



Actas INAGEQ

Vol. 25

XXIX CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA

7 al 11 de Octubre de 2019

CICESE, Ensenada, B.C.

ISSN-Latindex 2310-2799



**XXIX CONGRESO NACIONAL DE
GEOQUÍMICA**

Actas INAGEQ

Vol. 25

ISSN-Latindex 2310-2799

**Centro de Investigación y Centro de
Estudios Superiores de Ensenada**

CICESE

7 al 11 de Octubre de 2019

Ensenada, B.C.



DIRECTORIO

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Dr. Silvio Guido Lorenzo Marinone Moschetto

Director General

Dr. Luis Alonso Gallardo Delgado

Director División Ciencias de la Tierra

Comité Organizador

Dr. Thomas Kretzschmar

Dr. José Enrique Iñiguez Pacheco

Dr. Rubén Bernard

Dra. Rebeca Vázquez Yeomans

Instituto Nacional de Geoquímica, A. C.

Mesa Directiva 2019-2020

Dr. Thomas Kretzschmar (CICESE)

Presidente

Dra. Nadia Valentina Martínez (IPICYT)

Secretario

Dr. Surendra P. Verma (IER-UNAM)

Representante Legal ante el SAT

Comité Científico

Dr. Claudio Inguaggiato

Dr. Bodo Weber

Dr. Arturo Martín

Dr. Walter Daessle (UABC)

Dr. Juan Carlos Herguera

Dr. Loïc Peiffer

Dr. Juan Ignacio Sánchez Avila

Comité de alumnos

Brenda García

Gabriela Vera

Abraham Martínez

Créditos

Diseño de la página web

Ángel Daniel Peralta Castro

Administración del congreso

L.A.E. Claudia Elena Cárdenas Pérez

Cecilia Hirata Flores

Organización técnica

Dra. Rebeca Vázquez Yeomans

Edición de la Memoria

Dr. José Enrique Iñiguez Pacheco

Dr. Thomas Gunter Kretschmar

La elaboración 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: Iñiguez Enrique; Thomas G. Kretschmar., Editores 2019. Programa y Resúmenes del XXIX Congreso Nacional de Geoquímica. Actas INAGEQ, Vol. 25, 206 p.

Cursos

Hidrogeoquímica

Dr. Thomas Kretzschmar (CICESE)

Aspectos generales de la geoquímica en proyectos de exploración y estudios de yacimientos de hidrocarburos

Dr. Alejandro Martínez (Consultor independiente)

Presentación

El Instituto Nacional de Geoquímica A.C. y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE), presentan el Volumen 25 de las Actas INAGEQ, correspondiente a las Memorias del XXIX Congreso Nacional de Geoquímica realizado del 8 al 12 de Octubre del 2019, en las instalaciones del CICESE, en la ciudad de Ensenada, B.C.

El Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, fue creado en 1973 por el gobierno federal como parte de la iniciativa para descentralizar las actividades científicas y modernizar el país. El CICESE pertenece al sistema de centros públicos de investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y a lo largo de más de cuatro décadas, ha evolucionado hasta convertirse en uno de los principales centros científicos de México.

El CICESE es una institución de referencia en el contexto científico nacional e internacional, su excelencia académica apoya el desarrollo nacional, la formación de recursos humanos y contribuye a generar el conocimiento que puede coadyuvar en la solución de problemas que afectan el entorno social y económico de México. En 2019 el INAGEQ celebró su XXIX Congreso Nacional de Geoquímica por tercera ocasión en la ciudad de Ensenada, Baja California. En esta ocasión el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) fue sede de nuestro congreso anual.

En el presente documento se encuentran las contribuciones científicas distribuidas en las siguientes categorías: Biogeoquímica, geoquímica, 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 e iniciativa de sedimentos en México con un total de 65 contribuciones con la participación de estudiantes e investigadores de instituciones nacionales e internacionales.

Así mismo, en el marco del XXIX Congreso Nacional de Geoquímica se ofreció 1 conferencia Magistral: "The strong resuming of volcanic activity of Stromboli volcano Italy, June-August 2019: The significant geochemical changes observed by monitoring network in the 2016-2019 period" a cargo del Dr. Salvatore Inguaggiato.

Los cursos de Hidrogeoquímica impartido por el Dr. Thomas Kretzschmar y el de Geoquímica impartido por Alejandro Martínez Herrera formaron parte de las actividades del congreso.

Una Excursión al Valle de Guadalupe y la geología regional, por el Dr. Thomas Kretzschmar se impartió el último día del congreso.

El comité organizador del XXIX Congreso Nacional de Geoquímica agradece al el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE) por las facilidades otorgadas para la realización del evento, así como también a los patrocinadores del Congreso CeMIEGeo y Agilent Technologies.

Dr. Thomas Kretzschmar
Presidente
Comité Organizador

Instituciones participantes

Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas.	
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.	Departamento de Geología.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.	
Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CEMIEGEO).	
Comisión Federal de Electricidad	Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Morelia
Escuela Superior de Ingeniería Adolfo López Mateos, Nueva Rosita, Coahuila.	
Geología, Minería y Consultoría S.A. de C.V.	
Industrial Minera México, S.A. de C.V. (Grupo México).	
Innovación Tecnológica Aplicada a las Geociencias, Academia de Investigación A.C.	
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.	
Instituto Nacional de Antropología e Historia, INAH-Sonora.	
Instituto Politécnico Nacional.	Departamento de Zoología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.	División de Geociencias Aplicadas.
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.	
Petroanálisis Ingeniería S. de R.L.	
Red Temática CONACYT Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos GAREME	
Universidad Autónoma de Baja California Sur.	Departamento Académico de Ciencias de la Tierra.
Universidad Autónoma de Baja California.	Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Ensenada.
	Instituto de Ingeniería, Mexicali.
Universidad Autónoma de Chihuahua.	Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Coahuila.	Facultad de Ciencias Químicas.
Universidad Autónoma de Guerrero.	Escuela de Ciencias de la Tierra
Universidad Autónoma de Morelos.	
Universidad Autónoma de San Luis Potosí.	Centro de Investigación y Estudios de Posgrado.
	Facultad de Ciencias Químicas.
	Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media.
	Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio.
	Centro de Investigaciones Biológicas.
	Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales.
	Centro de Investigaciones Químicas.
	Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.
	Instituto de Ciencias Agropecuarias.
	Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.
	Departamento de Física.
Universidad de Sonora.	

Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Departamento de Geología.

Departamento de Ingeniería Civil y Minas.

Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra.

Centro de Geociencias, Campus Juriquilla.

Centro de Geociencias.

Centro de Nanociencias y Nanotecnología.

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología.

Instituto de Física.

Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán.

Instituto de Geofísica.

Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste ERNO.

Instituto de Geología.

Instituto de Ingeniería.

Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía.

Instituciones internacionales

Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio), Department of Chemistry, Brazil.

Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, UCR, Costa Rica.

Escuela Centroamericana de Geología, UCR, Costa Rica.

Laboratorio de Ecología Urbana, UNED, Costa Rica.

Volcanes Sin Fronteras, Costa Rica.

Havana University, Cuba.

Higher Institute of Technology and Applied Sciences.

Faculty of Chemistry

Instituto Superior de Ciencia y Tecnologías Nucleares, La Habana, Cuba.

University of Pinar del Río "Hermanos Saíz", Technique Sciences Faculty, Cuba.

Universidad de Barcelona, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales. Facultad de Geología. España

Universidad de Málaga, España.

Universidad de Granada, Granada, Departamento de Mineralogía y Petrología, España.

Universitaet Berlin, Institut fuer Geologische Wissenschaften, Germany.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italia.

Palermo

Bologna

Heriot-Watt University. School of Energy, Geoscience, Infrastructure & Society. Water Academy, Scotland, United Kingdom.

Johns Hopkins University, Department of Materials Science and Engineering, United States.

Intevep S.A. Los Teques, Venezuela.

Patrocinadores



Programa general

XXIX Congreso Nacional De Geoquímica

	11:15 – 12:00	Conferencia Magistral Dra. Diana Meza Figueroa, Unison.	
CURSOS PRECONGRESO Lunes 7 de Octubre	12:00 – 12:45	<i>Geoquímica Ambiental</i>	
9:00 - 17:00		<i>Hidrogeoquímica</i>	
	12:45 – 14:30	<i>Comida</i>	
Aspectos generales de la geoquímica en proyectos de exploración y estudios de yacimientos de hidrocarburos	14:30 – 16:00	<i>Geoquímica</i>	
	16:00 – 16:15	<i>Receso</i>	
	16:15 – 17:00	<i>Geoquímica</i>	
	17:00 – 18:00	Asamblea general del INAGEQ	
CONFERENCIAS MAGISTRALES Y SESIONES TÉCNICAS Martes 8 de Octubre		CONFERENCIAS MAGISTRALES Y SESIONES TÉCNICAS Jueves 10 de Octubre	
8:30 – 9:00		9:30 – 11:45	<i>Iniciativa sedimentos en México</i>
9:00 – 9:30		11:30 - 11:45	<i>Receso</i>
9:30 – 10:15		11:45 – 13:15	<i>Geoquímica de isótopos y geocronología</i>
10:15 - 11:00		13:15 – 13:30	<i>Receso</i>
11:00 – 11:15		13:30 – 14:15	<i>Geoquímica Ambiental y Salud II</i>
11:15 – 13:00		14:15 – 14:45	Clausura
13:00 – 14:30			VIAJE DE CAMPO Viernes 11 de Octubre
14:30 – 16:00		9:30 – 16:00	<i>La geología regional y Valle de Guadalupe.</i>
16:00 - 16:15			
16:15 – 18:00			
CONFERENCIAS MAGISTRALES Y SESIONES TÉCNICAS Miércoles 9 de Octubre			
9:00 – 11:00			
11:00 – 11:15			

Contenido

Portada	I
Directorio	III
Presentación	VI
Instituciones participantes	VII
Programa general	XI
Conferencias Magistrales	XVIII
The strong resuming of volcanic activity of Stromboli volcano Italy, June-August 2019: The significant geochemical changes observed by monitoring network in the 2016-2019 period. Inguaggiato Salvatore, Vita Fabio, Rizzo Andrea, Cangemi Marianna, Calderone Lorenzo.	1
Trazadores geoquímicos, morfología y mineralogía como criterios para identificar origen natural y antrópico en partículas ultrafinas y nanopartículas en polvo atmosférico. Meza-Figueroa Diana.	4
Resúmenes cortos	5
Vulcanología	6
El magmatismo máfico del Mioceno Superior en la Región Costera Sur de Sonora, México: expresiones volcánicas finales del Rift Proto-Golfo de California. Ochoa-Alcalá Dulce Adilene, Vidal-Solano Jesús Roberto.	7
Volcanismo Mioceno medio de afinidad adakítica en la Sierra Picú, Sonora, México: expresión magmática de la subducción de alguna microplaca de farallón? Gómez-Valencia Alejandra Marisela, Vidal-Solano Jesús Roberto, Stock Joann, Vega-Granillo Ricardo, Lozano-SantaCruz Rufino, López-Martínez Margarita.	8
Geotermia	9
Compuestos orgánicos disueltos en fluidos del sistema geotérmico de Los Humeros y en aguas subterráneas. <i>García-Sánchez</i> Brenda Estela, <i>Vara-Castro</i> Gabriela Michel, <i>Sánchez-Avila</i> Juan Ignacio, <i>Kretzschmar</i> Thomas Gunter.	10
Caracterización de Compuestos Orgánicos Disueltos cercanos al campo Geotérmico de Los Humeros. <i>Vara-Castro</i> Gabriela Michel, <i>García-Sánchez</i> Brenda Estela, <i>Sánchez-Avila</i> Juan Ignacio, <i>Kretzschmar</i> Thomas Gunter.	12
Geoquímica de la columna sedimentaria en la emanación geotérmica de Wagner en el golfo de California, México. <i>Iñiguez Enrique, Mendoza-Lavaniegos Vladimir, Kretzschmar Thomas.</i>	13
Origen y evolución de los sinters en el área de Los Geysers, norte de la Faja Volcanica Trans-Mexicana. González-Guzmán Reneé, Weber Bodo, Solís Corina.	15
Geoquímica de los fluidos hidrotermales del Cinturón Volcánico TransMexicano. Bernard Rubén, Taran Yuri, Inguaggiato Salvatore, Tello Enrique.	17

Utilización de una herramienta numérica codificada en MATLAB para la construcción de un modelo conceptual geohidrológico en tres dimensiones del Campo Geotérmico Los Humeros Puebla y su simulación en TOUGH3	18
Aguilar Ojeda José Alonso, Campos Gaytán José Rubén, Villela y Mendoza Almendra, Herrera Oliva Claudia Soledad, Ramírez Hernández Jorge, Kretzschmar Steinle Thomas Gunter.	
La variabilidad química e isotópica de los sistemas hidrotermales del margen este de la Península de Baja California	20
Batista Cruz Ramón Yosvanis, Rizzo Andrea Luca, Grassa Fausto, Bernard Romero Rubén, González Fernández Antonio, Kretzschmar Thomas Gunter, Gómez Arias Efraín.	
Petrología ígnea	22
Emplazamiento sin-transtensional de un microgranitoide durante el <i>rift</i> del Mioceno tardío en Sonora, México.	23
Velderrain Rojas Luis Alonso, Vidal Solano Jesús Roberto, Alva Valdivia Luis Manuel.	
La protonación superficial aumenta con el tamaño de partícula del mineral goethita.	24
Salazar-Rivera H., Villalobos, M., Livi K., Zanella R.	
Petrología y geoquímica de la anortosita Cacaotepec y rocas asociadas, norte del Complejo Oaxaqueño	25
<i>Valencia Morales Yuly Tatiana, Ortega Gutiérrez Fernando, Schaaf Peter, Espejo Bautista Guillermo.</i>	
FRXED de la IGH-TSF en San Carlos Nuevo Guaymas, Sonora y Cataviña, Baja California, México: Implicaciones petro-tectónicas para el Proto-Golfo de California.	27
Vidal-Solano Jesús Roberto, Piña-Páez Lillian Adriana, Meza-Figueroa Diana, Vega-Granillo Ricardo, Velderrain-Rojas Luis Alonso, Stock Joann, Gómez-Valencia Alejandra.	
Caracterización mineralógica y geoquímica de los depósitos de zinc tipo “calaminas” en la Sierra Santa Rosa, estado de Coahuila, México.	29
Córdova Medina Jorge Alberto, Guerra Cruz Filiberto, Díaz-Martínez Roberto, Rodríguez Vega Antonio.	
Petrología y geoquímica del Complejo Plutónico de Tumbiscatío, Michoacán.	30
Guevara-Alday, D.A., Corona-Chávez P., Gómez-Rivera F.J.	
Caracterización geoquímica de un concentrado pesado de la Sierra la Minerva, Edo. De Coahuila, México.	32
Reveles-Guerra Jerally, Oliva-Balderas Brayan Samuel, Díaz-Martínez Roberto, Rodríguez-Vega Antonio	
Estudio petrográfico y geoquímico de la IGH-TSF en San Carlos-Nuevo Guaymas, Sonora, México: Una nueva correlación con Baja California para el Proto-Golfo.	34
Piña-Páez Adriana, Vidal-Solano Jesús Roberto, Meza-Figueroa Diana.	
Caracterización geoquímica de minerales del grupo de la eudialita en mineralizaciones del Complejo Alcalino La Vasca.	35
Martínez-Salinas E. A., Díaz-Martínez R., Rodríguez-Vega A., Proenza-Fernandez J. A.	
Implicaciones geoquímicas e interdependencia de variables en la expansión de perlita	36

Melgarejo-Joris Emmanuel, Vidal-Solano Jesús Roberto.	
Petrogénesis de los cuerpos granitoides de la región de Puerto Libertad Sonora. Barrón-Díaz Arturo Joaquín, Gómez-Valencia Alejandra Marisela, Espinoza-Encinas Iván Rosario, Lozano-Santa Cruz Rufino, Iriondo Alexander, Paz-Moreno Francisco Abraham, Vidal-Solano Jesús Roberto.	37
Petrografía y geoquímica de los basaltos fisurales alcalinos cuaternarios Las Esperanzas-Cacanapo, Región Carbonífera, Coahuila. México. Medina Martínez J.F., Rodríguez Vega A., Díaz Martínez R., Rodríguez Batista J.A., Almaguer Carmenates Y.	38
Resultados petrográficos y geoquímicos preliminares de la asociación de rocas alcalinas relacionadas con el complejo intrusivo La Vasca, región noroeste del estado de Coahuila. México. Rodríguez Vega, A., Díaz Martínez R., Rodríguez Batista J.A., Almaguer Carmenates Y.	40
Geoquímica ambiental y salud	42
Análisis hidrogeoquímico de la región Las Derrumbadas, Puebla. Cañas Ramírez Julio César, Ávila Olivera Jorge Alejandro, Kretzschmar Thomas, Gómez Vasconcelos Martha Gabriela.	43
Relación hidrogeoquímica e isotópica del acuífero superficial del valle de Perote, Veracruz con el campo geotérmico Los Humeros, Puebla. Martínez González Abraham, Kretzschmar, Thomas Gunter, Iñiguez Pacheco José Enrique.	45
Geoquímica orgánica del ámbar de Simojovel de Allende (Chiapas, México) procedente del guapinol (<i>Hymenaea</i>): Resultados preliminares. Flores-Castro Kinardo, Estrada-Ruiz Emilio, Torres-Valencia J. Martín, Zeferino-Díaz Reyna, Ramírez-Morales Karen, Peñalba-Garmendia Cristina.	47
Metales pesados en suelo regado con agua residual tratada, la translocación de metales del suelo a planta. Translocación de metales pesados a la planta en suelos regado con agua residual tratada. Jiménez Angulo Jesús Antonio, Reyes López Jaime Alonso, Romero Hernández M. Socorro, Salazar Escalante Luz Estela, Domínguez Solís Amílcar Fernando, Herrera Martínez Aseneth.	51
δD y $\delta^{18}O$ en el acuífero del Valle de Mexicali: actualización de las fuentes del agua. Llamas Dios Marta I., Ramírez del Castillo Erick J., Cital Morales Frida S., Rodríguez Burgueño J. Eliana, Carreón Diazconti Concepción.	52
Controles hidrológicos y geoquímicos en la atenuación natural de arsénico en un suelo calco-yesífero en Matehuala (SLP). Gómez-Hernández Andrea, Zamora-Morales Armando, Hernández Martínez Jeanny Lucero, Meza-Figueroa Diana, SenGupta Bhaskar, Martínez-Villegas Nadia.	53
Uranio y arsénico en sedimentos de arroyos como un indicador de diferentes fuentes de contaminación en la cuenca hidrográfica Los Planes, Baja California Sur, México. Wurl J., Mendez-Rodriguez L., Schneider M., Thomas L., Brindha, K.	55
Elementos potencialmente tóxicos en el polvo urbano de la zona metropolitana de San Luis Potosí.	56

Rodríguez Rodríguez Rodrigo Merced, Meza-Figueroa Diana, Robles Morua Agustín, Tuxpan Vargas Jose, Martínez-Villegas Nadia.	
Efecto del saneamiento sobre la emisión de gases de carbono en cuerpos de agua.	58
Sandoval Chacón DAngelo, Hansen Anne M.	
Geoquímica	60
Caracterización geoquímica del mineral nanoparticulado contenido en las arenas eólicas del Gran Desierto de Altar, región meridional de El Pinacate, NW Sonora, México.	61
Paz-Moreno Francisco Abraham, Morales-Ochoa Ricardo, Duarte-Zamorano Roberto Pedro, Álvarez-Ramos Mario Enrique, Flores-Castro Kinardo, Mendoza Abraham.	
Verificación del desempeño de un analizador elemental y sus posibles correcciones analíticas sobre la determinación de la composición elemental de suelos, rocas y sedimentos.	63
Zamora Martínez Olivia, Lozano-Santa Cruz Rufino.	
Respuesta cuantitativa de La, Ce, Ga, Ge, U, Ta y Mo en muestras fundidas a baja dilución y analizadas por WD-FRX.	64
Lozano Santa Cruz Rufino, Bernal, J.P.	
DRX y FRX en materiales verde-azul tipo Turquesa del estado de Sonora: implicaciones para un complejo reconocimiento de piezas arqueológicas.	66
Rojo-Méndez Luis Antonio, Lozano-Santacruz Rufino, Gómez-Valencia Alejandra Marisela, Vidal-Solano Jesús Roberto, Hinojo-Hinojo Adriana.	
Microfacies y Geoquímica de la Caliza Mural en el área de Cerro de Oro, Sonora Central, México.	68
Chávez-Meraz Dalia, Madhavaraju Jayagopal, Monreal-Saavedra Rogelio.	
El comportamiento geoquímico de las Tierras Raras durante la precipitación del yeso en agua hipersalina e hiperácida con alta concentración de sulfatos: El lago cratérico del volcan Poas (Costa Rica) utilizado como laboratorio natural.	69
Inguaggiato Claudio, Iñiguez Enrique, Peiffer Loïc, Kretzschmar Thomas, Brusca Lorenzo, Mora-Amador Raul, Ramirez Carlos, Bellomo Sergio, Gonzalez Gino, Rouwet Dmitri.	
La geoquímica como herramienta esencial en proyectos de exploración y producción de hidrocarburos.	71
Martínez Herrera Alejandro, Angulo Saldiña Beatriz.	
Iniciativa sedimentos en México	73
Modelación del transporte reactivo de carbono en la cuenca hidrológica de la presa Valle de Bravo.	74
Díaz-Valencia Suhaila, Hansen Anne M.	
Reinterpretación geoquímica de los sedimentos de arroyo de la carta geoquímica Monclova G14-4, mediante modelación estadística.	76
Raygoza-Rojas Jesus Abraham, Medina-Martínez Juan Fernando, Córdova-Medina Jorge Alberto, Díaz- Martínez Roberto.	
Caracterización geoquímica multielemental de la carta geoquímica de sedimentos de arroyo de Nueva Rosita G14-1, edo. de Coahuila, México.	77

Cruz-Reyes Víctor Manuel, Maldonado-Castillo Julio César, Maldonado-Gonzales Carlos Gabriel, Zúñiga-Reza Martin Orlando, Díaz-Martínez Roberto.	
Reinterpretación geoquímica de los sedimentos de arroyo de la carta geoquímica Ocampo G13-3, mediante modelación estadística.	78
Díaz-Martínez Roberto, Santos-Patlán Brenda Yadira, Hernández-Rosales Alberto, Batista-Rodríguez José Alberto, Rodríguez-Vega Antonio, Almaguer-Carmenates Yuri, López-Saucedo Felipe de Jesús, Blanco-Moreno Jesús Antonio, Batista-Cruz Yosvani Ramón.	
Análisis espacio temporal de la concentración de metales en sedimento del río sonora y cuencas paralelas	79
Alonso-Eguía Lis Perla, Ojeda-Castillo Raúl, González-Rebollar Sonia, Bravo Reyna Fabiola, Bello González Orestes.	
Distribución de metales en función de potencial redox en el sistema agua-sedimento.	81
Hansen Anne M., Ruiz Castro Abel Alejandro, Cordova Domínguez Leibel, Moreno Ayala Vanessa.	
Hydrogeochemical models for the characterization of sediments used for therapeutic application.	83
Suárez Muñoz Margaret, Martínez-Villegas Nadia, González-Hernández Patricia, Melián Rodríguez Clara, Barrios Cossio Josiel, Hernández Rebeca, Fagundo Juan R., Gelen Rudnicas Alina, Díaz López Cristina, Pérez-Gramatges Aurora, Díaz Rizo Oscar.	
Caracterización físico-química de peloides cubanos.	85
Piña Leyte-Vidal Juan Jesús, Martínez Villegas Nadia Valentina, González Hernández Patricia, Suárez Muñoz Margaret.	
Geoquímica de isótopos y geocronología	86
Procesos de Anatexis o Fusión parcial en la Provincia Geológica Complejo Plutónico de La Paz, Baja California Sur: Características e implicaciones.	87
Pérez Venzor José Antonio, Schwennicke Tobias, Schaaf Peter, Cortés Martínez Mara Yadira.	
Geocronología de rocas Paleozoicas en los bloques Caborca, Cortés y Sonobari.	89
Vega-Granillo Ricardo, Sarmiento-Villagrana Alicia, Vidal-Solano Jesús Roberto, Araux-Sánchez Elizabeth, Bourjac de Anda Angélica.	
Magmatismo del Jurásico Medio-Cretácico Temprano en la parte central de la península de Baja California: Características geocronológicas, geoquímicas e isotópicas de Nd-Sr.	90
Contreras-López Manuel, Delgado-Argote Luis A., Weber Bodo, Torres-Carrillo Xóchitl G., Gómez-Alvarez, Doris K	
Implicaciones de la Evolución Tectónica de la Sierra Las Cruces BCS Mediante Edades de Termocronología por Trazas de Fisión.	91
Lugo Zazueta Raúl Ernesto, Ramos Velazquez Ernesto.	
Geocronología, petrología y termobarometría del vulcanismo de la Región Volcánica Los Reyes-Nueva Italia (RVRN), Michoacán: implicaciones tectónicas.	92
Corona Chávez Pedro, Morales Gámez Miguel, Gómez Calderón Daniel Alberto, Macías Vázquez José Luis, Molina José Francisco.	

El nuevo laboratorio de espectrometría de masas de ionización térmica en CICESE (NU-TIMS). Weber Bodo, Tazzo-Rangel M. Daniela, Padilla Ramírez Sergio.	94
Resúmenes en extenso	95
Vulcanología	
Tectónica de la Formación Plomosas en Chihuahua, México. Franco-Rubio Miguel, Oviedo-García Angélica, Contreras-Prieto Ángel Emanuel, Olivas-Palacios Marina Fernanda, Flores-Castro Kinardo, Esquivel-Macías Carlos.	97
Geoquímica ambiental y salud	111
Riqueza orgánica en la Formación La Peña, Región Carbonífera de Coahuila. Piedad-Sánchez Noé, González Partida Eduardo, Peralta Salazar Rosario, González Carrillo Fabiola, Hernández Godoy José Antonio.	112
Influencia de la materia orgánica en la remoción de 16 HAPs en suelos contaminados artificialmente. Montiel García Patricia Candelaria, Ramírez González, Adriana.	122
Determinación de compuestos volátiles asociados a mantos de carbón del distrito minero San Javier, Sonora, México: implicaciones sobre seguridad minera. López-Ángeles, Dahina Y., Flores-Castro Kinardo, Aguila Sergio A., Rodríguez-Monreal Aurora, Ramírez-Cardona Màrius.	135
Cinética de Remoción de Ibuprofeno y Acetaminofén con Carbón Activado. López Zapata Narda Azereth, Borja Padilla Yeraldini Alejandra, Pérez Aguilar Nancy Verónica, Aguayo Morales Hilda, Luque Contreras Diana, Arcibar Orozco Javier Antonio, Hernández Chavero Edgardo, Oyervides Muñoz Ernesto.	148
Bioadsorción de Diferentes Metales Pesados por el Hongo <i>Aspergillus niger</i> . Flores Rivera Mónica, Pacheco Castillo Nancy, Cárdenas González Juan Fernando, Moctezuma Zarate María de Guadalupe, Martínez Juárez Víctor Manuel, Rodríguez Pérez Adriana, Acosta Rodríguez Ismael.	167
Geoquímica	181
Exploración geoquímica por Au en el Rancho Don Chuy, Potrero el Llano, Aldama, Chihuahua (México): implicaciones analíticas. Maya-Zúñiga Evaris A., Flores-Castro Kinardo, Pérez-Moreno Fidel, Cadena-Zamudio José Luis.	182
Utilización del método de FRX expreso para una caracterización más rápida y económica de los carbones procedentes de los depósitos en explotación en la Región Carbonífera de Coahuila. México Piña Pachicano J, A., Barboza Martínez G., López Saucedo F., Rodríguez Vega A.	197

Conferencias magistrales

The strong resuming of volcanic activity of Stromboli volcano Italy, June-August 2019: The significant geochemical changes observed by monitoring network in the 2016-2019 period.

Inguaggiato, Salvatore¹, Vita, Fabio¹, Rizzo, Andrea¹, Cangemi, Marianna¹, Calderone, Lorenzo¹.

¹Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italia.

salvatore.inguaggiato@ingv.it

ABSTRACT

Stromboli is the northernmost of the Aeolian Islands, a volcanic archipelago located off the northern coast of Sicily (Southern Italy). Here, a persistent volcanic activity takes place from several vents located within a crater terrace at 750 m a.s.l. in the upper portion of the Sciara del Fuoco.

Its eruptive style is characterised by 5-20 Strombolian explosions per hour (Martini et al., 2007), with a large amount of actively and passively gas emitted through several small eruptive vents located in the crater terrace, within which we can recognise three main features, namely the northeast (NE), the central I and the southwestern (SW) vents. At the summit degassing, a peripheral discharge of gas, due to dissolved volatiles from the coastal aquifer and soil degassing controlled by tectonic discontinuities, has to be considered.

Strombolian activity is sustained by a delicate dynamic equilibrium between deep input and shallow volatiles magma degassing (Inguaggiato et al., 2011); fluids are continuously released by magma convection in a shallow magma reservoir, during which the ascending less-dense gas rich-magma substitutes the denser degassed magma that in turn sinks down (Harris and Stevenson 1997). The shallow magma reservoir releases volatiles composed of H₂O, CO₂, SO₂, H₂S, HF and HCl (condensable gases), and some non-condensable gases (e.g. He, H₂, N₂, CO, CH₄), during both eruptive activity and inter-eruptive periods (Inguaggiato et al., 2000; 2005; 2010).

Geochemical Changes

The soil CO₂ degassing flux measured in the summit area (Inguaggiato et al. 2018) at the STR02 point showed a slow and continuous increase from 2005 to 2018 (Inguaggiato et

al. 2019) from $2000 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ to $23000 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$. This long lasting modification of the value of CO_2 flux (a) was explained by the slow but continuous increase of the total volatiles pressure in the shallow system of Stromboli (Inguaggiato et al. 2019). In the last period, 2016-2018, abrupt and strong increasing Stevenson and Blake, 1998; Aiuppa et al., 2010) rate of CO_2 degassing ($24 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-2}$) have been recorded too (b), indicating strong inputs of volatiles that caused transient modifications of the summit volatiles degassing, reaching $23000 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$.

