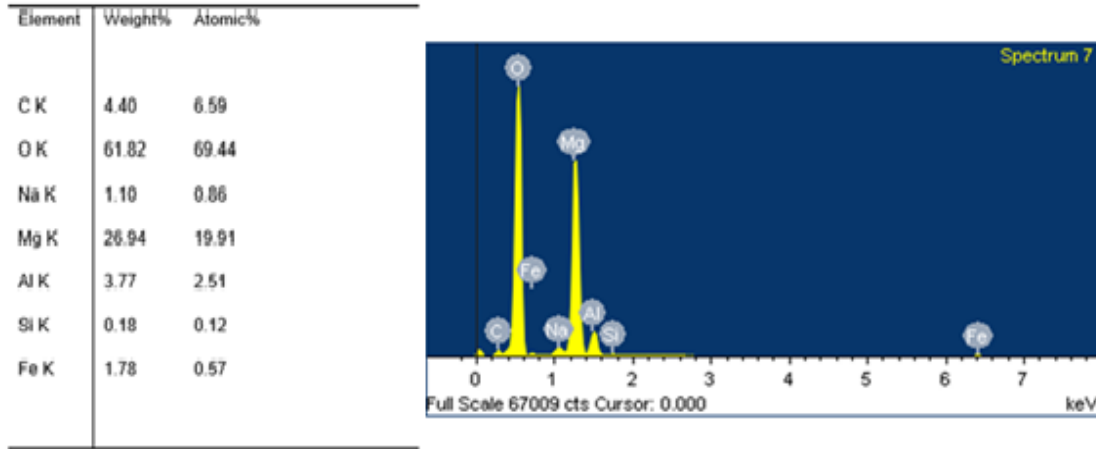


**Figura 4.** Micrografía del HDL a) a 2000x al inicio, b) después del tratamiento del DAM

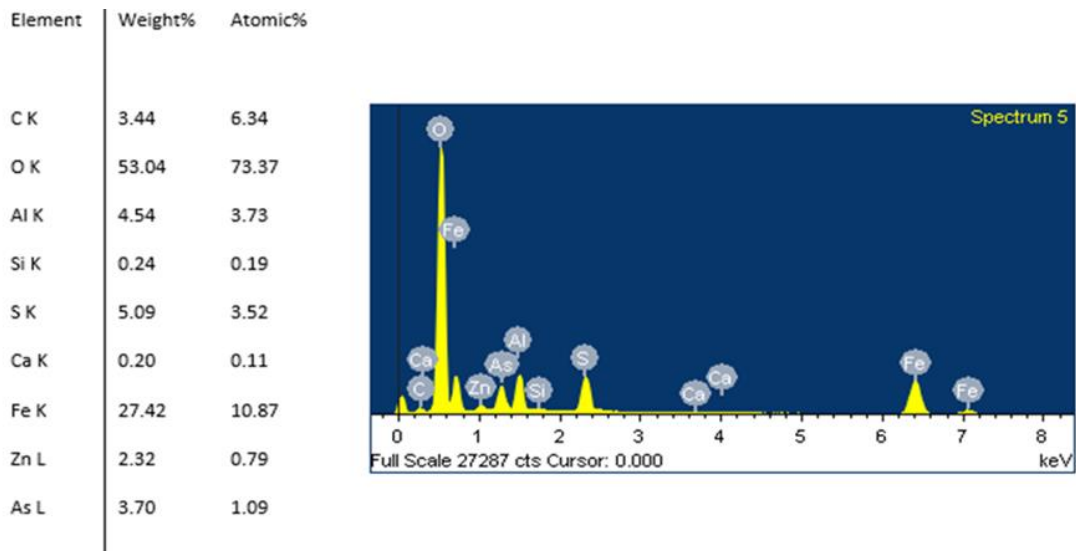
### ***Espectroscopía de energía dispersa (EDS)***

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**5-a) se muestra la composición estructural del HDL seco, al inicio antes del tratamiento del DAM, se observa en mayor proporción la presencia de oxígeno con un 61.82 % en masa, seguido de un 26.94 % masa de magnesio y en menor proporción aluminio con 3.77 % masa y hierro con 1.78 % masa, lo cual denota los elementos más representativos en la estructura de la hidrotalcita y así mismo los elementos metálicos esperados. En la figura 5-b), se aprecia un cambio en la composición, la cual presenta nuevos elementos como: azufre, calcio, cinc y arsénico con un contenido de 5.09, 0.26, 2.32 y 3.70 % masa respectivamente, una disminución en el oxígeno a 8.78 % masa y un aumento de hierro a 25.64 % masa respecto a la inicial.

a)



b)



**Figura 5.** Espectro de EDS del HDL Mg/Al/Fe seco a) antes del tratamiento, b) después del tratamiento

### **Concentración de arsénico en el tratamiento de DAM**

En la tabla 4, se presentan las concentraciones de As iniciales del DAM y las finales después del tratamiento. El lixiviado A se obtuvo con una relación 3 agua: 1 jales por lo que se presentó la concentración más alta de As, en el caso de los lixiviados B fue con 20 agua: 1 jales con una concentración más baja y en el caso de los lixiviados C con simulación de lluvia (28 días) que presentaron las concentraciones más bajas pero que aún sobrepasan los límites normativos de la NOM-127-SSA1-1994.

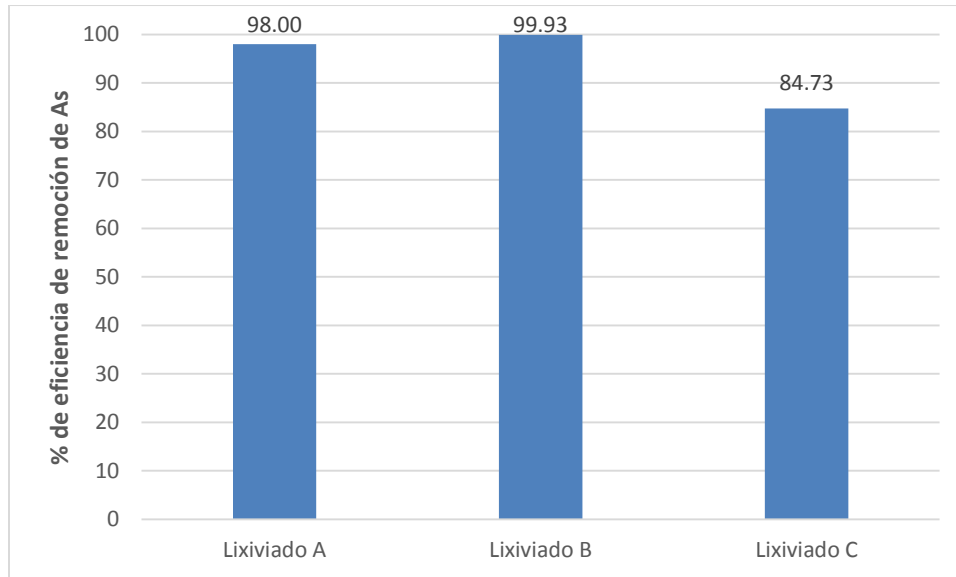
**Tabla 2.** Concentraciones de arsénico iniciales y finales en el tratamiento

<b>Tipo de lixiviado</b>	<b>Concentración inicial de As (mg/L)</b>	<b>Concentración final de As (mg/L)</b>
A	500.75±5.89	10.02±0.16
B	3.207±0.101	0.00223±0.0001
C	0.03244±No detectado	0.00495±No detectado

La norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, establece que el límite permisible de As en agua para consumo humano es de 0.025 mg/L. Para el caso del lixiviado B y C se disminuye la concentración de As presente por debajo de este límite y aunque no se trata de agua para consumo humano, bien es una comparación para evaluar el desempeño del HDL, tanto en altas como en bajas concentraciones de As.

En la figura 8 se muestra el porcentaje de eficiencia de remoción de arsénico para cada tipo de lixiviados que se pusieron en contacto con el HDL. Se aprecia una

alta eficiencia, entre 84.73% y 99.93% en la remoción de As, es decir, este tipo de arcilla aniónica es efectiva tanto en concentraciones altas (500.75 mg As/L) como en bajas (0.03244 mg As/L).



**Figura 8.** Eficiencia de remoción de As con el HDL Mg/Al/Fe en los lixiviados A, B y C

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este proyecto se evaluó la eficiencia de un tratamiento pasivo de lixiviado ácido de mina con un hidróxido doble laminar para disminuir la concentración de arsénico.

Respecto a la síntesis del HDL seco que se aplicó en el tratamiento de lixiviados y sus características, se puede decir que:

- Se logró sintetizar en laboratorio de acuerdo con el método de coprecipitación.



- En la espectroscopía de infrarrojo, las bandas de absorción para el HDL seco correspondieron a grupos OH, al estiramiento de carbonatos en la región interlaminar, además de las vibraciones de red tipo Metal – Oxígeno – Metal.
- En el análisis de difracción de rayos X, los picos característicos en el ángulo  $2\theta$  son finos y simétricos los cuales son representativos de arcillas minerales.
- En relación a la microscopía electrónica de barrido se aprecia porosidad homogénea en la superficie, lo cual corresponde a este tipo de material.
- En la espectroscopía por dispersión de energía, la composición estructural del HDL muestra los elementos principales presentes en este caso Mg, Fe y Al.

En la mayoría de las condiciones ambientales, el hierro y el aluminio son componentes que inmovilizan el arsénico, debido a que los oxianiones tanto del arseniato como del arsenito exhiben una afinidad por estos óxidos minerales, es por ello que se utilizó un HDL Mg/Fe/Al.

En lo relacionado con la determinación de las características fisicoquímicas de los jales y de los lixiviados de prueba (DAM), se concluye lo siguiente:

- De acuerdo con la NOM-021, los jales mineros son clasificados como fuertemente ácidos puesto que tienen un valor de 2.43 unidades, además presentaron una conductividad eléctrica de 10.045 dS/m alta debido a los iones solubles (por ejemplo, sulfatos,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y Al) y al pH bajo.
- En la caracterización de los lixiviados durante el tratamiento, se tuvo un cambio significativo en el pH, ya que inicialmente presentaron un valor de

2.08, 2.15 y 7.38 unidades y al finalizar el tratamiento con el HDL presentaron valores de 5.27, 5.49 y 8.13 unidades respectivamente.

Para evaluar la eficiencia de disminución de arsénico en lixiviados ácidos de mina en un sistema de tratamiento pasivo con un HDL seco, se encontró que:

- Con el HDL Mg/Fe/Al seco se lograron altas eficiencias de remoción  $\geq 84\%$  tanto en altas como en bajas concentraciones de As en el DAM.
- El tratamiento de los lixiviados con el HDL se considera factible, puesto que se logró disminuir (en el DAM con cantidades medias y bajas de As), la concentración de arsénico por debajo del límite establecido por la NOM-127, el cual es 0.025 mg/L, que, aunque en el experimento no se trató de agua potable constituye una referencia de comparación para evaluar la disminución en la concentración de este metaloide.

Con base en la caracterización final del HDL se concluye que:

El HDL Mg/Al/Fe seco mostró una notable diferencia en cuanto a su morfología, ya que presentan una aglomeración de partículas, debido a que no sólo adsorbe arsénico sino también cinc, calcio y azufre.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Proyecto 181448, por el apoyo otorgado al Proyecto Divisional CB010-13, UAM-A. Al Laboratorio de Difracción de Rayos X del Departamento de Ciencias Básicas y al Laboratorio Divisional de Microscopía Electrónica de Barrido.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allmann, R., (1968). The crystal structure of pyroaurite. Structural Crystallography and Crystal Chemistry. Acta Cryst. B24, 972-977.

Cortinas, C., (1998). Manejo ambiental de los relaves o jales mineros. Gaceta Ecológica, Volumen 49, p. 120.

INAFED, Instituto para el Federalismo y el Desarrollo municipal. SEGOB Secretaría de Gobernación (2010). Enciclopedia de los Municipios de México, Estado de Hidalgo, [en línea]. Disponible en: <http://intranet.e-hidalgo.gob.mx/enciclomuni/municipios/13084a.htm>. Fecha de consulta: 25 de junio del 2018.

Labastida, I., Armienta, M. A., Lara, R., Aguayo, A., Cruz, O. y Cenicerros, N., (2013). Treatment of mining acidic leachates whit indigenous, Zimapán México. Journal of Hazardous Materials, 262, 1187-1195.

Luengo, C., Brigante, M. y Avena, M., (2007). Adsorption kinetics of phosphate and arsenate on goethite. A comparative study. Journal of Colloid and Interface Science, 311: 354-360.

Méndez, M. y Armienta, M. A., (2002). Arsenic phase distribution in Zimapán mine tailings. Geophysical International, Issue 42, pp. 131-140.

Miyata, S., (1983). Anion Exchange Properties of Hydrotalcite-like Compounds. Clays and Clay Minerals, Vol. 31, No. 4, 305-311.

Moreno, T., Téllez, H. J. y Monroy, F. M. G., (2012). Influencia de los minerales de los jales en la bioaccesibilidad de arsénico, plomo, zinc y cadmio en el

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

distrito minero de Zimapán, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental , pp. 203-218.

Nezhad, E. H., Ghorbani, M., Zeinalkhani, M., Heidari, A. (2013). A new Technique to Absorb Yellow GX Anionic Pigments. American Journal of Chemistry 3 (1), pp. 6-9.

Ng, J. C., Wang, J. y Shraim, A., (2003). A global health problem caused by arsenic from natural sources. Chemosphere 52, pp. 1353-1359.

Ongley, L.K., Sherman L., Armienta A., Concilio A., Ferguson-Salinas C., (2007). Arsenic in the soils of Zimapán, Mexico, Environmental Pollution, Vol. 145, pp 793-799.

Salas, M, É. F., (2014). Geoquímica y mineralogía de jales en mina Aurora, Xinchú, Guanajuato, México, México. Universidad Nacional Autónoma de México . Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra. Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra Centro de Geociencias.

SE, Secretaría de Economía: Subsecretaría de minería. (2018). Prontuario industria minero metalúrgica. Disponible en:  
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/292017/prontuario-2018.pdf>  
Fecha de consulta 30 de julio del 2018.

SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (1994). NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México: Diario Oficial de la Federación.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2003). NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. México : Diario Oficial de la Federación .

SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2004). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. México: Diario Oficial de la Federación.

Turk, T., Alp, I. y Deveci, H., (2009). Adsorption of As(V) from water using Mg–Fe-based hydrotalcite (FeHT). *Journal of Hazardous Materials*, 171 (1-3). 665-670.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

**CANTERA DE TEZOANTLA COMO ADSORBENTE DE MENA DE  
MANGANESO PROVENIENTE DEL DISTRITO MINERO DE  
MOLANGO, HIDALGO, MÉXICO.**

**Karen Yazmin Meneses-Salas<sup>1\*</sup>, Fidel Pérez-Moreno<sup>1</sup>, Kinardo Flores-Castro<sup>1</sup>,  
Màrius Ramírez-Cardona<sup>1</sup>.**

Laboratorio de Geoquímica. Área Académica de Ciencias de la Tierra y  
Materiales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria,  
Carretera Pachuca-Tulancingo, Km 4.5, Col. Carboneras, C.P. 42184,

Mineral de la Reforma, Hidalgo. México.

kymenesess@gmail.com

**RESUMEN**

En este trabajo se aborda el estudio sobre el comportamiento del Mn en solución acuosa en la región del Distrito Minero de Molango (Naopa, Malila y Atezca) y que es distribuido a los cuerpos de agua. Para esta investigación se utilizó un lixiviado de caliza manganesífera del tajo Naopa en HCl al 1% que se hizo pasar a través de un lecho de 50g de una toba volcánica de composición dacítica que incluye naturalmente una zeolita tipo mordenita, la cual fue triturada y pulverizada a tamaño de partícula de 1.68 a 2.00mm colocada a manera de barrera geoquímica en una columna. El lixiviado fue analizado por Mn en un equipo de Absorción Atómica de la marca Varian modelo 880. Para la solución de inicio y para las fracciones obtenidas después de pasar la solución a través del polvo de cantera, se detectó que la concentración de Mn en la solución inicial es muy alta ( $43,201 \pm 500$ mg/L), por lo que la toba no mostraba

335



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

una retención sustancial para el elemento en cuestión a esta granulometría. Se considera que otros elementos presentes en la roca y que acompañan a la caliza manganesífera también son lixiviados por lo que la capacidad de la toba se reduce significativamente. Por otra parte, se precipitó a diferentes pH como un tratamiento primario y se determinó que a un pH final mayor a 7 se presenta una concentración de Mn de  $72.5 \pm 4.4$  mg/L, por lo que se concluye que es necesario realizar un tratamiento primario previo para posteriormente utilizar la toba y con ello reducir los niveles de Mn permisibles por la Norma Oficial Mexicana (NOM).

Palabras clave: Manganeso, Toba, Zeolita, Adsorción, Intercambio iónico.

### ABSTRACT

This work deals with the behavior of the Mn in water in the region of Molango Mining District (Naopa, Malila and Azteca), and that it is distributed to bodies of water. For this research, It is used a leaching of manganoan limestone from Naopa chop block in HCl 1% and it is passed through a bed of 50 g of tuff crushed to a particle size of 1.68-2.00 mm placed in a chromatographic column. Analysis of Mn for starting solution and fractions obtained after passing the solution through the quarry were performed in an atomic absorption equipment brand Varian, model 880. The concentration of Mn detected in the initial solution is very high ( $43, 201 \pm 500$  mg/L) and the tuff did not hold this element. Another elements are present with Mn in the rock of manganoan limestone, so they also were leached and the tuff capacity was significantly reduced. The elements of this solution were precipitated at pH different as a primary treatment and the Mn ( $72.5 \pm 4.4$  mg/L) was determined at pH final greater than 7. So, it is necessary to perform a primary treatment to reduce levels of Mn and later use the tuff to diminish the Mn content to levels permissible by the Official Mexican Norm.

336

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### INTRODUCCIÓN

En México gran parte de las fuentes que abastecen de agua contienen hierro y manganeso entre otros elementos en concentraciones que exceden los límites permisibles establecidos por la Normativa Mexicana para consumo humano NOM-127-SSA-1994 (Petkova, 1997); el manganeso está presente en un 0.09% en la corteza terrestre, 0.02% en el manto y 0.0004% en el agua del océano, sin embargo, no se encuentra de forma nativa excepto en los meteoritos y está asociado a otros elementos como oxígeno, azufre y cloro; su mineralogía es muy diversa debido a la variabilidad de sus estados de oxidación de 1+ hasta 7+, siendo los más comunes 2+, 4+ y 7+ en forma óxidos, hidróxidos, carbonatos y sulfuros, entre otros (Lenntech, 2017). La presencia de este tipo de elementos en las fuentes de agua causa una serie de problemas de carácter técnico, económico y social tal es el caso del municipio de Molango de Escamilla Hgo., donde debido a la existencia de yacimientos minerales de manganeso y a la práctica minera para su explotación, el agua que es usada y desechada para los procesos mineros presenta altas concentraciones de manganeso y hierro que varían de acuerdo a las condiciones del pH del agua. Por estas razones se han desarrollado diferentes procesos para las etapas de tratamiento en plantas purificadoras o tratadoras de agua (Piña *et al.*, 2000).

### ÁREA DE ESTUDIO Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

El Tajo Naopa de donde es originaria la caliza manganesífera se localiza en el municipio de Molango, Hidalgo, entre las coordenadas 20°51´ Latitud Norte y 98°45´ Longitud Oeste.

La población de Tezoantla se encuentra ubicada en el municipio de Mineral del

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

Monte Hidalgo, en las coordenadas geográficas 20° 07' Latitud Norte y 98°41' donde se encuentra el banco de cantera de rocas tobáceas “Real del Monte”.

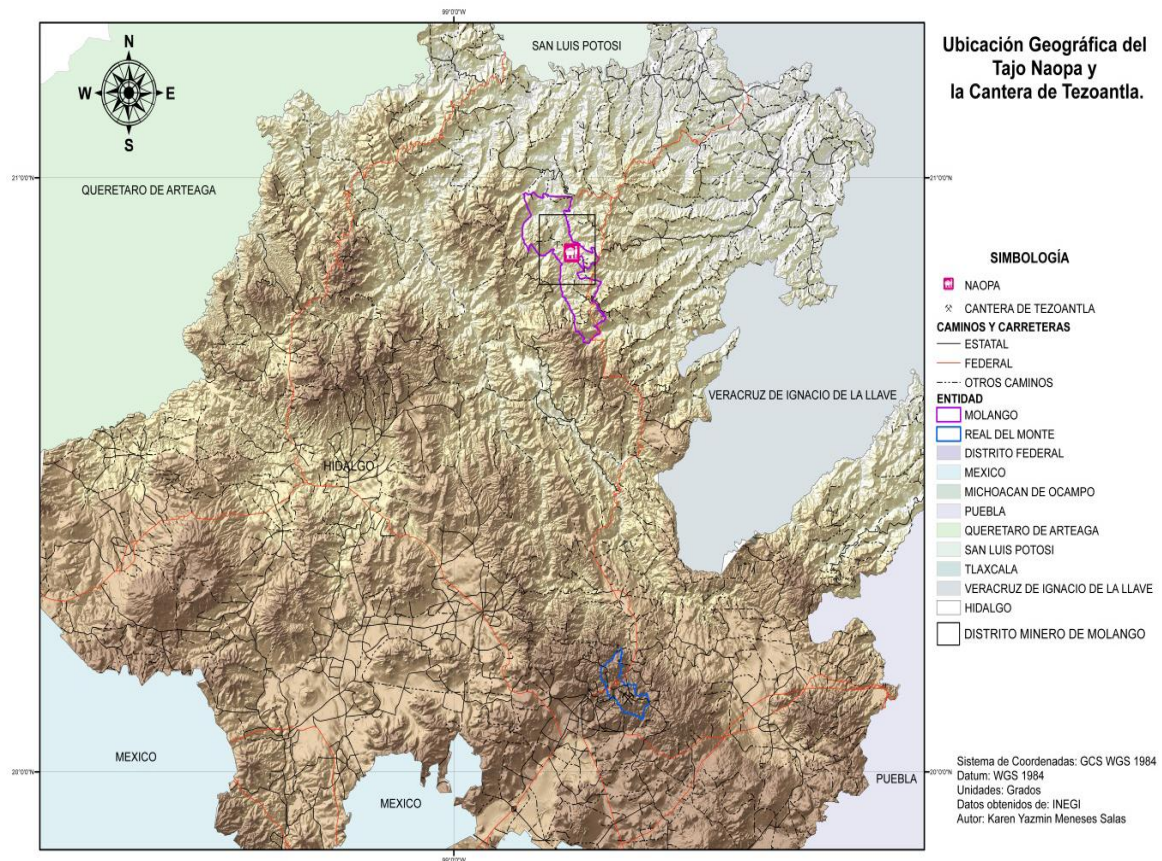


Figura 1. Mapa de localización de las áreas de estudio

## MÉTODOS

### Trabajo de campo

El muestreo de agua se realizó en el río Malila, laguna de Atezca y río Naopa como se muestra en la figura 2, se tomaron las coordenadas geográficas utilizando un GPS marca Garmin Modelo 62Sc.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

La toma de muestras de agua se realizó de acuerdo a la normativa oficial mexicana NOM-014-SSA1-1993; En el sitio se tomaron los datos de pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales con un equipo multi-parámetros de la marca *Hanna*, Modelo 98129. Las muestras colectadas se transportaron al laboratorio en hielera de poliestireno con suficiente hielo y se mantuvieron a una temperatura cercana a los 4 °C hasta su análisis.

### **Caracterización fisicoquímica de las muestras de agua**

#### *Determinación de Carbonatos*

La determinación de  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  se realizó de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 127 SSA-1994 por titulación con volúmenes de muestra de 50 mL y se valoraron con HCl 0.0953 M, se utilizó indicador de fenolftaleína al 0.1 % en etanol; el indicador cambia de color rosado pálido a incoloro en la determinación de  $\text{CO}_3^{2-}$ , terminada esta valoración se continuó con la segunda adicionando indicador de anaranjado de metilo al 0.1 % en etanol y se continuó agregando HCl hasta que cambió la coloración de la solución de anaranjado a rojo ladrillo. La determinación de carbonatos no se realizó debido a que la solución permaneció incolora después de adicionarle el indicador de fenolftaleína .

#### *Determinación de cloruros*

Para la determinación de cloruros se utilizó el método argentométrico establecido en la normativa mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001; donde a una muestra de 50 mL de agua se le adicionan 0.5 mL de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  al 0.1% como indicador y se valoran con una solución de  $\text{AgNO}_3$  0.02 M; en el punto de equivalencia se forma el precipitado de cromato de plata de color rojizo;

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

también se realizó la valoración a 50 mL de agua destilada la cual se utilizó como blanco.

### *Determinación de Sulfatos*

Para la determinación de  $\text{SO}_4^{2-}$  se preparó una solución buffer con 30 g de  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 5 g de  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , 1 g de  $\text{KNO}_3$  y 20 mL de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  al 99% por litro de solución (solución buffer); el análisis se realizó de acuerdo con la normativa mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014, para lo cual se utilizaron 5 mL de muestra aforados a 25 ml con agua destilada, se coloca en una parrilla de agitación constante, se adicionan 1.3 ml de solución buffer y aproximadamente 0.2- 0.3 mg de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; se agita durante 1 min y se toma la lectura de la turbidez después de dejar reposar la solución durante 4 min. Se utilizó un espectrofotómetro Uv-Vis de la marca Perkin Elmer, modelo lambda Bio + a  $\lambda_{\text{max}}$  de 420 nm; previamente se realiza una curva de calibración de sulfatos de 5 a 35 mg/L. Para la determinación de la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  en la solución se utiliza la ecuación 1, donde se hace uso de la ecuación de la línea recta proporcionada por la regresión lineal de la curva de calibración de los estándares

$$C_l = (Y - b)/m \quad \text{Ec.1}$$

$C_l$  es la concentración leída de la solución (mg/l)

Y es el valor de absorbancia de la muestra

b es la ordenada al origen

m es la pendiente de la curva



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Debido a que es una alícuota de la muestra la que se utiliza para la lectura de sulfatos, entonces es necesario utilizar la ecuación 2 para determinar la concentración real ( $C_r$ ) de sulfatos en las muestras de agua.

$$C_r = \frac{C_l \times V_{af} \times 2}{V_m \times 96} \quad \text{Ec. 2}$$

$C_l$  es concentración leída en el equipo (mg/L)

$V_{af}$  es volumen de aforo de la muestra (mL)

$V_m$  es el volumen de la alícuota de muestra que se toma para el análisis (ml)

### **Preparación y equipamiento de la columna**

#### *Preparación de la solución saturada en manganeso*

Para obtener la solución saturada en Mn se lixivia una caliza manganesífera proveniente del tajo Naopa agregando una solución al 10 % de HCl en un recipiente de 2 L dejándose en reposo por 2 semanas.