The 2019 paroxysmal events

The 3th July 2019, at 14:46 UTC (16:46 local time), the monitoring system of INGV recorded a paroxysmal event in the south-central section of the crater terrace. Two minutes before the onset of the event, overflows had spilled out all the active vents. The paroxysm was preceded by two lateral blasts from the same vent and few seconds later a giant lava bubble burst out, followed by an eruptive column of gas and incandescent materials (bombs, lapilli and ash), more than 3 km high over the summit area.

The column dispersed in south-western direction and a pyroclastic flow ran to the sea along the Sciara del Fuoco, generating a small tsunami (about 30 cm high). The fallout of the erupted materials covered the entire summit area, destroying the monitoring network here installed. Moreover, a significant portion of the crater terrace (the north-east cinder cone) collapsed and was engulfed in the pyroclastic flow.

Volcanic products from the column fell mainly in the village of Ginostra, causing widespread vegetation fires and also claiming one fatality above Punta Corvo.

The inter-time between the two paroxysms was characterised by intense volcanic activity like very frequent strombolian explosions, intense spattering, lava overflows (sometimes reaching the sea) and major explosions.

The second paroxysmal sequence, composed of three events with an overall duration of 20 seconds, occurred on 28th August 2019, 10:17 UTC (12:17 local time). It produced a 4

km high eruptive column and a pyroclastic flow along the Sciara del Fuoco, which reached the sea and travelled over the sea surface for several hundreds of meters. This sequence was preceded the day before by an increment of strombolian activity accompanied by the cessation of the lava flow, which resumed after the paroxysms reaching the sea few hours later.

REFERENCES

- Inguaggiato, S.; Diliberto, I. S.; Federico, C.; Paonita, A.; Vita, F. Review of the evolution of geochemical monitoring, networks and methodologies applied to the volcanoes of the Aeolian Arc (Italy), *Earth-Science Reviews*, 2018, 176, 241-276, ISSN 0012-8252, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.006>.
- Inguaggiato, S., Vita, F., Cangemi, M., Calderone, L., 2019. Increasing summit degassing at Stromboli volcano and relationships with volcanic activity (2016-2018). *Geosciences*, 2019.

Trazadores geoquímicos, morfología y mineralogía como criterios para identificar origen natural y antrópico en partículas ultrafinas y nanopartículas en polvo atmosférico.

Meza-Figueroa, Diana¹

¹Departamento de Geología. Universidad de Sonora.

Los minerales tienen un origen natural y por siglos se han estudiado sus propiedades físicas y químicas, así como su estabilidad en el medio ambiente, sin embargo, cuando la tecnología utiliza y modifica el tamaño de estos minerales, o los genera de forma sintética, sus propiedades cambian. Los “minerales” sintéticos tienen las mismas características que los de origen natural. Sin embargo, la reducción de su dimensión genera cambios en las propiedades físicas y químicas lo que puede alterar su toxicidad. El destino de estas partículas en el ambiente y su impacto en la salud humana va a depender de varios factores, principalmente de la bioaccesibilidad, tamaño y forma. No se han documentado metodologías de diagnóstico de estos minerales sintéticos en el medio ambiente que permitan orientar la investigación y contribuir en su regulación. Distinguir un mineral de origen natural de uno generado por el hombre requiere de herramientas propias de las Ciencias de la Tierra. La caracterización morfométrica a nanoescala requiere de herramientas de la Física. En este trabajo se presentan criterios basados en la geoquímica, morfología y mineralogía para identificar las fuentes de estos materiales (a micro y nano escala) en el polvo atmosférico de la zona urbana de Hermosillo, Sonora, México.

Resúmenes Cortos

Vulcanología

El magmatismo máfico del Mioceno Superior en la Región Costera Sur de Sonora, México: expresiones volcánicas finales del Rift Proto-Golfo de California.

Ochoa-Alcalá, Dulce Adilene¹, Vidal-Solano, Jesús Roberto¹

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
dulceadileneo@outlook.com

La Región Costera Sur del Estado de Sonora está caracterizada por un amplio registro magmático de gran variedad petrogenética, comenzando con la ocurrencia de un Basamento granitoide Laramídico (90-40m.a), que es discordantemente cubierto por un volcanismo de tipo calcoalcalino derivado de la subducción de la Placa Farallón debajo de la Placa Norteamérica. Al término de la subducción y precursor al actual límite transformante de las placas Pacífico-Norte America, se desarrolló un proceso de tectónico de extensión oblicua, llamado Proto-Golfo (ca.12.5 Ma), acompañado por la aparición de un extenso volcanismo anorogénico que evolucionó desde félsico hasta máfico. Trabajos previos han identificado en la región costera, que esta secuencia magmática presenta una importante deformación transtensional caracterizada por la rotación y el basculamiento de bloques corticales. Una cartografía desarrollada en el presente trabajo, permitió identificar que las manifestaciones volcánicas más jóvenes en la región no fueron deformados por el rifting y sistemáticamente corresponden a derrames fisurales máficos, en forma de mesetas subhorizontales, que han sido fechados por distintos autores entre 10 y 8Ma. Se propone aquí, que estos vestigios representan una etapa en el tiempo en la que ya no existió una resistencia cortical para el ascenso y la diferenciación de los magmas, debido a que la extensión oblicua, en cada una de esas localidades, había cesado y migrado hacia el W marcando el último paso en la evolución de la parte norte del Proto-Golfo de California.

Palabras clave: Basaltos, Sonora, Proto-Golfo.

Volcanismo Mioceno medio de afinidad adakítica en la Sierra Picú, Sonora, México: expresión magmática de la subducción de alguna microplaca de farallón?

Gómez-Valencia, Alejandra Marisela^{1 y 2}; Vidal-Solano, Jesús Roberto³; Stock, Joann⁴; Vega-Granillo, Ricardo³, Lozano-SantaCruz, Rufino⁵, López-Martínez, Margarita⁶.

¹Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México-Estación Regional del Noroeste. ²Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora. ³Departamento de Geología, Universidad de Sonora. ⁴Seismological Laboratory, California Institute of Technology.

⁵Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Instituto de Geología, UNAM. ⁶Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
alejandra.gomez@unison.mx

En Sonora, el magmatismo Neógeno de arco se encuentra frecuentemente intercalado con unidades detríticas y presenta químicamente, rasgos calcoalcalinos, calcoalcalinos altos en potasio y shoshoníticos. La Sierra Picú está constituida predominantemente por unidades volcánicas de arco, tanto efusivas como explosivas, orientadas N-S y segmentadas por fallas normales y en tijera que de manera general basculan y repiten la secuencia litológica hacia el Este. Se trata de 5 formaciones ampliamente distribuidas a lo largo de la Sierra Picú, cuya característica en común es la notable presencia de anfíbol: [1] Formación volcánica El Caracol; [2] Formación volcánica El Americano; [3] Formación volcánica La Golondrina (17Ma); [4] Formación volcánica Cerro Picú (14Ma); y [5] Formación volcánica Las Lomitas (12.7Ma).

Geoquímicamente, las 5 Formaciones magmáticas presentan contenidos de SiO₂ entre 59.9% y 66%; Al₂O₃ entre 14.61% y 17.98%; MgO inferior al 4% y valores de FeOt/MgO bajos, que indican su afinidad calcoalcalina. De igual forma las cinco unidades volcánicas exhiben un notable enriquecimiento en Sr (579 a 1640ppm) y Ba (1020 a 2046ppm), un fuerte empobrecimiento en HREE con pocas variaciones y bajas concentraciones de Yb(n), mostrando en los 5 casos una clara tendencia o afinidad Adakítica, notando que esta firma química se muestra más evidente por episodios hacia la cima de la secuencia. La correlación petrológica con otras unidades similares que afloran en diversas partes del Estado de Sonora, permite, por una parte, asociar este magmatismo orogénico al Mioceno Inferior-Medio y, por otra, establecer que la secuencia de la Sierra Picú, puede ser considerada hasta el momento, el máximo apilamiento reportado de volcanismo adakítico en Sonora y, parte de las últimas expresiones magmáticas de la subducción de una de las microplacas relacionadas a farallón.

Palabras clave: Magmatismo Adakítico, Sierra Picú.

Geotermia

Compuestos orgánicos disueltos en fluidos del sistema geotérmico de Los Humeros y en aguas subterráneas

García-Sánchez, Brenda Estela¹, Vara-Castro, Gabriela Michel¹, Sánchez-Avila, Juan Ignacio¹, Kretzschmar Thomas Gunter¹

¹CICESE. Carretera Ensenada-Tijuana 3918. Zona Playitas, CP. 22860. Ensenada, B.C. México
tkretzsc@cicese.mx

En un sistema hidrotermal se generan compuestos orgánicos por reacciones químicas entre los fluidos del sistema y las rocas que lo contienen (abiogénesis), o por reacciones químicas entre los fluidos y la materia orgánica, y por la interacción de microorganismos que habiten el sistema (biogénesis). El estudio de la distribución de los compuestos orgánicos producidos en un sistema hidrotermal es de utilidad para la exploración geoquímica en la geotermia. En México solo se ha caracterizado la composición química orgánica con finalidades de exploración geotérmica, en los gases de un sistema hidrotermal. Por lo que en esta investigación se presenta el registro de la primera determinación cualitativa de los compuestos orgánicos disueltos en la fase acuosa de muestras de fluidos de vapor condensado de pozos geotérmicos perforados en el sistema hidrotermal de tipo vapor-dominante súper caliente (>300° C) ubicado dentro de la caldera de Los Humeros en Puebla, y en las aguas subterráneas localizadas alrededor de la caldera que forman parte de la recarga del sistema, tomadas en noviembre-diciembre del 2018. La metodología analítica consistió en la preparación y análisis de las muestras con las técnicas de Extracción en Fase Sólida (SPE, por sus siglas en inglés) y Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS, por sus siglas en inglés). Se determinó la concentración relativa de los 67 tipos de compuestos orgánicos identificados en las muestras, los cuales pertenecen a 13 familias de compuestos. Familias como los alcanos, aromáticos y compuestos orgánicos con azufre identificadas en los fluidos han sido recomendadas en la literatura, como indicadores de actividad hidrotermal. De acuerdo a la temperatura del sistema hidrotermal y la ocurrencia de los compuestos orgánicos, los hallazgos sugieren la presencia de compuestos generados por abiogénesis. Este trabajo puede ser utilizado en la investigación para desarrollo de la geoquímica orgánica como una técnica de exploración geotérmica complementaria en México para inferir o descartar una relación entre las composiciones químicas de sitios de interés exploratorio y un sistema hidrotermal. La

información puede ser de utilidad en investigaciones acerca del origen hidrotermal de los compuestos orgánicos y de la vida.

Palabras clave: Los Humeros, compuestos orgánicos, geoquímica orgánica, análisis SPE-GC-MS, fluidos hidrotermales, exploración geotérmica.

Caracterización de Compuestos Orgánicos Disueltos cercanos al campo Geotérmico de Los Humeros.

Vara-Castro, Gabriela Michel¹, García-Sánchez, Brenda Estela¹, Sánchez-Avila, Juan Ignacio¹, Kretzschmar, Thomas Gunter¹

¹CICESE. Carretera Ensenada-Tijuana 3918. Zona Playitas, CP. 22860. Ensenada, B.C. México
tkretzsc@cicese.mx

La detección de los compuestos orgánicos en aguas de procedencia hidrotermal, aún se encuentra en etapa de desarrollo; son pocos los estudios que hablan acerca de este tema, y la mayoría de estos son realizados en la parte marina. Este es uno de los primeros estudios que analizara este tipo de compuestos en un área continental. Por lo que nuestro objetivo es identificar los compuestos orgánicos presentes en manantiales cercanos al campo Geotérmico de Los Humeros y conocer la relación que guardan con la actividad termal de la zona; esto mediante la toma de 36 muestras de agua, incluyendo 10 muestras de condensados geotérmicos.

Los compuestos orgánicos contenidos en las muestras de agua, fueron extraídos mediante el método de Extracción en Fase Solida (SPE), para después ser analizados en un Cromatógrafo de Gases acoplado a un Espectrómetro de Masas (GC-MS).

Los resultados preliminares obtenidos, arrojaron alrededor de 60 compuestos orgánicos, pertenecientes a 11 series homologas, dentro de las cuales se identificaron: alcanos, alquenos, compuestos aromáticos; entre otros. Cabe destacar que esta es la primera investigación realizada en este campo geotérmico; y los compuestos que hemos detectado hasta ahora coinciden con resultados obtenidos en otros trabajos similares; nuestra información aun es escasa, y se necesita más tiempo para realizar una investigación más precisa para poder determinar el origen de estos compuestos, así como el uso de los mismos como trazadores.

Palabras clave: Compuestos orgánicos disueltos, Los Humeros, análisis SPE-GC-MS, trazadores.

Geoquímica de la columna sedimentaria en la emanación geotérmica de Wagner en el golfo de California, México.

Iñiguez, Enrique¹, Mendoza-Lavaniegos, Vladimir¹, Kretzschmar, Thomas¹

¹Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera Trans-peninsular Ensenada-Tijuana #318, Zona de Playitas. Ensenada Baja California, México. iniguez@cicese.mx

RESUMEN

La cuenca de Wagner se encuentra localizada en el extremo septentrional del golfo de California limitada entre las fallas de Wagner y Cerro Prieto, con profundidades inferiores de 225 m, tectónicamente activa con un alto de fallamiento. En esta región se encuentra una emanación geotermal de alta entalpia que se encuentra cubierta por una capa de sedimentos de al menos 7 km de espesor y con taza de 3 cm, que enmascara la emanación. Las muestras fueron colectadas en la campaña oceanográfica AH1509-012 en el Buque Oceanográfico Alpha-Helix, del 25 de septiembre al 8 de octubre del 2015. Las columnas de sedimentos de hasta 3 metros fueron colectadas usando nucleadores de gravedad. Las muestras fueron analizadas por espectroscopia de infrarrojo, fluorescencia y difracción de rayos X, tomografía asistida por computadora.

Los sedimentos mostraron enriquecimiento de Li, B, Ca, Si, Mn, Ba, Sr, As, Hg, y Fe en comparación con sedimentos aledaños. Por espectroscopia de infrarrojo se caracterizó el tipo de uniones hidroxilo, carboxilo y tipo de agua de cristianización característica entre la región de la emanación geotérmica y las muestras control de la cuenca. Se encontraron las fases de cuarzo, opalo-A, halita, dolomita, barita, calcita, rosickyta, clintonita y limonita de su identificación por difracción.

En los patrones de sedimentación se evidenciaron intercambio de elementos como arsénico, bario, estroncio y cesio en muestras tomadas en la emanación, así como alrededores que se confirman geoquímicamente la presencia de la emanación geotérmica. Adicionalmente se encontraron estructuras tubulares en las zonas de mayor temperatura en los sedimentos están principalmente compuestos de carbonatos de bario, estroncio enriquecidas con cesio. El enriquecimiento de, mientras que la presencia de minerales como la rosickyta y clintonita nos referencia el ambiente fisicoquímico fuera

del equilibrio, mientras que el par Fe/Mn evidencia características de ambientes hidrotermales reductores.

La emanación geotérmica representa un ambiente altamente reductor y fuera del equilibrio habitual de ambientes marinos, la diferencia de potencial electroquímico y la abundancia de elementos bioquímicamente interesantes de poder albergar microorganismos extremófilos que son capaces de aprovechar el nicho específico.

Palabras clave: Golfo de California, Cuenca de Wagner, Geoquímica.

Origen y evolución de los sinters en el área de Los Geysers, norte de la Faja Volcánica Trans-Mexicana

González-Guzmán, René¹, Weber, Bodo¹, Solís, Corina²

¹Departamento de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada, Baja California, México. ²Instituto de Física, Laboratorio de Espectrometría de Masas con Acelerador (LEMA), Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, CP. 04510, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México
rguzman@cicese.mx

Este estudio se centra en la caracterización microscópica, geocronológica, geoquímica e isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) de los sinters silicios que ocurren en el campo geotérmico de Los Geysers. Los campos geotérmicos naturales de mediana-alta entalpía capaces de producir aguas con pH neutro y una alta carga de solutos propicia las condiciones necesarias para precipitar montículos de rocas llamadas geyséritas. Mientras que en condiciones subsuperficiales, el agua caliente estaría subsaturada o en equilibrio termodinámico respecto al sílice, en los manantiales geotérmicos superficiales puede ocurrir una saturación muy alta. El exceso de sílice se deposita inicialmente como fases metaestables (*i.e.*, Opalo-A; $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) a medida que las temperaturas disminuyen por debajo del punto de ebullición. Estos depósitos sedimentarios químicos resultan en el desarrollo de la acumulación de sílice amorfo y otras fases menores contenidas en los fluidos, ya sea en los conductos subsuperficiales y superficiales de las aguas termales, formando estructuras silíceas, o como los montículos alrededor de manantiales y géiseres.

El área de estudio es un campo geotérmico natural que se ubica a solo 10 km al oeste de la ciudad de Querétaro, en el norte de la Faja Volcánica Transmexicana. Las expresiones de la actividad geotérmica incluyen más de 150 manifestaciones, tales como manantiales termales burbujantes, humedales, diminutas fumarolas ricas en azufre, así como sinters activos y fósiles. Las temperaturas de las aguas termales oscilan entre 48 y 97 °C y son clasificadas como Na-HCO₃-Cl con base en sus principales iones y de tipo neutro a ligeramente alcalino (pH = 6.82-9.33). Para este estudio se colectaron diecisiete muestras de geyséritas. La petrografía indica que los sinters son el resultado de procesos bióticos y abióticos. En este sentido, se identificaron frústulas de diatomeas que se han adaptado a sobrevivir en aguas con hasta 80 °C. Además, imágenes de tomografía

mediante nXRT, nos indica una matriz filamentosa con una estructura porosa variable. Los análisis mediante difracción de rayos X indica que la principal fase precipitada es opalo-A, con menor proporción de fluorita. Los análisis de elementos mayores indican que están esencialmente compuestas de SiO₂, variando entre 93.66 y 97.60 wt. %, además de contener solo pequeñas cantidades de CaO (hasta 0.98% en peso), Na₂O (hasta 0.31%) y MgO (hasta 0.11%). Los patrones de REE normalizados al PASS presentan patrones convexos, con enriquecimientos en MREE. Las relaciones ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr oscilan entre 0.706038 y 0.706955, lo que varía en pequeñas proporciones con las obtenidas anteriormente en las aguas geotermicas. La diagénesis de las geyséritas se encuentra estrechamente relacionado con la sílice disuelto en el agua y frústulas de especies de diatomeas termófilas. La determinación de edades de ¹⁴C obtenidas de la materia orgánica atrapada en los poros de las geyséritas, indican que el sistema hidrotermal de Los Geysers estuvo activo desde hace 5906 ± 35 años (A.P).

Palabras claves: Faja Volcánica Trans-Mexicana, Geyséritas, Química de elementos trazas, Isótopos de Sr, Micro-organismos termófilos.

Geoquímica de los fluidos hidrotermales del Cinturón Volcánico TransMexicano.

Bernard, Rubén¹, Taran, Yuri², Inguaggiato, Salvatore³, Tello, Enrique⁴

¹Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, Ensenada, B.C. México. ²Instituto de Geofísica, UNAM, México; 04510. ³Instituto de Geofísica y Vulcanología, vía Ugo La Malfa, 153, 90146 Palermo, Italia. ⁴Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Comisión Federal de Electricidad, Morelia, México.

Un muestreo de fluidos hidrotermales ha sido realizado de manifestaciones naturales en el Cinturón Volcánico Transmexicano, en México. El objetivo del estudio es la obtención de información geoquímica de la interacción magmática-hidrotermal dentro de estos sistemas hidrotermales pertenecientes a diferentes partes del CVTM. Determinaciones de isótopos de He, análisis de isótopos de nitrógeno y análisis de elementos traza que no son rutinarios para estos sistemas hidrotermales. Contamos con mediciones de elementos mayores y traza en aguas de manantiales; con composición de gases en burbujas de gas y fumarolas; isótopos de He, y nitrógeno en todas las muestras.

Los valores isotópicos de He encontrados son caracterizados por altas relaciones de $^3\text{He}/^4\text{He}$, cercano a valores de MORB ($> 7.2 R_a$, donde la relación atmosférica R_a es 1.39×10^{-6}) superior que $^3\text{He}/^4\text{He}$ para el arco Centro Americano ($\sim 6 R_a$) y superior al reportado por Polyak et al. (1987). Con la corrección para la contaminación de aire, la relación N_2/Ar en los gases de Los Humeros son superiores a las del aire-saturado de agua, indicando la presencia de nitrógeno no atmosférico, origen cortical.

La composición isotópica de nitrógeno en fluidos del CVTM ($\delta^{15}\text{N}$) nos indica que los sedimentos subducidos debajo del CVTM no contribuyen o no existen en los fluidos magmáticos. Casi todos los $\delta^{15}\text{N}$ en gases de Los Humeros a La Primavera (25 análisis) tienen valores negativos, hasta -3.4% , que son característicos para el nitrógeno del Manto superior, pero no de sedimentos, donde los $\delta^{15}\text{N}$ son positivos hasta $+7\%$.

Las altas concentraciones anómalas en algunos elementos como fluoruro en algunos fluidos hidrotermales (25 mg/kg, en Apaseo el alto) muestran condiciones especiales en la interacción agua-roca.

Para aguas ácidas (Alcaparroza, caldera Acoculco), se puede estimar, de las concentraciones de ET la composición de la roca encajonante y la condición Agua/Roca.

Utilización de una herramienta numérica codificada en MATLAB para la construcción de un modelo conceptual geohidrológico en tres dimensiones del Campo Geotérmico Los Humeros Puebla y su simulación en TOUGH3

Aguilar Ojeda, José Alonso¹, Campos Gaytán, José Rubén¹, Villela y Mendoza, Almendra¹, Herrera Oliva, Claudia Soledad¹, Ramírez Hernández, Jorge², Kretzschmar Steinle, Thomas Gunter³

¹Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, BC, CP. 22830. ²Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, BC, CP. 21280.

³Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, BC, CP. 22830.
alonso.aguilar@uabc.edu.mx

El Campo Geotérmico Los Humeros es uno de los tres campos geotérmicos más importantes de México y, actualmente, produce electricidad con capacidad instalada de aproximadamente 90 MW. Debido a la alta temperatura y química del agua, la explotación del campo geotérmico representa un gran desafío, por lo que un modelo de simulación es de gran utilidad para aprovechar al máximo su potencial. En este estudio se ha construido un modelo conceptual geohidrológico en tres dimensiones del Campo Geotérmico Los Humeros con la información geológica proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad. Para la construcción del modelo tridimensional se ha georreferenciado la información de seis perfiles geológicos y se han interpolado las elevaciones de cada uno de los estratos geológicos presentes en ellos, obteniendo así superficies geológicas del área de estudio. Además, el área de estudio se ha definido como un cuadrado de 20×20 km y se ha discretizado en celdas de 0.50×0.50 km; obteniendo así, una rejilla cuadrada de 40×40 celdas para la topografía y cada una de las superficies geológicas subyacentes. Posteriormente, a través de la herramienta MESHMAKER de TOUGH3 se ha construido un modelo de 40×40×40 celdas, cuyas dimensiones son de 0.50×0.50×0.10 km en las direcciones x , y y z , respectivamente. Debido a que la herramienta MESHMAKER no puede asignar materiales a las celdas, se ha codificado un programa en MATLAB que modifica el archivo MESH; éste asigna la información sobre propiedades físicas a cada celda del material de acuerdo con su ubicación dentro del modelo. Como resultado se ha obtenido un modelo conceptual geohidrológico en tres dimensiones con las características geológicas del Campo Geotérmico de Los Humeros, el cual cubre toda la superficie de la Caldera Los Humeros y se interna hasta 4 km de profundidad. Este modelo es un paso previo a la simulación en TOUGH3, que abona a la investigación del área de estudio, ya que los materiales que

forman el modelo son uno de los componentes más importantes para la simulación porque abarcan las variables de densidad, porosidad, permeabilidad, conductividad hidráulica y calor específico.

Palabras clave: Campo geotérmico, TOUGH3, modelo tridimensional, Los Humeros.

La variabilidad química e isotópica de los sistemas hidrotermales del margen este de la Península de Baja California

Batista Cruz, Ramón Yosvanis¹, Rizzo, Andrea Luca², Grassa, Fausto², Bernard Romero, Rubén³, González Fernández, Antonio³, Kretzschmar, Thomas Gunter³, Gómez Arias, Efraín³

¹Escuela Superior de Ingeniería Adolfo López Mateos, Nueva Rosita, Coahuila. ²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo, Palermo, Italy. ³Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California.
yosbatista13@gmail.com, ybatista@uadec.edu.mx

Las piscinas de lodo, fumarolas y los manantiales intermareales son expresiones en superficie de procesos hidrotermales. En la Península de Baja California, principalmente en el margen este, son reportadas más de 50 manifestaciones de este tipo, tanto en zonas de volcanismo reciente como en zonas carentes de este. Cuatro sitios en particular (e.g. San Felipe, Punta Estrella, Coloraditos y Puertecitos), todos manantiales intermareales de baja entalpía presentan una alta variabilidad química e isotópica de sus gases, a pesar de su cercanía geográfica. En este trabajo se presentan los datos químicos e isotópicos de gases nobles ($^3\text{He}/^4\text{He}$), carbono e hidrógeno ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$, $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$) con el objetivo de mostrar la complejidad de los procesos geoquímicos de estos sistemas hidrotermales en la región.

Químicamente, los gases de San Felipe son CO_2 dominantes (>95 %), los de Coloraditos N_2 dominantes (89 %) y los de Punta Estrella y Puertecitos presentan valores intermedios de N_2 y CO_2 con enriquecimientos en metano (24 - 45 %). La variabilidad es aún mayor desde el punto de vista isotópico con firmas $^3\text{He}/^4\text{He}$ muy bajas para Coloraditos (0.58-0.81 Ra), entre 1.07 a 1.17 Ra para San Felipe y Punta Estrella y valores superiores para Puertecitos (hasta 1.7 Ra). Estos valores reflejan diferentes grados de contribución mantélica. De hecho, los gases de Puertecitos tienen ~20 % de contribución mantélica mientras que en Coloraditos la contribución es de apenas un 9 %, a pesar de estar localizados a 18 Km de distancia uno del otro. En cuanto a los isótopos de carbono, San Felipe y Punta Estrella muestran valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ cercanos a -5.5 ‰ volviéndose más ligeros en Puertecitos (-10 ‰) y Coloraditos (~ -18 ‰) respectivamente. Por su parte las firmas isotópicas del metano sugieren un origen termogénico para los gases de Punta Estrella ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ -43 a -39 ‰, $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$ -168 a -157 ‰) mientras que valores extremadamente

positivos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ (+23 a +38 ‰) y $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$ (+317 a +333 ‰) sugieren procesos de oxidación secundarios para los gases de San Felipe, Coloraditos y Puertecitos.

La variabilidad geoquímica reportada en estos sitios hidrotermales es el resultado de complejos procesos (e.g. mezcla entre diferentes endmembers, contaminación cortical por adición de ^4He radiogénico, fraccionamiento químico (disolución de CO_2 en agua y precipitación mineral)) a niveles someros, así como la descomposición de la materia orgánica por bacterias y por el régimen termal existente en los sitios, muy próximos al Rift del Golfo de California, que parece ser la fuente principal de generación de calor. A pesar de que el régimen tectónico imperante en la región condiciona el transporte de fluidos hacia la línea de costa donde son descargados, la disposición de los sistemas de fallas que alimentan los mismos podrían tener características diferentes, así como los espesores sedimentarios donde ocurren los procesos de descomposición de la materia orgánica y/o la presencia de posibles cuerpos magmáticos en enfriamiento debajo de alguna zona de actividad volcánica pasada como el caso de Puertecitos. Esta variabilidad también demuestra que los sistemas hidrotermales son más complejos tanto química como isotópicamente de lo que se pensaría, lo que implica ser cuidadosos a la hora de plantear algún modelo geoquímico conceptual regional.

Palabras clave: Baja California, hidrotermal, isótopos, $^3\text{He}/^4\text{He}$, carbono, metano.

Petrología ígnea

Emplazamiento sin-transtensional de un microgranitoide durante el *rift* del Mioceno tardío en Sonora, México

Velderrain Rojas, Luis Alonso¹, Vidal Solano, Jesús Roberto², Alva Valdivia, Luis Manuel³
¹Instituto de Geología, ERNO-UNAM, Hermosillo, Sonora, México. ²Departamento de Geología, UNISON, Hermosillo, Sonora, México. ³Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM, CDMX México.
Luis1523@hotmail.com

Durante el rift del Mioceno definido como Proto-Golfo (~12.5-~6 Ma), la región costera Sur de Sonora, México, se vio afectada por una deformación tectónica transtensiva y el registro geológico es caracterizado principalmente por un extenso magmatismo félsico, en el cual es evidenciado un intrusivo hipabisal granítico de amplia extensión espacial. Estos cuerpos micrograníticos, se exponen intermitentemente en distintas localidades y con una polaridad no aleatoria y son emplazados en la secuencia volcánica del Mioceno, sobreyacidos por un magmatismo máfico que forma mesetas sub-horizontales. El trabajo de campo muestra que los contactos son normales y que la petrofábrica de los microgranitos es subhorizontal, sin embargo, datos de fábrica magnética muestran que estos cuerpos podrían haberse emplazado como cuerpos sub-verticales aprovechando el espacio de estructuras sigmoideas generadas a partir de grandes fallas dextrales. Estos datos ponen en realce un emplazamiento syn-tectónico para estos cuerpos y un proceso tectónico local transtensional de tipo dextral, producto del rift oblicuo del Proto-Golfo de California durante el Mioceno tardío.

Palabras claves: Microgranito, transtensión dextral, rift oblicuo, Proto-Golfo, fábrica magnética

La protonación superficial aumenta con el tamaño de partícula del mineral goethita.