#### *Construcción de la columna*

La cantera se trituró a una tamaño de partícula de 2 -1.41mm y de 1.68-2.0 mm; para la activación de la zeolitas contenida en la roca, esta se lavó con agua para eliminar las partículas finas repitiendo el lavado tres veces, se le adiciona una solución de NaCl al 4% y utilizando un agitador horizontal se mantiene en agitación constante durante 2 h, se quita y se lava con agua destilada hasta que con solución de AgNO<sub>3</sub> no precipite.

Finalmente en una proporción de 50 g de zeolita activada se montó en una columna de vidrio con 30 cm de altura y 2.0 cm de diámetro; la solución saturada en Mn se le pasó a la columna de una botella de plástico de 1L a



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

través de un sistema de venoclisis como se muestra en la figura 3, el flujo utilizado para permitir el intercambio fue de 60 ml/h; el volumen ocupado por la zeolita fue de 65 ml, en consecuencia 1 Bed Volume (BV) = 65 mL; los primeros 2 BV de agua que se colectaron se desecharon, de los siguientes 2BV que se colectaron se tomaron una alícuota de 25 ml para su posterior análisis y el resto se desechó.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Resultados fisicoquímicos de las muestras de agua

Las propiedades fisicoquímicas de las muestras de agua se presentan en la tabla 1; se puede observar que el pH del agua de dos muestras se encuentra dentro de los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos determinados in situ de muestras de agua.

Sitio de muestreo	pH	Temperatura °C	Conductividad µs	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)
Río Malila	8.4 ± 0.1	19.3 ± 0.1	238 ± 8	117 ± 2
Laguna de Atezca	8.6 ± 0.1	28.7 ± 0.1	42 ± 3	21 ± 2
Río Naopa	6.8 ± 0.1	27 ± 0.1	200 ± 12	115 ± 4

Los resultados obtenidos de elementos mayoritarios (aniones y cationes) se muestran en la tabla 2, los sulfatos no presentan variación entre sí, se observa que el contenido de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la laguna de Atezca es menor que en los otros

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

dos sitios, sin embargo su contenido de Cl<sup>-</sup> y Ca<sup>2+</sup> es alto debido a la actividad antropogénica.

Tabla 2. Aniones y Cationes del agua los sitios de muestreo

Sitio	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq/ L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/ L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/ L	Cl <sup>-</sup> meq/ L	Na <sup>+</sup> meq/ L	K <sup>+</sup> meq/ L	Ca <sup>2+</sup> meq/ L	Mg <sup>2+</sup> meq/ L	Al mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L
R. Malila	nd	3.24	2.27	0.48	0.02	0.02	4.17	0.67	0.2	0.08	0.11
L. Atezca	nd	1.91	2.02	4.68	0.18	0.07	6.44	0.37	0.24	0.27	0.05
R. Naopa	nd	3.62	1.81	0.64	0.42	0.14	3.43	1.65	0.15	0.07	0.93

Los datos de la tabla 2 se utilizaron para determinar el tipo de agua de esta región por el método de Piper que se muestra en la figura 2.

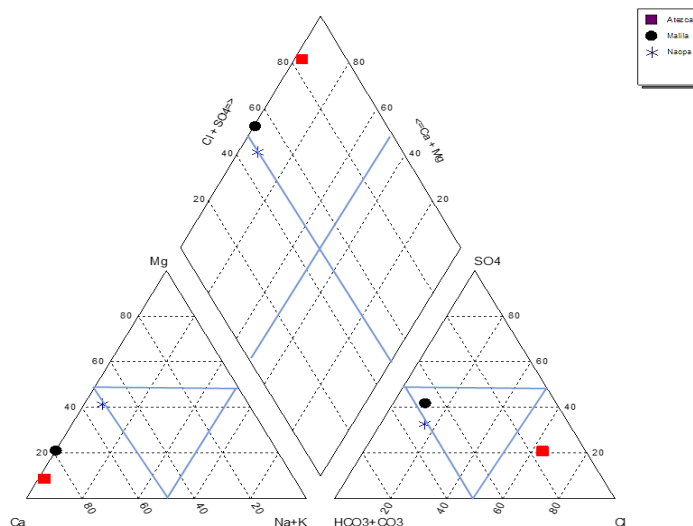


Figura 2. Clasificación del agua de la Laguna de Atezca (clorada-cálcica), Malila (bicarbonatada-cálcica) y Naopa\* (bicarbonatada-cálcica) de acuerdo a Piper.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Se observa que el contenido de Mn soluble en Naopa es mayor que en la Laguna de Atezca y en Malila, por arriba del máximo permisible por la Normatividad Oficial Mexicana, lo que la hace se ponga mayor atención en este elemento para su monitoreo constante debido a los problemas de manganismo que se puedan presentar en esta población.

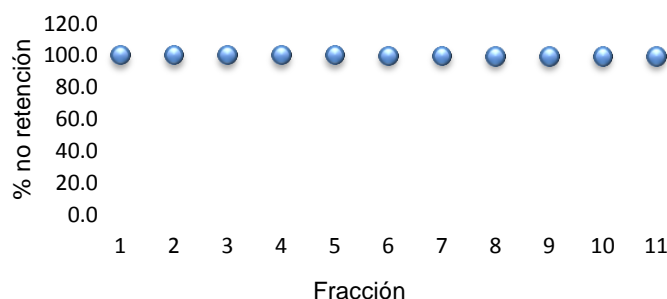
El Fe se determinó en una mayor concentración a los límites permisibles en los tres sitios de muestreo, sin embargo no presenta riesgo debido a que es un elemento esencial para algunas funciones propias del organismo humano.

El Al soluble en agua no está fuera de los límites permisibles o no presenta un riesgo a la salud humana.

### Pruebas de adsorción en columna

Las primeras pruebas para la adsorción de manganeso se realizaron en la columna de retención con material cantera de triturado a granulometría #10 (2-1.41mm), con un volumen inicial de 60 ml/hora. En la gráfica 1 se muestran los porcentajes obtenidos de Mn de las fracciones.

Gráfica 1. Contenido de Mn en las fracciones colectadas en la adsorción en columna



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

En virtud de que no hubo retención de Mn en la columna de zeolita y de que la concentración de la solución es alta por tratarse de un lixivado con HCl concentrado, se procedió a precipitar los elementos presentes en la solución para reducir la concentración del Mn, en la tabla 3 se muestra el contenido de Mn en función del pH inicial y al final de la precipitación; se observa que el contenido Mn se reduce pero sigue siendo alto, ya que la normativa establece un límite de 0.15 mg/L.

Tabla 3. Comparación de pH inicial y final con sus respectivas concentraciones en mg/L.

\*pHi es pH inicial, pH<sub>f</sub> es pH final, C<sub>i</sub> es concentración inicial y C<sub>f</sub> es concentración final

Como se puede observar en la tabla 3 el pH tiene influencia en cuanto al comportamiento del Mn; para que la precipitación de iones en la solución sea exitosa el pH debe ser mayor a 7, de esta manera se reducen los niveles de Mn.

Fracción	pH <sub>i</sub>	pH <sub>f</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>f</sub>	% Mn residual
1	3.5	7.59	43201	66.87	0.15
2	3.37	7.27	53702.25	72.99	0.14
3	3.85	7.92	53426	78.70	0.15
4	3.99	7.25	44824.75	66.80	0.15
5	5.2	7.61	45697.5	71.61	0.16
6	4.95	7.19	1671.925	70.05	4.19
7	5.17	7.4	1824.8	74.2	4.07
8	5.19	7.27	1967.625	75.96	3.86
9	5.27	7.26	1670.225	73.50	4.40
10	5.27	7.35	1790.275	79.55	4.44
11	5.24	7.26	1751.475	67.80	3.87
Promedio				72.55	
Desv. Est.				4.44	

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

### **CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN**

Las muestras de agua procedentes de Malila y Atezca no presentaron niveles altos de Mn a excepción de la muestra de Naopa, lo cual se debe a la cercanía que tienen con el tajo donde se realizan operaciones mineras de explotación y extracción.

Debido a la alta concentración de Mn y de otros elementos que le acompañan en la solución sintética, el Mn no fue retenido por la zeolita de Tezoantla.

Para soluciones de drenajes ácidos de mina que contienen altas concentraciones de Mn es necesario realizar una precipitación como tratamiento primario, para reducir la concentración de Mn y de los otros elementos para mejorar intercambio en la zeolita y reducir la concentración de Mn a niveles permisibles para su uso humano.

### **APLICACIONES**

La cantera de Tezoantla es efectiva como adsorbente natural además de económica, sin embargo para mejorar su efectividad y rendimiento en tratamientos de agua residual o potable es necesario adicionar un tratamiento primario y en su defecto un terciario.

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera especial al CONACYT y a la Red Temática GAREME por el apoyo económico para presentar este trabajo en el INAGEQ 2018, Zacatecas.

### **REFERENCIAS**

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- Lenntech. (2017). *Lenntech*. Obtenido de Water Treatment:  
<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/mn.htm>
- Petkova, V. (1997). Uso de zeolitas naturales en la remoción de manganeso.  
*Ingeniería Hidráulica de México*, 12(3), 41-49.
- Piña, S., Rivera, H., & Ramírez, G. (2000). Remoción de hierro y manganeso en fuentes subterráneas de abastecimiento de agua potable mediante un proceso de adsorción-oxidación continuo. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)*, 37-53.



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### **PROPUESTA DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE HAP'S POR CG/MS EN ARENA DE CUARZO.**

**Patricia Candelaria Montiel García<sup>1</sup> y Adriana Ramírez González<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Ciudad Universitaria, Carretera Pachuca-Tulancingo, Km 4.5, Col. Carboneras, C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Apartado Postal 70-472, Coyoacán 04510, México, D.F.

\* pmontiel@uaeh.edu.mx

#### **RESUMEN**

Este estudio consistió en utilizar arena de cuarzo, como blanco de matriz de sólidos, contaminada artificialmente por ocho HAP's (naftaleno, fluoreno, pireno, benzo[a]pireno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno y dibenzo[a,h]antraceno) en una concentración de 20 µg/ml utilizando tres solventes (metanol, hexano y diclorometano) en la preparación de dicha solución, probándose dos sistemas de evaporación de solventes (rotavapor y minivap) y ajustándose temperaturas y condiciones iniciales en la operación del cromatógrafo de gases-masas. El método analítico para la determinación de la concentración de los ocho HAP's, obteniendo una eficiencia de recuperación arriba del 90% por Cromatografía de Gases/Espectrometría de masas (GC/MS) fue utilizando tres rampas de

348

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

calentamiento del horno del CG/MS, iniciando con una rampa de 25 min a 200°C, seguida de una segunda rampa de 10 minutos hasta llegar a 330°C, con un tiempo de corrida de 35.40 min, con la solución estándar de 20 µg/ml de ocho HAP's preparada en hexano y empleando como método de evaporación de solventes el rotavapor.

Palabras Claves

Arena de cuarzo, HAP's, Extracción asistida por microondas, Cromatografía de Gases-Masas.

### ABSTRACT

This study consisted of using quartz sand, as a target of solid matrix, artificially contaminated by eight HAP's (naphthalene, fluorene, pyrene, benzo[a]pirene, Benzo[a]antracene, benzo[b]fluorantene, benzo[k]fluorantene and dibenzo[a,h]antracene) in a concentration of 20 µg/ml using three solvents (methanol, hexane and dichloromethane) in the preparation of said solution, testing two systems of evaporation of solvents (rotavapor and minivap) and adjusting temperatures and initial conditions in the operation of the gas-mass chromatograph. The analytical method for the determination of the concentration of the eight HAP's, obtaining a recovery efficiency above 90% by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) was using three furnace heating ramps of the CG/MS, starting with a ramp of 25 min at 200 C, followed by a second ramp of 10 min until reaching 330° C, with a running time of 35.40 min, with the standard solution of 20 µg/ml of HAP's prepared in hexane and using the rotavapor as solvent evaporation method.

Keywords

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Ottawa Sand, HAPs, Microwave Assisted Extraction, Gas-Mass Chromatography

### INTRODUCCIÓN

La contaminación se define como la introducción de cualquier sustancia al medio ambiente que afecta negativamente la utilidad de un recurso. Los contaminantes orgánicos pueden llegar al suelo mediante deposición seca o húmeda, desde fuentes puntuales como descargas industriales, depósitos de desechos, enmiendas de lodo y plaguicidas. El destino de un compuesto orgánico en un suelo depende de las propiedades física y química del compuesto y del suelo y éstos se reparten entre las partículas del suelo, el agua intersticial y el aire intersticial (Osman, 2014). Los contaminantes orgánicos en el suelo incluyen alcanos de cadena corta; solventes clorados como el policloroetileno (PCE,  $\text{CCl}_2\text{CCl}_2$ ), tricloroetileno (TCE,  $\text{C}_2\text{HCl}_3$ ), dicloroetileno (DCE,  $\text{CHClCHCl}$ ) y cloruro de vinilo o cloroetileno (VC,  $\text{CH}_2\text{CHCl}$ ); hidrocarburos monoaromáticos; compuestos aromáticos clorados; hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP's); y bifenilos policlorado (PCBs). Los hidrocarburos monoaromáticos incluyen benceno, tolueno, etilbenceno, y xilenos (también conocidos colectivamente como BTEX). Algunos de los compuestos orgánicos dentro del suelo son fácilmente degradados por los organismos nativos del suelo, pero hay muchos contaminantes orgánicos que son muy resistentes a la degradación química o biológica (Valente *et al.*, 2006).

Los hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP's) son un grupo de alrededor de 100 compuestos, que se producen durante los procesos de combustión, con una amplia gama de propiedades fisicoquímicas. El Convenio Internacional de

350

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes identificó 12 clases de compuestos (la llamada "docena sucia") considerándolos como peligrosos para el medio ambiente, y en 2010 la lista de compuestos se amplió con nueve clases más (Sims and Overcash, 1983). Los HAP's son compuestos formados de anillos de benceno fusionados, cuyo comportamiento ambiental ha sido investigado por más de 20 años y han sido tema de investigación debido a su toxicidad, persistencia ambiental y prevalencia. Hoy en día, se piensa que la combustión antropogénica de combustibles fósiles es la fuente más importante de HAP's para el medio ambiente y que el mayor reservorio ambiental de HAP's es el suelo (Wild and Jones, 1995). Los riesgos para la salud humana de los contaminantes orgánicos incluyen alergias, daños al sistema nervioso, trastornos del sistema inmunológico, trastornos reproductivos y cáncer (Perk, 2013). Los compuestos aromáticos clorados como el hexaclorobenceno y el pentaclorofenol, los bifenilos policlorados y los HAP's también son carcinógenos potenciales, éstos compuestos son lipofílicos y se bioacumulan en tejidos grasos de los humanos.

Basado en aislamiento, inmovilización, reducción de toxicidad, separación física, extracción y descomposición (Sheoran *et al.*, 2008), los métodos convencionales de remediación de contaminantes orgánicos incluyen: lavado/enjuague del suelo, desorción térmica, oxidación química y descomposición, vitrificación, etc. (Sharma and Reddy 2004). La biorremediación se basa en la activación de la degradación microbiana de compuestos en sitios contaminados, a través de mejorar factores ambientales, tanto como concentración de nutrientes, contenido de agua, pH, temperatura, oxígeno y disponibilidad de contaminantes a los microorganismos. En comparación con las técnicas de remediación química, física y térmica, la

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

remediación microbiológica del suelo ha probado principalmente ser eficiente, económica y la más favorable técnica para la limpieza de suelos contaminados (Riser, 1992). La biodegradación de los HAP depende del control de pH, nutrientes, oxígeno (para procesos aerobios), humedad y el contenido de agua que presente el suelo, además de considerar la disposición del contaminante, la cual puede influir al igual que los demás factores en la tasa de degradación o mineralización del compuesto (Freijer, *et al.*, 1996).

Diferentes técnicas han sido usadas para extraer HAP's del suelo. Comúnmente se incluyen la técnica Soxhlet, extracción de fluido supercrítica, extracción de solventes por aceleración, extracción asistida por microondas y sonicación ultrasónica. En estas técnicas, se han utilizado agua y otras mezclas de solventes, incluyendo diclorometano, etanol, metanol y tolueno para su extracción (Rababah y Matsuzawa 2002).

Al entrar un compuesto orgánico al suelo no se elimina completamente por lixiviación, volatilización o degradación, ya que puede acumularse dentro de la biota del suelo o ser retenido o secuestrado dentro de las fracciones minerales y de materia orgánica del suelo (Semple *et al.*, 2003; Schwarzenbach *et al.*, 1993). Las interacciones entre suelo y compuestos orgánicos están influenciados por la materia orgánica del suelo, tanto su cantidad y su naturaleza; constituyentes inorgánicos, con referencia particular al tamaño y estructura de los poros; la actividad microbiana y la concentración del contaminantes, es por eso que en este estudio se pretende proponer un método analítico para la determinación de ocho HAP's, utilizando arena de Ottawa como blanco de matriz, probando tres solventes: metanol, hexano y diclorometano, para preparar la solución estándar de 20 µg/ml con la que se contaminara de manera artificial la arena; así como dos sistemas de

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

evaporación: rotavapor y minivap; y ajustando las condiciones de operación del cromatógrafo de gases-masas.

### **METODOLOGÍA**

Para este estudio se utilizó arena de cuarzo (C109) bien cristalizado, con granos grandes redondeados o sub-redondeados y los más pequeños subangulares, proveniente de yacimientos de Ottawa, Illinois, USA.

La solución estándar de ocho HAP (naftaleno, fluoreno, pireno, benzo[a]pireno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno y dibenzo[a,h]antraceno), se preparó pesando 100 mg de cada uno de los HAP de alta pureza (99.99%) marca Aldrich y Supelco, en un matraz aforado de 50 ml los cuales fueron disueltos en diclorometano para tener una concentración de 2,000 µg/ml, de ésta solución se tomó 1 ml en un matraz aforado de 100 ml y se aforo con los solventes de prueba para tener una concentración de 20 µg/ml.

### **Prueba de solventes**

Prueba con Metanol.- Se pesaron 50 g de arena de Ottawa en cuatro frascos de vidrio (tres réplicas y un blanco) a los que se les adicionó 50 ml de la sol. Estándar de 20 µg/ml de los 8 HAP en metanol y se dejaron durante 72 h para que se evaporara el disolvente.

Prueba con Hexano.- Se pesaron 50 g de arena de Ottawa en cuatro frascos de vidrio (tres réplicas y un blanco) a los que se les adicionó 50 ml de la sol.



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

estándar de 20 µg/ml de los 8 HAP en Hexano y se dejaron durante 48 h para que se evaporara el solvente.

Prueba con Diclorometano.- Se pesaron 50 g de arena de Ottawa en cuatro frascos de vidrio (tres réplicas y un blanco) a los que se les adicionó 50 ml de la sol. Estándar de 20 µg/ml de los 8 HAP en diclorometano y se dejaron durante 48 h para que se evaporara el solvente.

### **Extracción de HAP's.**

Se utilizó el Método de Extracción Asistida por Microondas (MAE), EPA 3546, utilizando un Horno de Microondas Marca: CEM, Modelo: MARS X con las siguientes condiciones: Potencia: 1200 watts; Presión: 200 psi; 1<sup>a</sup>. Rampa 10 min hasta 110°C; 2<sup>a</sup> Rampa 7 min manteniendo la temperatura a 110°C, pesando 3 g de arena y adicionándoles 25 ml de una mezcla de hexano-acetona 1:1, después de la extracción las muestras se dejaron enfriar y se filtraron en papel filtro Whatman No. 44, acondicionado en hexano (Montiel y Ramírez, 2017).

### **Evaporación de solventes**

Después de la extracción por microondas, se probó el método de evaporación de solventes utilizando el rotavapor (Ro) y el sistema minivap (Mi),

Prueba en Rotavapor.- Los extractos se llevaron al rotavapor para reducir el volumen a 3 ml los cuales se colocaron en viales con 1 g de sulfato de sodio anhidro y se refrigeraron a 4°C para su análisis en GC/MS.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Prueba en Minivap.- Este método consiste en la evaporación del solvente utilizando un flujo de gas nitrógeno para ayudar a evaporar el solvente, para esta prueba se utilizaron los extractos obtenidos de la extracción por microondas y reduciendo el volumen a 3 ml con la evaporación en el sistema minivap los cuales se colocaron en viales con 1 g de sulfato de sodio anhidro y se refrigeraron a 4°C para su análisis en GC/MS.

### Condiciones de operación del cromatógrafo de gases-masas.

El cromatógrafo de gases que se utilizó es de la marca HP 6890 con detector selectivo de masas, marca HP 5973 con automuestreador y una columna capilar de sílice fundida de 30 m x 0.25 mm x 0.25 µm, marca Supelco PTE™-5, con los siguientes parámetros del instrumento:

#### HORNO

Temperatura inicial: 90°C

Temperatura máxima: 350°C

Tiempo inicial: 3.00 min.

Rampas	Tiempo min	Temperatura final °C	Tiempo final min
1	10.00	180	0.00
2	5.00	320	3.00
3	5.00	330	4.00
4	0.0		

Tiempo de la corrida: 49.00 min.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Se preparó la curva de calibración a partir de la solución estándar de 2,000 µg/ml de los 8 HAP.

Se inyectaron los extractos de las muestras de arena preparados con los diferentes solventes (metanol, hexano y diclorometano) y con los dos sistemas de evaporación (rotavapor y minivap).

### RESULTADOS

#### Prueba de Solventes:

Los resultados obtenidos de la contaminación de la arena con soluciones estándar de ocho HAP's con una concentración de 20 µg/ml en diferentes solventes se y evaporación en rotavapor se presentan en la Tabla 1, 2 y 3.

**Tabla 1.-Arena de Ottawa contaminada con 20 µg/ml de ocho HAP's en metanol**

	BLANCO	M-1	M-2	M-3	PROM	PROM-blanco	RE
<b>HAP's</b>	µg/ml						%
Naftaleno	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Fluoreno	0.01	2.89	3.10	2.66	2.88	2.87	<b>14.35</b>
Pireno	0.01	18.15	17.47	16.14	17.25	17.24	<b>86.20</b>
Benzo(a)antraceno	0.02	12.75	12.23	11.19	12.06	12.04	<b>60.20</b>

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

Benzo(b)fluoranteno	0.04	17.29	16.67	15.32	16.43	16.39	<b>81.95</b>
Benzo(k)fluoranteno	0.04	17.24	16.61	15.27	16.37	16.33	<b>81.65</b>
Benzo(a)pireno	0.02	11.55	11.93	10.26	11.25	11.23	<b>56.15</b>
Dibenzo(a,h)antraceno	0.04	4.28	3.66	3.24	3.73	3.69	<b>18.45</b>

**Tabla 2.-Arena de Ottawa contaminada con 20 µg/ml de ocho HAP´s en hexano**

	BLANCO	H-1	H-2	H-3	PROM	PROM-blanco	RE
<b>HAP´s</b>	µg/ml						%
Naftaleno	0.01	0.14	0.11	0.29	0.18	0.17	<b>0.85</b>
Fluoreno	0.04	14.71	26.75	19.9	20.45	20.41	<b>102.05</b>
Pireno	0.02	16.33	26.67	18.18	20.39	20.37	<b>101.85</b>
Benzo(a)antraceno	0.03	11.37	19.62	13.57	14.85	14.82	<b>74.10</b>
Benzo(b)fluoranteno	0.09	16.68	25.66	17.35	19.90	19.81	<b>99.05</b>
Benzo(k)fluoranteno	0.09	16.63	25.58	17.3	19.84	19.75	<b>98.75</b>
Benzo(a)pireno	0.05	11.03	17.92	12.2	13.72	13.67	<b>68.35</b>
Dibenzo(a,h)antraceno	0.04	3.56	6.87	3.93	4.79	4.75	<b>23.75</b>

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

**Tabla 3.-Arena de Ottawa contaminada con 20 µg/ml de ocho HAP's en diclorometano**

	BLANCO	D-1	D-2	D-3	PROM	PROM-blanco	RE
<b>HAP's</b>	µg/ml						%
Naftaleno	0.00	0.04	0.03	0.20	0.09	0.09	<b>0.45</b>
Fluoreno	0.00	14.04	14.44	17.85	15.44	15.44	<b>77.20</b>
Pireno	0.00	17.07	18.55	22.59	19.40	19.40	<b>97.00</b>
Benzo(a)antraceno	0.00	11.63	12.47	11.69	11.93	11.93	<b>59.65</b>
Benzo(b)fluoranteno	0.00	13.60	15.36	19.29	16.08	16.08	<b>80.40</b>
Benzo(k)fluoranteno	0.00	13.25	14.31	18.68	15.41	15.41	<b>77.05</b>
Benzo(a)pireno	0.00	6.34	5.11	1.08	4.18	4.18	<b>20.90</b>
Dibenzo(a,h)antraceno	0.00	11.18	13.70	17.29	14.06	14.06	<b>70.30</b>

En la Tabla 1, se observa que el porcentaje de recuperación (% RE) más alto que se presentó en la arena contaminada con ocho HAP's en metanol fue del 86.20% en el pireno y de 0% del naftaleno, y de 82% en el benzo[b]fluoranteno y el benzo[k]fluoranteno.

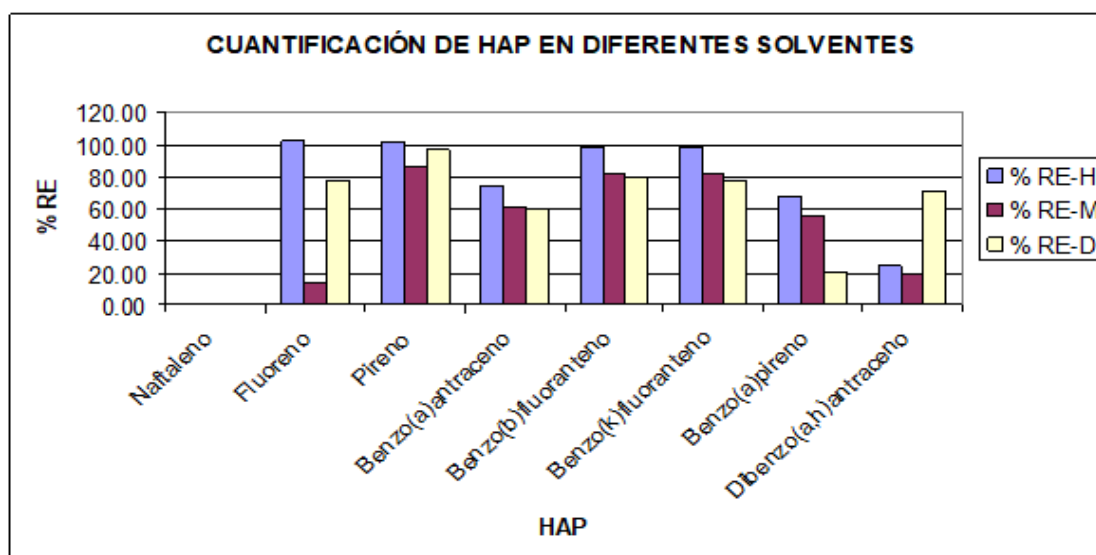
En la Tabla 2, el % RE más alto que se presentó en la arena contaminada con HAP en hexano fue del fluoreno y el pireno con un 102% y de un 99% en el

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

benzo[b]fluoranteno y el benzo[k]fluoranteno, sin embargo en el naftaleno el % RE sigue siendo bajo de 0.8%.