Salazar-Rivera, H.¹, Villalobos, M.¹, Livi, K.², Zanella, R.³

¹Laboratorio de Geoquímica Ambiental Molecular, Instituto de Geología, Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) Universidad Nacional Autónoma de México, CU, CDMX. 04510, México. ²Department of Materials Science and Engineering, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland. 21218, United States. ³Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT), Universidad Nacional Autónoma de México, CU, CDMX. 04510, México.
hugoslavko@yahoo.com.mx; mariov@geologia.unam.mx

Uno de los oxo-hidróxidos de hierro más abundantes y estables en el ambiente es la goethita (α -FeOOH), la cual tiene un papel toral en la movilidad de numerosas especies químicas a través de procesos de adsorción en virtud de que su tamaño de partícula es muy pequeño, por lo que su caracterización superficial resulta de especial interés. El objetivo de este trabajo fue determinar y comparar el comportamiento de carga protónica de cuatro goethitas de diferente área superficial específica (ASE): 40, 55, 75 y 94 m²/g. Para ello se realizaron titulaciones potenciométricas ácido-base de suspensiones de goethita en ausencia de CO₂, empleando NaNO₃ para imponer tres fuerzas iónicas (0.1, 0.03 y 0.01 mol/L), con adición inicial de HNO₃ hasta pH \approx 4. Tras un burbujeo intenso de nitrógeno para eliminar carbonatos, se realizó la titulación usando NaOH (libre de carbonato) hasta pH \approx 10.5 y posteriormente la titulación inversa (con HNO₃).

Los puntos de carga cero (PZC) obtenidos fueron muy similares entre sí, alrededor de pH \approx 9.20. Sin embargo, los valores absolutos de las cargas protónicas superficiales, normalizadas por m², aumentaron progresivamente a medida que el ASE disminuía, lo cual confirma la mayor reactividad superficial de las goethitas en tanto que aumenta su tamaño de partícula, atribuible a un incremento progresivo de la cara cristalina {201} comparada con la cara {101}, considerando que la densidad de sitios activos de la cara {201} es 2.5 veces la de la {101}. Se presentarán los datos experimentales, los cuidados extremos requeridos para obtenerlos, y las modelaciones usando MUSIC, cuyas constantes de acidez por grupo superficial describen el comportamiento de todas las goethitas.

Palabras clave: Goethita, titulación potenciométrica, carga protónica superficial.

Petrología y geoquímica de la anortosita Cacaotepec y rocas asociadas, norte del Complejo Oaxaqueño

Valencia Morales, Yuly Tatiana¹, Ortega Gutiérrez, Fernando¹, Schaaf, Peter², Espejo Bautista, Guillermo¹.

¹Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México. ²Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México.
yutanavm@gmail.com

La ocurrencia de anortositas de tipo masivo, así como rocas gabróicas y charnockíticas asociadas, es clave en el entendimiento de los procesos formadores de corteza de edad Proterozoico. La anortosita Cacaopetec aflora en el norte del Complejo Oaxaqueño, la exposición más extensa del basamento proterozoico en México (microcontinente Oaxaquia). Aunque se conoce la estructura e historia de esta parte del Complejo, tanto la génesis de la anortosita y rocas asociadas, como su papel en la evolución del Complejo Oaxaqueño y de Oaxaquia han sido poco estudiados. La anortosita Cacaotepec es un cuerpo de anortosita masiva intercalada con leucogabro y gabronorita (serie anortosítica) hacia sus bordes. Además, está asociada espacialmente a volúmenes menores de granitos con ortopiroxeno (serie granítica). Aunque ambas series poseen afinidades toleíticas, muestran tendencias de diferenciación opuestas en diagramas de variación y los elementos traza no proporcionan evidencias que las vincule genéticamente. Con el fin de evaluar la génesis, la edad y la relación entre ambas series se realizaron análisis isotópicos de Nd y Sr y geocronología de U-Pb en zircón por LA-ICP-MS. La disminución en $\epsilon_{Nd(i)}$ (+0.80, 0+.77 y -0.30) simultánea al aumento en $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ (0.703887, 0.703917 y 0.704159) y en $T_{DM(Nd)}$ (1.36, 1.51 y 1.52 Ga) en las rocas de la serie anortosítica sugieren que su magma parental se derivó de una fuente empobrecida contaminada con cortical juvenil. En contraste, los valores de $\epsilon_{Nd(i)}$ (+0.98) y $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ (0.704011) de un granitoide con ortopiroxeno son mayores a los de la serie anortosítica, descartando su origen como producto tardío de la diferenciación de esta serie. Esto y a la similitud entre los patrones de elementos incompatibles de la serie granítica y la corteza inferior sugieren la fusión parcial de corteza básica juvenil de Oaxaquia como fuente de la serie granítica. La edad cristalización promedio $^{207}Pb/^{206}Pb$ de 1013 ± 34 Ma de un xenolito granítico dentro de la anortosita, también es interpretada como la edad máxima de emplazamiento de la anortosita. La formación y emplazamiento de estas rocas ocurría

posiblemente en el marco de la delaminación de un orógeno engrosado (producido por la colisión entre Proto-Oaxaquia y Amazonia).

Palabras clave: Anortosita Cacaotepec, Complejo Oaxaqueño, anortosita de tipo masivo, geocronología de U-Pb, Isotopía de Sr y Nd.

FRXED de la IGH-TSF en San Carlos Nuevo Guaymas, Sonora y Cataviña, Baja California, México: Implicaciones petro-tectónicas para el Proto-Golfo de California.

Vidal-Solano, Jesús Roberto¹, Piña-Páez, Lillian Adriana¹, Meza-Figueroa, Diana¹, Vega-Granillo, Ricardo¹, Velderrain-Rojas, Luis Alonso², Stock, Joann³, Gómez-Valencia, Alejandra^{1,2,4}.

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora. ²Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México. ³Seismo Lab, California Institute of Technology. ⁴Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora.

*roberto.vidal@unison.mx

La presencia en Baja California y Sonora de un extenso depósito ignimbrítico hiperlcalino, nombrado Ignimbrita de Hermosillo-Toba de San Felipe (IGH-TSF), de ca. 12Ma, ha servido como un marcador estratigráfico para reconocer las primeras manifestaciones volcánicas asociadas a la porción norte del Rift continental del Proto-Golfo de California. El análisis químico realizado en cortes de roca de esta unidad bajo la espectrometría de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF), permitió establecer una correlación geoquímica entre las muestras estudiadas en San Carlos, Sonora y Cataviña, Baja California, resultando ser un excelente método para la caracterización de depósitos de corriente piroclástica densa, en particular cuando contienen partículas ajenas al magma que no pueden ser eliminadas por el análisis de roca total convencional. Los resultados obtenidos permiten distinguir: 1) variaciones composicionales de la base a la cima de los depósitos piroclásticos, que pueden asociarse a la incorporación de partículas durante el emplazamiento, derivadas de la erosión de rocas de arco, 2) así como a diferentes tendencias químicas que son asociadas a la distancia y ubicación de los depósitos con respecto a su punto de emisión, sugiriendo una zonación del reservorio magmático. Basados en los resultados de este estudio y de trabajos geológicos previos, se propone que los depósitos de Cataviña se correlacionan con los de San Carlos y representan un emplazamiento distal a más de 50km del punto de emisión, sobre-yaciendo discordantemente a las manifestaciones volcánicas de arco, por medio de paleo canales. Esta correlación propone que la ubicación geográfica de los depósitos de la IGH-TSF se encontraba al W de San Carlos aproximadamente a 430km al SE de su localización actual. Finalmente, la reconstrucción palinspática del límite de las placas Pacífico-Norte América a partir de estos datos muestra una congruencia con los modelos cinemáticos propuestos en otras

investigaciones para el Norte del Proto-Golfo de California entre los 12 y los 6Ma, e inclusive, que se pudiera considerar una posición de algunas decenas de kilómetros más al Sur para la microplaca de Baja California.

Palabras clave: IGH-TSF, Proto-Golfo de California, San Carlos, Cataviña.

Caracterización mineralógica y geoquímica de los depósitos de zinc tipo “calaminas” en la Sierra Santa Rosa, estado de Coahuila, México.

Córdova Medina, Jorge Alberto¹, Guerra Cruz, Filiberto¹, Díaz-Martínez, Roberto¹, Rodríguez Vega, Antonio¹

¹Escuela Superior de Ingeniería “Lic. Adolfo López Mateos, Universidad Autónoma de Coahuila.
Boulevard Adolfo López Mateos s/n. C.P. 26830
jorgeacom30@gmail.com

RESUMEN

Se realizó la caracterización mineralógica y geoquímica de los depósitos de zinc de tipo calamina Rosario y Rosario 1 presentes en la Sierra Santa Rosa y un análogo en la Sierra de Obayos. Para lograr el objetivo propuesto se realizaron trabajos de reconocimiento geológico, recolección de muestras, preparación y análisis. Las técnicas analíticas empleadas en la investigación incluyeron los métodos ópticos de luz transmitida y luz reflejada, difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X portátil y espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES). Como resultado de este trabajo se pudo determinar que la roca encajonante de la mineralización es dolomita o caliza dolomitizada. Las fases minerales que constituyen las menas primarias son: marcasita y/o pirita, esfalerita y galena. Las fases minerales que caracterizan las calaminas son: smithsonita, cerusita, goethita y hematita, siendo la smithsonita el principal mineral de Zn en los depósitos. Los contenidos de ZnO en las menas alcanza hasta el 45.11 % en peso. con valores en óxido que sobrepasan el 35% en peso. Los contenidos de Ag en las calaminas alcanzan valores de hasta 31.33% en peso, pudiendo estar relacionada con la presencia de fragmentos de galena dentro de la masa mineral de las calaminas. Por último, se concluye que la composición de las mineralizaciones estudiadas tanto en la Sierra Santa rosa como en Obayos son mineralizaciones secundarias de Zn-(Fe-Pb) tipo “Calaminas”, cuya fase mineral predominante es la smithsonita.

Petrología y geoquímica del Complejo Plutónico de Tumbiscatío, Michoacán.

Guevara-Alday, D.A.¹, Corona-Chávez, P.², Gómez-Rivera, F.J.¹

¹Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo (UMSNH), Posgrado en Geociencias y Planificación del Territorio. Morelia, Michoacán, 58000, México. ²Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. Edificio, U, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, 58000, México.
ateguevara.alday@gmail.com

RESUMEN

La porción suroccidental en México se caracteriza por presentar una serie de cuerpos plutónicos graníticos del Jurásico medio-tardío asociados a depósitos de minerales auríferos, algunos ejemplos de estos cuerpos se encuentran en las regiones de Cuale, San Diego Curucupatzeo y Macías-Tumbiscatío. En este trabajo, se presenta un estudio petrológico y geoquímico del Complejo plutónico de Tumbiscatío (CPT), el cual presenta una de las mejores áreas de exposición de este tipo de plutonismo jurásico que ha sido pobremente estudiado.

El CPT exhibe una estructura heterogénea con una diversidad de litologías que van desde granitos, sienitas y abundantes diques cuarzo-sieníticos. Presenta numerosos afloramientos con xenolitos de rocas metamórficas parcialmente asimilados. Su composición mineralógica es variable, pero predominan las unidades de plagioclasa-cuarzo-feldespato potásico-biotita± muscovita y raramente anfíbol. Por otro lado, presenta estructuras y texturas de deformación de cizalla asociadas a un sistema de plegamiento de probable edad laramídica. Los datos geoquímicos obtenidos a través de la fluorescencia de rayos X revelan firmas tendencialmente subalcalinas a alcalinas con variaciones en la concentración de SiO₂ de 60% a 71 wt% con un relativo enriquecimiento de Al₂O₃ de 13% a 16 wt% mostrando una tendencia relativamente peraluminosa con presencia de corindón normativo con valores de 1.17 a 1.2. Basados en sus elementos en traza adquiridos a través de espectrometría de masas por acoplamiento inducido, se sugiere a partir de los elementos Y+ Nb/Rb una afinidad tectónica de arco volcánico con ligera tendencia a intra-placa. Los valores isotópicos de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr varían de 0.7012 a 0.7024 que podrían asociarse con granitos tipo-S, sugiriendo una influencia por contaminación y/o asimilación cortical. Por medio de 5 análisis isotópicos de Rb-Sr en biotita y roca total se obtuvieron edades que varían entre 77.0 ± 1.5 y 144.7 ± 2.9 Ma. Sin

embargo, se considera que la edad de este cuerpo plutónico corresponde a 144.7 ± 2.9 Ma, en cuanto es más consistente con las edades de $163 \pm$ y $152 \pm$ Ma obtenidas en trabajos previos, así como por su contextualización geológica regional, ya que intrusión una secuencia del Triásico-Jurásico e infrayace a las secuencias cretácicas volcánico-sedimentaria del sub-terreno Zihuatanejo.

Palabras clave: plutonismo, cristalización, Terreno Guerrero, zircones, Michoacán.

Caracterización geoquímica de un concentrado pesado de la Sierra la Minerva, Edo. De Coahuila, México.

Reveles-Guerra, Jerally¹, Oliva-Balderas, Brayan Samuel¹, Díaz-Martínez, Roberto¹, Rodríguez-Vega, Antonio¹

¹Escuela superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos, Universidad Autónoma de Coahuila.
jerally1reveles@gmail.com

RESUMEN

La información geoquímica obtenida a partir de los concentrados pesados puede ser utilizada como complemento de la información puramente mineralógica, aportada por el método tradicional de los concentrados pesados, pudiendo ofrecer información geoquímica valiosa para la prospección y la investigación geológica en general. El objetivo de este trabajo es revelar indicadores geoquímicos de importancia para la exploración minera y el análisis metalogénico a partir de la caracterización geoquímica de un concentrado pesado obtenido a partir del lavado de batea de una muestra de sedimento aluvionar del sector NW de la Sierra La Minerva, en el estado de Coahuila. Una vez obtenido el concentrado de batea se procedió a la separación granulométrica obteniendo varias clases granulométricas, cada una de las cuales fueron separadas con un imán de mano en fracciones ferromagnética, paramagnética y diamagnética y posteriormente analizadas con un espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil. La caracterización geoquímica de la muestra de concentrado pesado reveló que el Fe, Ti y V se concentran significativamente en el concentrado pesado con valores de 17.49%, 6.69% y 0.13% respectivamente. Como resultado de la separación granulométrica se obtuvieron cinco clases granulométricas, siendo la fracción -0.7mm+0.25mm la que concentra notablemente el Fe, Ti y V con valores de 22.51%, 8.66% y 0.15% respectivamente. La separación con imán de las clases granulométricas indica que el Fe, Ti y V se concentran en todas las fracciones, pero particularmente en la fuertemente magnética de la clase inferior a 0.18mm con valores de 64.74% Fe, 7.77% Ti y 0.5% V. Valores de Ti y V tan altos en fracciones fuertemente magnéticas solamente puede ser explicado por la presencia de magnetitas vanadíferas. Estos valores superan los contenidos de vanadio en magnetitas de algunos cuerpos intrusivos conocidos a nivel mundial, como es el macizo máfico-ultramáfico alcalino de Ponte Nova en Brasil y Skaergaard en Groenlandia. Estos rasgos geoquímicos de las magnetitas vanadíferas

en los concentrados pesados sugieren la presencia de cuerpos alcalinos en la Sierra La Minerva y abre una ventana a las investigaciones y la exploración de este tipo de mineralización en México.

Estudio petrográfico y geoquímico de la IGH-TSF en San Carlos-Nuevo Guaymas, Sonora, México: Una nueva correlación con Baja California para el Proto-Golfo.

Piña-Páez, Adriana¹, Vidal-Solano, Jesús Roberto¹, Meza-Figueroa, Diana¹.

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora.
adrianappaezw@gmail.com

Los Algodones es un área ubicada en el norte del poblado de San Carlos en la región de Guaymas, en la costa sur de Sonora, México. Esta región está caracterizada por la presencia de un basamento cristalino laramídico del Cretácico tardío, cubierto por secuencias, de lavas del Mioceno temprano-medio, de composición intermedia a máfica en la base y, lavas del Mioceno tardío, de composición félsica a intermedia en la cima, con evidencia de al menos dos depósitos ignimbríticos. Un estudio petrográfico realizado a una de las unidades piroclásticas encontradas en el área, así como uno geoquímico elaborado bajo el análisis de los elementos traza Rb, Sr, Zr, Zn, Co, Ni, V y Ba por medio de un equipo portátil de FRX *Niton FXL*, arrojó como resultado que se trata de la Ignimbrita de Hermosillo-Toba de San Felipe (IGH-TSF), un marcador estratigráfico, del límite Mioceno medio-superior, ampliamente distribuido en el NW de México, y que con base en sus características petrológicas es puntualmente correlacionable con el depósito reportado a 430km al NW en la región de Cataviña, Baja California. Este hecho es de relevancia tectónica, ya que permite reconstruir y ubicar al bloque cortical de San Carlos con su correspondiente en la microplaca Baja California durante el Proto-Golfo de California.

Palabras clave: IGH-TSF, Proto-Golfo de California, Los Algodones, Cataviña

Caracterización geoquímica de minerales del grupo de la eudialita en mineralizaciones del Complejo Alcalino La Vasca

Martínez-Salinas, E. A.¹, Díaz-Martínez, R.¹, Rodríguez-Vega, A.¹, Proenza-Fernandez, J. A.²

¹Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita, Coahuila, México. ²Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales. Facultad de Geología. Universidad de Barcelona. Martí y Franqués, S/N, 08028, Barcelona, España
alan-14-307@hotmail.com

RESUMEN

Los minerales del grupo de la eudialita (MGE) comprenden a un grupo complejo de zirconosilicatos, cuya relevancia ha aumentado debido a su posible uso como mena de Elementos de Tierras Raras Pesadas (HREE por sus siglas en inglés), vitales componentes para futuras tecnologías verdes. En el cuerpo intrusivo conocido como Sierra La Vasca, se ha encontrado evidencia del carácter geoquímico alcalino de las rocas (sienitas nefelínicas, posiblemente agpaíticas), y mineralizaciones importantes de MGE relacionadas a estas rocas han sido reportadas. En este trabajo se analizan muestras de las mineralizaciones de MGE mediante microscopía electrónica de barrido (SEM - EDS), se determinan los minerales presentes y las proporciones composicionales de áreas específicas de la muestra, además de calcular la fórmula estructural de la eudialita.

Palabras clave: geoquímica, fórmula estructural, minerales del grupo de la eudialita (MGE), SEM, Sierra La Vasca.

Implicaciones geoquímicas e interdependencia de variables en la expansión de perlita

Melgarejo-Joris, Emmanuel¹ y Vidal-Solano, Jesús Roberto¹

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000.
melgarejo.joris@gmail.com

La investigación se basó en el estudio de la perlita Babidanchi con interés económico teniendo como finalidad la planeación en su explotación, el yacimiento de perlita se ubica en el límite norte de la Sierra Madre Occidental, se encuentra entre una secuencia volcánica bimodal del Mioceno, que ha sido depositada sobre una ignimbrita del Oligoceno relacionada a la Sierra Madre Occidental. Geoquímicamente se trata de una riolita de la serie calci-alcalina 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. De acuerdo con las pruebas de expansión de las muestras, se plantea una *interdependencia* a la variable LOI con el porcentaje de expansión y el rendimiento del horno, así como la consideración sobre la presencia de núcleos de obsidiana, también llamados *marekanitas*, que representan a la roca original, sin la hidratación secundaria, como un relicto del emplazamiento de la lava, proceso característico en la formación de yacimientos perlíticos. En la construcción de diagramas representativos del proceso de expansión se usaron valores de agua obtenidos mediante pruebas por LOI de las perlitas y la obsidiana, comparados contra resultados del proceso de expansión, considerándole a este proceso como prueba física. Los distintos diagramas generaron funciones auxiliares dependientes de LOI, con lo que se construyó un gráfico paramétrico que considera las distintas variables implícitas en la expansión, con esto se construyó un método matemático que permite evaluar y pronosticar el proceso de expansión, donde se observa cómo en algunos casos las muestras presentan densidades mayores debido a que sobrepasaron el punto de fusión, otras que no llegaron a su densidad mínima por no haber tenido rendimientos óptimos al horno, y las de densidades menores, que representan un proceso de expansión considerablemente óptimo. Además, al normalizar los valores de los elementos químicos de las muestras de perlita contra los valores de la obsidiana, se observan cambios en la concentración de algunos elementos derivados del proceso de perlitización.

Palabras clave: perlita, LOI (loss of ignition), interdependencia, paramétrico.

Petrogénesis de los cuerpos granitoides de la región de Puerto Libertad Sonora.

Barrón-Díaz, Arturo Joaquín¹, Gómez-Valencia, Alejandra Marisela^{1,2}, Espinoza-Encinas, Iván Rosario¹, Lozano-Santa Cruz, Rufino³, Iriondo, Alexander⁴, Paz-Moreno, Francisco Abraham¹, Vidal-Solano, Jesús Roberto¹.

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora. ²Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora³. Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM), Instituto de Geología, UNAM. ⁴Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

La región de Puerto Libertad, en el noroeste del estado de Sonora, forma parte del Bloque Caborca e incluye secuencias Paleozoicas y Mesozoicas comúnmente cortadas por cuerpos intrusivos laramídicos. El presente trabajo muestra los resultados de un estudio petrogenético realizado en rocas intrusivas de cuatro localidades, donde de sur a norte se encuentran: (1) Sierra Picú; (2) El Destierro; (3) Sierra Tordilla y (4) Sierra Los Mochos. Estos intrusivos tienen una orientación NW-SE, cubren una extensión de 35 Km y muestran una notable afectación estructural marcada por fallas normales y lístricas. Estos cuerpos además son cortados por enjambres de diques aplíticos y pegmáticos y presentan abundantes concentraciones esferoidales y centimétricas de ferromagnesianos. Los rasgos petrológicos generales denotan que en la región norte y centro dominan las rocas granodioríticas y monzograníticas, mientras que en el sector sur dominan las rocas félsicas de variedades sienograníticas. Además se evidencia una sutil alteración propilitica de Cl+Ca+Ep con afectación selectiva en ferromagnesianos. Geoquímicamente se tienen valores altos en $\text{SiO}_{2\text{N}} = 65.83 - 76.14\%$, valores de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{N}} = 2.93 - 4.09\%$ y $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{N}} = 13.25 - 16.52\%$. La Norma CIPW muestra hiperstena (<8%) en todas las muestras y corindón (<1%) en dos muestras. Hasta el momento se han identificado tres diferentes cuerpos intrusivos con variaciones importantes en Ba, Ti, Sr y P y con congruencia en las concentraciones de ferromagnesianos para las localidades de la Sierra Picú, El Destierro y Sierra Tordilla. Finalmente, la correlación petrológica con otras unidades similares que afloran en diversas partes del estado de Sonora, permite asociar a estos cuerpos intrusivos con magmas calcoalcalinos de subducción, correlacionable con la orogenia Laramide. Sin embargo, para obtener una mejor sucesión espacio temporal de estos intrusivos y para contribuir con un modelo geodinámico para estos magmas, se incluirán estudios de geotermobarometría y geocronología U-Pb.

Palabras clave: Sierra Picú; Sierra Los Mochos; Laramídico; granitoides; Puerto Libertad.

Petrografía y geoquímica de los basaltos fisurales alcalinos cuaternarios Las Esperanzas-Cacanapo, Región Carbonífera, Coahuila. México.

Medina Martínez, J.F.¹, Rodríguez Vega, A.¹, Díaz Martínez, R.¹, Rodríguez Batista, J.A.¹, Almaguer Carmenates Y.¹
¹Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita, Coahuila.
juan_mm25@hotmail.com

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo el estudio petrográfico y geoquímico de los basaltos fisurales muy jóvenes y aun poco estudiados que afloran en algunas áreas de la cuenca carbonífera de Sabinas, para lo cual fue necesario llevar a cabo la resolución de las siguientes tareas:

1. Trabajos de campo encaminados a la documentación y obtención de muestras representativas de los mantos de basalto.
2. Preparación de láminas delgadas de muestras representativas de basaltos y su estudio con ayuda del microscopio petrográfico.
3. Determinación de los contenidos de los elementos mayores y traza mediante FRX expreso en muestras representativas de basaltos.

Dentro de los límites de la denominada Cuenca de Sabinas, perteneciente a la muy conocida Región Carbonífera del noreste de México, en el estado de Coahuila, se pueden observar extensos afloramientos de mantos de lava basáltica de composición alcalina de una probable edad plioceno-pleistoceno, conocidos como Basaltos Las Esperanzas- Cacanapo, que con frecuencia yacen discordantemente sobre los conglomerados del plioceno pertenecientes a la Formación Sabinas. En correspondencia con lo observado en la carta geológica 1:250000 del cuadrante Nueva Rosita (G14-1) todo parece indicar que los principales flujos de lava basáltica se asociaron con un sistema de fallas normales en los límites del bloque levantado de la sierra de Santa Rosa y el bloques hundido correspondiente a las subcuencas Las Esperanzas y Sabinas, reactivadas como consecuencia de esfuerzos extensionales póstumos asociados al desarrollo del sistema de Cuencas y Cordilleras norteamericano. Las investigaciones llevadas a cabo en los últimos años por estudiantes y profesores de la Escuela Superior de Ingeniería Lic. Adolfo López Mateos permiten ofrecer algunos datos petrográficos y geoquímicos muy preliminares con la finalidad de contribuir a un mayor conocimiento y

mejor caracterización de estos basaltos aun poco estudiados. Los resultados obtenidos muestran que se trata de basaltos alcalinos muy ricos en olivino notablemente iddingsitizados, titanogaugita y plagioclasa, con típica textura pilotaxítica.

Resultados petrográficos y geoquímicos preliminares de la asociación de rocas alcalinas relacionadas con el complejo intrusivo La Vasca, región noroeste del estado de Coahuila. México

Rodríguez Vega, A.¹, Díaz Martínez, R.¹, Rodríguez Batista, J.A.¹, Almaguer Carmenates, Y.¹
¹*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*

La presente investigación tiene como objetivo fundamental el de contribuir al conocimiento de las particularidades petrográficas y geoquímicas de las rocas que conforman los cuerpos intrusivos en la región noroeste del estado de Coahuila, particularmente en el área de Sierra de La Vasca, para lo que fue necesario la resolución de las siguientes tareas:

1. Trabajos de campo
2. Preparación de láminas delgadas y su estudio petrográfico.
3. Determinación de los contenidos de elementos mayores y traza.

Sierra de La Vasca es uno de los muchos cuerpos intrusivos con estructura circular zonada y carácter alcalino que afloran en la región noroeste del estado de Coahuila, México, muy próximo a la frontera con el estado norteamericano de Texas y de donde se ubica el Big Bend National Park. Estos cuerpos intrusivos se distribuyen dentro de los límites de la prolongación mexicana de la provincia magmática alcalina del Trans-Pecos, constituyendo la denominada Provincia Alcalina Oriental mexicana. En La Sierra de La Vasca y sus inmediaciones estos cuerpos intrusivos en forma de lacolitos, stocks, sills, diques y necks intruyen la potente secuencia carbonatada del cretácico e incluso a los volcánicos del oligoceno. Los datos ofrecidos por la carta geológica 1:50000 del cuadrante San Miguel (H13-D67) editada por el Servicio Geológico Mexicano destacan que en el área de Sierra La Vasca y sus inmediaciones los intrusivos están representados esencialmente por grandes cuerpo constituidos por granitos, monzonitas y dioritas indiferenciados de edad eoceno con duda, así como numerosos pequeños cuerpos intrusivos de los mal denominado "pórfitos andesíticos, dacíticos y riolíticos", todos de edad oligoceno con duda. Los estudios petrográficos y geoquímicos llevados a cabo aporta nuevos datos relacionados con la asociación de rocas de los cuerpos intrusivos

en Sierra La Vasca y sus alrededores, revelando por primera vez la existencia y amplia distribución de rocas peralcalinas de marcado carácter agpaítico, entre ellas diferentes sienitas nefelínicas ricas en eudialita, sienitas cancriníticas y jacupirangitas, que genética y espacialmente se asocian a probables carbonatitas y rocas fuertemente fenitizadas.

Palabras claves: Sierra La Vasca, Trans-Pecos, cuerpos intrusivos, rocas peralcalinas, carácter agpaítico, sienitas nefelínicas, pórfiros, jacupirangitas.

Geoquímica ambiental y salud

Análisis hidrogeoquímico de la región Las Derrumbadas, Puebla.

Cañas Ramírez, Julio César¹, Ávila Olivera, Jorge Alejandro¹, Kretzschmar, Thomas², Gómez Vasconcelos, Martha Gabriela³

¹Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). ²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California. ³Cátedras CONACYT – Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH igjuliocanasr@hotmail.com

Descripción que justifique el tópico en que se incluye la presentación:

La Unión Europea en colaboración con México crea el proyecto GEMex, “Cooperación México-Europa para la investigación de sistemas geotérmicos mejorados y sistemas geotérmicos supercalientes” para desarrollar tecnología que permita mejorar el aprovechamiento de los campos geotérmicos clasificados de esta manera como es el caso de Los Humeros, Puebla, México. Para comprender el comportamiento de un campo geotérmico se deben conocer los elementos que forman parte del sistema, de ahí surge la necesidad de estudiar la hidrogeoquímica de la región Las Derrumbadas con el fin de mejorar el entendimiento de la dinámica del agua subterránea e identificar la proveniencia del flujo subterráneo que alimenta al acuífero profundo termal del campo geotérmico Los Humeros.

Descripción del método y actividades realizadas:

Para conocer la distribución por familias de agua en la zona de estudio, se realizó una búsqueda de información en el archivo histórico del agua (CNA), teniendo como resultado varios informes con enfoque agrológico los cuales incluyen datos analíticos de química de agua de cada uno de los pozos de extracción muestreados. Posteriormente se llevaron a cabo tres campañas de campo para tomar muestras de agua de pozos, norias, volcanes tipo maars y manantiales distribuidos en la zona de estudio. *In situ* se midieron parámetros como: *valores de concentraciones de iones de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica microhoms / cm a 25° y temperatura* mientras que en el laboratorio se determinaron aniones, cationes, elementos traza e isótopos.

La información obtenida se analizó e integró en mapas temáticos de la zona de estudio realizados en un ambiente SIG, adicionando capas de información relevante en la zona de estudio para mejorar su entendimiento.

Resultados y utilidad práctica del tema que se presenta:

Con base en los antecedentes de estudios consultados se identificaron cuatro familias principales de agua: bicarbonatada cálcica y/o magnésica, bicarbonatada sódica, sulfatada y/o clorurada cálcica y/o magnésica y bicarbonatada cálcica magnésica sódica; encontrándose en zonas bajas o de valle donde existen suelos cultivables; Los valores de concentraciones de iones de hidrogeno (pH) oscilan entre 6.9 y 8.6 siendo el valor promedio de 7.94 de alcalinidad, una conductividad eléctrica de 250 y 2600 microhoms / cm a 25° siendo el valor promedio de 733.32 microhoms / cm a 25°, encontrándose trazas del elemento “boro” con valores de entre 0.06 y 3.5 (ppm) asociado a fluidos hidrotermales congruente con la zona de estudio.

De las campañas de campo se distribuyeron los valores tomados *in situ* de pH, conductividad eléctrica y temperatura:

Campaña 1: concentraciones de iones de hidrogeno (pH) 7.37, conductividad eléctrica 774.06 microhoms / cm a 25° y temperatura de 17.57°. *Campaña 2:* concentraciones de iones de hidrogeno (pH) 7.51, conductividad eléctrica 1125.11 microhoms / cm a 25° y temperatura de 19.57°. *Campaña 3:* concentraciones de iones de hidrogeno (pH) 7.31, conductividad eléctrica 1434.50 microhoms / cm a 25° y temperatura de 19.2°.

Propuesta de acciones y seguimiento relacionadas con la presentación:

La información de la química de agua se alimentará con un estudio de la piezometría de la zona de estudio, lo que permitirá asociar el muestreo de aguas con unidades geológicas específicas y de esta manera identificar los diferentes acuíferos. Los resultados de los isotopos se emplearán para reconocer los flujos locales, intermedios y regionales, y su relación con el funcionamiento del campo geotérmico de Los Humeros, Puebla.

Palabras clave: pH, conductividad eléctrica, temperatura, in situ.

Relación hidrogeoquímica e isotópica del acuífero superficial del valle de Perote, Veracruz con el campo geotérmico Los Humeros, Puebla.

Martínez González, Abraham¹. Kretzschmar, Thomas Gunter¹. Iñiguez Pacheco, José Enrique¹.

¹Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
abraham@cicese.edu.mx

Dentro del marco de colaboración internacional entre México y la Unión Europea (Cooperation in Geothermal energy research Europe-Mexico for development of Enhanced Geothermal Systems and Superhot Geothermal Systems) para el desarrollo de energía geotérmica, se llevaron a cabo campañas de exploración hidrogeoquímica en los alrededores del campo geotérmico Los Humeros (Puebla).

El modelo conceptual del sistema geotérmico incluye cuatro fallas externas a la caldera Los Humeros. Las fallas de Cuyaco y Totolcingo se encuentran en el valle de Tepeyahualco, y las fallas de Alchichica y El Limón se localizan en el valle de Perote.

Se realizó la caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas con el propósito de identificar las zonas de descarga del reservorio. Dado que de algunos pozos agrícolas ubicados en el valle de Perote se extrae agua con alta concentración de boro y con temperatura superior, por lo menos en cinco grados Celsius al promedio; se infiere que el acuífero somero del valle de Perote es afectado por los fluidos del reservorio geotérmico.

La representación espacial de temperatura y electro-conductividad permite relacionar un cambio de fase con la falla Alchichica. En el diagrama de Piper se identifican dos grupos de muestras, el primero bicarbonatadas cálcicas-magnésicas y el segundo bicarbonatadas sódicas. En el diagrama ternario Na-K-Mg se observa que las muestras están desplazadas hacia la esquina del Mg, de ahí que el componente principal de la mezcla sea agua bicarbonatada-sódica equilibrándose con la roca de origen volcánico a temperaturas inferiores a 100 °C. Por otra parte, la relación entre los valores de δB y NO_3^-/B señala que el origen del boro no es producto de la actividad agrícola. Además, en el diagrama ternario Cl-Li-B se determina que el origen del boro y del cloro procede de

absorción de vapor. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ correspondientes a los pozos agrícolas ubicados dentro del valle de Perote no indican interacción agua-roca sino únicamente evaporación.

Palabras clave: Los Humeros, Alchichica, hidrogeoquímica, relaciones isotópicas.

Geoquímica orgánica del ámbar de Simojovel de Allende (Chiapas, México) procedente del guapinol (*Hymenaea*): Resultados preliminares

Flores-Castro, Kinardo^{1*}, Estrada-Ruiz, Emilio^{2**}, Torres-Valencia, J. Martín³, Zeferino-Díaz, Reyna³,
Ramírez-Morales, Karen¹, Peñalba-Garmendia, Cristina⁴

¹*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. ²*Laboratorio de Ecología*, Departamento de Zoología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas - 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.

³*Centro de Investigaciones Químicas*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria, s/n, C.P. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo. ⁴*Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas*, Universidad de Sonora. Av. Luis Donaldo Colosio s/n, Edificio 7G, Col. Centro. C.P. 83000, Hermosillo, Sonora.

*kinardo_flores@hotmail.com, **emilkgrama@yahoo.com

El ámbar se produce por la polimerización de las resinas exudadas de ciertas plantas como mecanismo de defensa contra enfermedades, cortes, ataques de insectos, horadación de escarabajos, hongos y bacterias. Las resinas proceden frecuentemente de coníferas de las familias Araucariaceae, Pinaceae y Taxodiaceae; así como también de algunas plantas con flor (angiospermas), que son comunes en muchas partes del mundo.

La polimerización es el principal factor del proceso de fosilización para la conformación del ámbar; sin embargo, no todos los tipos de resina llegan a fosilizarse porque dependen de su estabilidad química y de factores geológicos, fisicoquímicos y biológicos propios del ambiente sedimentario donde se sepultaron. Los factores que favorecen la preservación y la fosilización son el rápido sepultamiento, la ausencia de oxígeno (ambiente anóxico), actividad bacteriana específica, alta salinidad, presión y temperatura adecuadas y el tiempo.

En nuestro planeta se han reportado diversas localidades que contienen importantes yacimientos de ámbar que son famosos por sus múltiples inclusiones de flora y fauna prácticamente intacta a pesar de tener varios millones de años y de constituir en muchos casos especies extintas. Destacan afloramientos de la región del Báltico, los de República Dominicana, Rusia, Polonia, España, Rumania, Estados Unidos, Canadá y México, donde paleontólogos expertos de distintas disciplinas han dedicado esfuerzos taxonómicos que redundan en importantes aportaciones científicas de tipo

bioestratigráfico y paleoambiental, que describen detalladamente los distintos escenarios sedimentarios y paleoecológicos donde el ámbar se formó. Específicamente nuestro país es considerado de los mejores yacimientos del mundo y la mayoría de ellos están referidos a afloramientos miocénicos de Simojovel de Allende, Huitiupán y Totolapa en el estado de Chiapas (México), donde proceden magníficos ejemplares de ámbar que muestran una gran diversidad biológica correspondiente a climas tropicales y donde se observan evidentes cambios climáticos que son irrefutables de esta cuenca en particular.

Con esto en mente, es pertinente mencionar que la mayor parte de los esfuerzos de investigación publicados se basan en el estudio del contenido paleontológico incluido en las resinas fosilizadas y pocos son los que se dedican a establecer su composición química en conjunción con la especie o familia de la planta que la produjo, por lo que este trabajo tiene como objetivo establecer este vínculo de forma multidisciplinar.

De forma general el ámbar está conformado por moléculas orgánicas heterogéneas constituidas esencialmente por C, H y O, formando estructuras alifáticas y cíclicas ramificadas características del ácido succínico, diversos mono- y sesqui-terpenos que se acompañan por sustancias volátiles de olor agradable y composición aromática. La fracción mucilaginosa, no volátil, es rica en di- y tri-terpenos que son las que se fosilizan a través de sus radicales libres, donde suceden las reacciones de polimerización, isomerización y entrecruzamiento, donde el azufre puede estar presente a bajas concentraciones (<1%). También se han reportado ligninas, flavonoides y pigmentos, entre otros. En este caso particular se estudia la geoquímica orgánica del ámbar producido por una especie relacionada al árbol denominado guapinol correspondiente al género *Hymenaea*; sin embargo, existen dos especies fósiles relacionadas con ésta, la *Hymenaea mexicana* y la *Hymenaea allendis*.

Las muestras de ámbar fueron lavadas con agua destilada y posteriormente secadas a temperatura ambiente, trituradas y pulverizadas con mortero y pistilo de ágata a malla 100. Se obtuvo una muestra representativa de 20 g que se sometió a reflujo continuo termoregulado con cloroformo grado HPLC (1:3) por espacio de 50 horas, proceso que

permitió extraer la fracción soluble (bitumen) y que el rotavapor concentró posteriormente. El extracto resultante se analizó en primera instancia aplicando la técnica de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de ^1H (400 MHz) y de ^{13}C (100 MHz) en CDCl_3 , como herramienta geoquímica diagnóstica. Este primer análisis preliminar reveló una mezcla compleja de compuestos aromáticos, ácidos grasos saturados e insaturados y de manera importante, diterpenos, triterpenos y esteroides que contienen grupos acetilo e hidroxilo (Figura 1).

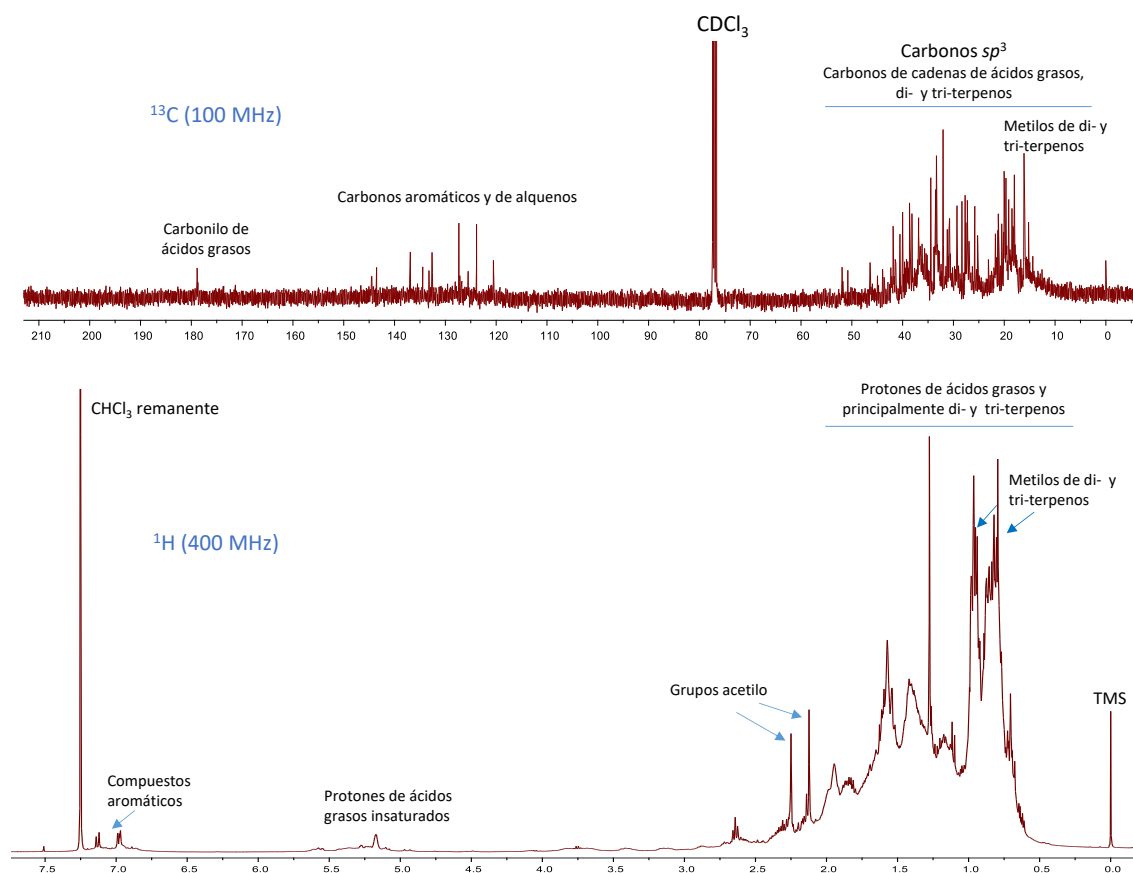


Figura 1. Espectros de RMN de ^{13}C y de ^1H en CDCl_3 , del extracto clorofórmico de la muestra de ámbar de Simojovel.

Es pertinente señalar que la mezcla compleja en cuestión requiere de la aplicación posterior de técnicas cromatográficas de separación y su caracterización por métodos espectroscópicos para establecer la estructura correcta de los componentes individuales que conforman el extracto y puedan mostrar diferencias estructurales con compuestos naturales actuales. Los resultados obtenidos al momento son interesantes desde el punto

de vista evolutivo, dado que la especie que generó la resina contiene compuestos orgánicos vitales para sus funciones. Es también importante señalar que los ácidos grasos y esteroides conforman metabolitos primarios de las membranas celulares (funciones vitales), pero los diterpenos y triterpenos son metabolitos secundarios que participan activamente en la sobrevivencia de la especie.

Metales pesados en suelo regado con agua residual tratada, la translocación de metales del suelo a planta. Translocación de metales pesados a la planta en suelos regado con agua residual tratada.

Jiménez Angulo, Jesús Antonio¹, Reyes López, Jaime Alonso^{1*}, Romero Hernández, M. Socorro¹, Salazar Escalante, Luz Estela¹, Domínguez Solís, Amílcar Fernando², Herrera Martínez, Aseneth²

¹Instituto de Ingeniería, UABC. ²Facultad de Ingeniería, UABC.

jaime.reyes63@uabc.edu.mx

La acumulación de metales pesados en suelos agrícolas y su posterior absorción y también bioacumulación por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria y un riesgo para la salud. Esto depende, en primera instancia, del movimiento de los metales (translocación-movilidad de las especies) desde la solución en el suelo a la raíz de la planta. El estudio se realizó en parcelas agrícolas regadas con aguas residuales tratadas considerando que estudios previos habían establecido valores altos de algunos metales. En este trabajo se presentan los resultados de concentraciones promedio de metales pesados en suelo, planta y semilla de trigo regados con agua residual tratada (ART) de la PTAR-“Arenitas” localizada en el Valle de Mexicali, Baja California, México. Se determinó la concentración de metales totales en todas las muestras y extractables en suelo. Los valores de translocación se establecieron con las concentraciones de metales en el tallo de la planta y semilla de trigo. Para comparación se seleccionaron dos parcelas; una regada con ART y otra con agua fresca (AF). En cuanto a metales totales la prueba de Tukey mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el suelo regado con ART respecto al suelo testigo regado con AF. Respecto a metales extractables en suelo, las concentraciones promedio de Pb, Cu y Fe también presentaron diferencias significativas. La translocación de metales del suelo a planta de trigo fue mayor cuando se aplicó AF (excepto Cu). En las muestras de semilla de trigo, la translocación de Pb, Cd, Cu y Fe fue mayor cuando se aplicó ART. En general los metales pesados en las diferentes muestras cumplen los límites de toxicidad establecidos en normas nacionales e internacionales. Se concluye que con ambos riegos hay acumulación de metales aunque en el suelo regado con ART las concentraciones fueron mayores. Se recomienda mantener los niveles de calidad de agua de reuso (aplicación de ART) en suelos agrícolas para asegurar la inocuidad de los cultivos.

Palabras Clave: Metales tóxicos, reuso de agua, metales totales, metales extractables, Valle de Mexicali, contaminación de suelos

δD y $\delta^{18}O$ en el acuífero del Valle de Mexicali: actualización de las fuentes del agua

Llamas Dios, Marta I.¹, Ramírez del Castillo, Erick J.², Cital Morales, Frida S.², Rodríguez Burgueño, J. Eliana³ y Carreón Diazconti, Concepción³

¹Universidad de Málaga, España. ²Universidad Autónoma de Baja California, México. ³Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, México
ccarreond@uabc.edu.mx

El agua subterránea de Baja California presenta una inesperada distribución en su composición de δD y $\delta^{18}O$ ya que estos valores decrecen hacia el sur, comportamiento contrario al reconocido efecto de latitud que domina en el resto del país; sin embargo, se ha observado que el agua subterránea del Valle de Mexicali es la excepción en este modelo regional. Por otro lado, se ha definido un efecto de altitud con el que concuerdan numerosas muestras de acuíferos a lo largo de la porción norte de la península, no así las provenientes del acuífero del Valle de Mexicali. Son varias las fuentes conocidas del agua subterránea en dicho valle, entre las que se encuentran el agua de origen geotérmico, la escasa precipitación local y los escurrimientos de los ríos Colorado y Gila. Con el propósito de corroborar las principales influencias y de identificar los cambios en las fuentes del agua ocasionados por las recientes acciones de control de las aguas superficiales y por las variaciones en las condiciones ambientales, se realizó un análisis estadístico de los datos isotópicos históricos y se generaron nuevos datos de las aguas subterránea, superficial y de lluvia. Los valores históricos del agua subterránea se agrupan estadísticamente en tres “clusters” bien definidos que concuerdan con la firma isotópica del principal componente. Los datos obtenidos recientemente presentan una distribución similar aunque el análisis de fuentes señala hacia la mezcla entre dos componentes principales. Por otro lado, la firma isotópica del agua superficial ha variado históricamente entre -95.7‰ y -100.50‰ en δD y entre -11.75‰ y -12.27‰ en $\delta^{18}O$, con los datos más empobrecidos representando al agua “vieja” del río Colorado y los valores más recientes en el extremo opuesto. Los cambios más significativos se observan en la composición de isotópica de la lluvia, sin embargo, ésta parece jugar un papel cada vez menos relevante en el origen del agua subterránea. Los valores de δD y $\delta^{18}O$ auxiliaron en la reevaluación de la significancia de las fuentes del agua que se extrae actualmente del acuífero del Valle de Mexicali y sentaron las bases para estudios subsecuentes.

Palabras clave: Isotopos estables, Valle de Mexicali, agua subterránea, fuentes del agua.

Controles hidrológicos y geoquímicos en la atenuación natural de arsénico en un suelo calco-yesífero en Matehuala (SLP).

Gómez-Hernández, Andrea¹, Zamora-Morales, Armando¹, Hernández Martínez, Jejanya Lucero¹, Meza-Figueroa, Diana², SenGupta, Bhaskar³, Martínez-Villegas, Nadia¹

¹IPIICYT, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, División de Geociencias Aplicadas, Camino a la Presa San José No 2055, Col. Lomas 4a sec., San Luis Potosí 78216, SLP, México.

²Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Rosales y Encinas s/n, Col. Centro, Hermosillo 83000, Sonora, Mexico. ³School of Energy, Geoscience, Infrastructure & Society, Heriot-Watt University, Water Academy, EGIS 2.02A William Arrol Building, EH14 4AS Scotland, United Kingdom

En la ciudad de Matehuala, San Luis Potosí, se ha reportado un caso de contaminación de agua subterránea con arsénico y se ha identificado un proceso de atenuación del mismo entre dos puntos de muestreo (un afloramiento de agua subterránea y una noria ubicada a 2 km al NE de la ciudad) en donde la concentración del arsénico disminuye de 91.5 a 11.3 mg/L. No obstante, se desconoce dicho mecanismo de atenuación. Para esclarecer esto, realizamos una excavación hasta alcanzar la zona saturada, describimos el perfil del suelo, recolectamos 22 muestras en función de la profundidad, determinamos la mineralogía por difracción de rayos X, las composiciones elementales por fluorescencia de rayos X y el contenido de carbono en un analizador TOC. Adicionalmente, determinamos la distribución de tamaño de partícula, medimos la humedad y determinamos la densidad aparente y la densidad real para calcular la porosidad del suelo. Los resultados de la excavación mostraron un perfil de suelo con 4 horizontes (A, AB, B1 y B2). El calcio, azufre y carbono inorgánico presentaron las mayores concentraciones entre los elementos mayoritarios. Similarmente, la calcita, el yeso y el cuarzo fueron los minerales predominantes entre las fases sólidas del suelo. La acumulación de arsénico en el suelo alcanzó los 349 mg/Kg en el horizonte B2, en partículas con diámetros entre 45 y 63 μm . La granulometría se distribuyó principalmente en arenas seguida por limos y en menor proporción por arcillas. A lo largo del perfil del suelo, la granulometría varió de más gruesa en el fondo a más fina en la superficie. La porosidad del suelo disminuyó conforme aumentó la profundidad. La humedad aumentó desde 6.1% hasta la saturación por el manto freático en el fondo del perfil del suelo y la formación de una franja capilar que favorece el ascenso por capilaridad del agua y del arsénico presente en el agua subterránea contaminada. En esta zona (franja capilar, horizonte B2) se encontró, también, una correlación positiva entre el hierro y el arsénico, sugiriendo que en dicho horizonte el arsénico es adsorbido por minerales de hierro. Los

resultados de este estudio contribuyen a un mejor entendimiento de la importancia de los controles hidrológicos tales como la capilaridad y la interacción agua-roca en la atenuación natural del arsénico en suelos ricos en calcita y yeso.

Palabras clave: Franja capilar, agua subterránea, retención, adsorción.

Uranio y arsénico en sedimentos de arroyos como un indicador de diferentes fuentes de contaminación en la cuenca hidrográfica Los Planes, Baja California Sur, México

Wurl, J.¹, Mendez-Rodriguez, L.², Schneider, M.³, Thomas, L.³, Brindha, K.³

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur, Km 5.5 Carretera al Sur, Departamento Académico de Ciencias de la Tierra, La Paz, Baja California Sur. C.P. 23080. ²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C., Km. 1 Carretera a San Juan de La Costa "EL COMITAN" La Paz, Baja California Sur. C.P. 23205. ³Institut fuer Geologische Wissenschaften, Malteserstraße 74-100, Freie Universitaet Berlin, 12249 Berlin, Germany
jwurl@uabcs.mx

RESUMEN

Se evaluó el impacto de la contaminación antropogénica sobre la concentración natural de uranio y arsénico en los sedimentos de los arroyos en la cuenca de Los Planes y áreas adyacentes. El conjunto de datos incluye un total de 229 muestras. Además se definió la posición y la extensión de la anomalía de uranio y con el método geoestadístico *kriging* y la de arsénico con el algoritmo de interpolación exacto *nearest neighbor*. Se interpretó un subconjunto de 85 análisis, con respecto a 21 elementos, mediante estadística multivariada, incluyendo un análisis de conglomerados jerárquico. El dendrograma obtenido en modo Q permitió la separación de seis grupos, que representan diferentes áreas de influencia. En el modo R, el dendrograma permitió una interpretación geoquímica con respecto a diferentes fuentes.

La concentración de uranio varía entre 1.43 y 7.35 mg/kg; la zona con concentraciones elevadas de U indica una anomalía en las dioritas y granodioritas de la cordillera oriental "Sierra la Gata". Desde la zona donde se lleva a cabo la actividad agrícola, no se observó un impacto significativo de la U a través de agroquímicos. El máximo valor obtenido para arsénico fue de 1.52 g/kg. La principal fuente de arsénico son los desechos las minas de oro del distrito minero histórico de San Antonio. Los hallazgos fueron evaluados con respecto al impacto potencial en la población, tomando en cuenta los límites máximos de protección nacionales e internacionales.

Elementos potencialmente tóxicos en el polvo urbano de la zona metropolitana de San Luis Potosí.

Rodríguez Rodríguez, Rodrigo Merced¹, Meza-Figueroa, Diana², Robles Morua, Agustín³, Tuxpan Vargas, Jose¹, Martínez-Villegas, Nadia¹.

¹Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, División de Geociencias Aplicadas, San Luis Potosí, S.L.P., C.P. 78216. ²Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Hermosillo, Sonora, C.P. 83000. ³Instituto Tecnológico de Sonora, Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Ciudad Obregón, Sonora, C.P. 85000.
rodrigo.rodriguez@ipicyt.edu.mx

Por su origen, el polvo urbano puede contener elementos potencialmente tóxicos. En zonas semiáridas, como San Luis Potosí (SLP), dicho polvo puede ser resuspendido por la acción erosiva del viento y exponer a la población a dichos elementos. Por tal motivo, los objetivos de esta investigación fueron: i) delimitar las cuencas urbanas de la ciudad de SLP, utilizando un modelo de elevación digital (15×15m) y ArcGis, ii) determinar la concentración de Fe, Zn, Mn, Zr, Sr, Sc, Pb, Cu, Cr, V y As por fluorescencia de rayos X y en diferentes tamaños de partícula (53, 44, 25, 20 y <20µm) en 38 muestras de polvo de calles pavimentadas recolectadas en las zonas alta, media y baja de las cuencas urbanas, antes y después de la temporada de lluvias, iii) establecer si la fuente de origen de dichos elementos es natural y/o antropogénica a través un análisis estadístico multivariado (de correlación, de componentes principales y tipo clúster) y iv) determinar el tamaño predominante de partícula por microscopía electrónica de barrido utilizando el software Phenom ParticleMetric X. Los resultados de este trabajo permitieron definir 12 cuencas urbanas, en donde las concentraciones elementales fueron Fe (75,022 mg/kg), Zn (20,008 mg/kg), Mn (3,455 mg/kg), Pb (776 mg/kg), Cu (889 mg/kg), Sc (563 mg/kg), Zr (531 mg/kg), Sr (404 mg/kg), As (284 mg/kg), Cr (252 mg/kg) y V (84 mg/kg) en la fracción <20µm. Dichas concentraciones fueron, en general, mayores que las concentraciones geoquímicas de fondo y más altas antes de la temporada de lluvias que después de ésta. El análisis estadístico y los valores geoquímicos de fondo revelaron dos posibles fuentes de EPT, una de origen antropogénico que podría explicar las concentraciones de As, Zn, Cu, Fe, Mn y Cr y el otra de origen natural que podría explicar las concentraciones de Sc, Sr, Zr, y V, mientras que el Pb parece provenir de ambas fuentes. El conteo de partículas reveló que los polvos recolectados tienen predominantemente un tamaño menor a <2.5µm, resaltando un riesgo latente de

penetración hasta los bronquios secundarios, e incluso hasta los alvéolos, la parte más profunda del pulmón.

Palabras clave: Polvo urbano, elementos potencialmente tóxicos, riesgo, San Luis Potosí.

Efecto del saneamiento sobre la emisión de gases de carbono en cuerpos de agua.

Sandoval Chacón, DAngelo¹. Hansen, Anne M.²

¹Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México.

²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos 62550

ahansen@tlaloc.imta.mx

Los cuerpos de agua participan en el ciclo del carbono (C), debido a procesos de fotosíntesis, degradación de materia orgánica, solubilidad y emisión así como cargas externa e interna de C, que implican el intercambio de gases de efecto invernadero, como dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄). Cuando no existen o no se cumple con regulaciones de disposición de residuos, de cambios de uso de suelo en cuencas hidrológicas y de descargas de agua residual proveniente de fuentes puntuales y difusas, ha aumentado la velocidad de acumulación de nutrientes en cuerpos de agua, causando eutroficación y los problemas de calidad del agua, que esta implica. Ante esto se han realizado acciones de saneamiento de cuerpos de agua, controlando cargas contaminantes, tanto externas (provenientes de la cuenca hidrológica) como internas (debido a la liberación desde partículas suspendidas y sedimento). Desconocemos el efecto que causa el saneamiento de cuerpos de agua sobre las emisiones de CO₂ y CH₄, por lo que esta investigación plantea determinar los cambios en la generación de estos gases en sistemas agua-sedimento, debido a la aplicación de tecnologías de control de la eutroficación. Para ello se desarrollaron experimentos de respirometría de sistemas agua-sedimento y análisis por cromatografía de gases, con muestras obtenidas de la presa Valle de Bravo, Edo. de México. Las muestras se incubaron en reactores, donde se evaluó el efecto de la oxigenación hipolimnética (HOS) y aplicación del adsorbente Phoslock®) (PHOS), sobre las emisiones de gases de C mediante los siguientes tratamientos *i*) HOS, *ii*) PHOS, *iii*) HOS+PHOS y *iv*) Testigo (sin tratamiento alguno). Después de la fase latente, se observaron emisiones iniciales rápidas en los reactores donde se aplicó tratamiento con oxigenación (*i*) HOS y *iii*) HOS+PHOS), con velocidades de emisión de CO₂ de 263 y 42 mmol·m⁻²·d⁻¹, respectivamente, mientras que en los reactores con *ii*) PHOS y *iv*) Testigo se obtuvieron emisiones de CO₂ de 1 y 3 mmol·m⁻²·d⁻¹, clasificando los dos primeros como “hipereutrófico nutrientes” (exceso de nutrientes), *iv*) Testigo como “eutrófico” (buena cantidad de nutrientes) y *ii*) PHOS como

“oligotrófico” (baja cantidad de nutrientes). En cuanto a las emisiones de CH₄ observadas en este mismo periodo, todos los reactores presentaron velocidades de emisión de 2 mmol*m⁻²*d⁻¹, correspondiendo a una clasificación de “mesotrófico” (moderada cantidad de nutrientes). Se concluye que el suministro de oxígeno incrementa las emisiones de CO₂, mientras que el uso de Phoslock reduce la generación de este gas. No se observó efecto alguno en la producción de CH₄ en ninguno de los tratamientos.

Palabras clave: Control de la eutroficación, sistema agua-sedimento, respirometría, dióxido de carbono, metano.

Geoquímica

Caracterización geoquímica del mineral nanoparticulado contenido en las arenas eólicas del Gran Desierto de Altar, región meridional de El Pinacate, NW Sonora, México.

Paz-Moreno, Francisco Abraham¹, Morales-Ochoa, Ricardo², Duarte-Zamorano, Roberto Pedro²,
Álvarez-Ramos, Mario Enrique², Flores-Castro, Kinardo³, Mendoza, Abraham¹

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Son. 83000. ²Posgrado en Nanotecnología, Departamento de Física Universidad de Sonora, Hermosillo, Son. 83000. ³Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Laboratorio de Geoquímica, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca Hgo. 42186.

francisco.paz@unison.mx

Estudios anteriores de geoquímica elemental y granulometría fina en arenas eólicas del Gran Desierto de Altar, en el Campo Volcánico de El Pinacate, demostraron que la fuente dominante de estas arenas son rocas cristalinas ígneo-metamórficas laramídicas, triásicas y paleoproterozoicas, ampliamente dispersas en la región.

El presente estudio centrado en el campo de dunas gigantes del extremo meridional del Campo Volcánico Cuaternario El Pinacate, atribuye su proveniencia a los metagranitoides pérmicos de la Sierra Blanca.