En la Tabla 3, el % RE más alto que se presentó en la arena contaminada con HAP en diclorometano fue el pireno con un 97% y de un 80% en el benzo[b]fluoranteno, sin embargo en el naftaleno el % RE sigue siendo bajo de 0.4%.

Los porcentajes de recuperación (% RE) obtenidos de los ocho HAP's utilizando diferentes solventes se presentan en la Figura 1.



**Figura 1.- Porcentajes de Recuperación de los ocho HAP's en hexano, metanol y diclorometano**

En esta figura se observa que los % RE más altos de HAP se obtienen en la solución preparada en hexano para fluoreno, pireno, benzo[a]antraceno,



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno y benzo[k]fluoranteno, siendo la excepción el dibenzo(a,h)antraceno y el naftaleno.

Los porcentajes de recuperación (% RE) obtenidos comparando los dos sistemas utilizados de evaporación: rotavapor (Ro) y minivap (Mi) se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4.-Porcentajes de Recuperación de la Arena de Ottawa contaminada con 20 µg/ml de 8 HAP en diferentes solventes y sistemas de evaporación**

HAP	METANOL		HEXANO		DICLOROMETANO	
	Ro	Mi	Ro	Mi	Ro	Mi
	% RE					
Naftaleno	0.00	0.00	0.85	0.10	0.45	0.05
Fluoreno	14.35	1.95	102.05	0.54	77.20	41.85
Pireno	86.20	85.85	101.85	72.30	97.00	107.80
Benzo(a)antraceno	60.20	58.45	74.10	62.10	59.65	71.50
Benzo(b)fluoranteno	81.95	90.20	99.05	91.50	80.40	96.25
Benzo(k)fluoranteno	81.65	89.95	98.75	91.25	77.05	95.95
Benzo(a)pireno	56.15	39.55	68.35	46.50	0.21	48.95
Dibenzo(a,h)antraceno	18.45	8.05	23.75	13.65	70.30	6.75

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

(Ro)-rotavapor

(Mi)-minivap

Como se puede apreciar en la Tabla 4, el sistema de evaporación en minivap en el caso de la solución de HAP preparada en metanol mejoró un poco el % RE de un 90% en el benzo[b]fluoranteno y benzo[k]fluoranteno; con respecto al hexano no existe una mejora en el % RE y con el diclorometano el pireno obtuvo un % RE arriba del 100% y el benzo[b]fluoranteno y benzo[k]fluoranteno de un 96%.

Sin embargo, este sistema no demostró aumentar el % RE de los ocho HAP con respecto al utilizado con la solución de HAP preparada en hexano y utilizando el rotavapor.

### **Ajuste de las condiciones de operación del cromatógrafo de gases-masas.**

El cromatógrafo de gases que se utilizó es de la marca HP 6890 con detector selectivo de masas, marca HP 5973 con automuestreador y una columna capilar de sílice fundida de 30 m x 0.25 mm x 0.25  $\mu\text{m}$ , marca Supelco PTE<sup>TM</sup>-5, los parámetros que se ajustaron en el cromatógrafo fueron la temperatura y el tiempo:

Temperatura inicial: 90°C

Temperatura máxima: 350°C

Tiempo inicial: 1.00 min.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Rampas	Tiempo min	Temperatura final °C	Tiempo final min
1	25.00	200	0.00
2	10.00	330	15.00
3	0.0		

Tiempo de la corrida: 35.40 min.

Los porcentajes de recuperación con estas nuevas condiciones se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5.- Porcentajes de Recuperación de la Arena de Ottawa contaminada con 20 µg/ml de 8 HAP's en diferentes solventes**

	METANOL	HEXANO	DICLOROMETANO
<b>HAP</b>	<b>% RE-</b>		
Naftaleno	0.05	1.40	0.15
Fluoreno	13.75	83.70	24.70
Pireno	73.25	124.15	75.90
Benzo(a)antraceno	134.85	125.25	88.30
Benzo(b)fluoranteno	154.70	152.60	73.40

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Benzo(k)fluoranteno	122.90	112.40	75.40
Benzo(a)pireno	133.10	106.30	64.80
Dibenzo(a,h)antraceno	113.45	111.50	85.70

En esta tabla se observa que los % RE utilizando la solución de HAP's preparada en metanol se obtuvieron % RE arriba del 100% en cinco de los ocho HAP's: benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno y dibenzo[a,h]antraceno, pero en el resto siguen estando abajo del 90%; con respecto a la solución de HAP's preparada en hexano en seis de los HAP se obtuvieron % RE arriba del 100%: pireno, benzo[a]pireno, dibenzo[a,h]antraceno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno y benzo[k]fluoranteno y en fluoreno en un 84%; sin embargo, en naftaleno el porcentaje fue del 1%; con respecto a la solución de HAP's preparada en diclorometano los porcentajes obtenidos se encuentran abajo del 90% .

Finalmente se puede observar que con respecto al Naftaleno, no se detectó ninguna concentración, esto se debió a que es el compuesto con peso molecular más bajo de 128 g, el cual se volatilizo al llevar a cabo la agitación para la homogenización de los HAP's en la arena, por lo que el % RE detectado fue mínimo.

Con respecto al % RE del resto de HAP's aumenta debido a que sus pesos moleculares oscilan entre 166 a 276 g y con estructuras conformadas de 3 hasta 6 anillos bencénicos, por lo que son más difíciles de volatizarse y son más estables para permanecer adsorbidos en la arena.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### CONCLUSIONES

Después de haber realizado las pruebas propuestas se puede concluir que las condiciones idóneas del método analítico, obteniendo una eficiencia de recuperación arriba del 90% por Cromatografía de Gases/Espectrometría de masas (GC/MS) es: utilizando tres rampas de calentamiento del horno del CG/MS, iniciando con una rampa de 25 min a 200°C, seguida de una segunda rampa de 10 minutos hasta llegar a 330°C, con un tiempo de corrida de 35.40 min, con la solución estándar de 20 µg/ml de ocho HAP's preparada en hexano y empleando como método de evaporación de solventes el rotavapor.

### REFERENCIAS

- Freijer, J. I., de Jonge, H., Bouten, W., & Verstraten, J. (1996). Assessing Mineralization Rates of Petroleum Hydrocarbons in Soils in relation to environmental factors and experimental scale. *Biodegradation*, 7, 487-500.
- Montiel, P. C., & Ramírez, A. (2017). Estudio preliminar del método de extracción y detección de HAPs utilizando arena de Ottawa. En A. INAGEQ (Ed.), *Memorias del XXVII Congreso Nacional de Geoquímica*. 23, págs. 178-187. San Luis Potosi, S.L.P: IPICYT.
- Osman, K. T. (2014). *Soil Degradation, Conservation and Remediation* (Vol. 149). Dordrecht: Springer Science+Business Media. doi:DOI 10.1007/978-94-007-7590-9\_6
- Perk, M. (2013). *Soil and Water Contamination* (2nd edition ed.). London: CRC Press.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- Rababah, A., & Matsuzawa, S. (2002). Treatment system for solid matrix contaminated with fluoranthene. I – modified extraction technique. *Chemosphere*, 46(1), 39–47.
- Riser Ever, R. (1992). *Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites*. Smoley, USA.: Editorial CRC Press.
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., & Imboden, D. M. ((1993) .,). *Environmental Organic Chemistry*. New York.: Wiley.
- Semple, K., Morriss, A., & Paton, G. (2003). Bioavailability of hydrophobic organic contaminants in soils: fundamental concepts and techniques for analysis. *European Journal of Soil Science*, 54, 809–818.
- Sharma, H. D., & Reddy, K. R. (2004). *Geoenvironmental engineering: site remediation, waste containment, and emerging waste management technologies*. Hoboken, N. J.: John Wiley.
- Sheoran, A., Sheoran, V., & Poonia, P. ((2008)). Rehabilitation of mine degraded land by metallophytes. *Mining Engineers Journal*, 10(3), 11–16.
- Sims, R., & Overcash, M. (1983). Fate of polynuclear aromatic compounds (PNAs) in soil plant systems. *Residue Rev*, 1, 2–68.
- Valente, J. P., Padilh, P. M., & Florentino, A. O. (2006). Studies on the adsorption and kinetics of photodegradation of a model compound for heterogeneous photocatalysis onto TiO<sub>2</sub>. *Chemosphere*, 64(1), 128–113.
- Wild Simon R, S., & Jones, K. (1995). Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget. *Environmental Pollution*, 88, 91–108.



**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

***CARTELES***

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

**REGISTRO GEOQUÍMICO HISTÓRICO SEDIMENTARIO DE  
ELEMENTOS TRAZA, EN LA LAGUNA DE MANDINGA,  
VERACRUZ, MÉXICO**

**Gutiérrez Martínez, Jhoan Felipe\*, Guillermo Horta-Puga**  
Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores  
Iztacala, UBIPRO,

[ifguma8@gmail.com](mailto:ifguma8@gmail.com)

En las lagunas costeras los sedimentos finos se van acumulando sucesivamente, a lo largo del tiempo. Dado que la geoquímica sedimentaria varía reflejando las condiciones ambientales en la cuenca hidrológica al momento de su depositación, por lo tanto, se puede utilizar el registro geoquímico contenido en los sedimentos lacustres, para recuperar la historia de la contaminación ambiental. Mandinga es una laguna costera situada en el estado de Veracruz, que recibe la influencia del río Jamapa, el cual drena un área de ~4,060 km<sup>2</sup>. El río recibe aguas residuales de las zonas urbanas e industriales de Huatusco, Córdoba y Veracruz, además de material particulado derivado de la erosión natural de los suelos de la cuenca, donde más del 70% han sido modificados para uso agropecuario. Así, el objetivo de este trabajo fue determinar la historia ambiental reciente de la contaminación por elementos traza (Cd, Co, Cu, Pb y V), en el centro del estado Veracruz. En noviembre del 2016, se colectó manualmente un núcleo sedimentario de 50 cm, en la laguna de Mandiga. Con una resolución centimétrica se determinó el contenido total de elementos traza por GFAAS. La concentración promedio para cada elemento fue ( $\mu\text{g/g}$ ): Pb  $7.4 \pm 1.2$ ; Co  $10.7 \pm 2.6$ ; Cu  $16.1 \pm 4.3$ ; V  $30.1 \pm 3.7$ ; y Cd  $0.16 \pm 0.35$ .

367

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Los elementos Pb, Co y Cd no presentaron tendencias temporales de aumento o disminución. En cambio, Cu y V presentan valores promedio más bajos en la mitad más reciente del núcleo (12.3 y 27.1  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente), comparado con la mitad más antigua del núcleo (19.9 y 33.1  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente), siendo las diferencias estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis,  $p < 1 \times 10^{-9}$ ). Asimismo, se observó una variación temporal similar para estos dos elementos ( $r = 0.827$ ,  $p = 1.0 \times 10^{-13}$ ), lo que sugiere que la variación está asociada a los mismos factores geológico y/o ambientales.

**Palabras clave:** Mandinga, Veracruz, elementos traza, sedimentos estuarinos.

**NEW LITHOSTRATIGRAPHIC AND GEOCHEMICAL ANALYSIS  
OF THE LAVA-LIKE IGNIMBRITE SUCCESSION OF VILLA  
GARCIA (ZACATECAS).**

**Pascal Sieck<sup>1\*</sup>, Pablo Dávila-Harris<sup>1</sup>, Rubén López-Doncel<sup>3</sup>, Alfredo  
Aguillón-Robles<sup>3</sup>; Gabriela del Carmen Lara Gonzalez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>División de Geociencias Aplicadas, Instituto Potosino de Investigación  
Científica y Tecnológica (IPICyT), Camino a la Presa San José 2055, C.P.  
78216, San Luis Potosí, México

<sup>2</sup>Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel  
Nava 5, 78240 San Luis Potosí, México

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería en Minas Metalurgia y Geología, Universidad de  
Guanajuato, Ex Hacienda. de San Matias S/N, San Matías, San Javier, 36020  
Guanajuato, Guanajuato, México

[pascal.sieck@ipicyt.edu.mx](mailto:pascal.sieck@ipicyt.edu.mx)

Oligocene high-silica rhyolitic ignimbrites and lavas are common in the southern part of the Mesa Central, but not all have been studied in detail. The Oligocene Villa Garcia Ignimbrite complex lies in the NE of Aguascalientes and SE Zacatecas, covering an area of 550km<sup>2</sup>. A previous study describes the nearby area as a dome complex mainly. Locally, the oldest rocks exposed are clastic sediments and reef limestones, strongly folded during the Laramide orogeny. Discordantly, the early Cretaceous sedimentary succession is overlain by a younger conglomerate, that was not affected by the orogeny. A dacitic lava flow

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

with basal vitrophyre and 25vol.% of crystals (quartz, sanidine, plagioclase, biotite and pyroxene) initiates the volcanic sequence, which is directly overlain by a volcanoclastic sequence, not extensively exposed but up to 50m thick. This volcanoclastic succession might represent an intra-caldera lake sequence, consisting of mainly pumice-bearing sand- and siltstone. Two voluminous Ignimbrites form the top of the composite stratigraphy. First, the lower Villa Garcia Ignimbrite, is a densely welded, massive, reddish, up to 75m thick, and lava-like ignimbrite possibly rheomorphic, with 10 vol.% of quartz and sanidine. The amount of crystals and the size of fiamme increases to the top of the unit. Whereas the upper part shows possibly rheomorphic deformation and no fiamme. Second, the Loreto ignimbrite, shows a basal up to 5m thick black vitrophyre, followed by a massive and densely welded ignimbrite, which contains <5vol.% pumice clasts at the base. Its internal stratigraphy, with increase of crystals and possible rheomorphism, mirrors the Villa Garcia ignimbrite. The intense extensional episode of the Basin and Range extension favored the ascent of the magmas through the brittle crust, with a possible accumulation in a magma chamber close to the surface. Trace element behavior imply that the volcanic rocks were the result of a process involving partial melting of the lower crust and fractional crystallization in an intra-plate tectonic setting. Flat REE pattern indicate that for the generation of the magmas metasomatized and enriched lithospheric fluids were included. Work in progress includes new K-feldspar Ar/Ar as well as zircon U/Pb ages and mineral chemistry.

**Keywords:** Lava-like ignimbrites, Mesa Central Mexico, Oligocene, extension volcanism, Basin and Range

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

# CONDICIONES AMBIENTALES DE LA CUENCA EL POTOSÍ (ESTADO DE NUEVO LEÓN) INFERIDA DE LAS LITO-FACIES Y QUIMIO-FACIES

**Irma Gabriela Vargas-Martínez<sup>1\*</sup> y Priyadarsi. D. Roy<sup>2</sup>**

1 Carrera de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CP 04510, Ciudad de México 2 Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CP 04510, Ciudad de México

[irmagav@gmail.com](mailto:irmagav@gmail.com)

La cuenca de El Potosí está ubicada en la margen occidental del desierto de Chihuahua en el estado de Nuevo León. Debido a que se encuentra en sombra orográfica de la Sierra Madre Oriental, la cuenca presenta un ecosistema desértico en el subtrópico de Norteamérica. Actualmente la cuenca esta seca y sufre de incendio del subsuelo y subsidencia producto de las sequias y perturbaciones antropogénicas de las últimas décadas. La investigación se enfoca en reconstruir las condiciones ambientales y sus variaciones utilizando los datos de geoquímica (carbono orgánico total, carbonatos y concentración elemental) analizados en una secuencia sedimentaria con longitud de 9.2 m recuperada mediante un núcleo en la parte nororiente de la cuenca. El control cronológico de la secuencia se basa en fechas de radiocarbono AMS en muestra total.

La secuencia está dividida en tres lito-facies (1, 2 y 3) con pequeñas variaciones, caracterizada por dominancia de sedimentos con texturas de arena, limo y arcilla. Las quimio-facies casi coinciden con los límites de las lito-

371



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

facies. La quimio-facie I o superior corresponde al Holoceno, está caracterizada por mayor abundancia de  $\text{CO}_3$  y Ca (mayor evaporación) y menor abundancia de Ti y Si (menor erosión); los sedimentos de esta facie también contienen mayor abundancia de TOC (mayor productividad orgánica). La quimio-facie II correspondiente a la desglaciación y se caracteriza por presentar mayor abundancia de Ti y Si (mayor erosión) y menor contenidos de  $\text{CO}_3$  y Ca (menor evaporación). La quimio-facie III relacionada con el último periodo glacial presenta características químicas similares a la quimio-facie I, excepto que el contenido de TOC es menor.

**Palabras clave:** geoquímica, lito-facies, quimio-facies, Holoceno, desglaciación, último periodo glacial.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

**APLICACIÓN DE LOS PATRONES DE TIERRAS RARAS EN LA  
TAFONOMÍA DE UN YACIMIENTO DE VERTEBRADOS FÓSILES  
EN EL CENTRO OCCIDENTE DE MÉXICO**

**Alejandro H. Marín-Leyva<sup>1\*</sup>, Peter Schaaf<sup>1</sup>, Ernesto Hernández-Mendiola<sup>2</sup>, Gabriela Solís-Pichardo<sup>3</sup>, Gerardo F. Arrieta-García<sup>1</sup>, Teodoro Hernández-Treviño<sup>1</sup>, María Luisa García-Zepeda<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, C.P. 04150, Ciudad de México, México. <sup>2</sup> Laboratorio de Geoquímica Multielemental ICP-MS y de Química Ultrapura (LAGEMI), Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM), Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, C.P. 04150, Ciudad de México, México. <sup>3</sup> Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), Depto. de Geoquímica, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, C.P. 04150, Ciudad de México, México. <sup>4</sup> Laboratorio de Paleontología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edif. R 2°. Piso. Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

[alexmanleyva@gmail.com](mailto:alexmanleyva@gmail.com)

En los depósitos del Pleistoceno en México el registro fósil de mamíferos incluye 13 órdenes, 44 familias, 147 géneros y 280 especies, algunos de grupos como los proboscidos, équidos, camélidos, bóvidos, cérvidos,

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

gliptodontes y perezosos, estos taxones se han usado para deducir características paleoambientales del yacimiento donde fueron recolectados a través de análisis paleoecológicos. Sin embargo, la información geoquímica que se conoce sobre los procesos tafonómicos de las especies fósiles del Pleistoceno es limitada, lo cual puede tener serias consideraciones en las inferencias paleoambientales de un sitio en particular. En la actualidad el uso de los análisis de Tierras Raras (*Rare Earth Elements*) que se encuentran en los restos fósiles (p.ej., huesos, dientes) ha permitido inferir los ambientes de enterramiento y la posible presencia de reelaboración tafonómica. En este trabajo se analizaron el contenido de Tierras Raras en huesos fósiles, así como en sedimentos y rocas de una localidad del centro occidente de México (La Cinta-Portalitos) ubicada entre Michoacán y Guanajuato con una edad del Rancholabreano, con la finalidad de determinar su ambiente de enterramiento y la posible reelaboración tafonómica, así como las repercusiones que tendrían estos análisis en las interpretaciones paleoambientales derivadas de los fósiles encontrados en este sitio. Los resultados muestran patrones de Tierras Raras altamente homogéneas entre los fósiles y los sedimentos, lo cual indicaría, que a pesar de ser un yacimiento alóctono, los restos tienen un mismo origen en la fósil diagénesis temprana. Esto sugiere que los análisis hechos en la fauna fósil de La Cinta-Portalitos realmente representan el mismo momento paleoecológico.

**Palabras clave:** Mamíferos, Rancholabreano, Tierras Raras, Tafonomía

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

# LO QUE SE CONOCE Y DESCONOCE DEL SISMO DEL 3 DE MAYO DE 1887 MW 7.5 DE LA REGIÓN DE BAVISPE, SONORA, MÉXICO: ¿EVIDENCIA DE LA REACTIVACIÓN DE LAS FALLAS AUSTRALES DEL BASIN AND RANGE?

<sup>1,\*</sup> Hinojosa-Prieto, Héctor R. y Vidal-Solano<sup>2</sup>, Jesús R.

<sup>1</sup>Cordillera Geo-Services, 78613 Cedar Park, Texas, U.S.A. <sup>2</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 83000 Hermosillo, Sonora, México.

[hector.hinojosa@cordillerageo.services](mailto:hector.hinojosa@cordillerageo.services)

El sismo del 3 de mayo de 1887 de Bavispe, Sonora, México fue devastador y de gran magnitud. Históricamente, precede la llegada de sismógrafos a México y el gran sismo de 1906 de San Francisco, California que incitaría el origen de la teoría del rebote elástico. Inminentemente al sismo de 1887 se describieron cualitativamente sus efectos: docenas de fallecidos, daños a infraestructura y extensos efectos ambientales. Pasaron casi 100 años del sismo de 1887 para que nuestro conocimiento sobre el mismo se tornara puntual y cuantitativo. Sabemos que el sismo fue morfogénico, somero, de ambiente intraplaca con mecanismo focal extensional y con momento sísmico ( $M_0$ ) y magnitud de momento ( $M_w$ ) estimados en  $1.27 \times 10^{27}$  dyne-cm y 7.5, respectivamente. Reactivo una falla compleja de ~102 km de longitud compuesta por los segmentos Pitáycachi (septentrional), Teras (central), y Otates (austral) orientados N-S formadores de una ancha (> 300 km) zona de falla situada al sur de la provincia tectónica del Basin and Range. La ruptura del sismo fue bilateral y se propago de norte a sur rompiendo primero al segmento itáycachi.

375

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

En la zona de falla, las ondas  $P$  y  $S$  se atenúan debido a una corteza fracturada. Debido que en 1887 México aún no entraba en la era instrumental, no disponemos de sismogramas históricos que puedan analizarse con métodos modernos. Esto impide estimar la frecuencia de corte del sismo, su caída de esfuerzo, la aceleración del suelo en sitios clave y sus amplificaciones de ondas sísmicas y efectos de sitio asociados. Con herramientas sismológicas modernas y con lo que conocemos sobre el sismo de 1887 podríamos modelar sismogramas sintéticos, para localidades clave, y parámetros desconocidos. La zona de falla del sismo histórico es aún un peligro sísmico, pero también un laboratorio paleosismológico y arqueosismológico por explorar. Finalmente, un posible significado de los sismos en la zona de falla refleja el acomodamiento de la placa Norte América, mediante la reactivación de rupturas corticales heredadas del evento tectónico del Basin and Range, a consecuencia de nuevos espacios generados por la migración del límite de placas Pacífico-Norte América al Oeste de la región.

**Palabras clave:** sismo de Sonora 1887, intraplaca, Basin and Range.

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

# **RELACIÓN ENTRE TECTÓNICA Y VULCANISMO EN EL CAMPO VOLCÁNICO LA PURÍSIMA-COMONDÚ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.**

**Díaz Hernández Cesar Alixan<sup>1\*</sup>, Pérez-Venzor José Antonio<sup>1</sup>, Báez Chávez Sharon Lizbeth<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Baja California Sur, carretera al sur KM 5.5, apartado postal 19-B, C.P. 23080, La Paz, Baja California Sur, México.

[cesaralixandiaz@gmail.com](mailto:cesaralixandiaz@gmail.com)

El área se localiza en la porción central del estado de Baja California Sur. El Campo Volcánico La Purísima-Comondú cubre casi un área de 9000km<sup>2</sup> y forma parte de un conjunto de campos volcánicos jóvenes distribuidos en lo que se conoce orográficamente como sierra La Giganta. Dicho campo cubre parcialmente a las rocas del Arco Comondú, así como a secuencias sedimentarias marinas y continentales del Terciario. El Campo volcánico está formado por estructuras volcánicas como mesetas, conos de escoria o “spatter”, “coulees”, entre otros, su composición es de basaltos o andesitas magnesianas (“bajaites”) del Mioceno Tardío al Holoceno. El origen de los magmas de los productos del campo volcánico es complejo y aún existe polémica en cuanto a ello. Actualmente, existen trabajos de cartografía, petrología y geoquímica, siendo escasos los encaminados para esclarecer la relación de tectónica-estructural y vulcanismo, siendo el objetivo de este trabajo. A partir de los mapas topográficos e imágenes satelitales, se realizaron algunos modelos digitales de elevación (DEM), mapas de densidades de fallas o estructuras con sus parámetros para clasificar las mismas. Como parte de los

377



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

resultados, las características estructurales definen al menos dos sistemas de fallas o fracturas con orientaciones que van de NW-SE y NNE-SSW, el primer sistema está relacionado con las fallas transtensionales de la apertura del golfo de California. El segundo sistema representa posibles zonas de debilidad para el ascenso del magma, generando el vulcanismo más reciente en el campo, además afecta a los edificios volcánicos como mesetas, conos de escoria y antiguos edificios, también ayuda a la modificación del drenaje generando en algunas zonas medio grabenes que forman los lagos o represas naturales. El trabajo expone parte de los resultados obtenidos y los compara con datos geoquímicos y de edades publicados en trabajos previos.

**Palabras claves:** Vulcanismo, tectónica, estructural, migración

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### **PREPARACIÓN DE TRES MATERIALES DE REFERENCIA *IN-HOUSE* CON ROCAS ÍGNEAS DE COMPOSICIÓN ÁCIDA PROCEDENTES DEL ESTADO DE SONORA, MÉXICO, UTILIZANDO WD-FRX**

**Ochoa-Alcalá Dulce Adilene<sup>1</sup>, Puente-Linares Rigoberto \*<sup>1</sup>, Lozano-Santa Cruz Rufino<sup>2,3</sup>, Vidal-Solano Jesús Roberto<sup>1</sup>, Pablo Peñaflo Escárcega<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. <sup>2</sup>Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Instituto de Geología, UNAM. Ciudad Universitaria, 04510, CDMX, México. <sup>3</sup>Instituto de Geología, UNAM. Ciudad Universitaria, 04510, CDMX, México. <sup>4</sup>Laboratorio de Preparación de Rocas, Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM. Hermosillo, Sonora, México.