Se seleccionaron cuatro metagranitoides representativos de la Sierra Blanca y seis muestras de la arena eólica de ~6 kg c/una. De las muestras de arena se extrajeron por un método de agitación controlada y flotación en agua desionizada, la fracción nanoparticulada en concentración ~0.2% y tamaño promedio ~100nm.

Se realizó un estudio analítico de química elemental de óxidos mayores por ICP-AES, y elementos traza con las 14 REE's por ICP-MS, en los: 4 metagranitoides. 1 fracción representativa de las 6 muestras de arena eólica y 1 muestra representativa del concentrado nanoparticulado.

Los estudios comparativos entre resultados geoquímicos de los tres grupos analizados muestran tendencias sistemáticas: Los óxidos mayores en los metagranitoides muestran una tendencia regular $(\text{SiO}_2)_N$ 67-76%, con empobrecimiento regular en Ti-Fe-Mg-Ca, y enriquecimiento en Na-K, característico de una cristalización fraccionada. Los valores de las arenas eólicas son en general inferiores a los metagranitoides, mostrando una similitud con el metagranitoide más diferenciado $(\text{SiO}_2)_N = 76\%$, donde Al-Ca-Na son aun inferiores. En cambio, los óxidos mayores del nanoparticulado son 6-21 veces superiores

a las arenas eólicas, a excepción del Al, Na y K que son equivalentes y el SiO₂ representa apenas la mitad.

Los diagramas (REE)_N condrita, permiten también una clara distinción entre los grupos analizados con espectros similares pero concentraciones diferentes. \sum REE: metagranitoides 142-52ppm, arenas eólicas 51ppm y nanopartículas 296ppm con Ce/Ce*=1.4.

Los diagramas multielementales normalizados con manto primitivo, combinan elementos traza, REE y algunos mayores, muestran de nueva cuenta la separación entre los tres grupos analizados, con una marcada mayor concentración en las nanopartículas donde sobresalen las trazas: Th-Ta-Hf-Nb-Zr-Y-Pb. Permitiendo la reconstrucción mineralogía del material nanoparticulado: Qz-FAlc-Pl-Biot-ÓxFeTi, con especial énfasis en concentraciones de refractarios: circón-monazita-apatito-titanita, y autigénicos: carbonatos y sales.

Palabras clave: Nanopartícula mineral, geoquímica elemental, REE, El Pinacate, NW Sonora, México.

Verificación del desempeño de un analizador elemental y sus posibles correcciones analíticas sobre la determinación de la composición elemental de suelos, rocas y sedimentos

Zamora Martínez Olivia^{1,3}, Lozano-Santa Cruz Rufino^{2, 3}.

¹Laboratorio de Cromatografía, Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, CDMX.

México.²Laboratorio de FRX, Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, CDMX. México.

³Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Instituto de Geología, UNAM. Ciudad Universitaria, 04510, CDMX, México
oliviazm@geologia.unam.mx

El propósito de todo método analítico es proveer de resultados tanto cualitativos y/o cuantitativos cumpliendo con una incertidumbre aceptable, la cual depende del nivel de concentración del analito y del tipo de matriz en la cual se encuentre disperso. Con respecto a los equipos portátiles de fluorescencia de rayos X (FRX), su verificación puede realizarse con base en el método 6200 SW-846 de la EPA (Environmental Protection Agency), el cual se aplica para la determinación de concentraciones elementales en suelos y sedimentos por espectroscopía de rayos X. Dicho método es considerado una guía que contiene información general de cómo realizar un procedimiento analítico para llevar a cabo la validación de métodos, así como el procedimiento para realizar el análisis de muestras de suelos y sedimentos. Dentro de los puntos que se describen en esta guía, se encuentra el criterio que establece que si los valores de concentración reportados de los elementos químicos analizados, presentan una desviación porcentual $\leq 20\%$ con respecto al valor verdadero, indica que existe un grado de exactitud aceptable sobre la cuantificación del elemento. Debido a esto se seleccionó un conjunto de materiales de referencia que fueron utilizados como muestras, para poder evaluar el desempeño de una pistola de FRX (Niton XL3t GOLDD+, Thermo Scientific). Si bien al utilizar el equipo portátil de FRX en el análisis de suelos, rocas y sedimentos, esto se cumple para varios de los analitos determinados (Sr, Rb, Th, Pb, Zn y Zr), este no fue el caso para Mo, As, Ni, Mn y Ca. Sin embargo, al graficar la concentración reportada por el equipo portátil de FRX en función de la concentración reportada en el certificado del respectivo estándar, se verificó la existencia de una dependencia lineal que permite, mediante el uso de una regresión lineal por mínimos cuadrados, obtener los valores de la pendiente y la ordenada al origen, con los cuales es posible corregir los valores de concentración arrojados por el equipo portátil de FRX.

Palabras clave: FRX, verificación de desempeño, análisis químico, suelos, sedimentos, rocas.

Respuesta cuantitativa de La, Ce, Ga, Ge, U, Ta y Mo en muestras fundidas a baja dilución y analizadas por WD-FRX

Lozano Santa Cruz, Rufino^{1,2} Bernal, J.P.³

¹Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México. ²Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM), Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Ciudad de México, México. ³Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, C.P. 76230, Universidad Nacional Autónoma de México. Blvd. Juriquilla 3001 Querétaro, México.
rufino@lunam.mx

La preparación de muestras para el análisis por WD-FRX no ha sufrido cambios importantes durante los años recientes; las perlas obtenidas por la fusión con boratos y las tabletas de polvo comprimido son un combo muy útil, proporcionando buena precisión y exactitud de los resultados en el análisis de elementos mayoritarios y traza. El análisis en perla, por su alta homogeneidad superficial minimiza la influencia de los efectos de absorción y refuerzo para elementos mayoritarios, en tanto que el polvo comprimido es empleado para el análisis de elementos traza.

La relación muestra/fundente empleada es, por lo general 1:10, siendo el fundente preferido $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ que mezclado con LiBO_2 tiene alta capacidad para disolver la muestra, al disminuir el punto de fusión y viscosidad de la mezcla. Sin embargo, la alta dilución de la muestra impide que los elementos trazas pudieran ser analizados en las perlas. Para superar ese inconveniente se ha ido desarrollado el método de fusión a “baja dilución”, que al aumentar la cantidad de muestra en la perla obtenida por fusión con boratos, permite “ver” elementos que se encuentran en la muestra en bajas o muy bajas concentraciones ($<100 \text{ mgkg}^{-1}$).

Con el procedimiento reportado en este trabajo se construyeron curvas de calibración para los elementos La, Ce, Ga, U, Ta, Mo y As empleando las muestras de referencia de la serie IGL (Lozano y Bernal, 2005), fundidas empleando una proporción muestra:fundente de 1:2. El fundente a su vez fue preparado con 20% de $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ y 80% de LiBO_2 (Lozano y Girón, 2017). Esto permite el análisis exitoso de La, Ce, Ga y Ta, mientras que las concentraciones de U, Mo y As en la serie IGL no fueron suficientemente altas como para construir curvas que permitieran medir muestras problema en ellas. Las

curvas de calibración para La, Ce y Ta incluyeron en todos los casos los 8 materiales de referencia empleados en su construcción. En el caso del Ga fue necesario excluir la muestra IGLgb-3 debido que el tipo de matriz rica en Fe, Ca y Mg atenuó la señal de salida.

Palabras clave: Análisis cuantitativo, WD-FRX, baja dilución.

DRX y FRX en materiales verde-azul tipo Turquesa del estado de Sonora: implicaciones para un complejo reconocimiento de piezas arqueológicas.

Rojo-Méndez, Luis Antonio¹, Lozano-Santacruz, Rufino², Gómez-Valencia, Alejandra Marisela³, Vidal-Solano, Jesús Roberto⁴, Hinojo-Hinojo, Adriana⁵.

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora. ²Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Instituto de Geología, UNAM. ³Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora. ⁴Departamento de Geología, Universidad de Sonora. ⁵Instituto Nacional de Antropología e Historia, INAH-Sonora.
larm9913@gmail.com

Prehispánicamente la Turquesa muestra una fuerte asociación a deidades y conceptos ceremoniales de personas de alto estatus en las sociedades, evidenciándose con el uso de máscaras ceremoniales, cuentas, teselas y figurillas que solo podían poseer estos personajes, connotando con ello un importante poder económico.

Actualmente, en Sonora, una clasificación rápida para los ahora materiales arqueológicos de color verde-azul ha sido la inevitable asociación con la Turquesa, sin embargo, poco se ha considerado que existe una extensa gama de minerales con esta tonalidad y que muchas veces hay interdigitación de las tonalidades, provocada por la génesis o paragénesis mineral asociada al contexto geológico de su formación.

En el presente trabajo, estudios analíticos por DRX de algunas materias primas Sonorenses relacionadas, en color y aspecto, a las piezas arqueológicas de origen prehispánico consideradas constituidas por Turquesa, muestran que los espectros obtenidos necesitan de un análisis exhaustivo para la identificación de las faces minerales constituyentes, ya que los materiales catalogados físicamente como Turquesa, en realidad se asocian a otros minerales hidratados de Cu, como Planchéita y algunos otros de difícil identificación debido a su constitución amorfa. En el caso de los resultados por la técnica de FRX efectuada a los materiales anteriores, es necesario verificar los estándares comparativos a utilizar y elaborar un detallado análisis de los elementos involucrados. Bajo esta perspectiva, se concluye que la identificación de la Turquesa no es una tarea fácil, por lo que se está a la búsqueda del establecimiento de protocolos de análisis para Turquesas arqueológicas, con miras a la exploración de yacimientos en el

estado de Sonora, que sirvan como fuente de aprovisionamiento y de referencia de análisis para la identificación de la verdadera y las falsas Turquesas.

Palabras clave: Turquesa, falsa Turquesa, Sonora, prehispánico, geoarqueología.

Microfacies y Geoquímica de la Caliza Mural en el área de Cerro de Oro, Sonora Central, México

Chávez-Meraz, Dalia¹, Madhavaraju, Jayagopal², Monreal-Saavedra, Rogelio³

¹Maestría en Ciencias-Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora 83000, México. ²Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 1039, Hermosillo, Sonora 83000, México. ³Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora 83000, México
daliachavez mz@gmail.com

La Caliza Mural del Grupo Bisbee de edad Aptiano-Albiano, está bien expuesta en el área de Cerro de Oro ubicada en la parte central del estado de Sonora. Se llevó a cabo un estudio estratigráfico de la sección expuesta al oeste de la Cañada Los Tubos; se realizaron análisis en las calizas para entender los ambientes depositacionales y la fuente del contenido de tierras raras (REE). Petrográficamente las calizas son wackestone, packstone y boudstone, con contenido aloquímico de corales, algas, rudistas, equinodermos, ostrácodos y foraminíferos. Con base en la petrografía y contenido microfósil se identificaron 5 microfacies que determinan ambientes que van desde el nerítico interior hasta margen de plataforma, indicando principalmente ambiente lagunar y arrecifal. Los estudios de XRD indican que las principales fases minerales en la Caliza Mural son cuarzo y calcita, mientras un escaso número de muestras presentan menores cantidades de dolomita. Mientras que el cuarzo, caolinita e illita están presente en los granos finos de los materiales terrígenos.

Se observaron amplios rangos en variación en los contenidos de SiO₂ y CaO se observaron en estas calizas (4.4-23.8%; 35.4-51.7%; respectivamente). Las concentraciones de Al₂O₃ (0.43-4.89%) son altas en comparación con los valores promedios de contaminación siliclástica en las rocas carbonatadas (0.42%). Las calizas tienen alto contenido de ΣREE (36 ± 20, n=11). El alto contenido de ΣREE y la falta de patrón de agua marina REE+Y sugiere que la presencia de material terrígeno puede ser considerada como la fuente principal de REE en estas calizas.

Palabras Clave: Microfacies; Geoquímica; Caliza Mural; Cerro de Oro; Sonora

El comportamiento geoquímico de las Tierras Raras durante la precipitación del yeso en agua hipersalina e hiperácida con alta concentración de sulfatos: El lago cratérico del volcán Poas (Costa Rica) utilizado como laboratorio natural

Inguaggiato, Claudio¹, Iñiguez, Enrique¹, Peiffer, Loïc¹, Kretzschmar, Thomas¹, Brusca, Lorenzo², Mora-Amador, Raul^{3,4,5}, Ramirez, Carlos⁶, Bellomo, Sergio², Gonzalez, Gino⁶, Rouwet, Dmitri⁷.

¹ Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Ensenada, Baja California, Mexico. ² INGV-Palermo, Via U. La Malfa, 153, 90146 Palermo, Italia. ³ Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, UCR, Costa Rica. ⁴ Escuela Centroamericana de Geología, UCR, Costa Rica. ⁵ Laboratorio de Ecología Urbana, UNED, Costa Rica. ⁶ Volcanes Sin Fronteras, Costa Rica. ⁷ INGV-Bologna, Via Donato Creti 12, Bologna, Italy
inguaggiato@cicese.mx

Las Tierras Raras (Lantánidos e Ytrio; TR) son elementos de elevada importancia principalmente debido a su interés económico en el desarrollo de alta tecnología y por su aplicación como trazadores de procesos geoquímicos. El comportamiento geoquímico de las TR en fase acuosa y durante la precipitación de minerales secundarios, aun no es conocido en su totalidad, sin embargo, es importante ampliar este conocimiento para contribuir a la búsqueda de reservorios no convencionales de TR y nuevas aplicaciones como trazadores de procesos geoquímicos.

Varios autores identificaron patrones de TR empobrecidos en Tierras Raras Ligeras (TRL) en aguas hiperácidas sulfatadas en sistemas volcánicos-hidrotermales. La precipitación de minerales sulfatados fue propuesta para justificar el fraccionamiento de las TR.

En este estudio el lago cratérico del Poás (Costa Rica), caracterizado por contener agua hipersalina e hiperácida con alta concentración de sulfatos, fue utilizado como laboratorio natural para estudiar el fraccionamiento de las TR durante la precipitación del yeso (Inguaggiato et al., 2018). La concentración de TR en el agua del lago tiene valores altos entre 1.14 y 2.18 mg kg⁻¹. Los patrones de las TR en agua normalizadas a la roca volcánica local varían en el tiempo (2007–2009), desde casi plano a empobrecido en TRL.

El experimento realizado en el laboratorio consiste en esperar que en las muestras de agua del lago precipite naturalmente el yeso a temperatura de 25°C. Analizando las TR en el agua después de la precipitación del yeso y en el yeso mismo, se calculó el coeficiente de distribución de las TR utilizando la siguiente ecuación $K_D = [TR_i]_{\text{yeso}} / [TR_i]_{\text{agua}}$. La concentración de las TR en el yeso varían desde 23.7 to 33.0 mg kg⁻¹, valores mas

altos de los encontrados en el agua del lago Poas. Las TR en el yeso normalizadas a la roca volcánica local tienen patrones enriquecidos en TRL.

Los coeficientes de distribución de las TR calculadas entre el yeso y la solución madre desde donde precipitó (lago Poas), son más altos por las TRL, indicando que el yeso durante el proceso de precipitación remueve en mayor cantidad las TRL respecto a las Tierras Raras pesadas.

Palabras claves: Tierras Raras, Agua hiperácida, Yeso, Sistema hidrotermal-volcánico

La geoquímica como herramienta esencial en proyectos de exploración y producción de hidrocarburos

Martínez Herrera, Alejandro¹, Angulo Saldiña, Beatriz²

¹Consultor Independiente, Los Cabos, México; ²Intevep S.A. Los Teques, Venezuela.
alejandro.martinez2992@gmail.com

La geoquímica es una herramienta esencial en diferentes etapas de proyectos exploratorios a escala de *Provincia*, desde la definición de *Plays* y *Prospectos* incluyendo la delimitación y desarrollo de las reservas, cumpliendo las normas ambientales vigentes. Esto apoya la asertiva toma de decisiones *Upstream*, lo cual implica un ahorro de dinero en el esquema de retorno económico del *Campo*. La geoquímica en sondeos de superficie, es útil para identificar emanaciones de petróleo y gas en conjunto con herramientas de sensores remotos en etapas exploratorias tempranas, generando parámetros cuantificables que ajustarán los objetivos y el tipo de campaña de geología de superficie y/o el diseño del arreglo de la adquisición sísmica requerida, para madurar la provincia exploratoria.

Posteriormente, es necesario incluir un programa de generación de información geoquímica en los pozos exploratorios, que incluya la captura de muestras para la caracterización de la roca generadora, roca yacimiento, aceites y aguas de formación, fundamentales en dos puntos de la historia evolutiva para el desarrollo de reservas de hidrocarburos: 1) la definición, comprobación y delimitación de los elementos del sistema petrolero y los procesos que actuaron para que ocurriese tal acumulación y 2) generar la línea base de las características geoquímicas de los fluidos (aceites, gases y aguas de formación) presentes en los yacimientos. Generalmente, a la documentación de línea base, se le resta importancia pero es esencial en la fase inicial de producción ya que son variables de entrada para los *modelos estáticos y dinámicos del yacimiento*.

Finalmente, un monitoreo periódico de las características geoquímicas de los fluidos en producción, contribuirá a la optimización de los esquemas de explotación y con la conceptualización, pruebas de laboratorio, escalamiento e implementación de proyectos de recuperación mejorada para un manejo asertivo del activo, maximizando el recurso

económico. Todas estas razones permiten recomendar la incorporación de la geoquímica, por el valor agregado en la toma de decisiones.

Palabras Clave: Geoquímica, Exploración y Producción, hidrocarburos, sistema petrolero, yacimientos

Iniciativa de sedimentos en México

Modelación del transporte reactivo de carbono en la cuenca hidrológica de la presa Valle de Bravo

Díaz-Valencia, Suhaila¹, Hansen, Anne M.¹
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; Jiutepec, Morelos, 62550.
ahansen@tlaloc.imta.mx

Uno de los métodos de saneamiento de cuerpos de agua eutroficados, es la oxigenación hipolimnética (HOS por sus siglas en inglés) (Cooke et al. 2005). Hansen et al. (2017) realizaron el dimensionamiento para la aplicación de HOS con la finalidad de controlar la eutroficación en la presa Valle de Bravo, Estado de México. Para determinar la cantidad de oxígeno disuelto necesario y el tiempo requerido para el saneamiento, aplicaron un balance de masas, que describe las demandas de oxígeno (DO) que entran, reaccionan y salen del cuerpo de agua. En este dimensionamiento, Hansen et al. (2017) incluyeron las emisiones de DO en la cuenca hidrológica, pero no consideraron la atenuación natural de estas emisiones por lo que no determinaron la carga externa. En este trabajo se evalúa la carga externa de carbono a la presa Valle de Bravo mediante la aplicación del modelo INCA-C (Integrated Catchment model for Carbon) y se proponen escenarios para su reducción. Para ello, se utilizó el modelo PERSiST (Precipitation, Evapotranspiration and Runoff Simulator for Solute Transport) para la generación de las series de datos hidrológicos requeridos por el modelo INCA-C (Futter et al. 2007); además se requiere información de la cuenca (área de captación, coberturas de usos de suelo), de ríos (longitud y ancho) y del suelo, los cuales se obtuvieron mediante revisión de literatura y la utilización de un sistema de información geográfica. Se divide la cuenca hidrológica en seis subcuencas y se presentan los resultados de carga externa para una de ellas, así como resultados de escenarios de reducción de emisiones de C.

REFERENCIAS

- Cooke D.G., Welch E.B., Peterson S.A. y Nichols S.A. 2005. Restoration and management of lakes and reservoirs. 3rd edition. Florida, USA: CRC Press.
- Futter M. N., Butterfield D., Cosby B. J., Dillon P. J., Wade A. J. y Whitehead P. G. 2007. Modeling the mechanism that control in-stream dissolved organic carbon dynamic in upland and forested catchments. Water Resources Research, Vol. 43: W02424.

Hansen A.M., Hernández-Martínez C. y Falcón-Rojas A. 2017. Evaluation of eutrophication control through hypolimnetic oxygenation. *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 17, p. 598-601.

Palabras clave: Carga externa, modelación, carbono, cuenca hidrológica.

Reinterpretación geoquímica de los sedimentos de arroyo de la carta geoquímica Monclova G14-4, mediante modelación estadística

Raygoza-Rojas, Jesus Abraham¹, Medina-Martínez, Juan Fernando¹, Córdova-Medina, Jorge Alberto¹, Díaz-Martínez, Roberto¹.

¹Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Boulevard Adolfo López Mateos s/n, Nueva Rosita, Coahuila CP 26830.
raygozaj@uadec.edu.mx

Los resultados que se presentan en esta investigación forman parte de una tarea de la materia Geoquímica cursada en el 6to semestre de la carrera. Este trabajo tiene la finalidad de reinterpretar los datos geoquímicos de sedimentos de arroyo obtenidos mediante un procesamiento estadístico a partir del análisis por ICP de 832 muestras de sedimentos recolectados por el SGM en el año 1998. La investigación se centró en el cálculo estadístico del fondo geoquímico y los umbrales anómalos mediante la determinación de los parámetros de tendencia central, a partir del ajuste de los datos a la ley de distribución lognormal. Los cálculos se realizaron utilizando Excel. La representación gráfica de los mapas de anomalías se realizó con ayuda del ArcGIS 10.4.1. Los resultados muestran únicamente la distribución y abundancia de los elementos trazas indicadores de mineralización de interés económico: Sb, Zn, Cd, Cu, Co, Mo, Pb, Ag, As, Ba. El Pb con un factor de enriquecimiento de 67 y un valor del tercer umbral de 37ppm delimita 2 áreas en la carta geoquímica, una en el sector centro-oriental asociada a mineralización de óxidos de Pb- Zn probablemente tipo calaminas y una segunda área ubicada en el sector occidental de la Sierra La Purísima con dirección predominante NW-SE asociadas también a las mineralizaciones de Pb-Zn que se encuentran en el potrero Barril Viejo y La Reforma. El Cd se distribuye de manera muy irregular en forma de pequeñas anomalías en el sector oriental con dirección NW-SE. El Mo posee un patrón de distribución muy irregular y guarda una estrecha relación espacial con cuerpos intrusivos, lo que pudiese indicar la presencia de mineralización tipo Skarn de Cu- Mo. El As posee un patrón de distribución muy parecido al del Cd. Por último, el Ba es el elemento con mayor Clarke de concentración (92), con un evidente control litológico y las anomalías se ubican en las partes bajas del relieve en estrecha relación con los sedimentos aluvionales, lo que indica su elevada capacidad de transporte dada su resistencia a la migración mecánica.

Caracterización geoquímica multielemental de la carta geoquímica de sedimentos de arroyo de Nueva Rosita G14-1, edo. de Coahuila, México

Cruz-Reyes, Víctor Manuel¹, Maldonado-Castillo, Julio César¹, Maldonado-Gonzales, Carlos Gabriel¹, Zúñiga-Reza, Martín Orlando¹, Díaz-Martínez, Roberto¹

¹Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos, Universidad Autónoma de Coahuila.
Boulevard Adolfo López Mateos s/n. C.P26830
victor_reyes@uadec.edu.mx

Se realizó una caracterización geoquímica de los sedimentos de arroyo de la a carta Nueva Rosita G14-1 obtenida del Servicio Geológico Mexicano. El objetivo principal de la investigación es obtener mapas de anomalías monoelementos de sedimentos de arroyo a partir del método de cálculo del fondo y los umbrales anómalos mediante el método estadístico. Estas anomalías pueden ser utilizadas como guías de exploración para la revelación de nuevas áreas de interés para la exploración minera o bien en estudios ambientales. La carta cuenta con un total de 489 muestras de sedimentos de arroyo, tomadas en los diferentes cursos de agua de la red de drenaje. Se realizó el cálculo del fondo geoquímico y se determinaron tres umbrales anómalos. Los mapas fueron contruidos mediante playa de colores y no mediante isolíneas de contenidos anómalos. Debido a la existencia de mineralizaciones de Pb-Zn (Ag) tipo "Calaminas" en la Sierra Santa Rosa se seleccionaron aquellos elementos calcófilos paragenéticamente asociados a las mismas, tales como Sb, Zn, Pb, Cd, Cu, Co, Mo, Ag, As y Ba. La información geológica y geoquímica obtenido permitió la elaboración de un SIG en ArcGis 10.4.1, en el cual se representan todas las cartas geoquímicas elaboradas. Las anomalías de Zn y Pb tienen su máxima expresión al NE de Minera Múzquiz, con valores de 361ppm y 865ppm respectivamente y se relacionan espacial y genéticamente con las minas existentes. Se reporta una anomalía de Sb alargada en dirección NE-SO en la región prospectiva Burro-Peyotes, la cual debe ser verificada en futuros trabajos. Una pequeña anomalía de Be con valores de 4 ppm se desarrolla al NO, en las cercanías de la planta Minera Múzquiz, de origen antropogénica, debido a los residuales del beneficio de la fluorita proveniente de los yacimientos de Aguachile. Se concluye que el procedimiento para el cálculo de los parámetros geoquímicos es consistente con el método geoquímico aplicado y la elaboración de las cartas de anomalías geoquímicas mediante un proyecto SIG soportado en ArcGis 10.4.1 ofrece múltiples ventajas respecto a otros métodos aplicados en la geoquímica de sedimentos de arroyo.

Reinterpretación geoquímica de los sedimentos de arroyo de la carta geoquímica Ocampo G13-3, mediante modelación estadística

Díaz-Martínez Roberto¹, Santos-Patlán Brenda Yadira¹, Hernández-Rosales Alberto¹, Batista-Rodríguez José Alberto¹, Rodríguez-Vega Antonio¹, Almaguer-Carmenates Yuri¹, López-Saucedo Felipe de Jesús¹, Blanco-Moreno Jesús Antonio, Batista-Cruz Yosvani Ramón¹.

¹ Escuela Superior de Ingeniería Lic. Adolfo López Mateos", Universidad Autónoma de Coahuila.
Boulevard Adolfo López Mateos s/n, Nueva Rosita, Coahuila de Zaragoza. C.P. 26800.
*rdmart91@gmail.com

Se presentan los resultados de la reinterpretación geoquímica de los sedimentos de arroyo de la carta Ocampo G13-3 a escala 1:250,000 mediante la modelación estadística de los datos composicionales de 19 elementos químicos en 467 muestras de sedimentos limo-arcillosos recolectadas por el Servicio Geológico Mexicano durante el levantamiento de sedimentos de arroyo realizado en el año 1988. La investigación se centró en el cálculo estadístico del fondo geoquímico y los umbrales anómalos mediante la determinación de los parámetros de tendencia central, a partir del ajuste de los datos a la ley de distribución lognormal, el cálculo de las correlaciones entre pares de elementos y el análisis multivariante. Se empleó el software IBM SPSS statistics 23 para el procesamiento estadístico, el Excel 2013 y el ArcGis 10.2.1 para la representación gráfica de los mapas de anomalías mediante playa de colores. Las anomalías geoquímicas de Al, Fe, Na poseen un claro control litológico, asociándose a riolitas, basaltos y andesitas, tobas riolíticas e ignimbritas, mientras que el Mg y Ca se asocian a calizas, calizas dolomías y yeso. Los elementos trazas Pb, Zn, As y Cd se relacionan con las mineralizaciones existentes en Sierra Mojada. Es de destacar que las anomalías de fósforo se relacionan con posibles depósitos de evaporitas. Los datos se redujeron a cuatro componentes principales e igual número de factores. El primer componente es el más importante y agrupa los elementos Sc, Co, Fe, Cr, Al, U, Be, Zn, Mn, Ba, P, K, Cu, Pb y As, cuya asociación paragenética se encuentra íntimamente relacionada con las rocas magmáticas existentes en la región y sus probables alteraciones hidrotermales, así como los depósitos minerales existentes. En el primer factor obtenido mediante rotación Varimax con normalización Keiser se presentan los elementos Fe, Be, Co, U, Mn, Sc, P, Cr, Ba y Zn. Las asociaciones geoquímicas más importantes ocurren entre los componentes 1 y 2.

Palabras clave: Geoquímica, sedimentos de arroyo, estadística, SPSS.c

Análisis espacio temporal de la concentración de metales en sedimento del río sonora y cuencas paralelas

Alonso-EguíaLis, Perla¹, Ojeda-Castillo, Raúl¹, González-Rebollar, Sonia¹, Bravo Reyna, Fabiola¹, Bello González, Orestes²

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Lab de Bioindicadores, Jiutepec Morelos, México CP 62550.

²Universidad Autónoma de Morelos, Cuernavaca, Morelos, CP 62209

palonso@tlaloc.imta.mx

Con el fin de determinar el comportamiento de los metales asociado al derrame de sulfato de cobre acidulado en Cananea 2014, se analizaron las concentraciones de nueve metales en sedimento (Al, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) en el cauce del río Sonora o sitios de estudio (SE), río San Miguel y Río Bacoachi o sitios de Referencia (SR) bajo perspectiva espacio-temporal. De 2015 a 2018 se tomaron 445 muestras en 10 localidades del río Sonora y 5 en cuencas paralelas. La determinación se efectuó por espectrometría de emisión atómica de plasma acoplada inductivamente. La digestión ácida mediante equipo de microondas. Para la determinación de concentraciones peligrosas para el ambiente se emplearon criterios de EPA, CCME y NOAA. Para determinar las diferencias espacio- temporales se analizaron los datos mediante pruebas no paramétricas de similitud (ANOSIM). Los metales As, Cu y Mn rebasan los límites EPA en cuenca alta tanto SE como SR.

El análisis de asociación se determinó mediante la comparación de SE vs SR, mostrando poca probabilidad de similitud ($R=0.021$ $p= 6.5\%$). Un análisis KW-H indicó que estas diferencias se deben al Al ($p=0.0122$) y Fe ($p= 0.034$), el resto de metales no mostraron diferencias significativas.

El análisis de gradiente indicó clara disimilitud entre secciones alta, media y baja de las cuencas ($R= 0.25$, $p=0.01\%$). A su vez un análisis de componentes principales (ACP) cuyo primer eje explica el 98% de la variación, muestra que en la cuenca alta el Cu es determinante, disminuyendo hacia la parte baja tanto en SE como SR. El análisis temporal mostró clara evidencia de disimilitud entre los tres ciclos de estudio ($R= 0.318$, $p= 0.01\%$) con valores mayores entre el primer y tercer ciclo ($R=0.462$, $p =0.001\%$), mostrando una menor similitud entre los pares de ciclos 1-2 y 2-3. El ACP mostró que el primer ciclo estuvo influenciado por el Cu y Pb, para el segundo el Cd y Hg y para el

tercer ciclo el Zn marcó la diferencia. Se concluye que las variaciones espacio-temporales observadas en la cuenca de estudio, no muestran evidencias claras de asociación al derrame.

Palabras clave: Sedimento Río Sonora, metales pesados, espacio-temporal, cuencas, derrame.

Distribución de metales en función de potencial redox en el sistema agua-sedimento

Hansen, Anne M.¹, Ruiz Castro, Abel Alejandro¹, Cordova Domínguez, Leisbel¹, Moreno Ayala, Vanessa¹.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; Jiutepec, Morelos 62550.
ahansen@tlaloc.imta.mx

Los cuerpos de agua reciben cargas contaminantes provenientes de la cuenca hidrológica y la atmósfera. La mayoría de los contaminantes tienden a acumularse en fases sólidas; sin embargo, debido a la disminución en potencial redox (Eh), producto del consumo de oxígeno en agua y sedimento, se espera la disolución reductiva de sustratos de hierro y manganeso y la consecuente liberación de contaminantes asociados a ellos. En la presa Valle de Bravo, Edo. de México, se pretende implementar un sistema de oxigenación hipolimnética como método de saneamiento para el control de la eutroficación. Con el tiempo, este saneamiento permitiría cambiar la condición anaerobia actual en el fondo del embalse a un ambiente aerobio con mayor Eh. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto que tendría esta nueva condición sobre la distribución de metales entre agua y sedimento. Se realizó la modelación hidrogeoquímica con Geochemist Workbench (GWB v. 11) con sistemas agua-sedimento en el intervalo de Eh entre -400 a +400 mV. Los diagramas Eh-pH de hierro y manganeso para las condiciones evaluadas experimentalmente, de contenido total de estos metales, pH y composición de iones mayores, encontrando predominancia de $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ y $\text{MnHPO}_4(\text{s})$ a Eh positivo y de hierro y manganeso disuelto a Eh negativo. Se determinó la distribución de los metales traza níquel y cinc, verificando los resultados de modelación con valores experimentales. Las concentraciones disueltas de los metales traza fueron dominadas por adsorción en $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ a Eh mayor a -100 mV, valor en que empezaron a predominar los minerales ZnS y Ni_3S_4 . Se extrapolaron los resultados experimentales para las condiciones del cuerpo de agua (altura agua reactor:embalse 0.2m:15.6m) y los resultados de esta extrapolación se compararon con límites de calidad del agua, encontrándose que la oxigenación causa valores inferiores a los límites máximos permisibles para uso como fuente de abastecimiento de agua y para agua potable. Se compararon los resultados extrapolados y los observados en campo, encontrando valores del mismo orden de

magnitud. Los resultados sugieren que la oxigenación hipolimnética en la presa Valle de Bravo permitiría controlar las concentraciones disueltas de los metales evaluados.

Palabras clave: Oxigenación hipolimnética, modelación, verificación, hierro, manganeso, níquel, cinc.

Hydrogeochemical models for the characterization of sediments used for therapeutic application

Suárez Muñoz, Margaret¹, Martínez-Villegas, Nadia², González-Hernández, Patricia³, Melián Rodríguez, Clara¹, Barrios Cossio, Josiel¹, Hernández, Rebeca⁴, Fagundo, Juan R.³, Gelen Rudnics, Alina¹, Díaz López, Cristina³, Pérez-Gramatges, Aurora⁵, Díaz Rizo, Oscar¹.

¹Higher Institute of Technology and Applied Sciences (InSTEC), Havana University, Havana, Cuba.

²Applied Geoscience Department, Institute for Scientific and Technological Research of San Luis Potosi (IPICYT), Mexico. ³Faculty of Chemistry, Havana University, Havana, Cuba. ⁴Technique Sciences Faculty, University of Pinar del Río "Hermanos Saíz", Pinar del Río, Cuba. ⁵Department of Chemistry, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio), Brazil.

margaret@instec.cu; margaret269@gmail.com

Hydrogeochemical modeling is currently a powerful tool for the physicochemical and thermodynamic interpretation of geochemical systems. It is based on the use of theoretical and experimental mathematical models that relate physicochemical parameters and establish thermodynamic behaviors. The objective of this work is to show the use of the hydrogeochemical modeling to predict the behavior of the chemical elements regarding potential mobility in Cuban sediments used for therapeutic application (Peloids). Peloids are natural products that are deposited at the bottom of lakes, swamps, salt mines, bays and deltas consisting of a mixture of highly mineralized waters, including seawater, with organic and/or inorganic matter. Peloids resulting from geological or biological processes, in stable thermodynamic environments, show a final composition that defines their therapeutic properties. In this work, we predicted elemental dominant aqueous species in sediments that result from the interaction of saline waters and geological material using PHREEQC and Pourbaix phase diagrams. Theoretical estimated results were compared to experimental operational speciation data, which was obtained using a modified Tessier sequential extraction procedure and elemental analyses in inductively coupled plasma optical atomic emission spectroscopy. Results from theoretical and experimental speciation showed high mobility of major elements (Na, K, Ca and Mg), due to the occurrence of soluble species. For minor and trace elements, Pourbaix diagrams predicted the presence of some soluble species of Fe, Cu, Cr, Ni, Pb, Mn and Zn, but also some mineral phases such as sulfides, oxides and hydroxides, which, in turn, suggested a high retention of trace elements by peloid sediment solid phases. These findings were, furthermore, supported by experimental operational speciation results. Combination of hydrogeochemical modeling and operational chemical speciation

data helps to estimate major, minor and trace element mobility in Cuban peloids, which, in turn, provided valuable information to get insight on potential associated risk to peloid users.

Keywords: peloid, hydrogeochemical model, sediment, Pourbaix, PHREEQC.

Caracterización físico-química de peloides cubanos

Piña Leyte-Vidal, Juan Jesús¹, Martínez Villegas, Nadia Valentina¹, González Hernández, Patricia²,
Suárez Muñoz, Margaret³.

¹Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C., San Luis Potosí, México. ²Facultad de Química, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. ³Instituto Superior de Ciencia y Tecnologías Nucleares, La Habana, Cuba.
juan.pina@ipicyt.edu.mx

Cuba posee, a lo largo de su línea costera, más de 20 yacimientos de peloides, lo que constituye una importante reserva de sedimentos de para uso terapéutico a nivel mundial. Adicionalmente, cuenta facilidades para madurar, artificialmente, diferentes tipos de fangos y lodos con aguas termales, del tipo sulfatadas y cloruradas, para la producción de más peloides. Dentro de las perspectivas para el desarrollo de la peloterapia en Cuba se encuentran las investigaciones básicas en la caracterización química, el proceso de maduración, y la búsqueda de compuestos químicos con actividad biológica. El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de la caracterización físico-química de peloides de diversos orígenes (hidrotermal, estuarino y marino) colectados en Cuba, como son el peloide de San Diego de los Baños, Playa Cajío, Playa Guanimar, Elguea y Santa Lucía a través de técnicas, de fluorescencia, difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido, y termogravimétricas. Los resultados obtenidos nos permitirán establecer la composición elemental, morfológica y mineralógica, tamaño de partícula, concentración de elementos mayoritarios como Na, Si, Fe, Mn, Ca, entre otros, y la caracterización físico-química de campo de estos peloides.

Palabras clave: Peloides cubanos, caracterización físico-química, mineralogía.

Geoquímica de isótopos y geocronología

Procesos de Anatexis o Fusión parcial en la Provincia Geológica Complejo Plutónico de La Paz, Baja California Sur: Características e implicaciones.

Pérez Venzor, José Antonio¹, Schwennicke, Tobias¹, Schaaf, Peter², Cortés Martínez, Mara Yadira¹.
mycortes@uabcs.mx4

¹UABCS, La Paz, B.C.S, C.P. 23080. ²UNAM instituto de Geofísica.
japerez@uabcs.mx, tobias@uabcs.mx

El área de estudio está localizada en la región meridional de la península de Baja California conocida como complejo Plutónico de La Paz. Actualmente se considera y está documentado que la presencia de fusión parcial o anatexis esta evidenciada por la presencia de migmatitas con desarrollo de: 1.- estromatitas y flebitas que son estructuras desarrolladas a partir de un protolito sedimentario y presentan restitas con presencia de sillimanita, 2.- estructuras agmatíticas, dictoníticas y oftalmíticas, que carecen de restitas con presencia de sillimanita y están asociadas tanto a procesos ígneos como a deformación dúctil, desarrollados en zonas de cizallas profundas 3.- nebulita y estructuras schöllén indican un grado avanzado de migmatización o fusión. En el trabajo de campo realizado en el Complejo Plutónico de La Paz, fue posible reconocer y caracterizar los tres casos mencionados anteriormente, Las migmatitas están presentes en la sierra de la Gata, en el borde del sistema montañoso central, conocido también como bloque de Los Cabos. Las estructuras de estromatita, flebitas, nebulita, schöllén, están asociadas principalmente en las zonas de metasedimentos en donde los segregados graníticos ricos en granate con presencia de restita con aluminosilicatos (andalucita o sillimanita) y biotita son abundantes. Por otro lado, las migmatitas con estructura agmatítica, dictonítica y oftalmítica, están asociadas preferentemente con protolito ígneo (ortogneis) y zonas de cizalla. En el Complejo Plutónico de la Paz, existe una asociación entre metamorfismo, migmatitas y emplazamiento de fundido anatético, las relaciones de campo y características de las migmatitas y granitos asociados implican que el protolito sedimentario en la sierra La gata, fue sometido a metamorfismo regional alcanzando la parte alta de la facies de anfibolita y desarrollo de procesos anatéticos. La actividad magmática del sistema montañoso central, generó metamorfismo de contacto así como fusión parcial y el desarrollo de migmatita con estructuras de agmatita. La deformación tectónica (deformación por cizalla profunda), facilitó la fusión y la formación de migmatitas con estructuras dictoníticas y oftalmíticas observadas

principalmente en borde del sistema montañoso central. El trabajo expone los resultados obtenidos en la investigación.

Geocronología de rocas Paleozoicas en los bloques Caborca, Cortés y Sonobari.

Vega-Granillo, Ricardo¹, Sarmiento-Villagrana, Alicia², Vidal-Solano, Jesús Roberto¹, Araux-Sánchez, Elizabeth³, Bourjac de Anda, Angélica¹.

¹Universidad de Sonora, Departamento de Geología. ²Universidad Autónoma de Guerrero. Escuela de Ciencias de la Tierra. ³Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Civil y Minas.

ricardo.vega@unison.mx

Geocronología U-Pb en zircones detríticos fue realizada en secuencias sedimentarias y metavolcano-sedimentarias atribuidas al Paleozoico a lo largo de una sección norte-sur desde Sonora central hasta el norte de Sinaloa, en el noroeste de México. Las cuarzoarenitas de la plataforma cámbrica muestran distribuciones de edades típicas de rocas contemporáneas en el suroeste de la Cordillera con grupos principales de edades entre 1.6-1.8 Ga, 1.4-1.5 Ga y 1.0-1.3 Ga, reflejando el basamento ígneo-metamórfico de esa región, el cual se extiende hasta la parte central del estado de Sonora. Las secuencias ordovícicas, tanto del extremo norte correspondiente a depósitos de plataforma marina, como los del extremo sur correspondientes a facies abisales, también muestran gráficos típicos de otras secuencias contemporáneas del suroeste de la Cordillera con picos distintivos de edades entre ~2.7 y 1.8 Ga, los cuales sugieren un transporte de sedimentos muy grande a lo largo de la costa, proveniente probablemente de la provincia Arqueana de Wyoming y de la provincia Paleoproterozoica Mojave respectivamente. Una opción a un largo transporte de sedimentos es el transporte tectónico de terrenos hacia el SW que ha sido propuesta por varios autores. Gráficos de zircones detríticos de secuencias metavolcanosedimentarias del sur de Sonora, interpretadas como depositadas en ambientes abisales, indican una derivación de sedimentos de Laurencia, con los mismos picos que los depósitos de plataforma, aunque también una influencia menor de fuentes ígneas paleozoicas que no se han reportado en los primeros. Por último, secuencias del límite entre los estados de Sonora y Sinaloa, producen gráficos de zircones detríticos claramente asociados a terrenos Gondwanianos, con picos principales cámbricos a neoproterozoicos en 534, 592, 627, 673 Ma y picos más pequeños en 475, 375 y 336 Ma.

Palabras clave: Paleozoico, geocronología de zircones detríticos, proveniencia, Laurencia, Gondwana

Magmatismo del Jurásico Medio-Cretácico Temprano en la parte central de la península de Baja California: Características geocronológicas, geoquímicas e isotópicas de Nd-Sr.

Contreras-López, Manuel¹, Delgado-Argote, Luis A.¹, Weber, Bodo¹, Torres-Carrillo, Xóchitl G.², Gómez-Alvarez, Doris K.¹

¹Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, BC, México. ²Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, México.
mcontrer@cicese.edu.mx

En la parte central de la península de Baja California (BC) se encuentran adyacentes los terrenos Alisitos y Vizcaíno. Tienen afinidad de arco de islas pero con diferentes rangos de edad, Cretácico Temprano vs. Jurásico Medio-Tardío. Actualmente están separados ~100 km por la cuenca de Vizcaíno y el límite entre ellos es inferido. La separación geográfica, la diferencia en edad y la falta de relaciones de contacto entre ellos, imposibilitan establecer una relación directa entre sí. En este trabajo, nos enfocamos en la caracterización petrológica de tres sitios, dos en el terreno Vizcaíno (Isla Cedros y San Roque) y uno en el terreno Alisitos (Sierra El Arco). Con el objetivo de establecer una correlación y construir una historia geológica coherente de la península de BC, una pieza clave en la evolución del NW de México. El magmatismo en la sierra El Arco consiste en rocas volcánicas de composiciones de andesita basáltica y andesita, intrusionadas por rocas granodioríticas con edades de 164 y 156 Ma (U-Pb en Zrn). El conjunto magmático tienen una composición isotópica de Nd y Sr que indican una fuente común derivada de un manto empobrecido. En la Isla Cedros, 180 km al W de la sierra El Arco, las rocas volcánicas tienen composiciones desde basalto hasta andesita y están intrusionadas por granodioritas y granitos de ca. 166 Ma (U-Pb en Zrn). La isotopía de Nd y Sr es consistente con una fuente de manto empobrecido. A 120 km al SW de la isla se ubica un complejo volcánico-plutónico, donde el plutón granodiorítico San Roque de ~148 Ma (U-Pb en Zrn) tiene una composición isotópica de Nd similar a los intrusivos de la isla Cedros. El magmatismo del terreno Vizcaíno comprende del Jurásico Medio al Tardío, es contemporáneo al magmatismo del terreno Alisitos en las regiones de la Sierra El Arco (Jurásico Medio-Tardío) y Nuevo Rosarito (Jurásico Tardío-Cretácico Temprano). Su edad y similitud en las composiciones isotópicas de Nd y Sr nos permiten proponer que el conjunto representa una actividad magmática continua en la parte central de la actual península de BC.

Palabras clave: Terreno, Alisitos, Vizcaíno, Geoquímica, Nd-Sr, Arco Jurásico.

Implicaciones de la Evolución Tectónica de la Sierra Las Cruces BCS Mediante Edades de Termocronología por Trazas de Fisión

Lugo Zazueta, Raúl Ernesto¹, Ramos Velazquez, Ernesto².

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, 83000. ²Departamento de Ciencias de la Tierra, UABCS, La Paz, B.C.S., 23080
raul.lugo@unison.mx

La suite intrusiva que conforma la Sierra Las Cruces, ubicada al este de la ciudad de La Paz, B.C.S. representa la prolongación sur del evento magmático de las Sierras Peninsulares ocurrido durante el Mesozoico medio. Está constituida por granito en la parte central y por tonalita en los flancos, la cual presenta una característica foliación de origen magmático. Así como en partes presenta gabros. Trabajos previos sobre la edad de cristalización determinada por el método U/Pb en zircones, indican edades de 95 a 103 Ma para las rocas mencionadas de la suite intrusiva. Como techos colgantes, existen litologías preexistentes constituidas por rocas metasedimentarias.

El origen tectónico de los magmas que originaron la suite intrusiva Las Cruces es atribuido a la subducción continua de la extinta placa Farallón debajo del borde oriental de la placa Norteamérica. Particularmente, la actividad magmática ocurrió durante el Cretácico y Paleógeno. El cambio en la cinemática de las placas tectónicas se considera ocurrió hace aproximadamente 12.3 Ma. Implicando que la península de Baja California pasa de la placa Norteamérica a la placa Pacífico a lo largo de un nuevo límite de placas, que desde los 6 Ma ocurre a lo largo del sistema de fallas del Golfo de California.

Se realizó el análisis de termocronología por trazas de fisión en apatitos. Se colectaron muestras a lo largo de un transecto que atraviesa la Sierra Las Cruces. Lo anterior con la finalidad de estudiar los efectos termotectónicos y estructurales de la apertura del golfo en la suite intrusiva. La temperatura de sensibilidad del método de trazas de fisión en apatitos es de 60°C a 120°C, y las edades que se obtienen por esta técnica responden a procesos de exhumación en partes superficiales de la corteza. Las edades obtenidas van de los 46 a 73 Ma, indicando que el episodio tectono-estructural asociado a la apertura del Golfo de California no tuvo influencia en la exhumación de la suite intrusiva que constituye la Sierra Las Cruces.

Palabras clave: Intrusivos, Baja California, fechamientos por trazas de fisión.

Geocronología, petrología y termobarometría del vulcanismo de la Región Volcánica Los Reyes-Nueva Italia (RVRN), Michoacán: implicaciones tectónicas

Corona Chávez Pedro¹, Morales Gámez Miguel², Gómez Calderón Daniel Alberto³, Macías Vázquez José Luis⁴, Molina José Francisco⁵.

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de investigaciones en Ciencias de la Tierra. ²Universidad autónoma de San Luis Potosí, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado.

³Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra. ⁴Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán. ⁵Universidad de Granada, Granada, Departamento de Mineralogía y Petrología, España.
pcoronachavez@gmail.com

La Región Volcánica Los Reyes-Nueva Italia (RVRN), presenta un abundante registro de vulcanismo de tipo monogenético de edad Plioceno-Cuaternario, el cual se distribuye a lo largo de una amplia estructura de fosa tectónica orientada ~ONO-ESE y con más de 7 mil Km². Al mismo tiempo, la RVRN ha sido atribuida a la porción meridional del Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato y representa la actividad volcánica más reciente y cercana a la trinchera de la Placa de Cocos. Sin embargo, a pesar de sus extraordinarias dimensiones, hasta el momento no han sido estudiadas las relaciones tectónicas del vulcanismo de la RVRN. En este trabajo se presenta el análisis petrológico y geoquímico de una serie de edificios volcánicos monogenéticos, considerando su morfología, edad y su relación con las estructuras tectónicas.

Las estructuras extensionales con orientación ~ONO-ESE de primer orden se asocian con una cuenca endorréica asimétrica de amplitud >100 km y con > 3000 m de desnivel. Las estructuras ONO-ESE han dislocado el estratovolcán Tancítaro y a su vez éstas han sido sucesivamente dislocadas por dos sistemas: i) estructuras transtensionales ~NNE-SSO y ii) ONO-ESE, éste último evento está asociado al vulcanismo reciente. Dentro de este marco tectónico, se han identificado >290 edificios volcánicos, los cuales muestran una morfología variada, sin embargo predominan los conos cineríticos, conos de lava y en menor proporción se presentan domos y edificios en semi-escudo. La distribución y concentración de los edificios volcánicos indica que su emplazamiento está estrechamente relacionado con la actividad de los tres eventos tectónicos distensivos. Desde el punto de vista petrológico, el vulcanismo de la RVRN es predominante andesítico, con asociaciones minerales de plg-cpx-ol-vidrio ± opx ± cr-spl. Muestra una afinidad calciocalina y en menor proporción tipo alcalina con variaciones de SiO₂ entre

52 y 63%wt. Presenta variaciones de Ni entre 62, 114 y 259 ppm, lo que sugiere una fuente con profundidad cortical variada, así como con base en los elementos en traza e isotopía se sugieren una relativa afinidad de arco magmático juvenil. Nuevos fechamientos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, así como otros compilados de trabajos previos de la RVRN, se observa que: i) la actividad volcánica ha variado y está constreñida a un tiempo ≤ 700 ka y ii) su emplazamiento se llevó a cabo en al menos cuatro pulsos magmáticos.

Cálculos termobarométricos de piroxeno (nucleo, borde) y matriz nos indican temperaturas ≥ 1100 °C con presiones que varían entre >2 y <7 kb, sugiriendo un emplazamiento cortical relativamente profundo para algunos edificios volcánicos. Las edades y distribución del vulcanismo en la RVRN sugieren la apertura de la cuenca extensional-transtensional antes de ~ 1 Ma y su evolución magmática y tectónica se relacionan con una subducción discontinua e intermitente probablemente dependiente a cambios de velocidad de subducción y espesores de la Placa de Cocos.

El nuevo laboratorio de espectrometría de masas de ionización térmica en CICESE (NU-TIMS)

Weber, Bodo¹, Tazzo-Rangel, M. Daniela¹, Padilla Ramírez, Sergio¹.

¹Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada B.C. (CICESE), Carr. Ensenada-Tijuana 3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada B.C., México.
mtazzo@cicese.mx

Con fondos obtenidos a través del “Apoyo al fortalecimiento y desarrollo de la infraestructura científica y tecnológica 2016” de CONACYT, se adquirió un espectrómetro de masas con fuente de ionización térmica de Nu-Instruments (Nu-TIMS) en el Departamento de Geología del CICESE. Este instrumento tiene un sistema óptico de zoom patentado, que permite alinear las diferentes masas de un elemento dado en 12 colectores Faraday, en el multiplicador de fotones (*Daly detector*) o en el multiplicador de electrones secundarios (*SEM*), sin la necesidad de ajustar mecánicamente las copas. El ahorro de tiempo en el ajuste de las copas (milisegundos) permite realizar rutinas dinámicas de medición, con alineamiento perfecto de las masas en sus respectivas copas y así, junto con mejoras en la carga de los filamentos, mejorar la precisión analítica de las mediciones. El instrumento está trabajando rutinariamente para isótopos de Sr, Sm y Nd desde diciembre del 2016. Rutinas dinámicas y largas (p. ej. hasta 20 bloques por 10 integraciones de 16 segundos) han sido particularmente útiles para estudios de estratigrafía isotópica de Sr, ya que se pueden obtener errores en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ hasta mejor de 6 ppm ($2\sigma_m$). Por ejemplo, utilizando la curva de evolución del $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en el mar (Wierzbowsky et al., 2017, *Chemical Geology*, 466, 239-255), muestras de anhidrita provenientes de un pozo de la cuenca de Veracruz que dieron $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0.706987 ± 0.000004 , corresponden a una edad estratigráfica de 166.4 ± 0.2 Ma. Edades similares también se obtuvieron de otras sales de pozos del Golfo de México y del Caribe. En Noviembre de 2018 se instalaron preamplificadores intercambiables entre 10^{11} y 10^{12} Ohm para cuatro colectores Faraday con la finalidad de poder medir cargas mas pequeñas, esencialmente para isótopos de plomo (zircón por ID-TIMS) pero también para isótopos de Nd en muestras muy pequeñas (p.ej. aguas termales, microfósiles etc.) con cargas inferiores a 10 ng.

Palabras clave: Nu-TIMS, análisis dinámico, estratigrafía de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, isotopía Sm-Nd.

Resúmenes en extenso

Vulcanología

Tectónica de la Formación Plomosas en Chihuahua, México

Franco-Rubio, Miguel¹, Oviedo-García, Angélica¹, Contreras-Prieto, Ángel Emanuel¹, Olivas-Palacios, Marina Fernanda¹, Flores-Castro, Kinardo², Esquivel-Macías, Carlos³.

¹Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua, Campus 2, C.P. 31125, Chihuahua, México. ²Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Hidalgo, 42184 Pachuca, México. ³Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma de Hidalgo, 42184 Pachuca, México.
mfranco@uach.mx

RESUMEN

Entre los objetivos de la investigación del proyecto SEP-CONACYT No. 167638 se estableció el mapeo geológico de la Formación Plomosas del Estado de Chihuahua en general, y en particular, la región de Placer de Guadalupe-Monillas-Plomosas- Carrizalillo en la porción centro-oriental del estado. La Plomosas, que integra el núcleo de la zona de sutura Ouachita, presenta en la mayor parte de los afloramientos una distribución alóctona por reptación o transporte tectónico septentrional y meridional a la sutura, sin menoscabo de los afloramientos depositados “in situ” en la región de Cerro Carrizalillo. El recorrido sistemático sobre los diferentes afloramientos de la Plomosas para el mapeo geológico con empleo de gps, imágenes de satélite, fotografías, fechamientos, análisis químico por elementos mayores, menores y traza, dieron como resultado la configuración de las características de una megabrecha polimíctica compuesta por fragmentos que, hacia la base en contacto con las rocas de basamento (secuencia paleozoica del antepaís lauréntico y gondwánico), alcanzan centenares de metros en diámetro embebidos en material brechado con dimensiones menores del orden de la grava, arena, limo y arcilla, y de colores verde, rojo, blanco, etc., dependiendo de si fueron o no alterados hidrotermalmente. El mapeo geológico, los fechamientos y el análisis químico cuantitativo de muestras específicas registró entre otros, la presencia de megafragmentos de edad Grenville y composición granítica distribuidos aleatoriamente en la megabrecha polimíctica, contribuyendo con información sustantiva sobre la prolongación de la Orogenia Grenville en el extremo sudoccidental del antiguo cratón de Laurencia.

ABSTRACT

Among researching targets for the SEP-CONACYT project No. 167638, the geological mapping of the Plomosas Formation was stated for Chihuahua in general, and in particular, the Placer de Guadalupe-Monillas-Plomosas-Carrizalillo region in the central-eastern portion of this state. The Plomosas, which make up the Ouachita suture zone interior, exhibits in most places an allochthonous distribution by creeping or tectonic transport north and south the suture. This without detriment of those outcrops deposited "in situ" along the Cerro Carrizalillo neighborhood. Outcrops systematic revision of the Plomosas for geological mapping using gps, satellite images, photographs, radiometric dating, chemical analysis for major, minor and trace elements, resulted in the feature configuration of a polymictic megabreccia composed by fragments bigger towards the basement rocks in contact (paleozoic sequence of the laurentic and gondwanic foreland), which reach hundreds of meters in diameter embedded in a brecciated material with smaller sizes (gravel, sand, silt and clay), besides the green, red, white, etc. color, depending on whether or not they were hydrothermally altered. Geological mapping, radiometric dating and quantitative chemical analysis of specific samples record among others, the presence of Grenville age megafragments of granitic composition randomly distributed in the polymictic megabreccia, contributing by this way with substantive information on the Grenville Orogeny adjacent to this southwestern end of the former Laurentia craton.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se ubica en la parte media de la porción centro-oriental de Chihuahua, al norte de la Sierra Monillas y cruzado por la Carretera 80D que comunica a la ciudad de Chihuahua con Ojinaga, a partir de la desviación al oriente en el kilómetro 84 de la Carretera Federal 16 (Figura 1).

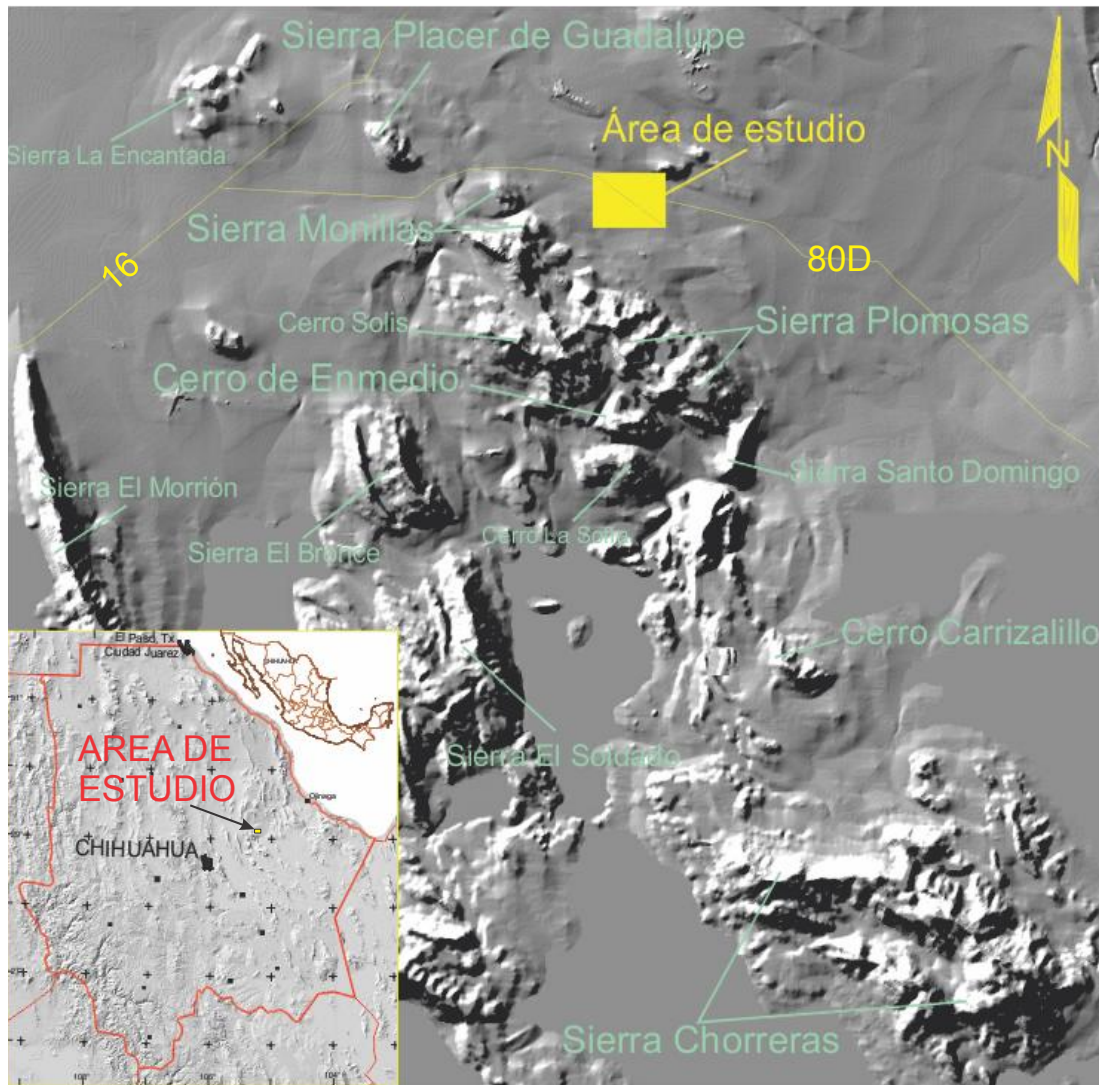


Figura 1. Ubicación del área de estudio, al oriente de Sierra Monillas y cruzada por la Carretera 80D Chihuahua-Ojinaga (peaje). Los mapas se elaboraron utilizando imágenes digitales sombreadas adquiridas en INEGI.