[rigo.puente@hotmail.com](mailto:rigo.puente@hotmail.com)

Los materiales de referencia en los laboratorios de pruebas químicas, son de alto consumo y de suma importancia, tanto como monitores de calidad, como una prueba de la trazabilidad de los resultados analíticos, por lo que se vuelve importante contar con un distribuidor de fácil contacto, que posea la variedad y la calidad suficiente, así como de un tiempo aceptable para su distribución. Los materiales producidos localmente, denominados generalmente *in-house*, permiten alcanzar estos requerimientos, ya que su empleo en la evaluación de la calidad de los métodos analíticos, aplicados por distintos laboratorios nacionales e internacionales, permite detectar posibles errores en las distintas metodologías y evaluar su desempeño, a la par de ser empleados también para generar curvas de calibración en instrumentos que usan el método comparativo, como los espectrómetros de fluorescencia de rayos-X.

379

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Para disponer de materiales de referencia con contenidos de  $\text{SiO}_2$  entre 68 y 75%, se elaboraron 3 candidatos colectados en Sonora, los cuales corresponden a un vidrio hipovolcánico riolítico (IGLv-1), un microgranito bajo en sílice (IGLgr-2) y uno rico en sílice (IGLgr-3). En el proceso se molió ~20kg de cada uno de los 3 tipos de roca hasta pasar la malla 200. Los resultados obtenidos por WD-FRX para IGLv-1 indican que la homogeneidad química es suficiente, tanto para elementos mayoritarios, como para los elementos menores, ya que, al comparar los valores medidos obtenidos de 10 botes diferentes contra 10 muestras del mismo bote, no hay diferencia significativa entre resultados, con un intervalo de confianza del 95%. Los resultados de las muestras IGLgr-2 e IGLgr-3 permite llegar a conclusiones semejantes, excepto por la determinación de la pérdida por calcinación (PXC) de IGLgr-3, que indica diferencias significativas, por lo que se considera necesario repetir las PXC de esa muestra, hasta conseguir resultados consistentes. Se concluye que una vez confirmados los resultados de PXC en IGLgr-3, las muestras estarán listas para su distribución a otros laboratorios con el objetivo de ser analizadas por diferentes metodologías, de forma que se disponga de valores para realizar el proceso estadístico, que permita obtener un consenso para 24 elementos químicos y la PXC.

**Palabras clave:** materiales in-house, WD-FRX, rocas ácidas, Sonora.

## **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN ANALIZADOR PORTÁTIL DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN LA DETERMINACIÓN DE METALES PRECIOSOS.**

**Olivia Zamora Martínez<sup>1,3</sup>, Rufino Lozano-Santa Cruz<sup>2,3</sup>, Fabiola Vega  
García<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Cromatografía, Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, CDMX. <sup>2</sup>Laboratorio de FRX, Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, CDMX. <sup>3</sup>Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Instituto de Geología, UNAM. Ciudad Universitaria, 04510, CDMX, México

En la actualidad el avance tecnológico ha provocado la aparición de aparatos portátiles de un costo relativamente bajo, que además son fáciles de manipular, y con los cuales es posible llevar a cabo la cuantificación simultánea de diversos analitos con técnicas de análisis convencionales, un ejemplo de ello son los equipos portátiles de Fluorescencia de Rayos X (PFRX), los cuales permiten la cuantificación simultánea de varios elementos químicos en muestras sólidas, en tiempos de análisis relativamente cortos. Sin embargo, como ocurre para toda técnica de análisis es necesario realizar la confirmación, a través de la aportación de evidencia objetiva, de que ésta cumple con los requisitos para una aplicación específica.

Debido a esto, en el presente trabajo se verificó el desempeño de un analizador portátil de fluorescencia de rayos X Niton XL3 en el análisis de Au, Ag, Cu, Pd, Zn, y Ni en aleaciones de metales preciosos.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Para una serie de estándares de referencia de metales preciosos ( $n = 7$ ), se compararon los resultados de fluorescencia obtenidos con el equipo portátil con los valores de concentración de los seis elementos de estudio reportados en los certificados de los estándares. Se encontró que al graficar la concentración del elemento determinada con el equipo portátil en función de la concentración reportada en el certificado para Au, Ag y Cu, los valores del coeficiente de correlación ( $r$ ) y de la pendiente, obtenidos por el método de mínimos cuadrados, son muy cercanos a la unidad, lo cual indica que el analizador portátil genera resultados de concentración con valores de exactitud aceptables para estos tres elementos. Para Pd, Zn y Ni se determinó el porcentaje de error asociado a la determinación, encontrándose valores menores al 5 %.

Cabe mencionar que las determinaciones realizadas con el equipo portátil, también fueron realizadas con un espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X con dispersión de longitud de onda, en ambos casos las mediciones fueron realizadas por triplicado. Los resultados obtenidos indican que ambas metodologías presentan exactitud y precisión comparables.

**Palabras clave:** Fluorescencia de Rayos X, metales preciosos, evaluación, equipos portátiles

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### **LO QUE REVELA LA TÉCNICA DE DRX EN LA TRANSICIÓN DEL CUARZO AMORFO A CUARZO CRISTALINO**

**Mendoza Cordova Abraham<sup>\*1</sup>, Vega Granillo Ricardo<sup>\*2</sup>, Paz Moreno  
Francisco Abraham.<sup>\*2</sup>, Vidal Solano Jesus Roberto.<sup>\*2</sup>, Madera Tequida  
Alma Rosa.<sup>\*2</sup>**

<sup>1,2</sup> Departamento de Geología, Universidad de Sonora.

[Abraham.mendoza@unison.mx](mailto:Abraham.mendoza@unison.mx)

La Difracción de Rayos X (DRX) es una de las técnicas esenciales en la caracterización de materiales (sintéticos y naturales). Es la técnica indicada para obtener las características estructurales y para determinar la respectiva fase de algún tipo de sustancia.

En este trabajo hemos utilizado DRX para hacer mediciones en el cuarzo amorfo y cuarzo cristalino utilizando un difractómetro para polvos marca Bruker modelo D8 Advance, con radiación  $K\alpha$ -Cu.

Las mediciones se hicieron en muestras de cuarzo amorfo, así como en muestras de ópalo (de Querétaro y de Jalisco). Las muestras de cuarzo cristalino fueron: Cuarzo citrino, calcedonia, pedernal, cuarzo transparente y cuarzo amatista.

Se agruparon los difractogramas obtenidos en cada una de las muestras desde el cuarzo amorfo hasta el cuarzo amatista, el criterio para hacer dicho acomodo fue la ausencia de picos (cuarzo amorfo) y la presencia de picos en los que se considera la intensidad y el ancho de ellos (cuarzo cristalino). Tomando en cuenta dichos criterios se puede ver que el ópalo de Querétaro y de Jalisco corresponde al ópalo clasificado como CT (cristobalita y timidita). Por otra

383

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

parte, se demuestra que en la estructura de los distintos tipos de cuarzo hay un grado de cristalinidad marcado por la intensidad y el ancho de los picos.

**Palabras claves:** Rayos X, difractogramas, amorfo, cristalinidad



**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

**RELACIONES DE CAMPO COMO HERRAMIENTA PARA  
ESTABLECER LAS FASES MAGMÁTICAS EN EL ARROYO  
BUENOS AIRES, BAJA CALIFORNIA SUR.**

**Cazares Moreno Alexandra Daniela<sup>1</sup>, Pérez Venzor José Antonio<sup>2</sup>,  
Schwennicke Tobias<sup>3</sup>**

Departamento Académico de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de  
Baja California Sur<sup>1,2,3</sup>

[acazares\\_13@alu.uabcs.mx](mailto:acazares_13@alu.uabcs.mx)

El arroyo Buenos Aires está ubicado en el municipio de La Paz, Baja California Sur en el Sistema Montañoso Central que geológicamente pertenece la Provincia Geológica Complejo Plutónico de La Paz. En esta área se han reportado rocas plutónicas que varían desde dioritas hasta granitos, así como varios sistemas de diques de composición andesítica, dacítica y granítica, llegando estos últimos a tener textura pegmatítica con presencia de granate y muscovita asociados a un pequeño intrusivo. Por medio de las relaciones de campo fue posible reconocer las diferentes fases magmáticas presentes en el arroyo y el orden cronológico relativo. Adicionalmente el análisis petrográfico permitió clasificar y caracterizar cada una de las unidades. Como resultado del trabajo de campo fue posible reconocer cuatro unidades principales, de la más antigua a la más joven: A (diorita), B (granodiorita), C (granito de granate y muscovita) y D (sistema de diques).

La unidad A, considerada la más antigua, es cortada y asimilada por las otras unidades. Esta unidad se presenta como una roca de color gris oscuro de grano fino con textura fanerítica fina sin alteración mineral. Está compuesta por

385

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

minerales de plagioclasas+hornblenda+biotita. La unidad B de grano medio a grueso de textura fanerítica y contiene plagioclasa+cuarzo+biotita+hornblenda. Esta unidad posee fracturas escasas y espaciadas, así como alteración incipiente de tipo potásica, oxidación y cloritización. Presenta una foliación bien definida con plagioclasas deformadas y hornblendas orientadas. Entre A y B existe una zona de mezcla. La tercer unidad es la C y corta e intrusión las tres unidades anteriores. La textura varía de fina a pegmatítica y está compuesta por plagioclasa+cuarzo+feldespatos potásico+granate+muscovita+biotita.

La unidad D contempla los diferentes sistemas de diques de los cuales los más jóvenes son los dacíticos y pegmatíticos. El trabajo expone los avances de los resultados obtenidos y sus implicaciones.

**Palabras clave:** fases, magmáticas, Buenos Aires, campo.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### **EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y ORGANOCOLORADOS EN EL TRANSECTO MÉRIDA-PROGRESO, YUCATÁN.**

**Carrillo Monsrreal Mónica Marisol. Cardona Benavides Antonio. Giácoman  
Vallejos Germán. Flores Lorenzo Alfonso.**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. CIEP. Área  
de Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de  
Ingeniería. Maestría en Ingeniería Ambiental.

[ic.monica.cm@gmail.com](mailto:ic.monica.cm@gmail.com)

La superficie del planeta Tierra se conforma de un 29% de tierra firme y un 71% de agua. Siendo que solo el 0.4% (Tolba,1992) es apta para consumo humano. Por su localización se dividen en superficiales y subterráneas. Al sureste de México, se encuentra la península de Yucatán, donde se encuentra una de las reservas de agua subterránea más importante del país. El estado de Yucatán tiene como única fuentes de abastecimiento este tipo de aguas y es susceptible a la contaminación por el tipo de suelo kárstico. El estrés hídrico actual y debido al impacto negativo de la presencia de plaguicidas en aguas subterráneas, se han convertido en tema de interés social en el mundo por los efectos a largo plazo en la salud humana. El objetivo de estudio de ésta investigación es evaluar la evolución de plaguicidas organofosforados y organoclorados en el transecto Mérida-Progreso mediante un muestreo de 13 pozos resultado de una red de monitoreo óptima. Existen estudios anteriores de los plaguicidas en la zona de estudio. Los datos obtenidos de la temporada

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

de secas se analizaron y representaron a través de mapas de isoconcentraciones en sistemas de información geográfica para conocer la caracterización espacial y temporal. La metodología del trabajo consistió en toma de muestras de campo, extracción de sólidos, análisis de muestras en el cromatógrafo de gases y los resultados se compararon con los límites máximos permisibles según la norma así como con datos históricos.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### **RASGOS GEOMORFOLÓGICOS Y VULCANISMO: UNA RELACIÓN PARA ESTABLECER LA MIGRACIÓN DEL VULCANISMO EN EL CAMPO VOLCÁNICO LA PURÍSIMA-COMONDÚ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.**

**Báez Chávez Sharon Lizbeth<sup>1\*</sup>, Pérez-Venzor José Antonio<sup>1</sup>, Díaz Hernández Cesar Alixan<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Baja California Sur, carretera al sur KM 5.5, apartado postal 19-B, C.P. 23080, La Paz, Baja California Sur, México.

[sharon.L18B@gmail.com](mailto:sharon.L18B@gmail.com)

A lo largo de la península de Baja California, existe una serie de campos volcánicos jóvenes (posteriores al Arco Volcánico Comondú). El campo volcánico la Purísima-Comondú forma parte de ese sistema de campos y se ubica geográficamente en la parte central del estado de Baja California Sur. Orográficamente forma parte de la Sierra La Giganta que es una cordillera constituida de rocas volcánicas de la Formación Comondú relacionada con un arco volcánico cenozoico (Mioceno), y rocas volcánicas de composición basáltica-andesítica ricas en magnesio denominadas “bajaites” que pertenecen al campo volcánico Purísima-Comondú. Este campo volcánico cubre parcialmente a las rocas de afinidad calcoalcalina de la Formación Comondú. En general, existen estudios geológicos relacionados con geoquímica, petrología y cartografía en el campo volcánico, sin embargo, no están enfocados a establecer la relación entre geomorfología y vulcanismo como herramienta para establecen una posible migración que es el objetivo de este trabajo. Utilizando algunos parámetros geomorfológicos y mediante el apoyo de

389

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

imágenes satelitales, mapas topográficos, modelo digital de elevación y parámetros geomorfológicos, así como el apoyo de un sistema de información geográfica de manera manual y visual, se cuantificó y clasificó las diferentes estructuras que presenta el campo que permitió establecer la relación entre vulcanismo, geomorfología y migración en relación con el contexto regional. El arreglo geomorfológico de este campo volcánico lo constituyen estructuras volcánicas como conos estrombolianos, spatter, calderas (?), derrames y mesetas asociados a fisuras y conductos centrales. En función de sus parámetros geomorfológicos y edades reportadas se reconocen al menos cinco periodos de vulcanismo siendo el ultimo entre los 1.8 Ma al Holoceno que originó los conos estrombolianos. El trabajo reporta algunas características del campo volcánico en relación con la geomorfología y la migración del vulcanismo.

**Palabras clave:** Campo volcánico, parámetros, vulcanismo, migración geomorfología.

## **Geogenómica**

### **REMOCIÓN DE AZUL ÍNDIGO UTILIZANDO QUITINA CALCÁREA EXTRAÍDA DE *CHERAX QUADRICARINATUS* Y ZEOLITA NATURAL**

**Carlos I. Leyva-Campohermoso<sup>1</sup>, Sergio A. Medina-Moreno<sup>1</sup>, Kinardo Flores-Castro<sup>2</sup>, Angélica Jiménez-González<sup>1</sup>, Xóchitl Tovar-Jiménez<sup>3</sup>, María del Rocío Ramírez-Vargas<sup>1</sup>, Fidel Pérez-Moreno<sup>4</sup>, Jesús M. Torres-Valencia<sup>4</sup>, José L. Villalobos-Hiriart<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Bioprocesos Ambientales, Universidad Politécnica de Pachuca, Zempoala, Hidalgo, C.P. 43830. <sup>2</sup>Laboratorio de Geoquímica, Universidad

Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C.P. 42184.

<sup>3</sup>Laboratorio de Tecnología de Compuestos Bioactivos, Universidad Politécnica de Pachuca, Zempoala, Hidalgo, C.P. 43830. <sup>4</sup>Centro de Investigaciones

Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C.P. 42184. <sup>5</sup>Colección Nacional de Crustáceos, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, C.P.

04510.

geo.carlosleyva@gmail.com

#### **RESUMEN**

En este trabajo se determinó de manera independiente las capacidades de la quitina calcárea obtenida de *Cherax quadricarinatus* y zeolita natural en la remoción del colorante azul índigo. Se realizó la extracción de quitina a partir del exoesqueleto de *Cherax quadricarinatus* mediante métodos químicos-alcalinos, caracterizando el producto mediante FTIR, esto permitió verificar la

391



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

presencia de quitina y carbonato de calcio, denominando al producto obtenido como quitina calcárea. La zeolita se sometió a lavados térmicos para la eliminación de impurezas y fue tamizada. Se realizaron cinéticas de sorción durante 180 minutos, a pH7, agitación de 130 rpm y temperatura ambiente utilizando, 0.2 g de cada material por separado en soluciones preparadas con 100 mg.L<sup>-1</sup> de azul índigo comercial. Se realizó una cinética con quitosano comercial (Sigma-Aldrich), como patrón para la comparación en la capacidad de sorción de los materiales probados. Los resultados de remoción mostraron que las capacidades de remoción del azul índigo fueron de 83% para la quitina calcárea, 11% para la zeolita y 91% para quitosano. La quitina calcárea extraída de *Cherax quadricarinatus* posee una mayor capacidad de remoción de azul índigo que la zeolita, siendo su capacidad un poco menor a la del quitosano comercial. Lo anterior, muestra que la quitina calcárea es un material factible en la remoción del azul índigo, ya que presenta ventajas tanto en el costo como en su proceso de obtención con respecto al quitosano comercial.

**Keywords:** Quitina calcárea, *Cherax quadricarinatus*, zeolita, azul índigo, remoción.

### ABSTRACT

In this work, the capacities of the calcareous chitin obtained from *Cherax quadricarinatus* and natural zeolite in the removal of the indigo blue dye were determined independently. The extraction of chitin from the exoskeleton of *Cherax quadricarinatus* was carried out by chemical-alkaline methods, characterizing the product by means of FTIR, this allowed to verify the presence of chitin and calcium carbonate, denominating the product obtained as calcareous chitin. The zeolite was subjected to thermal washes for the removal of impurities and was sieved. Sorption kinetics were performed for 180 minutes,

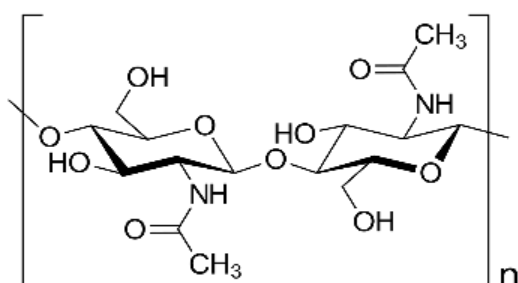
392

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

at pH7, stirring at 130 rpm and room temperature using, 0.2 g of each material separately in solutions prepared with 100 mg.L<sup>-1</sup> of commercial indigo blue. A kinetic with commercial chitosan (Sigma-Aldrich) was performed, as a standard for comparison in the sorption capacity of the tested materials. The removal results showed that the removal capacities of indigo blue were 83% for calcareous chitin, 11% for zeolite and 91% for chitosan. The calcareous chitin extracted from *Cherax quadricarinatus* has a greater capacity of removal of indigo blue than the zeolite, being its capacity a little lower than that of commercial chitosan. The above shows that calcareous chitin is a feasible material in the removal of indigo blue, since it has advantages both in the cost and in the process of obtaining it with respect to commercial chitosan.

### INTRODUCCIÓN

La industria textil, es una de las que genera la que mayor cantidad de contaminantes, ya que sus efluentes, contienen diferentes colorantes comerciales que son tóxicos para la vida humana y provocan daños ambientales con un alto impacto. (Matías-Chacón *et al.*, 2002; López *et al.*, 2007). El azul índigo, es un colorante utilizado en el teñido de la mezclilla a nivel mundial y, en particular este colorante se ha comprobado que provoca daños cardiovasculares, respiratorios, gastrointestinales e incluso la muerte en el ser humano (Moeller-Chávez *et al.*, 2013).



La quitina, el quitosano y la zeolita son materiales utilizados en el tratamiento de aguas contaminadas. El quitosano es un biopolímero que se

**Figura 1.** Estructura química de la quitina.  
Tomado de Crini y Badot (2008).

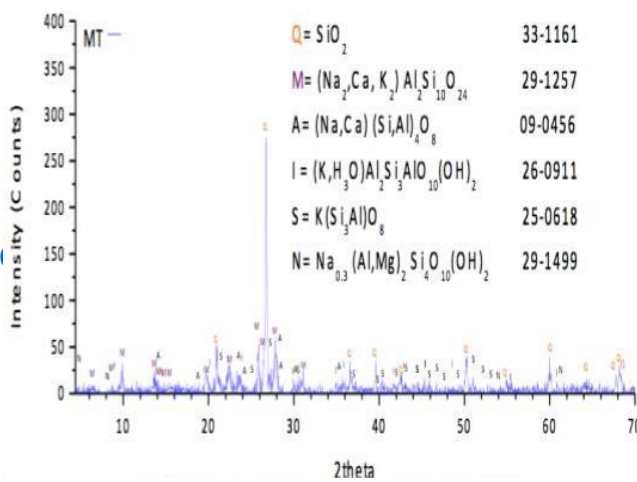
## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

obtiene mediante la desacetilación de la quitina (Crini y Badot, 2008). La quitina es el segundo biopolímero más abundante en la naturaleza y está formado por unidades de N-acetil glucosamina unidos por enlaces glucosídicos  $\beta$  1 $\rightarrow$ 4 (Figura 1) en donde el grupo acetamida puede servir como sitio activo para remoción de colorantes; se obtiene del exoesqueleto de crustáceos principalmente del camarón, sin embargo, se ha estudiado poco sobre su obtención a partir de crustáceos de agua dulce tales como *Cherax quadricarinatus* conocido como langosta de río. Este se encuentra tanto en vida silvestre como en granjas establecidas en México (Percot *et al.*, 2003; Romo-Zamarrón *et al.*, 2014; Torres-Montoya *et al.*, 2016). La extracción de quitina se realiza mediante un proceso de desprotenización y desmineralización. El primero es un tratamiento químico continuo para eliminar las proteínas del exoesqueleto mediante medios alcalinos; mientras que el segundo, permite eliminar el carbonato de calcio usando medios ácidos (Percot *et al.*, 2003). Cuando sólo se realiza el proceso de desproteínización, el producto obtenido es llamado quitina calcárea. Este material, se ha reportado en la remoción de cadmio (II) con una eficiencia 2.3 veces mayor que la quitina (Rodríguez *et al.*, 2012).

La zeolita, es un aluminosilicato hidratado que se forma en la mayoría de los casos por alteración de ceniza volcánica. Estructuralmente, está conformada por tetraedros de  $\text{SiO}_4^{4-}$  y  $\text{AlO}_4^{5-}$  enlazados por átomos de oxígeno formando canales ocupados por moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  y cationes intercambiables (Broach *et al.*, 2012).

ACTAS INAGEQ 2018

ISSN-Latin



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Islas-Rodríguez (2016) caracterizó una toba volcánica obtenida de la cantera de Tezoantla, municipio de Mineral del Monte, Hidalgo. La DRX realizada por el autor (Figura 2) mostró la presencia de mordenita dentro de las fases mineralógicas existentes en la roca, mientras que el FUS-ICP (Tabla 1) determinó que el óxido del catión intercambiable mayoritario corresponde a Na<sub>2</sub>O con un 2.72%.

**Tabla 1.** Composición química de la toba volcánica.  
Tomado de Islas-Rodríguez (2016).

Oxidos mayoritarios	% en peso	Oxidos mayoritarios	
SiO <sub>2</sub>	70.96	Na <sub>2</sub> O	2.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.53	K <sub>2</sub> O	1.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	1.35	TiO <sub>2</sub>	0.118
MnO	0.03	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01
MgO	0.13	*PPC	8.36
CaO	1.68	Total	98.88

El objetivo del presente

**Figura 2.** DRX de la toba volcánica, la cual muestra la presencia de mordenita como material zeolítico.  
Tomado de Islas-Rodríguez (2016).

trabajo fue determinar de manera independiente las capacidades de la quitina obtenida de *Cherax quadricarinatus* y zeolita en la remoción del colorante azul índigo.

## METODOLOGÍA

### Obtención de quitina calcárea

Ejemplares de *Cherax quadricarinatus* fueron obtenidos de la granja “Real Costa de Marina” ubicada en el municipio de Tepeojuma, estado de Puebla, los cuales fueron sacrificados por congelación para su posterior procesamiento en laboratorio.



Para la obtención de la quitina, se realizó la separación del exoesqueleto de

395

VOLUMEN 24 OCTUBRE 2018

index 2310-2700

**Figura 3.** Exoesqueleto seco dentro del horno de laboratorio después de 24 horas.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

cada uno de los individuos de *Cherax quadricarinatus* para después lavarlos con abundante agua y secarlos en un horno a 70-80 °C durante 24 horas (Figura 3). Posteriormente, los exoesqueletos fueron sometidos a molienda y tamizado a malla 50. La desproteización del material, se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Percot *et al.* (2003) utilizando una solución alcalina de NaOH al 1M y polvo de exoesqueleto en una relación 1:20 p/v durante 24 horas a 75-85 °C. La quitina calcárea obtenida se lavó con agua destilada hasta alcanzar la neutralidad. El material obtenido se caracterizó mediante espectroscopia de transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), lo que permitió determinar los grupos funcionales presentes en el biopolímero y por lo tanto definir su estructura.

### Tratamiento de la zeolita

La zeolita se obtuvo de una muestra de toba volcánica donada por el laboratorio de Geoquímica de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, proveniente de la cantera de Tezoantla en el municipio de Mineral del Monte, estado de Hidalgo. La muestra fue molida y tamizada a malla 50 para obtener un tamaño de partícula similar al de la quitina calcárea. La zeolita tamizada se sometió a un tratamiento térmico con agua a 60-70 °C, con la finalidad de eliminar impurezas.

### Cinéticas de sorción



Se realizaron cinéticas de sorción a pH 7, por duplicado, preparando soluciones contaminadas con azul índigo a 100 mg/L (Figura 4),

396

VOLUMEN 24 OCTUBRE 2018

ISSN 2310-2799

**Figura 4.** Cinéticas de sorción para azul índigo a pH7 y temperatura ambiente.



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

las cuales se les adicionó 0.2 g de quitina calcárea y zeolita probando ambos materiales por separado. Las cinéticas duraron 180 minutos, filtrando las muestras cada 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos. Se determinó la absorción del colorante residual en el sobrenadante con espectrofotómetro marca Jenway modelo 6320D a 600nm. A partir de una curva patrón realizada se determinó la concentración residual del colorante en el sobrenadante. Como patrón de comparación, y bajo las mismas condiciones, se llevó a cabo una cinética de sorción con quitosano comercial (Sigma-Aldrich).