Una de las primeras unidades litoestratigráficas del norte de México enunciadas como formación geológica es la Formación Plomosas. Burrows (1910) ubica su localidad tipo al oriente de la Sierra de Santo Domingo hacia la planicie del Río Conchos, subyaciendo a la Formación Las Vigas sin reconocer a la unidad de estratos intermedios ahora identificados como Formación La Casita, y sobreyaciendo a la unidad “Pizarras Boquilla (Boquilla Slates)”, equivalente a las unidades 4 y 5d de Bridges (1962), y a la Formación Pastor de Barboza, et al., 2016.

Los afloramientos de esta secuencia turbidítica se manifiestan en las regiones de Montañas Ouachita de Arkansas y Oklahoma, y en el Big Bend National Park de Texas (Moreno, et al., 2000). En Chihuahua aflora en las sierras de Manuel Benavides, Carrizalillo, Plomosas, Placer de Guadalupe, Aldama, Magistral, Olivos, Metates y Pilar de Moris (Figura 2). Los nombres que reciben las turbiditas en las localidades mencionadas son: Formación Tesnus, Formación Rara, Formación Pelayo y Formación Plomosas. Una discordancia erosional en la cima de esta formación con presencia de conglomerados y piroclásticos riolíticos continentales, infiere una exposición a la intemperie antes de la transgresión marina que depositó a la Formación La Casita del Jurásico tardío (Franco-Rubio, et al., 2018).

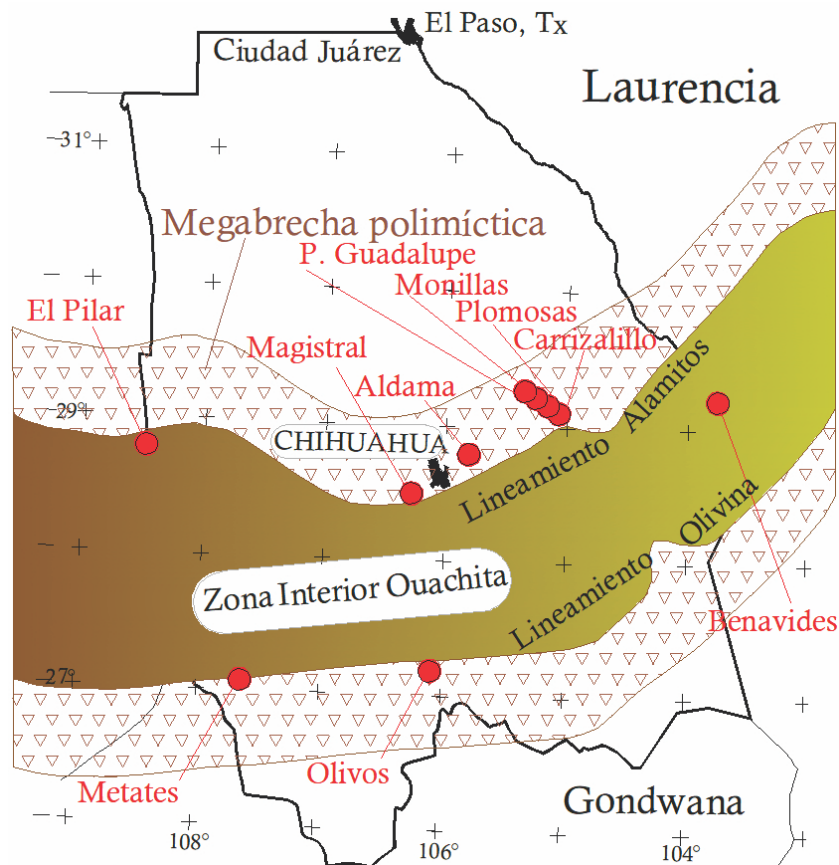


Figura 2. Zona interior de la sutura Ouachita, limitada por los lineamientos Alamitos y Olivina con las franjas inferidas para la Brecha Polimíctica Plomosas. Se muestran las localidades con afloramientos de turbiditas de la Plomosas en el Estado de Chihuahua.

Metodología

Esta investigación forma parte del Proyecto No. 167638 auspiciado por SEP- CONACYT “Arco Magmático Pérmico relacionado con la Zona de Sutura Ouachita en Chihuahua, México”, que inició en diciembre de 2011, concluyendo los trabajos de campo, laboratorio y gabinete en junio de 2018 con el envío del informe técnico y financiero final (Franco-Rubio, 2018). La cantidad de información recabada se ha estado paulatinamente desglosando en la preparación de publicaciones diversas. Con la participación de 19 académicos, entre profesores-investigadores y alumnos de tesis se efectuaron trabajos de campo utilizando vehículos doble tracción, motocicletas enduro, tiendas de campaña, travesías a lomo de mula y trayectos pedestres. Datos de observación directa se obtuvieron con el empleo de brújula, gps, lupa, martillo, flexómetro, grabadora, cámara fotográfica, libreta de notas, fotografías aéreas verticales, imágenes de satélite y lámpara de mano. Para el análisis de muestras se obtuvieron los servicios de ALS Chemex de México, S.A. de C.V., del Laboratorio de Geocronología del Centro de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla, así como el uso de los centros de cómputo y laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la UACH (Geología, Química, Metalurgia, Resistencia de Materiales e Hidráulica).

Estratigrafía

La Formación Plomosas del Estado de Chihuahua se reconoce en las localidades de Sierra Azul, municipio de Manuel Benavides (Fm. Tesnus), como Fm. Plomosas en la región de Cerro Carrizalillo, Sierra Plomosas, Sierra Monillas, Sierra Placer de Guadalupe, municipio de Aldama y como Fm. Rara en la Sierra de Aldama también municipio de Aldama, Sierra Magistral, municipio de Belisario Domínguez (Fm. Plomosas), Sierra Olivos, municipio de Rosario (Fm. Pelayo), región del Pilar, municipio de Moris (turbiditas) y región de Metates, municipio de Urique (turbiditas). Salvo en la región de Cerro Carrizalillo, donde se observaron afloramientos de la Formación Plomosas con carácter autóctono o parautóctono, el resto de los afloramientos en Chihuahua se presentan en aloctonía. La excelente descripción plasmada por Ruiz-Urueña (2017) para esta formación, la define detalladamente en su carácter petrográfico

y cronológico, así como de procedencia. No obstante, no refiere en su investigación distinción alguna entre el carácter alóctono o autóctono de esta unidad estratigráfica.

La facies aquí considerada como la única depositada “in situ” para la Formación Plomosas, “Miembro Cerro El Carrizalillo” de Ruiz-Urueña (2017), la define como “el miembro inferior de la Formación Plomosa, está constituido principalmente por limolita y arenisca de grano muy fino a fino, las cuales afloran en el flanco suroeste del Cerro El Carrizalillo”. Además, “interpreta un ambiente marino para toda la sucesión”, y “considera que pudieron ser depósitos sub-acuosos”.

Por otra parte, Dyer & Reyes-Cortés (1987), que midieron 3200 m de una secuencia de areniscas, limolitas y lutitas en Cerro Carrizalillo, consideraron que los depósitos turbidíticos de la Plomosas ocurrieron en facies proximal a distal y viceversa, dentro de un complejo de abanico submarino.

Geología del área de estudio

Al norte de Sierra Monillas, en terrenos contiguos a la Carretera de Cuota 80D Hermosillo-Ojinaga, resaltan grandes fragmentos granitoides embebidos en la megabrecha polimíctica que aquí se denomina informalmente “Plomosas”, la cual para esta región representa el enclave alóctono de la Formación Plomosas (equivalente a la Unidad 5 de Bridges, 1962). Los afloramientos en el Estado de Chihuahua de esta unidad alóctona están compuestos por fragmentos de rocas ofiolíticas, plutónicas, hipabisales y volcánicas, así como de la secuencia turbidítica y carbonatada, además de fragmentos de rocas metamórficas de alto y bajo grado (milonitas, granulitas, anfíbolitas, esquistos, filitas, y pizarras), con edades que van desde el Proterozoico hasta el Jurásico Medio. Los componentes de la megabrecha poseen tamaños con diámetros desde menores al metro, hasta del orden de centenas de metros.

El mapa geológico del área de estudio en esta región cubre una superficie aproximada de 12 km² (Figuras 3A y 3B).

La mayor parte de los afloramientos en esta superficie la constituyen megafragmentos de turbiditas cuya continuidad secuencial convertida en brecha de falla, fue definida por Bridges (1962) como unidad 5g, Formación Verde. El resto de los afloramientos son granitoides en fragmentos de tamaños diversos y conglomerados pertenecientes a la Grava Conchos (sensus Burrows, 1910). Las porciones topográficamente bajas están rellenas por abanicos aluviales y depósitos de canal de edad holocénica.

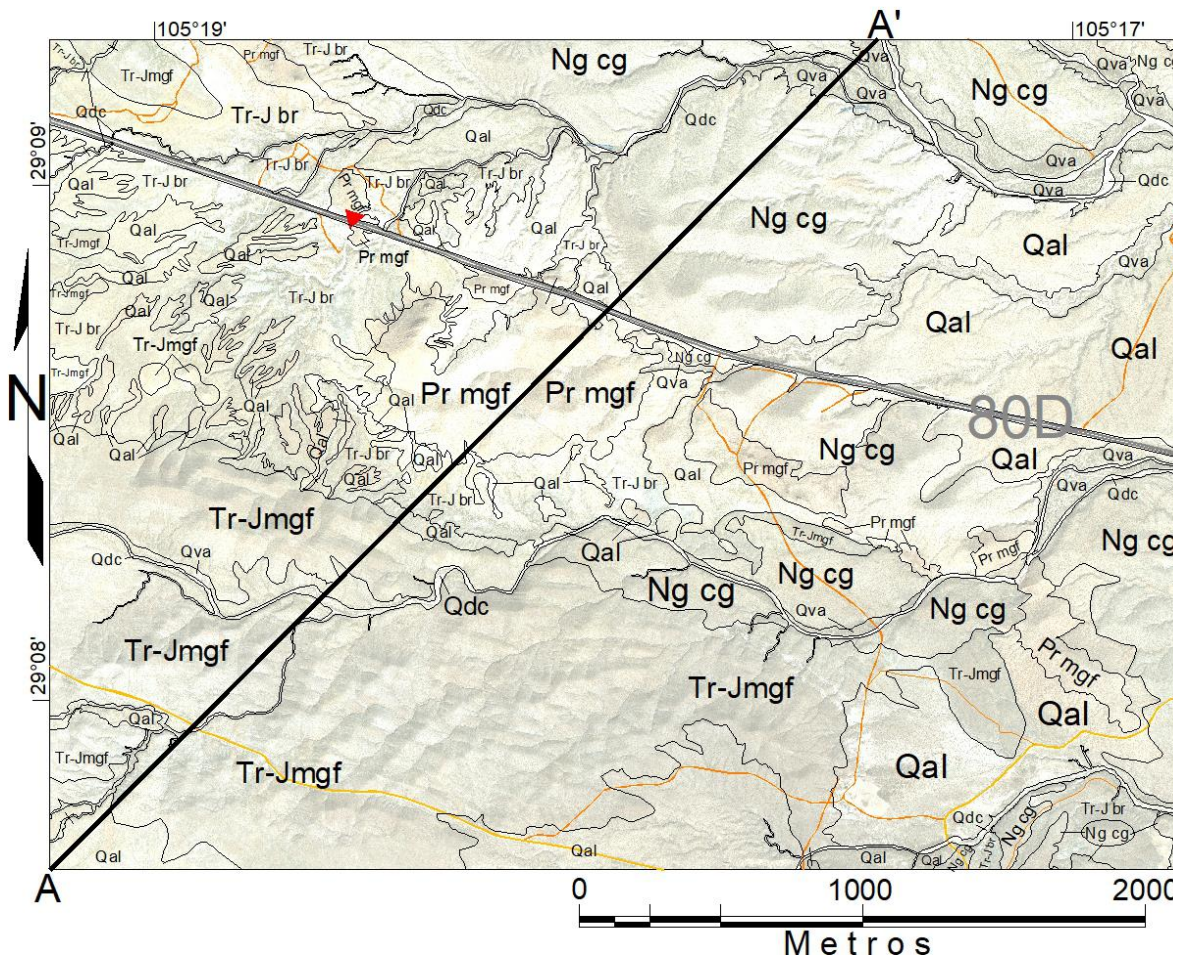


Figura 3A. Mapa geológico del área de estudio, al norte de Sierra Monillas del municipio de Aldama, Chihuahua. Triángulo rojo corresponde al sitio de la muestra Km 18+200. Imagen de fondo tomada de ArcGis Earth – SAS Planet.

En uno de los fragmentos granitoides que cruza la Carretera de Cuota 80D se recolectó la muestra de roca “Km 18+200” para estudios de composición por elementos mayores, menores y traza, y de geocronología (coordenadas N29° 08.937' W105° 18.569'), con edad radiométrica 1110 ± 29 Ma (datos analíticos U-Th-Pb obtenidos por LA-ICPMS en

zircones de rocas ígneas), fechada por el Dr. Alexander Iriondo en el Laboratorio de Geocronología de la UNAM del Centro de Geociencias, Campus Juriquilla (Figura 4).

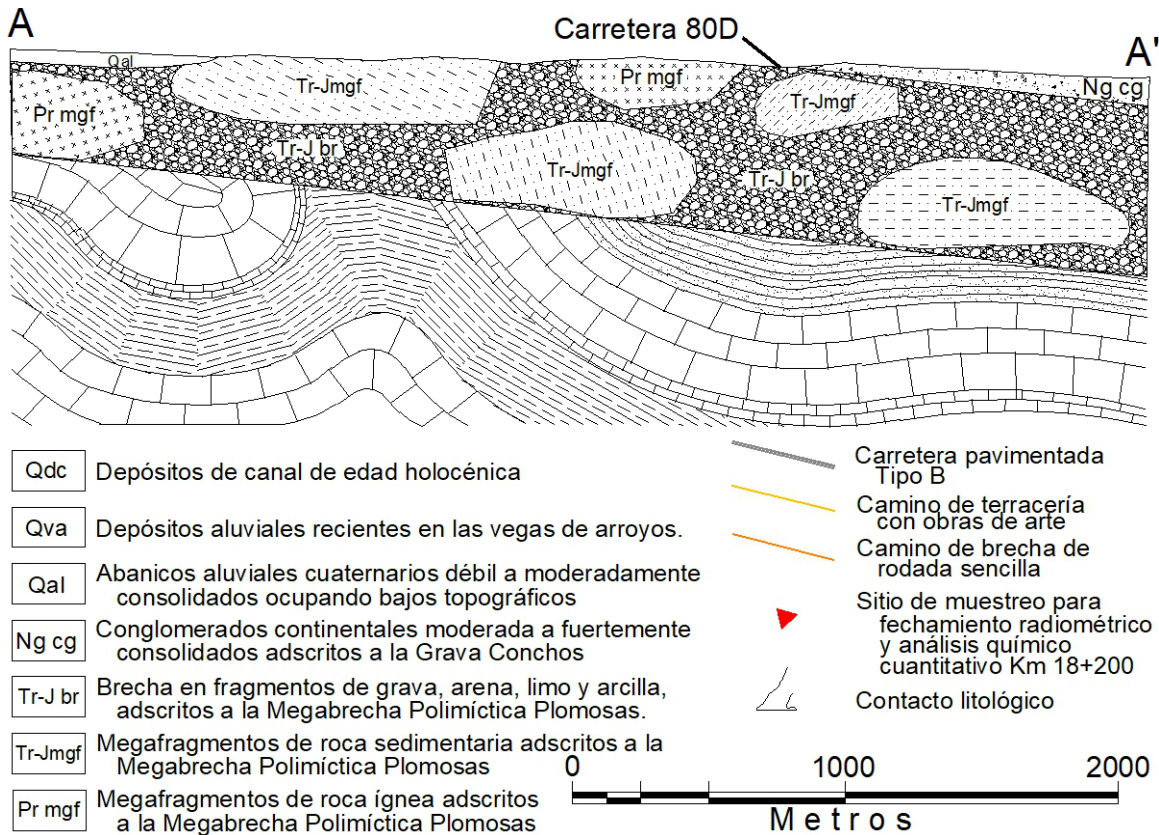


Figura 3B. Sección geológica estructural a lo largo de la línea A-A' y leyenda explicativa para el mapa geológico de la Figura 3A. Escala gráfica igual para distancia vertical y horizontal.

En la Figura 5 se muestran los diagramas de clasificación TAS de la muestra "Km 18+200" que exhiben una composición granítica para este bloque alóctono de edad grenvilliana, ca. 1.3-0.98 Ga (Stein, et al., 2017).

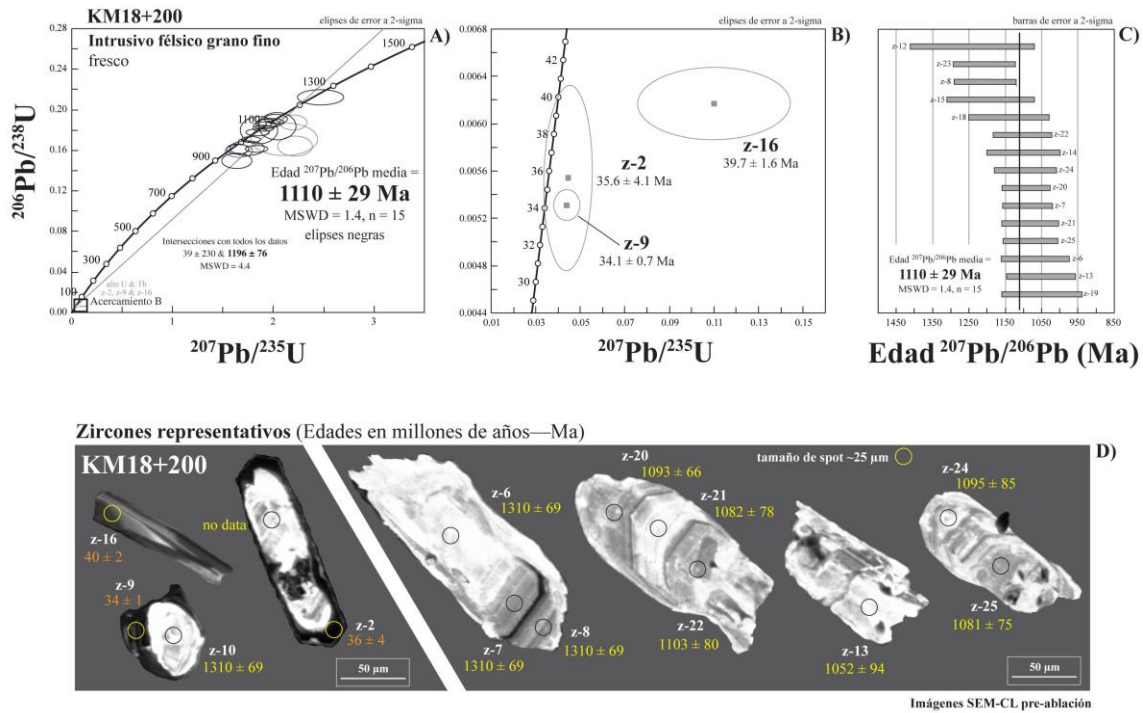


Figura 4. Imagen otorgada por el Laboratorio de Geocronología con la información relativa al fechamiento solicitado sobre la muestra Km 18+200.

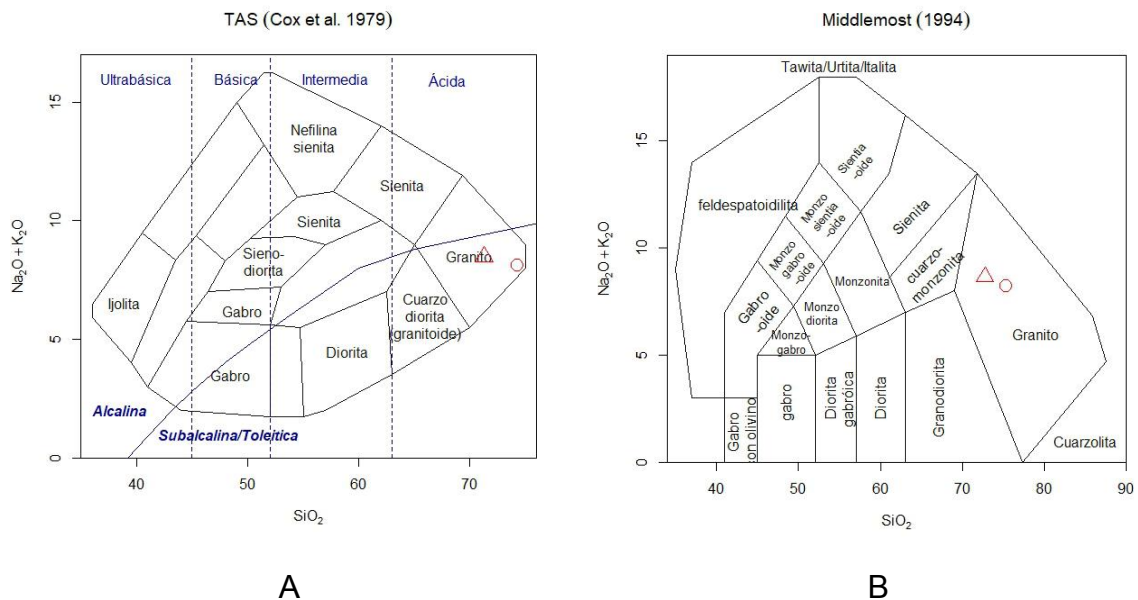


Figura 5. A) Diagrama TAS según Cox et al. 1979 y B) Diagrama de Middlemost (1994), en base a datos de elementos mayores aplicados al programa libre GCDKit (según Janousek, et al., 2019).

Tectónica

La tectónica de esta megabrecha está ligada a la colisión Laurentia-Gondwana (Franco-Rubio 2007; Franco-Rubio et al., 2012 a, b; Franco-Rubio et al., 2017). Los sedimentos de margen continental depositados en la Cuenca Oceánica Rheic fueron gradualmente plegados y deformados dentro de la región de traspáis, convirtiéndose en un cuerpo de estratos convolucionados, fallados y cabalgados, que se ubican al interior de la Zona de Sutura Ouachita y cuyos límites se enmarcan entre los lineamientos Alamitos y Olivina (Figura 6 a y b). En la medida en que los sedimentos de margen continental del Traspáis, se comprimieron por la colisión Laurentia-Gondwana, éstos se elevaron y reptaron obduciendo tanto septentrional como meridionalmente hacia ambos lados de los lineamientos mencionados, deslizándose sobre el Antepaís de corteza tanto Lauréntica, como Gondwánica (Figura 2a).

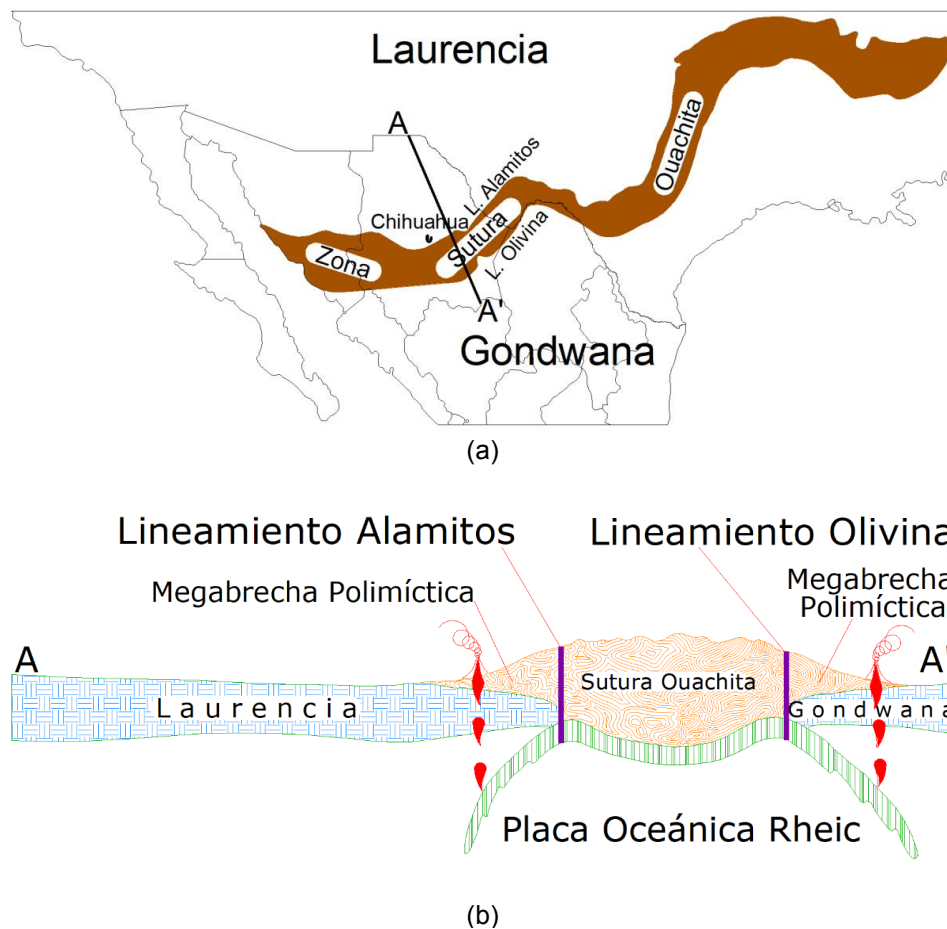


Figura 6. a) Trayectoria de la Zona de Sutura Ouachita en la Placa de Norteamérica; b) Sección A-A' en Chihuahua con los elementos cratónicos de Laurentia y Gondwana, la zona interior de la sutura Ouachita y las porciones obducidas que conforman la brecha polimíctica (Modificado de Franco-Rubio, 2007).

RESULTADOS

La Formación Plomosas que aflora en el Estado de Chihuahua, con excepción de la facies *in situ* o de probable parautoctonía en la región de Cerro Carrizalillo- Chorreras, se presenta en aloctonía en el resto de las localidades donde aflora como resultado del deslizamiento sobre el antepaís, de las turbiditas depositadas en la Cuenca Oceánica Rheic a consecuencia de la compresión derivada de la colisión entre los paleocontinentes Gondwana y Laurentia. Este proceso aunado a la reptación, tanto septentrional como meridional respecto a la sutura Ouachita, promovió la fragmentación de los estratos turbidíticos de margen continental y la incorporación de fragmentos corticales de composición y edades diferentes adheridos durante el transporte tectónico a los sitios de reposo actual.

La presencia de megafragmentos de composición granítica y edad Grenville, aparentemente inmersos como bloques tectónicos en la Megabrecha Polimíctica Plomosas, agrega información de la evolución tectónica de la Orogenia Grenville para esta región de Chihuahua en el extremo sudoccidental del antiguo cratón de Laurentia.

DISCUSIÓN

Para la región de Placer de Guadalupe-Monillas-Plomosas en el Estado de Chihuahua y al considerar que la Formación Plomosas de depositó “*in situ*” en esa región, la interpretación de su ambiente deposicional presenta la dificultad que deriva de conjuntar la diversidad composicional de los diferentes megafragmentos que la constituyen, entre los que figuran turbiditas, calizas arrecifales, riolitas, granitos, anfibolitas, etc., aglutinados en una brecha de fragmentos menores (grava, arena, limo y arcilla) con grados diferentes de alteración hidrotermal, y todos conformando la unidad estratigráfica denominada Formación Plomosas (Unidad 5 *sensus* Bridges, 1962).

De la revisión de afloramientos en Cerro Carrizalillo, aquí considerada como localidad de depositación “*in situ*” para la Formación Plomosas, el contacto entre ésta y la infrayacente Formación Pastor se presenta brechado, así como también el contacto hacia la cima entre la Plomosas y el cuerpo de riolita que Ruiz-Urueña (2017) interpreta como “Intrusivo

Los Panales”. Los 3200 m de espesor continuo para la Plomosas, sin observar presencia de megafragmentos, medidos por Dyer y Reyes-Cortés (1987) en la región de Cerro Carrizalillo, sugieren depositación “in situ” o probablemente en parautoctonía. El contacto entre la Formación Plomosas y la suprayacente Formación La Casita se presenta en discordancia, tanto angular como erosional.

La depositación “in situ” de la Formación Plomosas en la región de Cerro Carrizalillo puede haber ocurrido en una cuenca de tras-arco sugerida por Ruiz-Urueña (2017), aunque también está sugerido por Dyer & Reyes-Cortés (1987) como depositada en facies de complejo de abanico sobre corteza oceánica.