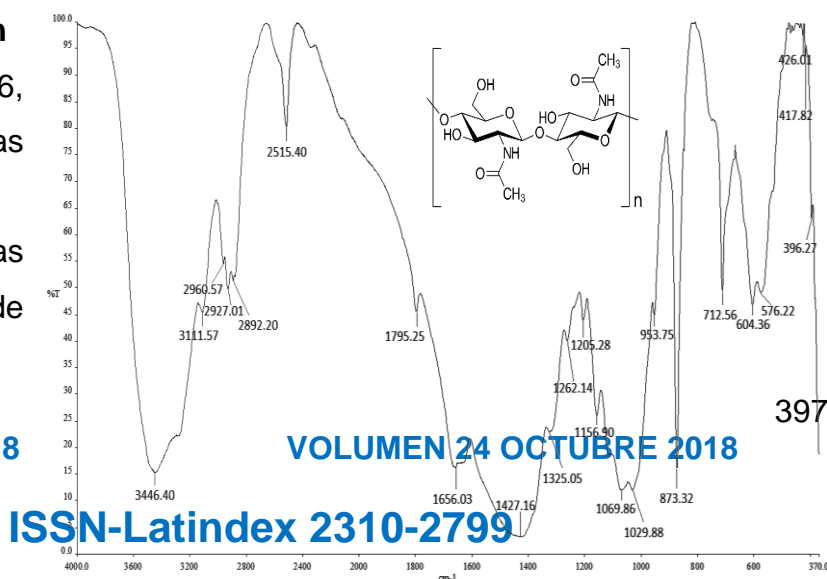
### RESULTADOS

#### Caracterización de quitina calcárea con FTIR

El espectro de FTIR de la quitina calcárea, se muestra en la Figura 5. El FTIR indica la presencia los grupos funcionales OH ( $3446.23 \text{ cm}^{-1}$ ), NH ( $3105.42 \text{ cm}^{-1}$ ), CH<sub>3</sub> ( $2927.04 \text{ cm}^{-1}$ ), y C=O ( $1656.02 \text{ cm}^{-1}$ ), todos ellos correspondientes a la estructura básica de la quitina. Además, en el FTIR, se observaron picos que corresponden a CaCO<sub>3</sub> ( $2515.40 \text{ cm}^{-1}$  y  $1795.25 \text{ cm}^{-1}$ ) confirmando así, que el material obtenido es quitina calcárea, una mezcla de las estructuras de quitina y carbonato de calcio.

#### Cinéticas de sorción

En la Figura 6, se muestran las gráficas correspondientes a las cinéticas de sorción de

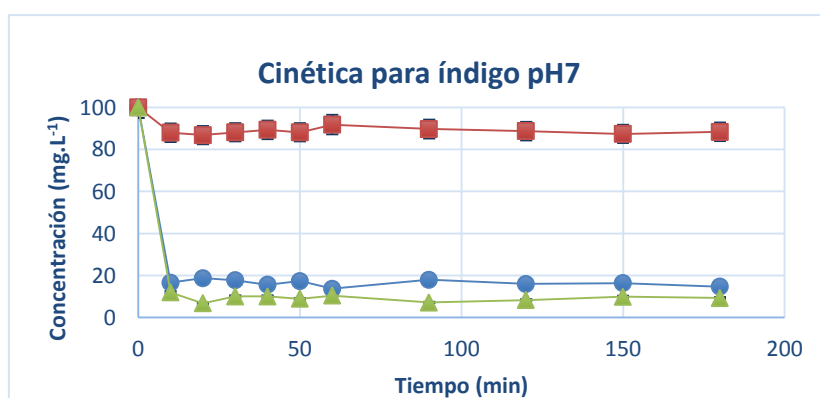


**Figura 5.** Espectro de FTIR para quitina calcárea, corroborando la presencia de quitina y carbonato de calcio de acuerdo a los picos observados.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

la quitina calcárea, zeolita y quitosano comercial. Como se puede observar, a partir de los 10 minutos, la quitina calcárea fue capaz de remover por sorción al colorante azul índigo hasta un 83%. En este mismo tiempo, la zeolita únicamente fue capaz de remover en un 11% el azul índigo, mientras que el quitosano utilizado como patrón fue capaz de remover hasta un 91%. En todos los casos, el máximo de remoción por sorción se alcanzó a partir de los 10 minutos, tiempo posterior, la concentración del colorante en el sobrenadante, se mantuvo constante a lo largo de la cinética.

Guerrero *et al.* (2014) reportan una remoción del 76% de índigo utilizando un consorcio microbiano en un periodo de 21 días, mientras que Gopi *et al.* (2017) reportan una eficiencia de remoción del 88.9% de índigo carmín utilizando membranas de quitina modificada. El resultado de remoción de azul índigo utilizando la quitina calcárea de este trabajo es parecido a los resultados de los trabajos antes mencionados. La ventaja principal de la quitina calcárea es que el tiempo de remoción es corto, posiblemente por la disponibilidad de los sitios activos que actúan en conjunto con el carbonato de calcio, además es un material natural.



**Figura 6.** Cinética de sorción para una concentración inicial de azul índigo de 100 mg.L<sup>-1</sup> a pH7, con una duración total de 180 minutos, midiendo la concentración cada 10,20,30,40,50,60, 90, 120, 150 y 180 minutos.



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### CONCLUSIONES

La quitina calcárea, mostro tener una mayor capacidad de remoción en comparación con la zeolita, al menos para la solución de índigo a  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  y pH 7. La máxima remoción del colorante en los tres materiales probados fue a los 10 min de la cinética, tiempo en el que probablemente se alcanzó la saturación de los sitios activos de los materiales. La quitina, posee una capacidad de remoción del colorante que no es muy diferente del quitosano comercial. Con base a los costos y métodos químicos para su obtención, la quitina calcárea extraída de *Cherax quadricarinatus* en comparación con el quitosano comercial, muestra ser un material factible para ser utilizado en la remoción de azul índigo en efluentes contaminados de la industria textil.

### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por impulsar el desarrollo de la ciencia y por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría. A la Universidad Politécnica de Pachuca (UPP), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) y Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por permitirme realizar mis estudios de posgrado y elaborar el proyecto. A la granja Real Costa de Marina por proporcionar los ejemplares de *Cherax quadricarinatus*. A la Red Temática de Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos (GAREME) por el apoyo económico para asistir al XXVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA INAGEQ 2018. Al Instituto Nacional de Geoquímica (INAGEQ) por aceptar este proyecto para presentarlo en el presente congreso.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Broach, R. W., Jan, D. Y., Lesch, D. A., Kulprathipanja, S., Roland, E., y Kleinschmit, P. (2012). Zeolites. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2-28.
- Crini, G. y Badot, P.M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. Progress in Polymer Science. 33: 399-447.
- Gopi, S., Balakrishnan, P., Pius, A. y Thomas, S. (2017). Chitin nanowhisker (ChNW)-functionalized electrospun PVDF membrane for enhanced removal of Indigo carmine. Carbohydrate Polymers. 165: 115-122.
- Guerrero, L., Serna, E., Cardona, S., Cadavid-Restrepo, G., Suárez, C. y Quintero-Rendón, L. (2014). Consorcio microbiano nativo con actividad catalítica para remoción de índigo y surfactantes en agua residual industrial textil a través de una matriz de inmovilización. Revista Colombiana de Biotecnología. 16: 177-187.
- Islas-Rodríguez, N. (2016). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de una toba volcánica para su aprovechamiento tecnológico. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- López, C., Moreira, M.T., Feijoo, G. y Lema, J.M. (2007). Tecnologías para el tratamiento de efluentes de industrias textiles. Afinidad. 64 (531): 561-573.
- Matías-Chacón, J., Leal, M.T., Sánchez, M. y Bandala, E.R. (2002). Tratamiento de agua residual proveniente de la industria textil mediante fotocatalisis solar. Memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Moeller-Chávez, G.E., Sandoval-Yoval, L. y Mijaylova, P. (2013). Evaluación de diferentes procesos de tratamiento para la remoción de colorantes sintéticos utilizados en la industria textil. IMTA Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Percot, A., Viton, C. y Domard, A. (2003). Optimization of chitin extraction from shrimp shells. Biomacromolecules. 4:12-18.
- Rodríguez, M. S., Zalba, M., Goitía, M. T., Pugliese, A., Debbaudt, A., Agulló, E. y Albertengo, L. (2012). Calcareous chitin: A novel low-cost sorbent for cadmium (II). Latin American applied research, 42(3), 311-318.
- Romo-Zamarrón, K. F., Pérez-Cabrera, L. E., Ramírez-Carrillo, R. E. y Díaz-Estrada, A. I. (2016). Extracción de quitosanos a partir de diferentes partes del exoesqueleto de langosta de río *Cherax quadricarinatus*. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1(2), 667-673.
- Torres-Montoya, E. H., Salomón-Soto, V. M., Bucio-Pacheco, M., Torres-Avendaño, J. I., López-Ruiz, M., Sánchez-González, S., y Castillo-Ureta, H. (2016). Primer registro de

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

poblaciones silvestres de *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) en Sinaloa, México. Revista mexicana de biodiversidad, 87(1), 258-260.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

**"GEOQUÍMICA ORGÁNICA DE MADERA FÓSIL  
CORRESPONDIENTE A UNA CONÍFERA DEL GÉNERO FÓSIL  
AGATHOXYLON (ARAUCARIACEAE) DEL CRETÁCICO  
SUPERIOR, POTRERO EL LLANO, ALDAMA, CHIHUAHUA  
(MÉXICO)"**

**Cristal Méndez-Díaz<sup>1\*</sup>, Kinardo Flores-Castro<sup>1</sup>, Emilio Estrada-Ruiz<sup>2</sup>,  
Jesús Martín Torres-Valencia<sup>3</sup>, Imelda Perla García-Hernández<sup>2</sup>,  
Jorge Alberto Santiago-Bautista<sup>1</sup>, María Magdalena Ortega-Nieblas<sup>4</sup>,  
Carlos Galaz-Samaniego<sup>5</sup>**

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

Departamento de Zoología, Laboratorio de Ecología.

ENCB - Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas.  
Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, s/n. Col. Santo Tomás, Delegación  
Miguel Hidalgo. C.P. 11340. Ciudad de México.

Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del Estado de  
Hidalgo. Ciudad Universitaria, s/n, C.P. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo.  
Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad de  
Sonora. Edif. 7G Blvd. Luis Donaldo Colosio, s/n. Col. Centro. C.P. 83000.  
Hermosillo, Sonora.

Departamento de Geología. Maestría en Ciencias - Geología. Universidad de  
Sonora. Av. Rosales s/n., Col. Centro. C.P. 83000. Hermosillo, Sonora.

[\\*mendezdiazcristal@gmail.com](mailto:*mendezdiazcristal@gmail.com)

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### 1. RESUMEN

Actualmente los trabajos multidisciplinarios en el campo de las Geociencias que persiguen objetivos comunes son los que aportan argumentos de mayor peso para tratar de comprender la evolución de nuestro Planeta. En este caso particular se conjuntan la Geología, Biología y la Geoquímica con el objetivo de identificar características paleoambientales prevalecientes durante el Cretácico Superior en el Desierto Chihuahuense mediante la aplicación de herramientas geoquímicas orientadas al reconocimiento paleobotánico de paleofloras, en cuyo caso coadyuvan para conocer la composición y naturaleza de la materia orgánica preservada en ellas. Este trabajo aborda métodos geológico - cartográficos, muestreo de un ejemplar de madera fósil correspondiente a una conífera del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae) que yace en sedimentos siliciclásticos de la Formación San Carlos (Cretácico Superior), del cual se extrajeron submuestras de la madera correspondientes a sus estructuras internas y externas a las que posteriormente se les aplicaron procedimientos de geoquímica orgánica conducentes, primero para la extracción y concentración de la fracción soluble de la materia orgánica sedimentaria (bitumen) preservada en cada una de las estructuras, para posteriormente caracterizarlas químicamente mediante la aplicación de la Cromatografía de Gases – Masa (CG-Ms) y Resonancia Magnética Nuclear  $^1\text{H}$  (RMN  $^1\text{H}$ ), con el fin de encontrar biomarcadores que aporten información específica sobre el ejemplar de madera fósil, sus características paleoambientales y paleoclimáticas de la cuenca donde finalmente se depositó.

*Palabras clave: Madera fósil, Cretácico Superior, Geoquímica Orgánica, Biomarcadores, RMN  $^1\text{H}$ , CG-Ms.*

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### 2. ABSTRACT

Currently multidisciplinary work in the field of Geosciences that follow common objectives are those that provide arguments to try to understand the evolution of our planet. In this particular case Geology, Biology and Geochemistry are combined with the objective of identifying paleoenvironmental characteristics prevalent during the Upper Cretaceous in the Chihuahuan Desert through the application of geochemical tools oriented to paleobotanical recognition of paleofloras, in which case they contribute to know the composition and nature of the organic matter preserved in them. This work deals with geological - cartographic methods, sampling of a specimen of fossil wood corresponding to a conifer of the fossil genus *Agathoxylon* (Araucariaceae) that lies in siliciclastic sediments of the San Carlos Formation (Upper Cretaceous), from which subsamples of the corresponding wood were extracted to their internal and external structures to which they were subsequently subjected to organic geochemistry conducive procedures, first for the extraction and concentration of the soluble fraction of the organic sedimentary matter (bitumen) preserved in each of the structures, to subsequently characterize them chemically by the application of Gas Chromatography - Mass (CG-Ms) and Nuclear Magnetic Resonance -  $^1\text{H}$  (NMR), in order to find biomarkers that provide specific information on the fossil wood specimen, its paleoenvironmental and paleoclimatic characteristics of the basin where it is finally deposited.

*Key words: Fossil wood, Upper Cretaceous, Organic Geochemistry, Biomarkers, NMR  $^1\text{H}$ , CG-Ms.*

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### 3. INTRODUCCIÓN

La Geoquímica es una especialidad de la Geología y la Química que estudia el dinamismo de los elementos químicos en nuestro planeta. Una de las áreas de especialidad es la Geoquímica Orgánica o Biogeoquímica, la cual con la ayuda de técnicas analíticas permite la identificación de compuestos orgánicos en materiales geológicos, entre ellos los considerados como biomarcadores, también denominados fósiles moleculares, útiles en las reconstrucciones paleoambientales dado que son productos biológicos. Estos compuestos proporcionan información acerca de la naturaleza de la materia orgánica alojada en los sedimentos, misma que revela la historia de los procesos de su deposición y sepultamiento hasta su litificación (diagénesis) y posterior transformación en gas natural, carbón y/o aceite, producto de la madurez térmica (catagénesis) (Peters y Moldowan, 1993).

Los fósiles están asociados con la diagénesis y metamorfismo incipiente y reflejan los efectos de eventos que acompañan su sepultamiento, así como efectos relacionados con su exhumación. Una adecuada interpretación paleobotánica y geoquímica de un fósil se hace a través del propio conocimiento que se tiene sobre el organismo y modo de preservación. En general los fósiles son ordinariamente distinguibles por su modo de ocurrencia geológica (Schopf, 1975).

En este sentido se implementa conocimiento sobre información paleobotánica en el que es posible observar los cambios que presentaron los caracteres anatómicos, debido a los regímenes climáticos imperantes en la época (Hudson, 2006); sin embargo, hoy en día los estudios con base en la identificación y anatomía de maderas de coníferas son aún escasos en nuestro



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

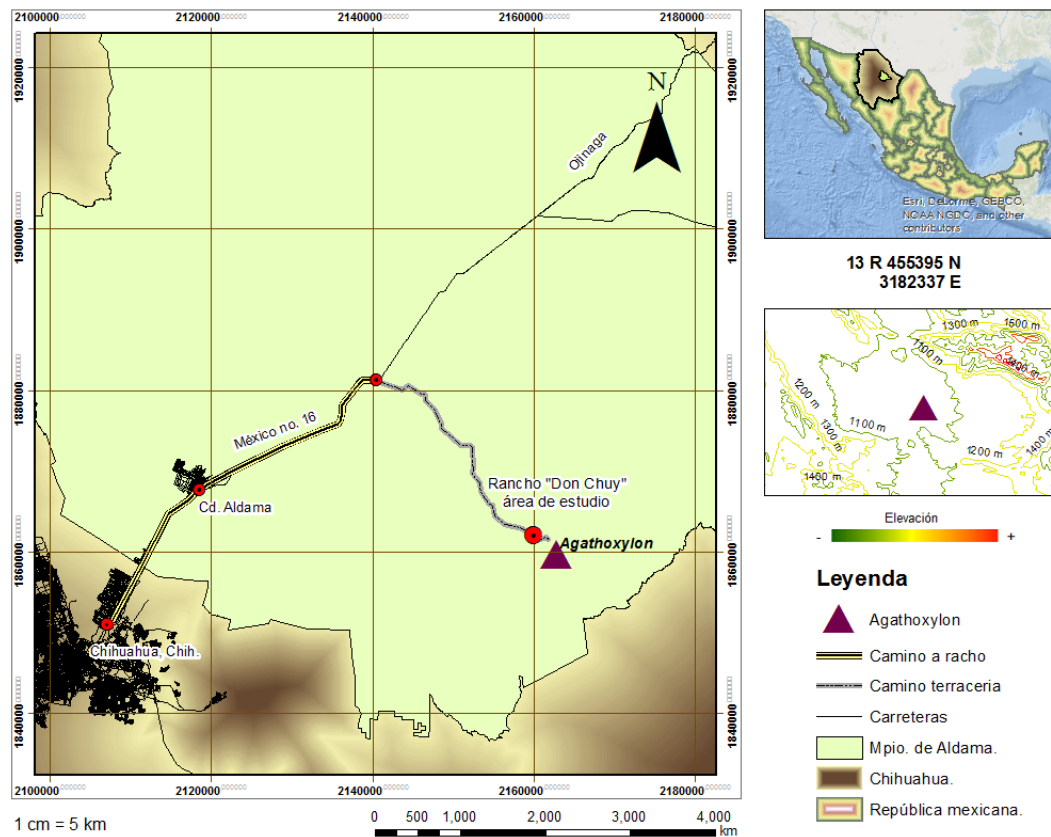
país comparado con las localidades que presentan este tipo de fósiles (Weber, 1978; Estrada *et al.*, 2013; García *et al.*, 2016). Este trabajo multidisciplinario integra la sistemática obtenida de un ejemplar de conífera fósil con herramientas de Geoquímica Orgánica con el objeto de recuperar, identificar e interpretar la composición química de la fracción soluble de la materia orgánica preservada, para enriquecer el conocimiento de este taxón y su relación con la paleoclimatología del Cretácico Superior en el Desierto Chihuahuense. Este tipo de trabajos son pioneros en nuestro país y son escasos en la literatura mundial.

### 4. ÁREA DE TRABAJO

El ejemplar fósil se descubrió en las inmediaciones del desierto en los terrenos pertenecientes al *Museo de Sitio Paleontológico y Ecológico Rancho Don Chuy*, situado en la ribera del río Conchos en el poblado de Potrero El Llano, municipio de Aldama, al NE del estado de Chihuahua (México).

Se tiene acceso a la zona de estudio partiendo de la capital del estado de Chihuahua, conduciendo por la carretera federal n. 16 (Chihuahua–Ojinaga) hasta Ciudad Aldama, realizando un recorrido de 30km, se continua por otros 34km en dirección a Cd. Ojinaga hasta encontrar el entronque que comunica a la comunidad de Potrero El Llano - Chorreras que dista 32km por camino de terracería, el cual es transitable durante todo el año y a otros 5km se llegar a la entrada de la propiedad del museo de sitio. (Fig. 1).

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**



**Fig. 1** Mapa de localización.

**5. MÉTODOS ANALÍTICOS Y MATERIALES**

A partir de secciones delgadas analizadas en un microscopio óptico Olympus BX53 con una cámara digital SC100 con sensor CMOS de 10.5 que se encuentra en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Zoología de la escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN y se obtuvo la siguiente información:

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

**Sistemática Paleobotánica**

División Pinophyta Meyen, 1984

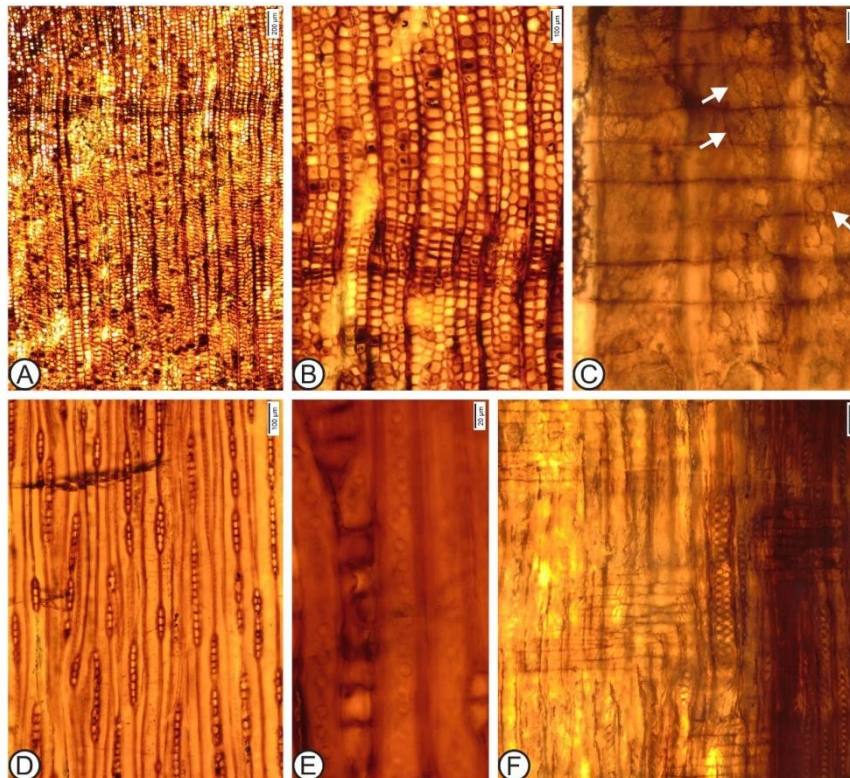
Clase Pinopsida (Coniferopsida) Burnett, 1833

Orden Pinales (Coniferales) Durmortier, 1829

Familia Araucariaceae Henckel y Hochstetter, 1865

Subclase Pinidae Cronquist *et al.* (1966)

Género fósil *Agathoxylon* Hartig (1848)



**Fig. 2** Mostrando los caracteres anatómicos más importantes de *Agathoxylon*. A) Corte transversal (CT). Madera con anillos poco diferenciados. Escala = 200  $\mu\text{m}$ . B) (CT). Traqueidas de forma poligonal y cuadrada con pared delgada. Escala = 100  $\mu\text{m}$ . C) Corte Radial (CR). Punteaduras de campo de cruzamiento de tipo cupresoide (flechas), de 1 a 3 por campo de cruce. Escala = 67  $\mu\text{m}$ . D) Corte tangencial (CTA). Radios uniseriados, altos y parcialmente biseriados. Escala = 100  $\mu\text{m}$ . E) (CTA). Punteaduras areoladas de forma circular. Escala =

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

20  $\mu\text{m}$ . F) (CR). Punteaduras areoladas alternas de forma circular. Escala = 67  $\mu\text{m}$ .

### ***Corte Transversal***

- Madera-con anillos poco diferenciados (Fig. 2A, B).
- Traqueidas de forma poligonal y cuadrada (Fig. 2B).
- Presencia de torus
- Ausencia de parénquima

### ***Corte Tangencial***

- Radios uniseriados y parcialmente biseriados (Fig. 2D).
- Punteaduras areoladas presentes en las paredes tangenciales de las traqueidas longitudinales.

### ***Corte Radial***

- Punteaduras de las traqueidas en las paredes radiales predominantemente uniseriadas (Fig. 2E y F), ocasionalmente biseriadas (Fig. 2F), ordenadas en hileras y con punteaduras areoladas de forma circular en disposición alterna, espaciadas entre sí, y algunas haciendo contacto entre ellas.
- Punteaduras tipo cupresoide, de 1 a 3 por campo de cruce, haciendo contacto entre ellas (Fig. 2C).
- Radios de tipo homogéneos (Fig. 3D).
- Parénquima radial de paredes axiales y horizontales lisas.

La madera presenta características anatómicas propias de las coníferas del Cretácico Superior de América del Norte, tales como: anillos de crecimiento

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

poco diferenciados, traqueidas con contorno rectangular y poligonal, radios principalmente uniseriados a rara vez biseriados, punteaduras uniseriadas y ocasionalmente biseriadas alternas haciendo contacto entre ellas, punteaduras por campo de cruzamiento de tipo cupresoides, de 1 a 3 por campo de cruzamiento. Las características encontradas en nuestra madera fósil se encuentra en la familia Araucariaceae (Philippe y Bamford, 2008), además, la presencia de punteaduras (tipo oculiporo) cupresoides permitió relacionarla con el género fósil *Agathoxylon* (García-Hernández *et al.*, 2016).

El tipo de fosilización presente es la permineralización la cual consiste en el relleno de las cavidades intracelulares e intercelulares de las estructuras histológicas de los restos orgánicos, esto es, espacios desocupados durante la descomposición de materia orgánica. El mineral más común en la permineralización es la sílice (Schopf, 1975; Fernández, 2000).

Muestreo y preparación de muestras para Geoquímica Orgánica.

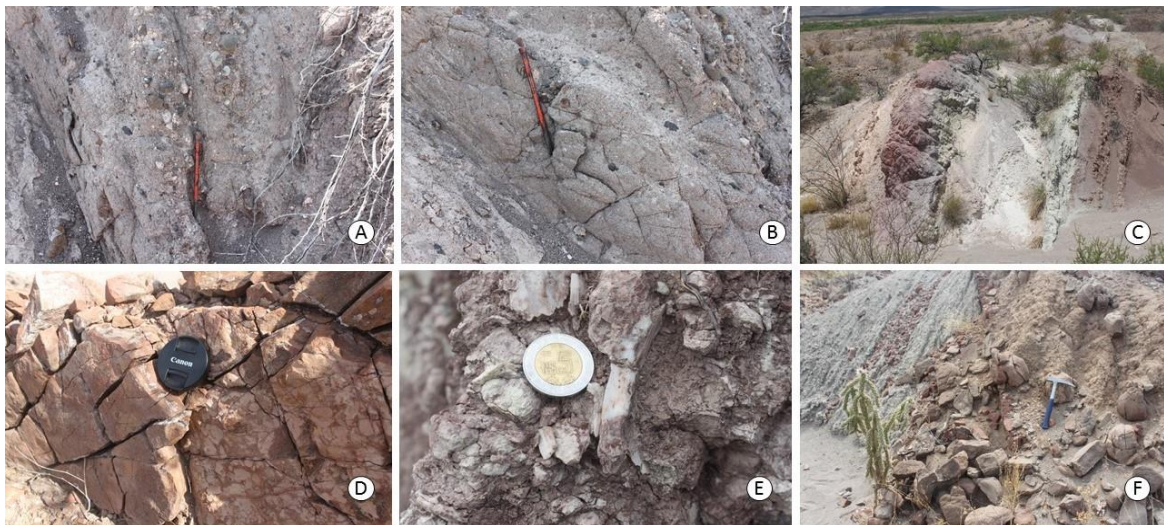
Durante las dos campañas de campo que se llevaron a cabo durante los veranos de 2017 y 2018 se realizaron trabajos conducentes al levantamiento de la cartografía geológica a semi-detalle y detalle de las secuencias del Cretácico Superior en el área de estudio, donde se identificaron megascópicamente distintas litologías (Fig. 3), su respectivo control estructural y estratigráfico que quedó representado en una columna litológica medida que de base a cima muestra las diversas secuencias sedimentarias y el material paleontológico correspondientes a ambientes marinos, continentales y transicionales. En éste último escenario se ubica la madera fósil que se localiza mediante las coordenadas geográficas R13 455396 N3182337 E y que yace inclinado 15°, en el afloramiento exhibe una longitud de 9.57m (Fig. 4A).

410



**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

estando parcialmente cubierto por arenisca conglomerática y conglomerado polimíctico cuyos clastos están bien redondeados y visiblemente oxidados (Fig. 4D).



**Fig. 3** A) arenisca conglomerática deleznable B) estratificación cruzada C) profusa alteración hidrotermal D) caliza con diaclasas secundarias E) carbonatos y evaporitas F) margas y arenas que incluyen abundantes septarias.

Para proceder con el muestreo geoquímico de la madera fósil, se identificaron dos estructuras internas en la parte basal del tronco relacionadas con su núcleo y parte media donde se observan anillos concéntricos de crecimiento (Fig. 4C) y una porción de la parte más externa de la madera correspondiente a la corteza (Fig. 4B). Cada una de estas submuestras fueron cortadas mediante un cincel y martillo, mismas que se colocaron directamente sobre papel aluminio, teniendo la precaución de no manipularlas para evitar su contaminación (Fig. 4E). Finalmente se obtuvo una última muestra a la que se le denominó “Todo a

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

Uno”, que consistió en retirar con el cincel y martillo una sección radial desde la corteza hasta su núcleo y que de igual manera se colocó sobre papel aluminio.



**Fig. 4** Afloramiento de madera del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae) A) vista general de la madera B) corteza C) parte media correspondiente a los anillos D) vista hacia la copa E) muestreo de las estructuras leñosas.

Las submuestras y la “Todo a Uno” después de envolverlas perfectamente con papel aluminio se embalaron en bolsas de polietileno con su debida identificación, para posteriormente ser transportadas al Laboratorio de Geoquímica de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

En el laboratorio las muestras fueron trituradas y pulverizadas a malla 100 en un mortero con pistilo de ágata hasta obtener 300g de cada una, más 100g adicionales de la “Todo a Uno”, registrados por una balanza analítica de la marca Adam. Posteriormente las muestras se guardaron en papel aluminio nuevamente para su posterior sometimiento a extracción secuencial de bitumen mediante reflujo continuo termoregulado (Flores *et al.*, 2011).

Método de extracción de bitumen y caracterización química de los extractos de bitumen resultantes por RMN  $^1\text{H}$  y CG-Ms

Las fracciones de polvo fueron introducidas en matraces Florencia de 1000ml a los que se le adicionaron disolventes orgánicos que abarcaron un amplio rango de polaridad, iniciando con hexano ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ), diclorometano ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), acetato de etilo ( $\text{CH}_3\text{-COO-CH}_2\text{-CH}_3$ ) y terminando con metanol ( $\text{CH}_3\text{-OH}$ ), todos de grado HPLC en una proporción 1:3 (peso/volumen). En el caso particular de las muestras que fueron analizadas por RMN  $^1\text{H}$  se introdujeron 300g de muestra y 900ml de cada uno de los disolventes.

Para el análisis de CG-Ms se sometieron las cuatro fracciones (Todo a Uno, Corteza, Parte Media y Núcleo) con un disolvente de polaridad de intermedia-alta y que según el espectro de RMN  $^1\text{H}$  (400 Mhz) resultante es representable de la gama de compuestos encontrados, este es el acetato de etilo. Las fracciones fueron sometidas al mismo proceso de obtención de bitumen con la única diferencia de la cantidad de muestra en este caso fueron 100g con excepción de la muestra de la parte media de la que solo se tenían 50g, y de igual forma se le hizo una adición de disolvente 1:3.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**



**Fig. 5** A) trititación y molienda de las submuestras de las estructuras leñosas B) extracción secuencial termoregulada C) filtración D) concentración de extracto en rotavapor E) secado y guardado de los extractos.

La extracción secuencial de bitumen con disolventes de alta pureza (HPLC) se llevó a cabo mediante reflujo continuo termoregulado (Fig. 5B), el cual consiste en conectar los matraces Florencia a un sistema de refrigerantes rectos por los que se hace circular un líquido refrigerante (etilen-glicol) a baja temperatura ( $-4^{\circ}\text{C}$ ). Los matraces colocados en mantillas de calentamiento termoreguladas a la temperatura del disolvente para que se produzca un reflujo continuo por 50 horas para cada uno de ellos, incluidos filtrados a gravedad (Fig. 5C). Posteriormente, se procede a concentrar los extractos mediante un rotavapor con la temperatura adaptada a cada disolvente (Fig. 5D). Estos fueron guardados en un vial previamente pesado y etiquetado para dejar secar en la

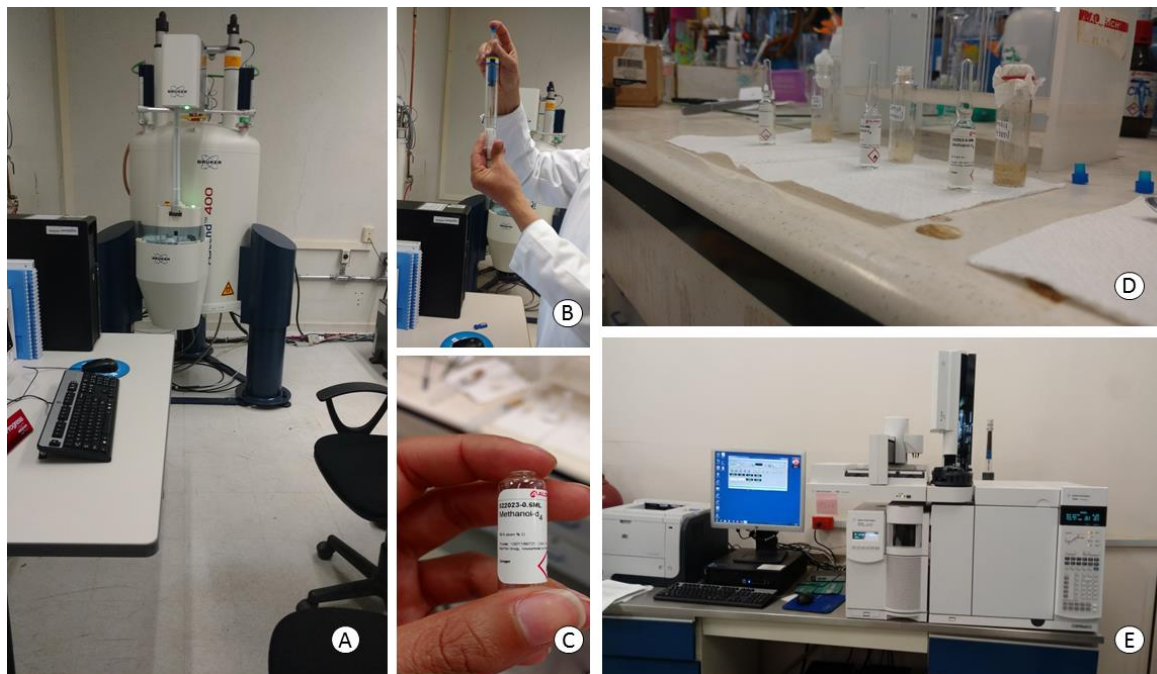
## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

oscuridad y a temperatura ambiente para eliminar el exceso de disolvente y obtener entonces el peso real de la fracción soluble de la MOS (bitumen) (Fig. 5E), (Flores *et al.*, 2011). Los extractos obtenidos por cada una de las submuestras en cada disolvente, se analizaron utilizando Espectrometría de Resonancia Magnética Nuclear de  $^1\text{H}$  (RMN  $^1\text{H}$ ) de la marca *Bruker*, modelo *Ascend*<sup>TM</sup> de 400 Mhz, del Área Académica de Química de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (Fig. 6A).

Respecto a la RMN  $^1\text{H}$  Los extractos fueron disueltos en cloroformo deuterado para los extractos obtenidos en hexano, diclorometano, acetato de etilo, y el extracto correspondiente a la parte del núcleo en metanol; las demás fracciones de metanol se hicieron con metanol deuterado (todo a uno, corteza, parte media) (Fig. 6C). En el equipo de RMN  $^1\text{H}$  los extractos fueron sometidos a 64 iteraciones las cuales se realizaron en 4 min.

Posteriormente con el programa *MestReNova* se visualizaron los respectivos espectros de cada muestra con cada disolvente, aquí se usó un TMS (referencia) de 7.260 para los extractos pasados en cloroformo-d y 4.87 para metanol-d<sub>4</sub>, se hicieron las ampliaciones que se consideraron pertinentes para observar los compuestos de interés.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**



**Fig. 6** A) RMN Bruker Ascend™ de 400 Mhz (RMN) B) porta muestras para RMN<sup>1</sup> C) Ampolleta de Metanol d<sub>4</sub> D) disolución de muestras en metanol E) cromatógrafo de gases - masa *Agilent Technologies 7890*.

La composición química de los extractos se determinó por medio de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-Ms) en un equipo *Agilent Technologies 7890*, acoplado a un espectrómetro de masas de cuadrupolo simple Agilent 5975C que cuenta con una fuente de ionización de impacto electrónico a 70eV. El equipo CG-Ms utilizado pertenece al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUS) de la Universidad de Sonora (Fig. 6E).

Para tal fin se utilizó una columna capilar HP-5MS UI de 30 metros de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0.25µm de espesor de película, usando helio



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

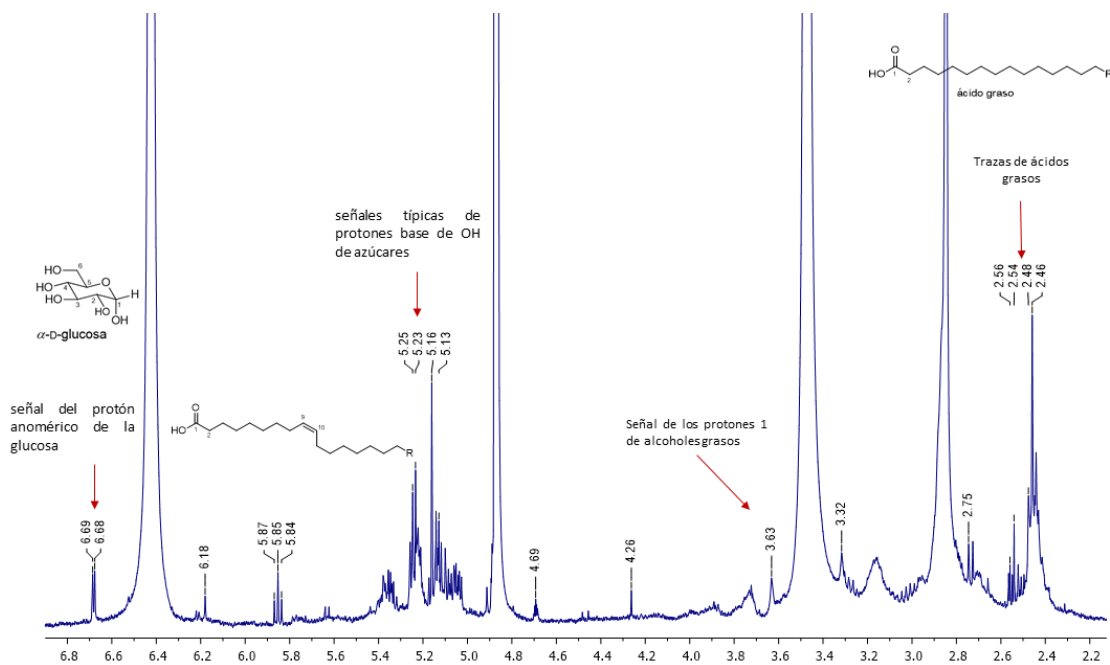
como gas acarreador con un flujo de 1mL/min. El modo de inyección fue en modo *Split* en una relación de 100:1. El volumen de inyección fue de 1µL y el extracto de bitumen a analizar se diluyó en una proporción 1:10 con metanol grado HPLC  $\geq 99.9\%$ . El software de adquisición de datos fue el MSD *ChemStation* E.02.02.1431 y el programa 5975TAD. Las temperaturas de la interface y de la fuente fueron 150°C y 200°C respectivamente. El programa de temperatura inició a 50°C por 5 minutos, seguidos de una rampa de calentamiento a razón de 8°C/min hasta 300°C, manteniendo esta temperatura por 5 minutos, el tiempo total de corrida fue de 41.25 minutos. La adquisición de los datos se llevó a cabo en modo *scan* en un rango de masas de 40-450 m/z. Los cromatogramas obtenidos fueron procesados mediante el software *HPCHEM* utilizando la base de datos Wiley168.

### 6. RESULTADOS

#### RMN $^1\text{H}$ (Resonancia Magnética Nuclear $^1\text{H}$ )

El espectro de RMN  $^1\text{H}$  permitió la identificación de grupos funcionales entre los que figuran principalmente alcanos alifáticos, ácidos grasos, bases de alcoholes y carbohidratos con la posibilidad de que uno de ellos corresponda a la  $\alpha$ -D-glucosa debido a la presencia de un protón anomérico característico (Fig. 7).

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

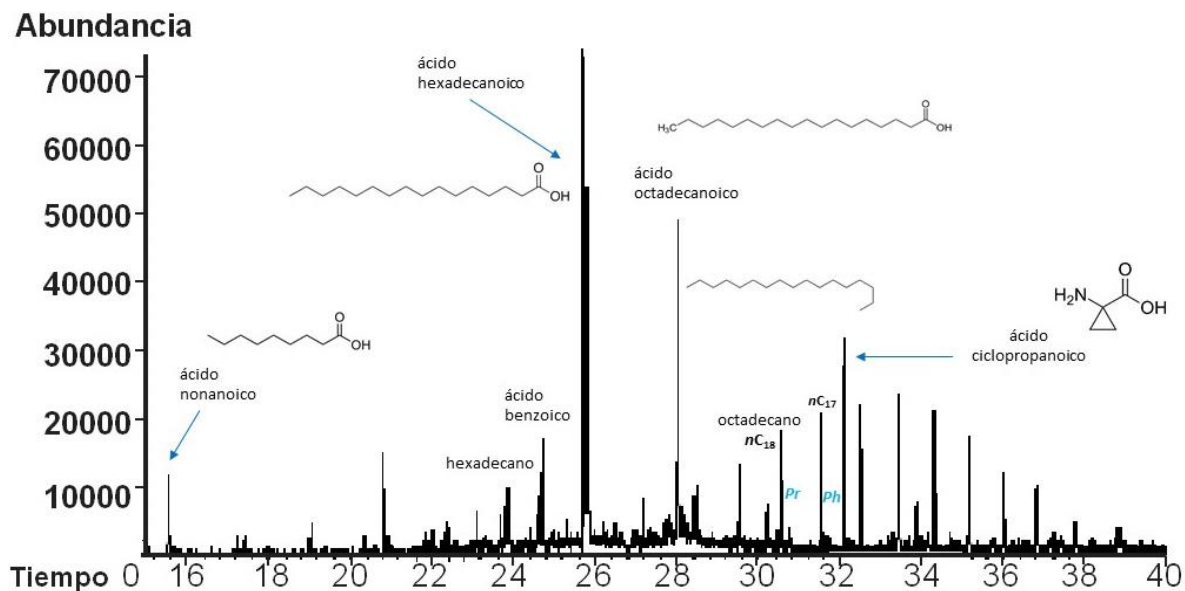


**Fig. 7** Ampliación de Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400-MHz) en Metanol  $\text{d}_4$  del extracto metanólico de la muestra “Parte Media”.

**CG-Ms (Cromatografía de Gases Masa)**



**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**



**Fig. 8.** Cromatograma de gases – masa de la muestra “Parte Media”, obtenido con Acetato de Etilo ( $m/z = 53$ )

La cromatografía de gases – masa reveló una mezcla compleja de compuestos orgánicos presentes en las muestras de la madera fósil motivo de estudio que en general correspondieron principalmente con alcanos lineales y ramificados, isoprenoides acíclicos, ácidos grasos, esteroides, bases de alcoholes y azúcares, además de compuestos azufrados como se puede observar en el cromatograma de gases-masa correspondiente al extracto obtenido con acetato de etilo de la submuestra “Parte Media” (Fig. 8) y cuyos compuestos se detallan en la siguiente tabla (Tabla 1).

**Tabla 1.** Principales compuestos orgánicos traza identificados en las muestras de la madera del género fósil *Agathoxylon* mediante CG-MS.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

CG-Ms Acetato de Etilo (m/z, abundancia, tiempo de retención)				Paleoambiente (pl) Agathoxylon (agx)	
Compuesto	CORTEZA	PARTE MEDIA	NUCLEO	TODO A UNO	
<i>Anilinio fenil tiazol</i>		313, 300, 16:17		191, 2100, 22:04	pl
<i>Ácido nonanoico</i>	57, 6000, 15:53	57, 12000, 15:54	57, 2500, 15:52	57, 10000, 15:54	ag x
<i>Ácido dodecanoico</i>	57,4500 15:53	73, 8000, 29:52		85, 8000, 20:32	ag x
<i>Ácido decanoico</i>	215,2000, 17:21			73, 8000, 17:22	ag x
<i>Heptadecano</i>	57, 6000, 20:92	215, 300, 27:75			pl
<i>Pipericalosina</i>		191, 1550, 22:44		191, 1000, 22:44	ag x
<i>Ácido tetradecanoico</i>		73, 10000, 23:12		250, 4000, 23:11	ag x
<i>Ácido hexadecanico</i>	57, 40000, 25:70	57, 70000, 25:70	57,10400,25:6 9	73, 6500, 25:69	ag x
<i>Chamazuleno</i>		313,400, 26:12		313, 320, 26:12	ag x
<i>Clivorina</i>		215, 380, 27:19		370, 2000, 21:61	pl
<i>Octadecano</i>	57, 6300, 23:67	57, 20000, 31:54	85, 7000, 28:45	85, 2000, 27:16	pl

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

<b>Azufre mol (S8)</b>	191, 3000, 26:83	191, 1000, 26:83			<b>pl</b>
<b>Ácido octadecanoico</b>	73, 26000, 28:03	85, 24000, 28:45			<b>ag x</b>
<b>21-nor -5(H) alfa-24-colesteno</b>		85, 6100, 28:46,			<b>pl</b>
<b>Ácido para-metoxicinámico</b>		85, 3000, 28:16			<b>ag x</b>
<b>9-Octil eicosano</b>		73, 8000, 29:52			<b>pl</b>
<b>Ácido ciclopropanoico</b>		57, 32000, 32:07		191, 2100, 22:04	<b>pl</b>

### 7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con respecto a las condiciones paleoambientales prevalecientes en la cuenca de depósito donde se preservó el ejemplar de madera del género fósil *Agathoxylon*, podemos inferir las siguientes consideraciones al interpretar los compuestos orgánicos recuperados que forman parte del bitumen:

- Anilino fenil tiazol: digestión y absorción de hifas (Zi *et al.*, 2016).
- Clivorina: Presente en *Ligularia dentata* de clima cálido y húmedo. (Fu *et al.*, 2002)
- 9-Octileicosano: producido cianobacteria *Microcoleus vaginatus* (Dembitsky *et al.*, 2001)
- Heptadecano:  $nC_{17}$  producido por cianobacterias y algas pelágicas (Blumer *et al.*, 1971), y en gran abundancia en suelos de coníferas (Li, 1978).

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- **Octadecano:**  $nC_{18}$  presente en zooplancton de ambiente acuático pelágico (Giger y Schaffner, 1971)
- **Azufre mol (S8):** indicador de anoxia y presente en zonas pantanosas, deltaicas y/o estuarios (Roden y Tuttle, 1972)
- **21-nor-5-alfa-24-colesteno:** aromatización rápida de triterpenoides en ambientes sedimentarios, por precursores como el lupeol. (Wyllie and Djerassi, 1968).

Los compuestos orgánicos referidos a la madera fósil aquí identificados y que la bibliografía consultada reporta para plantas actuales se enlistan a continuación:

- **Ácido ciclopropanoico:** presente en forma de triglicéridos en semillas de frutas tropicales (Gaydou et al., 1993)
- **Chamazuleno:** característica de las Araucarias, producto de la degradación de una lactona sesquiterpénica pro azulénica (Lu *et al.*, 2013)
- **Ácido dodecanoico (ácido laúrico):** se encuentra en el aceite de semillas de palma, este ácido graso ha sido reportado para suelos de coníferas con abundancia relativa de 5% (Li, 1978).
- **Ácido hexadecanoico (ácido palmítico):** los [aceites vegetales](#) como el [aceite de coco](#) y el [aceite de palma](#), es un ácido graso común en plantas y animales, constituye el principal compuesto para la elaboración de sustancias de reserva en forma de tejido adiposo. (Jalal y Read, 1983), ha sido identificado en poca abundancia en suelos de coníferas (Li, 1978)

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- **Ácido para-metoxicinámico:** encontrado en hojas de la palmera *Copernicia prunifera* de clima tropical. (Buana C. *et al.*, 2015).
  - **Ácido nonanoico** (ácido pelargónico): se encuentra de forma natural en el aceite de coco (aprox. 10 %) y aceite de almendra de palma (aprox. 4 %) (Gaydou *et al.*, 1993).
  - **Ácido octadecanoico** (ácido oleico): típico de aceites vegetales como el aceite de oliva, cártamo, aguacate y suelos de coníferas (Li, 1978)
  - **Pipericalosina:** presente en coníferas y otras gimnospermas, producida por sus reacciones metabólicas. (Cristiane, 2013)
  - **Ácido tetradecanoico** (ácido mirístico): actúa como una grasa de soporte en las biomembranas (Muthusamy *et al.*, 2015). Este ácido graso ha sido descrito en suelos de coníferas (Li, 1978)
- 
- Este trabajo permitió detallar la geología del afloramiento donde se encuentra el ejemplar de madera fósil definiendo los sedimentos en los que yace, como lo son areniscas conglomeráticas de facies de playa y una cubierta parcial, hacia la parte media por conglomerados polimícticos fluvio-deltaicos.
  - El sistema a reflujo continuo termoregulado de 50 horas permitió obtener extractos de bitumen para cada una de las fracciones y para la muestra "Todo a Uno" en distintos disolventes de menor a mayor polaridad.
  - La RMN <sup>1</sup>H reveló la existencia de alcanos alifáticos como compuestos mayoritarios y a nivel traza carbohidratos, entre ellos la glucosa, descartando la presencia de estos en el disolvente empleado.
  - Por su parte, la CG-MS nos brindó la siguiente información:
    - a. Se pudo corroborar la información Sistemática Paleobotánica ya que se observaron compuestos pertenecientes a coníferas.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- b. También nos habla de condiciones de deposición prevalecientes, tales como: anoxia, señales de organismos pelágicos, y de putrefacción que apoyan la idea de una fosilización (diagénesis) en el delta.
- c. Se hicieron evidentes compuestos que permiten una reconstrucción hipotética de un ambiente de clima cálido-húmedo según los compuestos documentados de especies florísticas actuales.

Esto es congruente con la presencia de un mar epicontinental a lo largo de la costa (Western Interior Seaway - Mar Interior del Oeste) que dividía a América del Norte en la frontera Coahuila-Tamaulipas/ Nuevo México-Texas-Luisiana en el noreste de México y hasta el Océano Ártico (Robinson y Kirschbaum, 1995).

La descripción a detalle de estos nuevos registros apoya la hipótesis de un posible vínculo florístico y paleoambiental del norte de México y centro-sur de EUA durante el Cretácico Superior.

### **AGRADECIMIENTOS**

De manera general a CONACYT por ser promotor del desarrollo de la ciencia y desarrollo de país.

- Al proyecto CONACYT 240241 de Ciencia Básica denominado: "Sistemática, ecología y climatología de las primeras selvas tropicales y subtropicales cretácicas del norte de México y centro-sur de E.U.A." del cual este proyecto contó con financiamiento y beca para tesis de licenciatura.



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- A la Red Temática CONACYT (GAREME) que apoyó económicamente mi participación en este congreso.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blumer, M., Guillard, R., and Chase, T. 1971. Hydrocarbons of marine phytoplankton, *Mar. Biol.*, vol. 8, p. 619-630.
- Cristiane N. 2013. Actividad anestésica local de extractos, fracciones y compuestos puros de las raíces de *Ottonia anisum* Spreng. (Piperáceas), p. 114-145.
- Dembitsky, V., Dor, I., Shkrob I., M. Aki. 2001. Branched Alkanes and Other Apolar Compounds Produced by the Cyanobacterium *Microcoleus vaginatus* from the Negev Desert, vol. 27, p. 110-119.
- Estrada, E., Martínez, H.I., Callejas, J., and Upchurch, G.R. 2013. Flores tropicales Cretácicas de Norte de México y su relación con floras del Centro Sur de América del Norte, *Polibotánica*, vol. 36, p. 41-61.
- Fernández, S.R. 2000. Temas de Tafonomía. Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, p. 167.
- Flores, K., Montaña, S., González, Y., Estrada, E., Esquivel, C., Torres, J. M., Carrillo, E., Derma, J., Angeles, 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 (MEXICO), *Actas INAGEQ*, vol. 17, n. 1, p. 49-53.
- Fu, P.P., Yang, Y.C., Xia, Q., Chou, M.C., Cui, Y.Y., Lin G. 2002. Pyrrolizidine alkaloids-tumorigenic components in Chinese herbal medicines and dietary supplements, *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 10, p. 198-211.
- García, I.P., Estrada, E., Martínez, H. I. 2016. Maderas Fósiles de la Formación San Carlos (Cretácico Superior), Chihuahua México. *Botanical Sciences*, vol. 94, n. 2, p. 269-280.
- Gaydou, E. M., Ralaimanarivo, A., Bianchini, J. P. 1993. Cyclopropanoic Fatty-Acids of Litchi (*Litchi-Chinensis*) Seed Oil - a Reinvestigation. *J. Agr. Food Chem.*, vol. 41, p. 886-890.
- Giger, W. and Schaffner, C. 1977. Aliphatic, olefinic and aromatic hydrocarbons in Recent sediments of a highly eutrophic lake, *Org. Geochemistry*, p. 375-390.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- Hudson, P. J. 2006. Taxonomic and paleoclimatic significance of late Cretaceous wood from The San Juan Basin, New Mexico. University of Nebraska, p. 82.
- Jalal, M. A. y Read, D. J. 1983. The organic acid composition of Calluna heathland soil with special reference to phyto- and fungitoxicity, Plant and soil, vol. 70, p. 257-272.
- Li, C. 1978. Soil fatty acids under alder, conifer, and mixed alder-conifer stands of Coastal Oregon, Soil Science, vol. 125, p. 92-95.
- Lu, Y., Hautevelles Y., Michels R. 2013. Determination of the molecular signature of fossil conifers, Biogeosciences, vol. 10, p. 1943-1962.
- Muthusamy, K., Gopal, V. Velavan, S. 2015. GC-MS analysis of bioactive components of Karisalai karpa chooranam - a siddha poly herbal formulation, International Journal of Phytopharmacology, vol. 6, n. 3, p. 131-136.
- 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. 363.
- Philippe, M. y Bamford M.K. 2008. A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods. Review of Paleobotany and Palynology, vol. 148, p. 184-207.
- Robinson, L.N. y M.A. Kirschbaum. 1995. Paleogeography of the Late Cretaceous of the Western Interior of Middle North America-Coal Distribution and Sediment Accumulation, U. S. Geological Survey Professional, p.111.
- Roden, E. y Tuttle, Jon. 1992. Sulfide release from estuarine sediments underlying anoxic bottom water, Limnology and Oceanography, vol. 37, p. 725-738.
- Schopf, J.M. 1975. Modes of fossil preservation. Review of Palaeobotany and Palynology, vol. 20, p. 27-53.
- Weber, R. 1978. Some aspects of the Upper Cretaceous angiosperm flora of Coahuila, Mexico. Courier Forschungs-Institut Senckenberg, vol. 30, p. 38-46.
- Wyllie, S.G. and Djerassi, C. 1968. Mass spectrometry in structural and stereochemical problems. Mass spectrometric fragmentations typical of sterols with unsaturated side chains. J. Org. Chem, vol. 33, p. 305-313.
- Zi, C., Ya, L., De H., Hao, T., Jia J. 2016. Synthesis and fungicidal activity of novel 2,5-disubstituted-1,3,4- thiadiazole derivatives containing 5-phenyl-2-furan, vol. 6.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

**“IMPLICACIONES GEOQUÍMICAS DE LA TRANSFORMACIÓN  
DE VEGETACIÓN TRIÁSICA A CARBÓN ANTRACÍTICO EN EL  
DISTRITO MINERO DE SAN JAVIER – TECORIPA, SONORA”**

**Kinardo Flores-Castro<sup>1\*</sup>, Rogelio Monreal-Saavedra<sup>2</sup>, Jesús Martín Torres-  
Valencia<sup>3</sup>  
Jorge Alberto Santiago-Bautista<sup>1</sup>, María Magdalena Ortega-Nieblas<sup>4</sup>, José  
Luis Muñoz-García<sup>5</sup>,  
Aurora Rodríguez-Monreal<sup>5,6</sup>, Noé Piedad-Sánchez<sup>7</sup>**

Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales, Laboratorio de  
Geoquímica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. CP. 42184. Mineral  
de la Reforma, Hidalgo.

Departamento de Geología, Universidad de Sonora. CP. 83000. Hermosillo,  
Sonora.

Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del Estado de  
Hidalgo. CP. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo.

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas [DICTUS].  
Universidad de Sonora.

CP. 83000. Hermosillo, Sonora.

Industrial Minera México, S.A. de C.V. [Grupo México]. Laboratorio de Carbón,  
Planta Nueva Rosita. CP. 26880. Nueva Rosita, Coahuila.

Universidad Autónoma de Coahuila, CP. 25280. Saltillo, Coahuila.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Academia de Geociencias en Investigación, Tecnología e Innovación Aplicada  
A.C., AGITIA.

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

### 1. RESUMEN

Este trabajo intenta dilucidar algunos mecanismos de reacción y sus productos diagenéticos y catagenéticos involucrados en el proceso de transformación de plantas fósiles triásicas (Cárnico) en mantos de carbón en grado antracítico y meta-antracítico, pertenecientes a la Formación Santa Clara (Grupo Barranca), compuesta principalmente por limolita, lutita, arenisca, conglomerado, lutita carbonosa y capas de carbón depositadas en una cuenca transicional anóxica que actualmente conforma el Distrito Minero de carbón de San Javier – Tecoripa, en el estado de Sonora. Las muestras seleccionadas para geoquímica orgánica se colectaron directamente en los mantos de carbón de la región y en una limolita gris claro que alterna con lutita negra, finamente laminada que contiene abundantes restos de helechos, cícadas y ocasionales fragmentos de madera en la mina *El Camino*, a las cuales se les aplicaron métodos analíticos de separación para concentrar las fracciones solubles (bitumen), para posteriormente ser caracterizadas por CG-Ms y RMN-<sup>1</sup>H. Los resultados en la muestra que contiene plantas fósiles revela la presencia de alcanos alifáticos, cíclicos y ramificados, isoprenoides acíclicos (pristano y fitano), ácidos grasos de cadena larga, bases de alcoholes, cetonas y aminas, además de la presencia de compuestos esteroideos. Para las muestras correspondientes a mantos de carbón sobresalen los grupos benceno que

428

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

conforman HAP's representados por fenantreno ligado a ácidos grasos, alcanos ramificados y cíclicos, isoprenoides acíclicos (Pristano, Fitano y Escualeno), alcoholes entre otros a nivel traza.

*Palabras clave: geoquímica orgánica, transformación diagenética de plantas, carbonificación, antracita, Sonora.*

### 2. ABSTRACT

This work tries to elucidate some reaction mechanisms and their diagenetic and catagenetic products involved in the transformation process of fossil Triassic plants (Carnian) in carbon mantles in anthracite grade, belonging to the Santa Clara Formation (Barranca Group), composed mainly of siltstone, shale, sandstone, conglomerate, coal shale and coal layers deposited in an anoxic transitional basin that currently forms the coal mining district of San Javier - Tecoripa, in the state of Sonora. The samples selected for organic geochemistry were collected directly in the coal beds of the region and in a light gray siltstone that alternates with black, finely laminated shale containing abundant traces of ferns, cycads and occasional fragments of wood in the *El Camino* mine to which analytical methods of separation were applied to concentrate the soluble fractions (bitumen), to later be characterized by CG-MS and RMN-<sup>1</sup>H. The results in the sample containing fossil plants reveals the presence of aliphatic, cyclic and branched alkanes, acyclic isoprenoids (pristane and phytane), long chain fatty acids, alcohol bases and ketones, amines as well as steroid compounds. For the samples corresponding to carbon mantles, the benzene groups that make up HAPs are represented by phenanthrene linked to fatty acids, branched and cyclic alkanes, acyclic isoprenoids (pristane, phytane and squalene), and alcohols among others at the trace level.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

*Key words: Organic Geochemistry, diagenetic transformation of plants, coalification, anthracite, Sonora.*

### 3. INTRODUCCIÓN

La preservación de la materia orgánica en ambientes sedimentarios es un fenómeno por demás fortuito que está condicionado por distintos parámetros como lo son el bajo nivel de oxigenación de la cuenca, elevada tasa de sedimentación, importante aporte de material orgánico, rápido sepultamiento, temperatura y presión adecuadas, presencia de bacterias especializadas, salinidad,  $pH-Eh$  y el tiempo. Es por ello que en la mayor parte de los sedimentos y rocas el contenido de materia orgánica es bajo ( $\leq 1\%$ ), salvo en aquellos que reúnen éstas características y donde su porcentaje puede incrementarse muy por encima del 1%, caso particular de los estuarios, pantanos, lagunas costeras, deltas, turberas, algunos escenarios marinos y continentales. En estos sitios, como en los demás, los clásticos de las rocas precursoras, los precipitados químicos y el material orgánico particulado, principalmente de origen vegetal, son sometidos a procesos diagenéticos propios de la cuenca y la actividad tectónica de la región, lo que origina importantes transformaciones fisicoquímicas, tanto inorgánicas como orgánicas que coadyuvan con los procesos de litificación, carbonificación y final transformación de la materia orgánica.

Es importante señalar que la mayoría de los componentes que estructuran a las plantas y otros que las acompañan (cutículas, resinas, hongos, algas), se descomponen durante los procesos diagenéticos y catagenéticos y los que resisten, frecuentemente representan sólo una pequeña parte de la masa total original (Hatcher y Clifford, 1997), por lo que la composición bioquímica en

430



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

conjunción con los parámetros favorecedores para su preservación, genera nuevos subproductos que en la mayoría de los casos corresponden a recursos geoenergéticos que demanda la sociedad y que son motor de desarrollo: el gas, petróleo y carbón.

Es importante determinar la composición química de la materia orgánica preservada en las rocas generadoras de hidrocarburos y para el caso concreto del carbón, la distribución de *n*-alcanos, isoprenoides acíclicos (pristano y fitano), diterpenoides, esteroides y esteroides triaromáticos es indicativa de la acumulación y transformación de materia orgánica derivada principalmente de plantas vasculares de origen continental (Versteegh y Riboulleau, 2010). La transformación diagenética de éstos componentes biológicos produce principalmente hidrocarburos de bajo, medio y alto peso molecular en relación al tipo de organismo que habitó la cuenca; así como otros grupos funcionales, entre ellos, los aromáticos y aromáticos policíclicos (HAP's), que se forman sensiblemente a incrementos de temperatura y presión como geotermobarómetros. Éstos pueden ser utilizados como una herramienta complementaria de diagnóstico y más precisa, para la interpretación de la cuenca carbonífera y su termodinámica (Flores-Castro *et al.*, 2017), por lo que el grado y cambios en la aromaticidad pueden ser determinados mediante la técnica de Resonancia Magnética Nuclear (RMN), en relación a las diferencias de medida que se realizan por técnicas petrográficas, de ésta manera los resultados pueden correlacionarse con los valores que arroja la *Reflectancia de la Vitrinita*, así como también con los de *Índice de Hidrógeno* (IH) y con el contenido de *Radicales Orgánicos Libres* (Bandara *et al.*, 2005).

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### 4. ÁREA DE TRABAJO

El área de estudio se localiza en la parte centro-oriental del estado de Sonora formando parte del Distrito Minero de Carbón de San Javier y Tecoripa, donde se visitaron las minas El Camino, El Rosario y Suaqueña en las cuales se colectaron muestras representativas de los horizontes fosilíferos y de los mantos de carbón antracítico y meta-antracítico respectivamente.

### 5. MÉTODOS ANALÍTICOS Y MATERIALES

Muestreo y preparación de muestras para Geoquímica Orgánica.

Las muestras se tomaron *in-situ* en cada uno de los afloramientos descritos cuidando en todo momento su manipulación para evitar su contaminación, no rotulando sobre ellas. Las muestras de aproximadamente un kilogramo de peso se envolvieron perfectamente con papel aluminio, para posteriormente ser introducidas en bolsas de polietileno debidamente identificadas. En cada afloramiento se tomaron las coordenadas y se registraron datos petrológicos y estratigráficos.

Método de extracción de bitumen y caracterización química de los extractos de bitumen resultantes por RMN  $^1\text{H}$  y CG-Ms

El método utilizado para concentrar el extracto de bitumen consiste en someter secuencialmente las muestras a reflujo continuo termoregulado por 50 horas utilizando disolventes grado HPLC que cubren ampliamente la polaridad de grupos funcionales, iniciando con diclorometano, seguido de acetato de etilo y finalmente por metanol. El reflujo y circulación que permite una óptima condensación se mantiene a la temperatura de ebullición de cada uno de los

432

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

disolventes con etapas alternantes de filtrado a gravedad. Cada submuestra obtenida es concentrada mediante un rotavapor. Finalmente se registra el peso del extracto restando el peso del vial previamente pesado para llevar un control entre el peso total de muestra (100 g) sometida a proceso y el peso del extracto de bitumen obtenido, se calcula entonces el porcentaje del mismo en peso seco. Se almacenan los extractos en ausencia de luz, para posteriormente ser caracterizados por CG-Ms y RMN-<sup>1</sup>H, técnicas analíticas que revelan la composición química del bitumen extraído.

### RESULTADOS

Principales compuestos orgánicos identificados en las muestras:  
 Cícadas/Helechos, mina El Rosario (antracita) y Suaqueña (meta-antracita)  
 mediante CG-Ms

Muestra Cícadas / Helechos. Acetato de etilo. m/z = 57, 73, 85

ID. Compuesto	TR	Abundancia
Ácido 2,2 dimetil-propanoico	17:20	3000
2-Pirrolidinona	17:46	20000
1-dodecanol	19:01	10000
Ciclododecano	19:02	40000
Pregn-9(11)-en-20-one,3,6-bis(acetil-oxi)-(3beta,5alfa,6,alfa,17alfa).	19:42	17000
2(3H)-Furanona, heptilduhidro	5- 20:60	90000
Heptadecano	22:33	80000
2,6,10,14-tetrametil-pentadecano (Pristano)	22:41	16000
Octadecano	23:67	66000

433

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

2,6,10,14-tetrametil-hexadecano (Fitano)		16000
Ácido benzoico	23:85	20000
2-hidroxi-ciclopentadecanona	24:28	6000
1-pentadecanol	24:70	18000
1-octadecanol	24:70	27000
1-Hexadeceno	24:71	80000
Ácido hexadecanoico (palmítico)	25:68	10000
Ciclohexadecano	27:71	25000
Nonadecano	24:95	25000
Eicosano	26:17	11000

Muestra mina El Rosario. Acetato de etilo. m/z = 57, 69, 73, 85, 239.

ID. Compuesto	TR	Abundancia
Ácido nonanoico (pelargónico)	15:53	10000
Hexadecano	20:91	200000
2,6,10,15,19,23-hexametil-tetracosano-2,6,10,14,18,22-hexaeno (Sq- Escualeno)	21:62	25000
Heptadecano	22:33	90000
2,6,10,14-tetrametil-pentadecano (Pristano)	22:42	130000
2,2,5,5-tetrametil-hexano	22:55	130000
Hexadecano	23:29	30000
Octadecano	23:67	40000
2,6,10,14-tetrametil-hexadecano (Fitano)	23:80	55000
Ácido hexadecanoico (palmítico)	25:69	25000
1-hexadecanol (alcohol)	27:15	100000

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

<b>palmítico)</b>		
Ácido carboxílico 1-Fenantreno	30:15	18000
9-octadecemida	30:20	60000
Ácido hexadecanoico	31:66	40000
<b>(palmítico)</b>		
Ácido 9-octadecenoico (oleico)	33:39	50000

Muestra mina Suaqueña (meta-antracita). Acetato de etilo. m/z =57, 69, 85, 239.

ID. Compuesto	TR	Abundancia
Clivorine	22:34	6000
Acetato (1R,6S,7S,11Z)-6,7,14-Trimethyl-3,8,17-trioxo-4-vinyl-2,9-dioxa-14-azabicyclo[9.5.1]heptadeca-4,11-dien-7-yl		
Ácido tetradecanoico	25:67	5000
<b>(mirístico)</b>		
Ciclohexadecano	27:15	4000
5-Tetradeciloxolan-2-ona	27:70	6000
<b>(12-estearolactona)</b>		
Ácido hexadecanoico	31:66	35000
<b>(palmítico)</b>		
Ácido 9-octadecenoico (oleico)	33:39	37000

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- Las técnicas analíticas de CG-MS en combinación con la RMN <sup>1</sup>H aplicadas a los extractos de bitumen de las muestras Cícadras/Helechos, mina El Rosario (antracita) y mina Suaqueña (meta-antracita),

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

permitieron realizar diversas inferencias relacionadas con el proceso de transformación de la materia orgánica preservada en la cuenca de este distrito minero de carbón y que tiene que ver directamente con el grado de alteración térmica a la que es sometida cada zona en particular y que es controlada por varios factores: a) nivel de sepultamiento – carga litostática, b) deformación de la cuenca c) intrusiones ígneas, como lo evidencia la geología local detallada por González-León, 2011.

- Se observan cambios significativos en cuanto a la pérdida de carbonos alifáticos unidos a oxígenos que representan celulosa y otros carbohidratos al incrementarse la temperatura y presión, lo que trae consigo un aumento de carbonos pero ahora ligados a anillos aromáticos de la lignina separados de los alifáticos procedentes de los restos orgánicos más resistentes, como las resinas y ceras, (Saiz-Jimenez *et al.*, 1987; Straka *et al.*, 1999).
- Es de denotar que el proceso de biodegradación en este caso origina la pérdida de la mayor parte del biopolímero que conforma el tejido leñoso; sin embargo, son aún visibles los rasgos taxonómicos y morfologías de las plantas y maderas (Hatcher y Clifford, 1997), a pesar de la alta temperatura a la que arribaron: antracita >350–450 °C y para meta-antracita >450–600°C. La condensación de estructuras aromáticas y pérdida de H y O en este estadio es casi completa e inicia entonces el proceso de grafitización, que se identifica por su lustre metálico.

### AGRADECIMIENTOS

- A la Red Temática CONACYT GAREME por el apoyo económico para mi participación en este congreso.



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bandara, T.S., Kamali Kannangara, G.S., Wilson, M.A., 2005. The study of Australian solid-state NMR aromaticities and organic free-radical count. *Energy & Fuels*. v. 19, p. 954-959.
- Claus, F.K. Diessel., 1992. Coal bearing depositional systems. Springer-Verlag. 720p.
- 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 (MEXICO). *Actas INAGEQ*, v. 17, n. 1, p. 49-53.
- Flores-Castro, K., Muñoz-García, J.L., Rodríguez-Monreal, A., Torres-Valencia, J.M., Monreal-Saavedra, R., Ramírez-Cardona, M., Piedad-Sánchez, N., 2017. Importancia del grado de aromaticidad en la determinación de madurez del carbón como herramienta geoquímica diagnóstica. *Actas INAGEQ*, v. 23, n. 1, p. 62-64.
- González León, C.M., Lawton, T.F., y Weber, Reinhard., 2011. Estratigrafía del Triásico y el Jurásico Inferior de Sonora, México, in Calmus, Thierry, ed., *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 3, p. 57–80, 5 figs.
- Hatcher, P.G. y Clifford, D.J., 1997. The organic geochemistry of coal: from plant materials to coal. *Organic Geochemistry*, v. 27, n. 5-6. p. 251-274.
- Saiz-Jimenez C., Boon J.J., Hedges J.I., Hessels J.K.C., and de Leeuw J.W., 1987. Chemical characterization of recent and buried woods by

437

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- analytical pyrolysis: comparison of Coal Formation and Geochemistry pyrolysis data with  $^{13}\text{C}$  NMR and wet chemical data. *J. Analyt. Appl. Pyrol.* V. 11, p. 437–450.
- Straka P., Buchtele J., and Nahunkova J. 1999. Chemical structure of maceral fractions of coal. *Acta Montana. Serie B: Fuel, Carbon, Mineral Processing.* 9, 112, p. 47–53.
  - Suárez-Ruiz, I. and Crelling, J.C. 2008. *Applied Coal Petrology: The Role of Petrology in Coal Utilization.* Elsevier – Academic Press. ISBN: 978-0-045051-3. 395 p.
  - Versteegh, G.J.M and Ribolleau, A., 2010. An Organic Geochemical Perspective on Terrestrialization. *In: The Terrestrialization Process: Modelling Complex Interactions at the Biosphere–Geosphere Interface.* Vecoli, M., Clément, G., and Meyer-Berthaud. The Geological Society London, Special Publication 339. p. 11-36.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

**LA RED TEMÁTICA CONACYT GEOGENÓMICA APLICADA EN  
RECURSOS ENERGÉTICOS Y MINERALES ESTRATÉGICOS,  
GAREME, COMO ESTRATEGIA DE DESARROLLO  
GEOCIENTÍFICA EN LA RESOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS  
GEOLÓGICOS**

**Piedad-Sánchez Noé<sup>1,2</sup>, González-Partida Eduardo<sup>3,4</sup>, González-Carrillo Fabiola<sup>1</sup>, Peralta-Salazar Rosario<sup>1</sup>, Navarro Guerrero Alejandro<sup>1,5</sup>, Hernández-Godoy José Antonio<sup>1,5</sup>**

1. Innovación Tecnológica Aplicada a las Geociencias, Academia de Investigación A.C. Calle 13 de abril de 1920 #214, Colonia Carboneras, Municipio Mineral de la Reforma, C.P. 42183, Hidalgo, México. 2. Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas, Ensenada, Baja California, México, C.P. 22860. 3. Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla; Apartado postal 1-742, C.P. 7600, Querétaro, Qro., México. 4. Geología Minería y Consultoría S.A. de C.V., y CENIAPET. Cipreses 104 F. Jurica Querétaro, Qro., México. 5. Petroanálisis Ingeniería S. de R.L. de C.V. Calle Santa Aurora Manzana 141 #904 INT. L 3, Col. La Providencia, Mineral de la Reforma, C.P. 42181, Hidalgo, México.

npiedads@gmail.com

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### **Abstract**

Geogenomics, as an emerging area and in a state of art, has a young history, so there is little diffusion, because it is generally developing in private projects financed by oil companies.

Geogenomics is conceived as an interdisciplinary that leads to the integration of geological and genomic data at the molecular level of geological materials (rocks, minerals, hydrocarbons, fluids, fossils, among others) that contributes to the interpretation and geological reconstruction of complex processes and geological events, whose understanding is an unavoidable tool for the exploitation of the resources of the Mexican subsoil.

The emerging field of geogenomics involves generating, sharing and interpreting geogenomic data on a large scale to promote new geoscientific knowledge, mainly in geothermal - mineral - oil fields, in generating new applications considering the care of water and the environment, and in general, to optimize the geological hypotheses that contribute to the solution of the national geoscientific challenges, with the integration of other geoscientific data, coming from the innovative methodologies of geochemistry, geophysics, petrophysics and geomechanics, used for the sustainable use of mineral and energy resources with respect for the social and environmental surroundings of the country.

Supported by CONACYT, emerges the *Thematic Network, Geogenomic Applied in Energy Resources and Strategic Minerals (Red Temática Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME)*, sustained by the joint collaboration with researchers, students, technologists and entrepreneurs with common interests in the area of Geosciences and their

440

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

applications, in order to promote interdisciplinary collaboration to address issues of national magnitude, from a multidimensional perspective in an articulated manner between national and international actors of academia, government, business and civil society (CONACYT, 2018), especially taking advantage of the current technological advance where it is envisaged that the development of a discipline such as genomics within geology is timely, as a result of significant progress in the acquisition and processing of genomic data relevant geologically.

*Keywords: Geogenomics, molecular analysis, molecular geochemistry, geogenomic traceability*

### **Resumen**

La geogenómica, como área emergente y en estado de arte, tiene una historia joven, por lo que existe escasa difusión, a causa que se encuentra desarrollándose generalmente en proyectos privados financiados por empresas petroleras.

La geogenómica se concibe como una interdisciplina que lleva a la integración de datos geológicos y genómicos a nivel molecular de los materiales geológicos (rocas, minerales, hidrocarburos, fluidos, fósiles, entre otros) que contribuye a la interpretación y reconstrucción geológica de los complejos procesos y eventos geológicos, cuya comprensión es una herramienta insoslayable para el aprovechamiento de los recursos del subsuelo mexicano.

El campo emergente de la geogenómica implica generar, compartir e interpretar datos geogenómicos a gran escala para promover nuevo

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

conocimiento geocientífico primordialmente en yacimientos geotérmicos – minerales - petroleros, en generar nuevas aplicaciones considerando el cuidado al agua y al medio ambiente, y en general, para optimizar las hipótesis geológicas que contribuyan a la solución de los retos geocientíficos nacionales, con la integración de otros datos geocientíficos provenientes de las innovadoras metodologías de geoquímica, geofísica, petrofísica y geomecánica, utilizadas para el aprovechamiento sustentable de los recursos minerales y energéticos con respeto al entorno social y ambiental del territorio nacional.

Con apoyo de CONACYT, aflora la *Red Temática Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME*, apoyada en la colaboración conjunta con investigadores, estudiantes, tecnólogos y empresarios con intereses comunes en el área de Geociencias y sus aplicaciones, a fin de promover la colaboración interdisciplinaria para atender problemas de magnitud nacional desde una perspectiva multidimensional de manera articulada entre actores nacionales e internacionales de la academia, gobierno, empresas y sociedad civil (CONACYT, 2018), especialmente aprovechando el avance tecnológico actual donde se vislumbra que el desarrollo de una disciplina como la genómica dentro de la geología es oportuna, como resultado de importantes avances en la adquisición y procesamiento de datos genómicos relevantes geológicamente (Baker *et al.*, 2014).

*Palabras clave: Geogenómica, análisis molecular, geoquímica molecular, trazabilidad geogenómica*

### **Introducción**



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Las redes avanzadas o Redes Nacionales de Investigación y Educación (*National Research and Education Network, NREN*, por denominación en inglés) y sus comunidades de usuarios, constituyen un medio ambiente propicio para la investigación científica y tecnológica y los procesos de innovación. Diversas tecnologías y servicios se han diseñado y probado en estas redes, para luego masificarse en un proceso de transferencia continuo y creciente (Cabezas y Bravo, 2010).

No sólo en investigación científica el trabajo en redes es importante. Según un estudio reciente del *MIT Sloan School of Management*, las interconexiones y relaciones de las redes científicas y comerciales son importantes para el progreso de ambas. El proceso de invención, desarrollo tecnológico, patentamiento, consultoría y establecimiento de empresas se potencia con la interacción de grupos de expertos en diferentes áreas (De la Peña, 2010).

Los beneficios de estas redes van más allá de los avances científicos y técnicos: los académicos dan confianza a los inversionistas y pueden funcionar como líderes de opinión en círculos industriales (De la Peña, 2010).

La *Red Temática Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME*, es socialmente pertinente ya que en la actualidad nuestro país aún no se ha involucrado formalmente en una iniciativa mexicana similar que puede verse como oportunidad y prioridad de las geociencias y sus aplicaciones (**Figura 1**), donde la trazabilidad geogenómica es importante en estudios avanzados y en estado de arte de yacimientos minerales, yacimientos de hidrocarburos, geotermia, agua, y sus influencias en el medio ambiente, conllevando características como:

- Dinamismo de acciones entre los participantes.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

- Flexibilidad en el funcionamiento.
- Visión de mediano plazo en los proyectos.
- Transversalidad en su relación con agencias financiadoras.
- Planeación estratégica de áreas temáticas.
- Aprovechamiento de recursos y de fuentes de financiamiento.
- Impacto político social.



**Figura 1.** Nivel cognitivo de la *Red Temática Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME.*

**Estudio de las geociencias y sus aplicaciones**

Gran parte del sector nacional industrial, científico y tecnológico, no puede ignorar que en la actualidad el conocimiento se ha colocado como factor central en la producción de la riqueza de los pueblos, así como de su avance y bienestar.

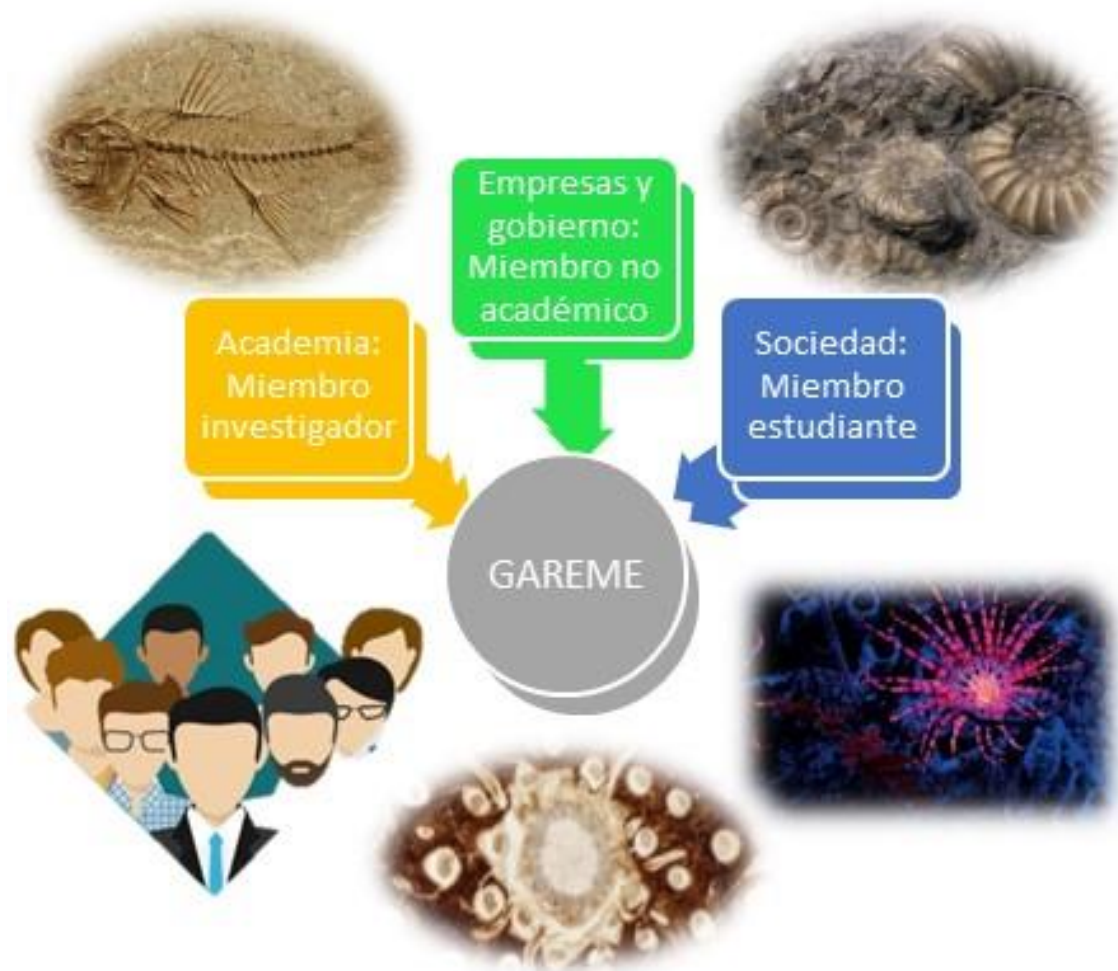
En el caso del aseguramiento energético y del desarrollo de la industria minera y petrolera, México invierte mínimamente en investigación, y lo poco que se

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

hace generalmente está acaparado por las grandes instituciones, dejando de lado el verdadero apoyo al desarrollo regional y desmotivando el fortalecimiento de proveedores de la cadena de valor de los sectores productivos.

La *Red Temática Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME* se concibe como idea y una acción para contribuir a una *Sociedad Mexicana del Conocimiento*, como parte de la construcción social que coadyuve al bienestar regional de los mexicanos (**Figura 2**), donde se tiene a la geogenómica como área emergente y en estado de arte que tiene una historia joven, por lo que existe escasa difusión, debido a que se encuentra desarrollándose en proyectos privados financiados por empresas petroleras como ECOPETROL de Colombia, con el proyecto GeoGenoma, ó el proyecto Huella genética de rocas encabezado por el GeoGenome™ Research Team – University of Oklahoma – Institut Français du Pétrole. Otro ejemplo, es Petroleómica (Sphaltenes, heavy oils, and petroleomics) de la University of Toronto, o el proyecto Petroleomics de Florida State University, con alto financiamiento.

**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**



**Figura 2.** Pertinencia social de la *Red Temática de Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME*.

***Red Temática de Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME***

La *Red Temática de Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME* se alinea a la generación de valor en las

## **XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

actividades de exploración altamente especializadas en yacimientos geotérmicos, minerales y petroleros, y sus aplicaciones ambientales, donde los principales productos son la cuantificación de los recursos prospectivos del país así como la incorporación de reservas, impulsando el desarrollo de las vocaciones y capacidades científicas, tecnológicas y de innovación de los miembros de la red para fortalecer el desarrollo regional sustentable e incluyente.

Las características básicas de la formación de un depósito de minerales o de hidrocarburos, y su impacto al medio ambiente durante el aprovechamiento de estos recursos, dada la complejidad para descubrir nuevos depósitos, estriban en reconocer de manera detallada a nivel microscópico, el tipo de roca, materia orgánica, materia mineral, condiciones de temperatura, presión, concentración, alteraciones térmicas, reacciones en la matriz materia orgánica – minerales - fluidos, microfracturamientos, porosidad, permeabilidad, isotopía, etc., adicional a los requerimientos de obtener interpretaciones cuantitativas que permitan disminuir los riesgos y den seguridad a las inversiones de las compañías involucradas.

Con ello, se ha encontrado que estas características son tan particulares como una impresión digital, lo que hace que técnicos e investigadores del sector del petróleo y gas, se refieran a esto como el ADN de los georecursos, sobretodo cuando están implicadas las bacterias reductoras encontradas en muchos de los distritos mineros y campos petroleros del país.

Los datos de trazabilidad geogenómica son información estratégica para la exploración sobre las cuales se mantienen derechos de sigilo de hasta diez años, y estimulan la generación de bases de datos útiles para los operadores y



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

las autoridades para fomentar las actividades de exploración y producción de recursos minerales y energéticos.

Los datos de trazabilidad geogenómica actual requieren de análisis con creciente grado de complejidad y confiabilidad en los que se involucran equipos de vanguardia para aplicar metodologías innovativas cuyos resultados se integran al final para conocer en detalle rasgos que permiten determinar parámetros geoeconómicos más precisos.

El desarrollo de la trazabilidad geogenómica permite aportar mayor conocimiento en los controles estratigráficos, petrológicos, geofísicos, geoquímicos, petrofísicos, y geomecánicos de las rocas que alojan a los depósitos de interés, apoyados en datos de secuenciación geogenómica de hidrocarburos y microorganismos en yacimientos geotérmicos y minerales, en conjunto con biomarcadores, evolución térmica, microsísmica de ruido, isothermas de adsorción/desorción, isotopía, modelado de los sistemas de microfracturamiento con la correlación de análisis tomográfico de composición, cinética de tamaño y volumen molecular de hidrocarburos, tamaño de garganta de poro, efectos diagenéticos, cronotermometría de arcillas y zircones, ultrapermeabilidad, análisis de generación y propagación de fracturas, presión capilar, etc.

### **Trazabilidad geogenómica en las Geociencias y sus aplicaciones**

La *Red Temática de Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME*, sienta las bases para generar un polo nacional de alto valor de capital intelectual en el área de trazabilidad



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

geogenómica, donde se incluyen metodologías avanzadas y en estado de arte de geoquímica, geofísica, petrofísica y geomecánica para recolectar y producir bases de datos que permiten analizar, identificar, comprender, y simular procesos geológicos complejos que coadyuvan a evaluar con mayor precisión y diseñar el aprovechamiento sustentable de los georecursos nacionales, con respeto al entorno social y ambiental (**Figura 3**).



**Figura 3.** Número especial acerca del desarrollo de la Geogenómica como herramienta para entender la biodiversidad en la Amazonia Brasileña (2016).

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Adicionalmente, se potencia la oportunidad de asimilación y desarrollo tecnológico requerido para enfrentar los retos nacionales relacionados a la trazabilidad geogenómica de los georecursos nacionales, de modo que se pueda contribuir con un inventario más preciso de los recursos geotérmicos, minerales y energéticos nacionales para incrementar reservas, optimizar la transición y cambio hacia las energías limpias, contribuir a la mitigación del cambio climático, apoyar el desarrollo regional, social y económico, donde se encuentran los georecursos, implantar mejores técnicas y metodologías para mitigar los pasivos ambientales, y diseñar la explotación sustentable de los georecursos requeridos para satisfacer la canasta energética nacional.

La *Red Temática de Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME*, permite asegurar la implementación, adaptación e innovación de nuevas prácticas en la aplicación de metodologías que incluyan datos geogenómicos y consolidar una sólida red de laboratorios de geología, geoquímica, petrofísica y geomecánica, con equipo moderno y de vanguardia, que permite garantizar un alto compromiso de desarrollo regional, y un aprovechamiento del capital intelectual nacional en la integración del conocimiento con resultados geogenómicos que complementan las áreas como:

- Geología: Recuperación de muestras geológicas especiales, preservación y preparación, interpretación en contexto con levantamiento estructural y estratigráfico, reconocimiento de fenómenos geológicos en campo como alteraciones biogénicas y termogénicas, aprovechamiento de núcleos de perforación, selección de sitios para análogos, reconocimiento de sistemas de fracturamiento y su influencia, etc., con apoyo de imágenes satelitales, analizadores de rayos X y

450

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

fluorescencia, difractómetros y espectrómetros, lidar, drones de última generación, entre otros equipos.

- **Geoquímica:** Secuenciación masiva de arqueas y bacterias, identificación, caracterización y cultivo de arqueas metanógenas y organismos extremófilos, análisis especiales de compuestos inorgánicos y orgánicos, determinación de geotermómetros y geobarómetros, biomarcadores, isótopos estables, isotermas de adsorción/desorción, factores físico – químicos de los fluidos, datación de arcillas, concentraciones y volúmenes económicos de georecursos, con soporte de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas, estación de microscopía óptica acoplada a espectrómetros, difractómetros de rayos X, espectrómetros Raman, platinas térmicas de última generación, Rock Eval, microscopía confocal, modelado numérico, entre otras herramientas.
- **Geofísica:** Modelos con mayor detalle del subsuelo a partir del procesamiento avanzado de datos con métodos electromagnéticos, magneto – telúricos, microsísmica de ruido, sísmica, etc.
- **Petrofísica:** Determinación de parámetros petrofísicos como porosidad, permeabilidad, volumen de poro, tamaño de garganta de poro, mojabilidad, resistencia, calidad, con soporte de tomografía, láser, pruebas axiales, porosímetro, permeámetro, modelado cinético, etc.
- **Geomecánica:** Estabilidad de materiales, resistencia de materiales, propiedades elásticas, presión de fluido, movimiento de fluidos, estimulación, rendimiento de perforaciones, fracturamiento hidráulico, etc., apoyado en registros geofísicos de pozos y en el modelado geomecánico.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

Por otra parte, el desarrollo del campo de la geogenómica aplicada en recursos energéticos y minerales estratégicos también impulsa el campo de la investigación en la recuperación mejorada de hidrocarburos, la remediación ambiental, y el aprovechamiento de yacimientos, donde los cultivos microbianos son una excelente opción debido a su capacidad de sintetizar una gran variedad de productos bioquímicos.

Las bacterias termófilas y con características barófilas son ideales para estos procesos, ya que son capaces de soportar la exposición a altas temperaturas y elevada presión, cumplen con las características para desarrollarse dentro de un pozo petrolero, un pozo geotérmico, o en un acuífero profundo, donde llevarían a cabo sus funciones en los medios porosos.

Las bacterias extremófilas pueden producir ácidos y otros compuestos orgánicos que disuelven los carbonatos, aumentan la permeabilidad, producen gases que aumentan la presión, disminuyen la viscosidad de hidrocarburos, pueden utilizarse como biosurfactantes, emulsificantes o solventes, producen biopolímeros, etc., por lo que los resultados de investigación integrados a los resultados de las metodologías geoquímicas, geofísicas, petrofísicas, con certeza impulsan el conocimiento para aprovechar óptimamente los recursos minerales y energéticos, y con ello, incrementar reservas, mejorar el diseño de la producción y los métodos de producción en sí misma, todo ello con respeto al medio social y ambiental del entorno nacional.

### **Conclusión**

La *Red Temática de Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME*, estimula la participación en áreas de investigación estratégicas para generar conocimiento de los georecursos

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

nacionales como parte del **Estudio de las geociencias y sus aplicaciones** (Figura 4).



**Figura 4.** Logotipo de la *Red Temática CONACYT Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME.*

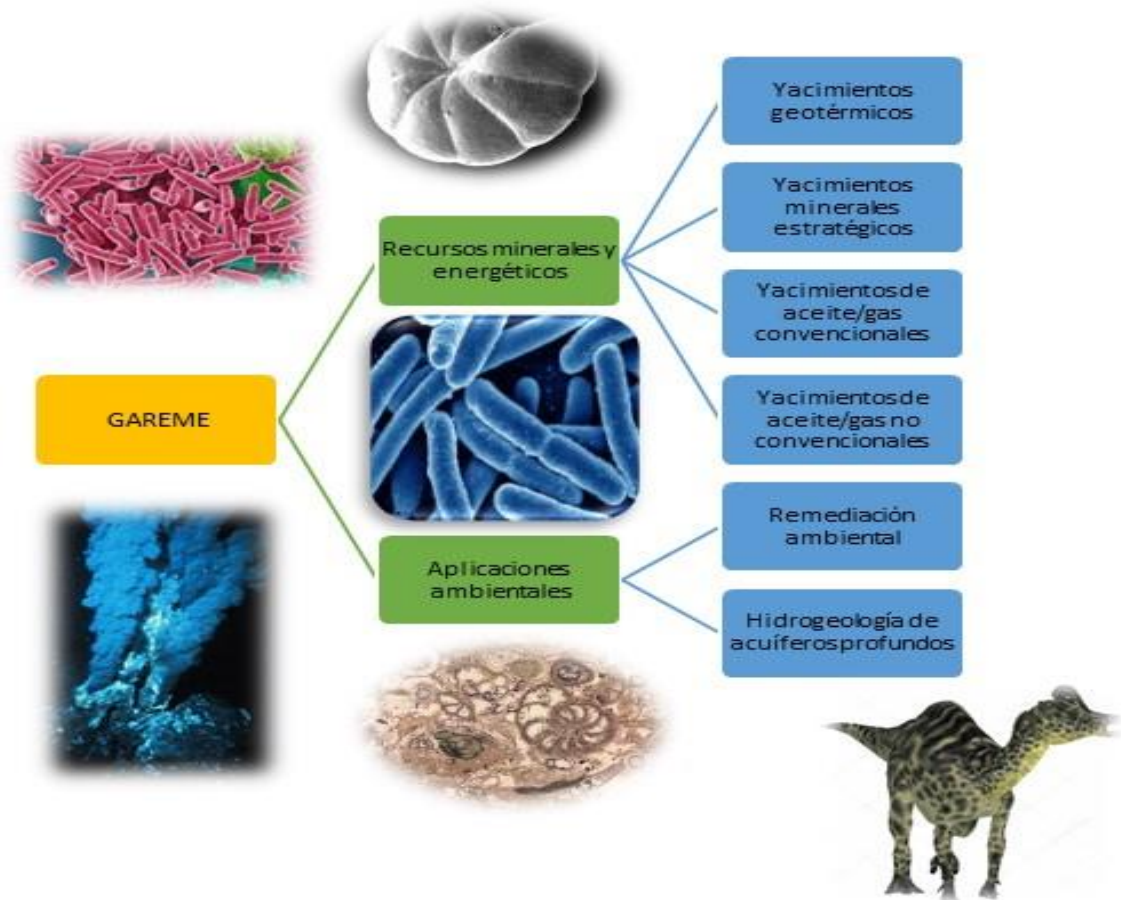
Entre las líneas de investigación destacan áreas de aplicación donde confluyen las mejores prácticas para innovar, desarrollar, implementar y/o asimilar nuevas metodologías y equipos avanzados para la trazabilidad geogenómica de los georecursos nacionales (Figura 5):

- *Recursos minerales y energéticos:*
  - Yacimientos geotérmicos.
  - Yacimientos minerales estratégicos.



**XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018**

- Yacimientos de aceite/gas convencionales.
- Yacimientos de aceite/gas no convencionales.
- *Aplicaciones ambientales:*
  - Remediación ambiental.
  - Hidrogeología de acuíferos profundos.



**Figura 5.** Líneas de investigación de la *Red Temática de Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME.*



## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

La *Red Temática de Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME*, estimula la unión e incorporación de investigadores, estudiantes, tecnólogos y empresarios, para promover e impulsar a las **Geociencias y sus aplicaciones** como nodo especializado, con miembros activos que promueven la *Sociedad Mexicana del Conocimiento*, con actividades (inexistentes hasta el momento) para el desarrollo de las aplicaciones de la geogenómica en los estudios enfocados a garantizar el desarrollo y sustentabilidad en los procesos de *upstream* con optimización y mejores prácticas para el aprovechamiento de los georecursos del subsuelo mexicano, lo que a mediano plazo se debe traducir en un deseable desarrollo económico y social que englobe a toda la sociedad mexicana, disminuyendo la desigualdad regional (**Figura 6**).



**Figura 6.** Aspecto de la página web de la *Red Temática CONACYT Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME* ([gareme.org](http://gareme.org)).

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

### Agradecimientos

A CONACYT por el soporte a la *Red Temática Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos – GAREME*, a través del *Proyecto 294529*. Al Comité Organizador del Congreso INAGEQ 2018 por la revisión del trabajo.

### Referencias

- ✧ Baker, P.A., Fritz, S.C., Dicke, C.W., Eckert, A.J., Horton, B.K., Manzoni, S., Ribas, C.C., Garziona, C.N., Battisti, D.S., 2014. The emerging field of geogenomics: Constraining geological problems with genetic data. *Earth-Science Reviews* 135, 38-47.
- ✧ Bowden, S.A., Farrimond, P., Snape, C.E., Love, G.D., 2006. Compositional differences in biomarker constituents of the hydrocarbon, resin, asphaltene and kerogen fractions: an example from the Jet Rock (Yorkshire, UK). *Organic Geochemistry* 37, 369-383.
- ✧ Bromham, L., y Penny, D., 2003. The modern molecular clock. *Nat. Rev. Genet.* 4, 216-224.
- ✧ Daane, L., Harjono, I., Zylstra, G., Haggblom, M., 2001. Isolation and characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-Degrading Bacteria Associate with Rhizosphere of salt Marsh Plants. *Applied and Environmental Microbiology* 67 (6), 2683-2691.
- ✧ Delille, D., y Delille, B., 2000. Field observations on the variability of crude oil impact on indigenous hydrocarbon-degrading bacteria from

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- sub-Antarctic intertidal sediments. *Marine Environmental Research* 49 (5), 403-417.
- ✕ Eckert, A.J., Tearnse, B.R., Hall, B.D., 2008. A phylogeographical analysis of the range disjunction for foxtail pine (*Pinus balfouriana*, *Pinaceae*): the role of Pleistocene glaciation. *Mol. Ecol.* 17, 1983-1997.
  - ✕ Gómez, M., Vivas, L., Ruiz, R., Reyes, V., Hurtado, C., 2006. Bacterias marinas nativas degradadoras de compuestos orgánicos persistentes en Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR - Santa Marta. Serie de publicaciones generales No. 19, 32 p.
  - ✕ Huang, H.P., Bowler, B.F.J., Oldenburg, T.B.P., Larter, S.R., 2004b. The effect of biodegradation on polycyclic aromatic hydrocarbons in reservoir oils from the Liaohe basin, NE China. *Organic Geochemistry* 35, 1619-1634.
  - ✕ Huang, H.P., Bowler, B.F.J., Zhang, Z.W., Oldenburg, T.B.P., Larter, S.R., 2003. Influence of biodegradation on carbazole and benzocarbazole distributions in single oil columns from the Liaohe basin, NE China. *Organic Geochemistry* 34, 951-969.
  - ✕ Huang, H.P., Larter, S.R., Bowler, B.F.J., Oldenburg, T.B.P., 2004a. A dynamic biodegradation model suggested by petroleum compositional gradients within reservoir columns from the Liaohe basin, NE China. *Organic Geochemistry* 35, 299-316.
  - ✕ Jia, W.L., Peng, P.A., 2005. Molecular structure of kerogens from source rocks of the Tarim Basin: a study by Py-GC-MS and methylation-Py-GC-MS. *Science in China, Series D: Earth Sciences* 48, 313-325.
  - ✕ Jones, F.A., Cerón-Souza, I., Hardesty, B.D., Dick, C.W., 2013. Genetic evidence of Quaternary demographic changes in four rainforest tree

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- species sampled across the Isthmus of Panama. *J. Biogeogr.* 40, 720-731.
- ✧ Kaplan, C., y Kitts, C. 2004. Bacterial succession in a petroleum land treatment unit. *Applied And Environmental Microbiology* 68 (11), 5625-5633.
  - ✧ Koopmans, M.P., Larter, S.R., Zhang, C., Mei, B., Wu, T., Chen, Y., 2002. Biodegradation and mixing of crude oils in Eocene Es3 reservoirs of the Liaohe basin, northeastern China. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 86, 1833-1843.
  - ✧ Leier, A.L., McQuarrie, N., Garzzone, C.N., Eiler, J.M., 2013. Oxygen isotope evidence for multiple pulses of rapid surface uplift in the Central Andes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 371, 49-58.
  - ✧ Liao, Y.H., Fang, Y.X., Wu, L.L., Geng, A.S., Hsu, C.S., 2012a. The characteristics of the biomarkers and  $\delta^{13}\text{C}$  of n-alkanes released from thermally altered solid bitumens at various maturities by catalytic hydrolysis. *Organic Geochemistry* 46, 56-65.
  - ✧ Liao, Y.H., Geng, A.S., Huang, H.P., 2009. The influence of biodegradation on resins and asphaltenes in the Liaohe Basin. *Organic Geochemistry* 40, 312-320.
  - ✧ Liao, Y.H., Shi, Q., Hsu, C.S., Pan, Y.H., Zhang, Y.H., 2012b. Distribution of acids and nitrogen-containing compounds in biodegraded oils of the Liaohe Basin by negative ion ESI FT-ICR MS. *Organic Geochemistry* 47, 51-65.
  - ✧ Marshall, A.G., y Rodgers, R.P., 2008. *Petroleomics: Chemistry of the underworld*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (47), 18090-18095.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- ✕ Meredith, W., Snape, C.E., Carr, A.D., Nytoft, H.P., Love, G.D., 2008. The occurrence of unusual hopenes in hydropyrolysates generated from severely biodegraded oil seep asphaltenes. *Organic Geochemistry* 39, 1243-1248.
- ✕ Moritz, C., Patton, J.L., Schneider, C.J., Smith, T.B., 2000. Diversification of rainforest faunas: an integrated molecular approach. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 31, 533-563.
- ✕ Pan, Y., Liao, Y., Sun, Y., 2017. The characteristics of bound biomarkers released from asphaltenes in a sequence of naturally biodegraded oils. *Organic Geochemistry* 111, 56-66.
- ✕ Pan, Y.H., Liao, Y.H., Zheng, Y.J., 2015. Effect of biodegradation on the molecular composition and structure of asphaltenes: clues from quantitative Py-GC and THM-GC. *Organic Geochemistry* 86, 32-44.
- ✕ Parham, J.F., 2012. Best practices for justifying fossil calibrations. *Syst. Biol.* 61, 346-359.
- ✕ Peters, K.E., Walters, C.C., Moldowan, J.M., 2005. *The Biomarker Guide, Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History.* Cambridge University Press, New York.
- ✕ Picard, D., Sempere, T., Plantard, O., 2008. Direction and timing of uplift propagation in the Peruvian Andes deduced from molecular phylogenetics of highland biotaxa. *Earth Planet. Sci. Lett.* 271, 326-336.
- ✕ Silva, T.F., Azevedo, D.A., Rangel, M.D., Fontes, R.A., Aquino Neto, F.R., 2008. Effect of biodegradation on biomarkers released from asphaltenes. *Organic Geochemistry* 39, 1249-1257.

## XVIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA ZACATECAS, 2018

- ✕ Snowdon, L.R., Volkman, J.K., Zhang, Z.R., Tao, G.L., Liu, P., 2016. The organic geochemistry of asphaltenes and occluded biomarkers. *Organic Geochemistry* 91, 3-15.
- ✕ Sonibare, O.O., Snape, C.E., Meredith, W., Uguna, C.N., Love, G.D., 2009. Geochemical characterisation of heavily biodegraded tar sand bitumens by catalytic hydrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 86, 135-140.
- ✕ Sugden, M.A., Abbott, G.D., 2002. The stereochemistry of bound and extractable pentacyclic triterpenoids during closed system pyrolysis. *Organic Geochemistry* 33, 1515-1521.
- ✕ Watanabe, C., 2000. Molecular characterization of bacterial populations in petroleum-contaminated groundwater discharged from underground crude oil storage cavities. *App. Environ. Microbiol.* 66 (11), 3719-4809.
- ✕ Wertheim, J.O., Sanderson, M.J., Worobey, M., Bjork, A., 2010. Relaxed molecular clocks, the bias-variance trade-off, and the quality of phylogenetic inference. *Syst. Biol.* 59, 1-8.
- ✕ Wu, L.L., Geng, A.S., 2016. Differences in the thermal evolution of hopanes and steranes in free and bound fractions. *Organic Geochemistry* 101, 38-48.
- ✕ Yang, Z., Rannala, B., 2012. Molecular phylogenetics: principles and practices. *Nat. Rev. Genet.* 13, 303-314.