CONCLUSIONES

Las consideraciones de autoctonía, aloctonía y posible parautoctonía de la Formación Plomosas, puestos de manifiesto durante las discusiones del trabajo de investigación “Megabrecha polimíctica obducida” (Franco-Rubio, et al., 2017), sugieren una mayor complejidad en la elaboración de mapeos e interpretaciones estratigráficas, estructurales y tectónicas de la Plomosas al considerar su transporte tectónico. No obstante, los mapeos geológicos y los fechamientos de edad Grenville hasta ahora elaborados, así como la proximidad con los lineamientos que enmarcan el interior de la zona de sutura Ouachita (Figuras 2 y 6), establecen sustento al carácter alóctono para la mayor parte de los afloramientos de las turbiditas marinas en el Estado de Chihuahua.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de auspicio económico obtenido de SEP- CONACYT, a través del proyecto de investigación No. 167638. A la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Facultad de Ingeniería, por la implementación de la logística requerida para llevar a cabo la investigación geológica. A los doctores Ignacio Alfonso Reyes-Cortés y Michel Yadira Montelongo-Flores, así como al M.A. Leonardo Agustín Llamas-Jiménez, por su contribución a la investigación a través de información de campo y laboratorio. A los ahora profesionistas egresados de Ingeniería Geológica, Abraham Erasmo Cerón- García, Anet Pizaña-Zavala, Brincel Coraima Ponce de León-Mendoza,

Clara Nayeli Chacón-Olivas, Wendy Nayely Medina-Esparza, José Bardo Tavizón-Tinoco, Andrés Isaak González-Jacquez, Enrique García-Rodríguez y Luis Fernando Blanco-Orozco, que contribuyeron con sus trabajos de tesis, al discernimiento de los procesos geológicos involucrados.

REFERENCIAS

- Barboza-Gudiño, J. R., Torres-Hernández, J. R. y Villasuso-Martínez, R., 2016, Revisión estratigráfica y estructura de la Sierra Plomosa, Chihuahua: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, V. 33, núm. 2, p. 221-238
- Bridges, L. W., 1962, *Geology of Mina Plomosas Area, Chihuahua, Mexico: Doctoral Dissertation, University of Texas at Austin*, 239 p.
- Burrows, R. H., 1910, *Geology of Northern Mexico: Boletín Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. VII, No. 1, p. 85-103
- Franco-Rubio, M., 2007, *Geología y Paleomagnetismo de la porción centro-oriental del Estado de Chihuahua, México: Definición del Lineamiento Delicias-Mulato: Tesis Doctoral, Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México*, 533 p.
- Franco-Rubio, M., Oviedo, A., 2012a, *Tectonic Evolution of Chihuahua: From the Laurentia-Gondwana Collision to the Chihuahua Trough Opening; in Franco-Rubio y Oviedo Editores, Libro Guía de Excursiones, Resúmenes y Programa, Simposio de la Geología de la Sutura Laurencia-Gondwana en Chihuahua, Fac. Ingeniería, UACH (<http://sig.fing.uach.mx>), pp. 58-59.*
- Franco-Rubio, Miguel, Caballero-Miranda, Cecilia I., Alva-Valdivia, Luis M., Oviedo, Angélica, Urrutia-Fucugauchi, Jaime, Martínez-Reyes, Fernando, Torres-Knight, Ricardo, Riggs, Nancy R., González-León, Carlos M., y López-Santillán, Roberto, 2012b, *Permian Magmatic Arc Related to the Ouachita Suture Zone in Chihuahua, Mexico: Cordilleran Section - 108th Annual Meeting, Paper No. 19-1, Geological Society of America Abstracts with Programs, Vol. 44, No. 3, p. 22*
- Franco-Rubio, M., Oviedo, A. & Ifrim C., 2017, *Obducted polymictic megabreccia by the Laurentia-Gondwana collision in Chihuahua, México: Mächtle, B., Holzhauser, I., Ifrim, C., Stinnesbeck, W., Glasmacher, U.A. (eds.) 2017: 24th International*

Colloquium on Latin American Earth Sciences, Abstracts and Programme, GAEA
Heldelbergensis 20, p. 28

- Franco-Rubio, M., Oviedo, A., Montelongo-Flores, M. Y., Juárez-Martínez, R., Llamas-Jiménez, L. A., 2018, Late Jurassic rifting in Chihuahua, México: Rosales-Domínguez & Olóriz eds., Paleontología Mexicana, Número Especial 3; 10th International Congress on the Jurassic System, ISSN: 0185-478X, p. 58-60
- Franco-Rubio, M., 2018, Informe Final, Proyecto SEP-CONACYT No. 16738 “Arco Magmático Pérmico relacionado con la Zona de Sutura Ouachita en Chihuahua, México”, 32 pp.
- Janosek, V., Farrow, C. M., Erban, V. & Moyen, J. F., 2019, GCDKit under R- language, a Free Software: <http://www.gcdkit.org/team>
- Moreno, F. A., Mickus, K. L. and Keller, G. R., 2000, Crustal structure and location of the Ouachita Orogenic belt in Northern Mexico: Geofísica Internacional, Vol. 39, Núm. 3, pp. 229-246
- Ruiz-Urueña, J. E., 2017, Formación Plomosas, Chihuahua: Estratigrafía, Ambientes de Depósito, Petrología y Procedencia; Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra (Geología), Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, 178 p.
- Stein, C.A., Stein, S., Reece, E., Keller, G. R., Kley, J., 2017, Is the “Grenville Front” in the central United States really the Midcontinent Rift?: GSA Today, v. 28, doi: 10.1130/GSATG357A.1.

Geoquímica ambiental y salud

Riqueza orgánica en la Formación La Peña, Región Carbonífera de Coahuila

Piedad-Sánchez, Noé^{1,2,6}, González Partida, Eduardo^{2,3,4,6}, Peralta Salazar, Rosario^{1,2,5}, González Carrillo, Fabiola^{1,2}, Hernández Godoy, José Antonio^{1,2,5}.

¹Innovación Tecnológica Aplicada a las Geociencias, Academia de Investigación A.C. ²Red Temática CONACYT Geogenómica Aplicada en Recursos Energéticos y Minerales Estratégicos GAREME. ³Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México. ⁴Geología, Minería y Consultoría S.A. de C.V. ⁵Petroanálisis Ingeniería S. de R.L. ⁶Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica CEMIEGEO.

RESUMEN

El presente trabajo es el producto de las actividades de investigación realizadas en diversas rocas en la Región Carbonífera de Coahuila, con el objetivo de revisar y establecer su potencial como yacimiento no convencional.

En este trabajo se recuperaron muestras geológicas de canal y núcleos pertenecientes a la Formación La Peña, obteniendo resultados de COT que varían de 0.4 a 2.9 %, y medidas de reflectancia de la vitrinita con valores de 0.7 a 1.6 % R_r, lo que sugiere que las lutitas carbonosas de esta formación geológica estudiada se encuentra principalmente en la zona de generación de aceite - gas.

Los espesores de menos de 60 m de las lutitas carbonosas muestran baja viabilidad económica para su exploración formal, sin embargo, por su contenido de materia orgánica y madurez térmica sugieren su potencial para utilizarse como análogo en la exploración de gas en lutitas.

Palabras clave: La Peña, roca generadora, madurez térmica, vitrinita, COT.

ABSTRACT

The present work is the product of the research activities carried out on various rocks in the Coahuila Coal Region, with the objective of reviewing and establishing its potential as an unconventional deposit.

In this work, geological samples of the canal and cores belonging to the La Peña Formation were recovered, obtaining TOC results that vary from 0.4 to 2.9%, and vitrinite

reflectance measures with values of 0.7 to 1.6% R_r , which suggests that the carbonaceous shales of this geological formation studied are mainly in the oil-gas generation zone.

Thicknesses of less than 60 m of carbonaceous shales show low economic viability for formal exploration, however, due to their organic matter content and thermal maturity they suggest their potential to be used as an analogue in the exploration of shale gas.

Formación La Peña

La Formación La Peña fue descrita originalmente por Imlay (1936), en el noreste de México, en el flanco occidental de la sierra de Parras en Coahuila, México, donde diferencia un miembro Calcáreo (inferior) y un miembro Calcáreo-lutítico (superior). Más tarde, Humphrey (1949) la redefinió en la Sierra de los Muertos, que se encuentra en el estado de Nuevo León cerca de Monterrey. De acuerdo a su descripción Humphrey (1949) consideró como Formación La Peña al Miembro Superior (calcáreo-lutítico) de la subdivisión de Imlay (1936).

La Formación La Peña, con localidad tipo en el flanco occidental de la Sierra de Parras, Coahuila, y en la parte norte del Cañón del Mimbres en la Sierra de Tarmaes cerca de la Hacienda de La Peña, sobresale como un excelente indicador estratigráfico ya que es una de las formaciones más consistentes respecto a su distribución espacial (Figura 1). En el norte y noreste localmente sobreyace a la caliza Cupido y subyace a la caliza Aurora; sin embargo, hacia el oriente y sur cambia a facies más profundas, sobreyaciendo a la Formación Tamaulipas Inferior y subyaciendo a la Formación Tamaulipas Superior. En las zonas centrales de las cuencas circundantes la Formación La Peña subyace a la Formación Cuesta del Cura del Albano-Cenomaniano (Padilla y Sánchez, 1982; Carrillo-Bravo, 1982).

En la Región Carbonífera, la Formación La Peña se encuentra expuesta en el potrero de Obayos y sierras Salsipuedes, Santa Rosa, Cristo, Pájaros Azules y Lampazos. Su litología está compuesta de calizas arcillosas de estratos delgados a laminares, de

textura fina y de color gris oscuro, alterna con unas lutitas calcáreas, presenta bandas de pedernal y fósiles. El espesor es variable, en promedio mide 30 m.

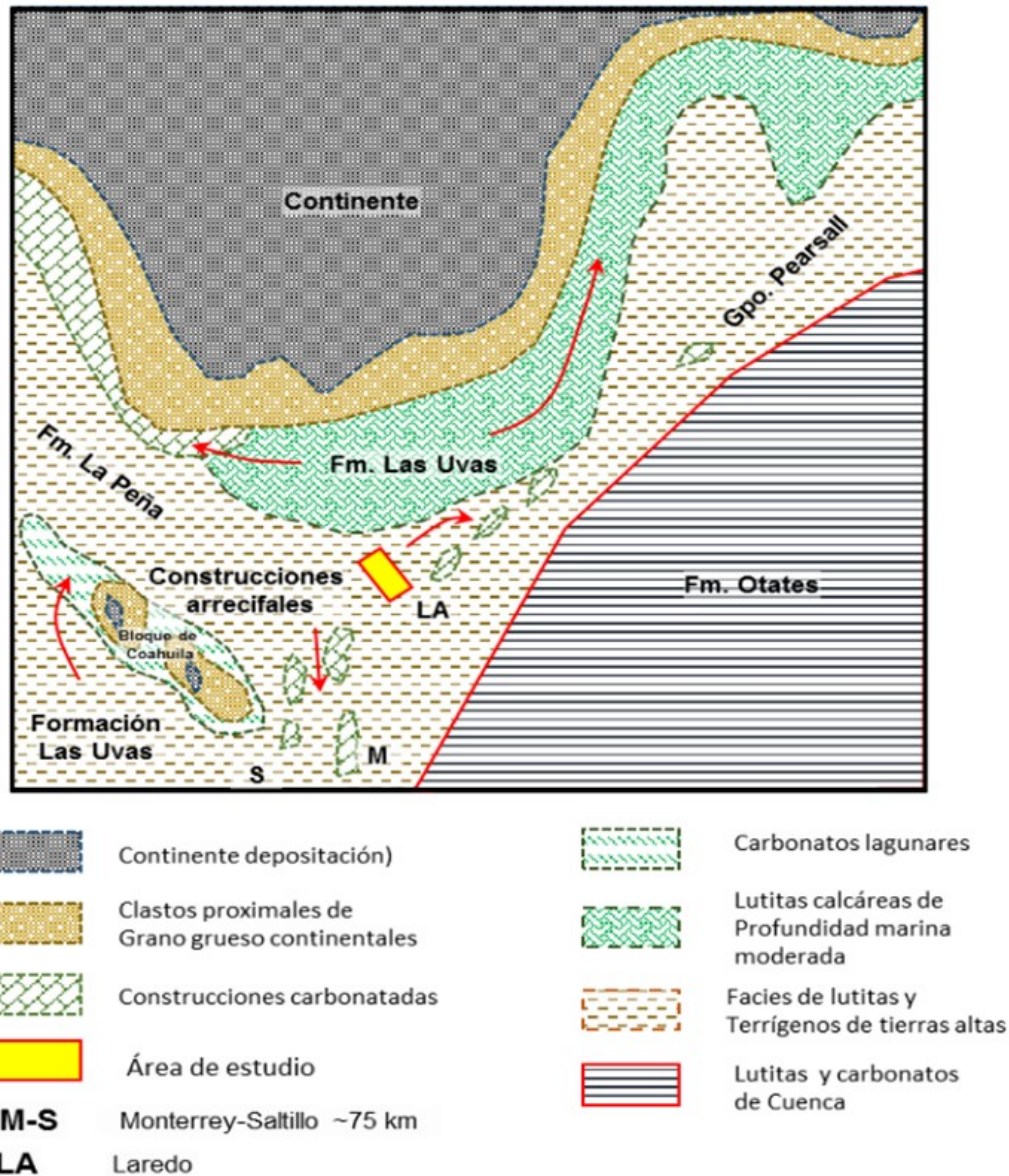


Figura 1. Mapa paleogeográfico durante el Aptiano Inferior a Superior (Modificado de Goldhammer *et al.*, 2001; y Martínez Contreras, 2015).

La Formación La Peña es rica en macro y microfauna destacándose los amonites de la especie *Dufrenoyia sp.* (Lehmann *et al.*, 1999), que se encuentra en toda la formación, *Parahoplites sp.*, *Kazanskyella sp.*, *Cheloniceas sp.*, *Pseudohaploceras sp.*, *Acanthohoplites sp.* y *Colombiceras sp.*, en la parte superior (Cantú Chapa, 1989) y gran

variedad de foraminíferos planctónicos entre los que destacan *Globigerinelloides algenianus*, *Globigerinelloides ferreolensis*, *Hedbergella trocoidea*, *Favusella scitula* y *Ticinella bejaouaensis* así como nanofósiles y colomiélidos tales como *Nannoconus wassali*, *Nannoconus truitti*, *Deflandronella Colomiella mexicana* entre otras (Lehmann *et al.*, 1999), además de calcisferas, ostrácodos (*Microcalamoides diversus*) y fragmentos de equinodermos.

Evolución sedimentaria

En base a su fauna y litología el ambiente de depósito de la Formación La Peña es considerado generalmente como de aguas profundas de una zona batial a epibatial. Sin embargo, las variaciones laterales debido a la distribución paleogeográfica de las diversas estructuras paleogeográficas del Cretácico Temprano que fueron transgredidas durante este tiempo, como la Isla de Coahuila al norte (González-Sánchez *et al.*, 2007) y la incipiente Plataforma Valles-San Luis Potosí al sur-sureste (López-Doncel y Navarro-Moctezuma, 2007), permiten atribuirle un ambiente pericontinental de menor profundidad y con mayor influencia detrítica continental.

Según Eguiluz de Antuñano (2001, 2007), la región estudiada presenta evidencias de eventos constantes de regresiones y transgresiones del nivel del mar, y en el Cretácico, se tiene una Supercuencia 2 (Figura 2) que representa la etapa de deriva (drift) y corresponde varios ciclos deposicionales (II, III, y IV), donde el ciclo I corresponde al Oxfordiano Superior al Berrisiano (Formación La Casita y parte de Barril Viejo-Menchaca en el Bloque Pirineo), el ciclo II al Valanginiano-Aptiano (Formación Barril Viejo-Menchaca, Padilla, La Mula, La Virgen y parte de Cupido), y el ciclo III, al Aptiano-Cenomaniano (Formación Cupido, La Peña, Tamaulipas Superior, Georgetown, Del Río y Buda).

Metodología

En este trabajo se recuperaron muestras de canal y núcleo de la Formación La Peña, las cuales fueron preparadas de acuerdo a la norma ISO 7404-2 (1985) para la determinación en laboratorio de la madurez térmica (%R_r) de acuerdo a la norma ISO

7404-5 (1994b), y la determinación de la riqueza orgánica (COT %). Algunas muestras fueron seleccionadas para realizar el análisis de Rock-Eval.

		Période	Groupes	Evénements			
Cénozoïque	Tertiaire	Paléogène	Lutétien	Midway Wilcox	Bassin d'avant-pays		
			Danien			Navarro Taylor Parras Upson	
Mésozoïque	Crétacé	Supérieur	Maastrichtien	Austin	refroidissement et subsidence		
			Campanien				
			Santonien				
			Coniacien				
		Turonien	Eagle Ford				
		Cénomanién	Buda	Monclova			
			Del Río				
		Albien	George Town	Monclova			
			Kiamichi				
			Tamaulipas Sup.				
		Inférieur	Aptien	Gargasien		La Peña	
				Bédoulien		Cupido	
			Néocomien	Barrémien		La Virgen	Récif Cupido
				Hauterivien		La Mula	
Valanginien	La Padilla						
Bériasién	Barril Viejo		Taraises				
Jurassique	Tithonien		La Casita	Olvido			
	Kimméridgien						
	Oxfordien/ Callovien	La Gloria					
		Pré-Oxfordien	Conglomérat	Rift			

Figura 2. Columna estratigráfica mostrando los eventos de subsidencia para la Región Carbonifera de Coahuila (A partir de Eguiluz de Antuñano and Amezcua-Torres, 2003).

RESULTADOS

Los resultados de determinación del COT en las muestras geológicas de la Formación La Peña, indican una variabilidad en la riqueza orgánica con valores de 0.4 a 2.9%.

Las muestras de la Formación La Peña fueron predominantemente lutitas fosilíferas, conteniendo fracturas rellenas por pirobitúmenes (Figura 3) dando indicios de la importancia de la migración de hidrocarburos, no obstante, algunas muestras mostraban impregnaciones de aceite. La materia orgánica principal fue la inertinita, evidenciando una mezcla de materia orgánica tipo III con tipo II, siendo la vitrinita escasa y, en muchas de las ocasiones, nula la presencia de liptinita.

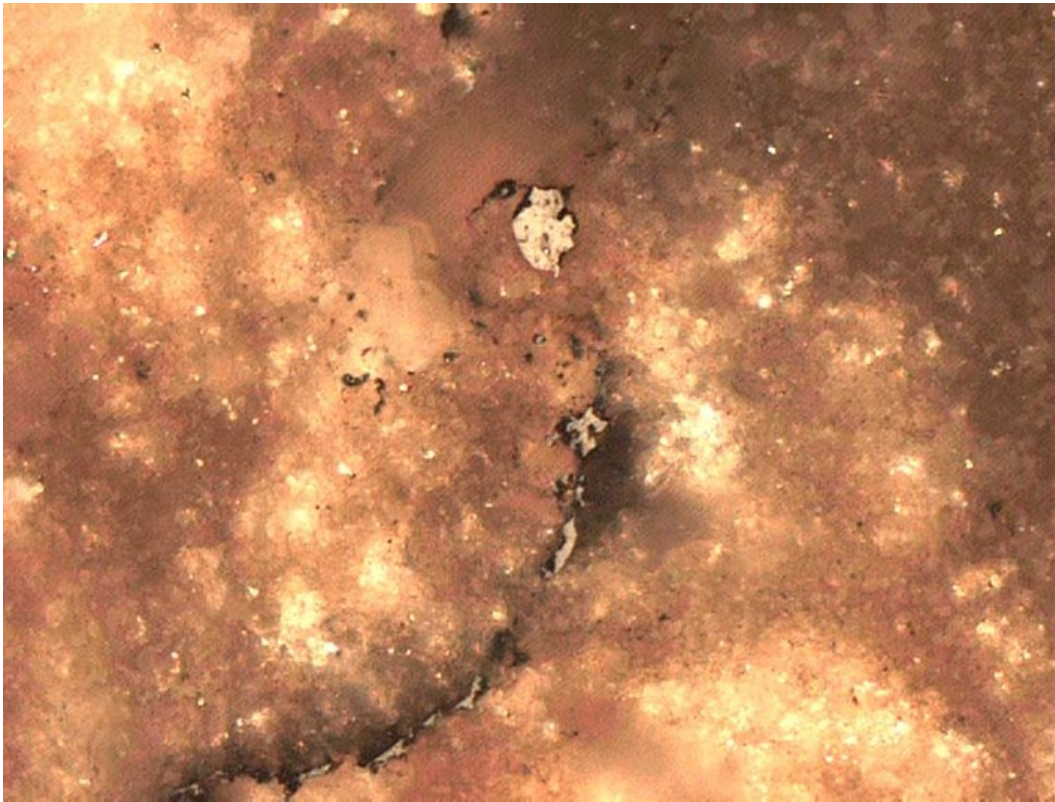


Figura 3. Fracturas rellenas de pirobitumen en muestra de la Formación La Peña.
Las mediciones de reflectancia de la vitrinita en las muestras de lutitas carbonosas de la Formación La Peña varían de 0.7 a 1.6 %R_r, lo que sugiere que el área estudiada se encuentra en la ventana de aceite a gas seco.

El análisis de Rock-Eval en muestras previamente seleccionadas indican valores de T_{max} menores a 400° C con un IH de 205 a 400 mg HC/g COT (Figura 4), sugiriendo diferentes pulsos de generación o presencia de diferentes familias de hidrocarburos.

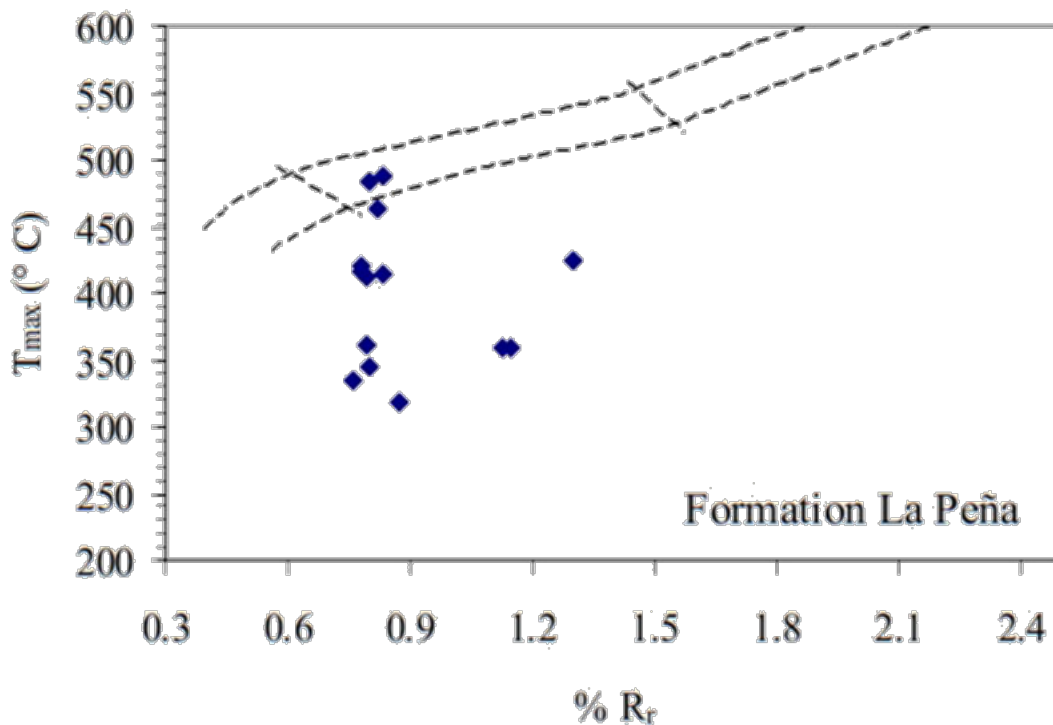


Figura 4. %R_r vs. T_{max} en muestras seleccionadas de la Formación La Peña en la Región Carbonífera.

CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis de laboratorio en muestras geológicas de la Formación La Peña, presente en la Región Carbonífera de Coahuila, señalan un potencial de generación de aceite – gas.

Asimismo, la variabilidad de su riqueza orgánica y madurez térmica sugiere diferentes pulsos de generación de hidrocarburos en el área, así como la importancia de la migración que pudo afectar el almacenamiento de los mismos, o favorecer una diagénesis avanzada.

Las muestras analizadas pertenecientes a zonas someras en la Región Carbonífera, muestran poca viabilidad económica para la exploración por espesores “delgados”, y la erosión presente, no obstante, son interesantes para realizar estudios que contribuyan a comprender el comportamiento de yacimientos no convencionales relacionados con fenómenos de subsidencia y migración de hidrocarburos, y como un análogo de gas en

lutitas calcáreo arcillosas. Al mismo tiempo, estudios más integrales, permitirán determinar zonas prospectivas para la Formación La Peña, en zonas más profundas con potencial de generación de aceite y gas en la Región Norte de Coahuila.

REFERENCIAS

- Barboza-Gudiño, J.R., Hoppe, M., Gómez-Anguiano, M., Martínez-Macías, P.R., 2004, Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21(3), 299-319.
- Barragán-Manzo, R., Méndez-Franco, L., 2005, Towards a standard ammonite zonation for the Aptian (Lower Cretaceous) of northern Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 22(1), 39-47.
- Cantú-Chapa, A. 1963, Etude biostratigraphique des ammonites de Centre et de l'Est du Mexique (Jurassique Supérieur et Crétacé): *Mémoire de la Société Géologique de France*, N.S. 42, 4 (99), 102 p.
- Cantú-Chapa, A., 1989, La Peña Formation (Aptian): a condensed limestone-shale sequences from the subsurface of NE Mexico: *Journal of Petroleum Geology* 12(1), 69-84.
- Cantú-Chapa, C.M., 1976, Estratigrafía de la Formación La Peña (Aptiano Superior) en el área de Monterrey, N. L.: *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo* 8(4), 7-16.
- Carrillo-Bravo, J., 1982, Exploración petrolera de la Cuenca Mesozoica del centro de México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros* 34(1), 21-46.
- Contreras-Montero, B., 1977, Bioestratigrafía de las formaciones Taraises y La Peña (Cretácico Inferior) de la Goleta, Coahuila y Minillas, Nuevo León: *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 9(1), 8-29.
- Cuevas, L.J.A., 1984. Análisis de subsidencia e historia térmica en la Cuenca de Sabinas, Noreste de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros* 34, 56-100.
- Eguiluz-Antuñano, S., 1990, Un hiato aptiano en el noreste de México: *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 2(2), 57-68.

- Eguiluz de Antuñano, S., 2001. Geologic evolution and gas resources of the Sabinas basin in northeastern Mexico. In: Bartolini, C., Bufler, R.T., Cantú-Chapa, A. (Editeurs), *The western Gulf of Mexico Basin: tectonics, sedimentary basins and petroleum systems*. AAPG Memoir 75, 241-270.
- Eguiluz de Antuñano, S., 2007. Exploración petrolera cuantitativa, ejemplos y resultados de los estudios de plays en la Cuenca de Sabinas, Coahuila, México. *Servicio Geológico Mexicano, Revista Geociencia*, Año 1, No. 1, 9-36.
- Eguiluz de Antuñano, S., and Amezcua-Torres, N., 2003. Coalbed methane resources of the Sabinas Basin, Coahuila, México. In: Bartolini, C., Bufler, R. T., Blickwede, J. (eds.), *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 79, 395–402.
- Goldhammer, R.K., Johnson, C.A., 2001. Middle Jurassic-Upper Cretaceous paleogeographic evolution and sequence stratigraphic framework of the Northwest Gulf of Mexico rim. In: Bartolini, C., Bufler, R.T., Cantú-Chapa, A. (Editeurs), *The western Gulf of Mexico Basin: tectonics, sedimentary basins and petroleum systems*. AAPG Memoir 75, 45-81.
- González-Sánchez, F., Puente-Solís, R., González-Partida, E., Camprubi, 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.
- Humphrey, W.E., 1949, *Geology of the Sierra de los Muertos area, Mexico (with description of Aptian cephalopods from La Peña Formation)*: Geological Society of America Bulletin 60, 89-176.
- Imlay, R.W., 1936, *Geology of the Western part of the Sierra de Parras*: Geological Society of America Bulletin 47(7), 1091-1152.
- Lehmann, C., Osleger, D.A., Montañez, I.P., Sliter, W., Arnaud-Vanneau, A., Banner, J., 1999, *Evolution of Cupido and Coahuila carbonate platforms, Early Cretaceous, northeastern Mexico*: Geological Society of America Bulletin 111(7), 1010–1029.
- López-Doncel, R., Navarro-Moctezuma, A., 2007, *Estudio estratigráfico-microfacial de los depósitos del Aptiano – Albiano inferior en la porción occidental de San Luis*

Potosí, centro-oriente de México y su relación con la incipiente Plataforma Valles – San Luis Potosí: GEOS 27(1), p. 108.

Padilla y Sánchez, R.J., 1982, Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo and Monterrey, Mexico: Texas, U.S.A., University of Texas at Austin, tesis doctoral, 217 p.

Influencia de la materia orgánica en la remoción de 16 HAPs en suelos contaminados artificialmente

Montiel García, Patricia Candelaria¹, Ramírez González, Adriana²

¹Universidad 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. ²Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Apartado Postal 70-472, Coyoacán 04510, México, D.F.
pmontiel@uaeh.edu.mx

RESUMEN

Las interacciones entre suelo y compuestos orgánicos están influenciados por la materia orgánica del suelo; por los constituyentes inorgánicos; su porosidad; la actividad microbiana y la concentración del contaminante, es por esto que en este estudio se evaluó la remoción de 16 HAPs en dos tipos de suelos, uno con alto contenido de materia orgánica (SACMO) y el otro con bajo contenido de materia orgánica (SBCMO) contaminados artificialmente, utilizando para la extracción de los HAPs de la matriz del suelo el método de extracción asistida por microondas (MAE) y el método de Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas para su cuantificación, con la finalidad de valorar la influencia que tiene el contenido de materia orgánica y la composición fisicoquímica de estos suelos, en la remoción de compuestos orgánicos como lo son los HAPs. Se encontró que en el suelo con alto contenido de materia orgánica se presentaron los porcentajes de remoción (%RE) más altos en los HAPs de peso molecular mayor, como lo fue el Indeno(1,2,3-cd) con un 81.90% RE, y con el más bajo peso molecular al Fluoreno con un 33.33% RE. Por otra parte en el suelo con bajo contenido de materia orgánica los porcentajes más alto de remoción se obtienen en los HAPs de bajo peso molecular, siendo el Naftaleno el que obtuvo 97.78% RE y el Fluoranteno un 41.33% RE, identificando que el contenido de materia orgánica en el suelo es un factor importante para la remoción de estos contaminantes.

Palabras Claves: HAPs, extracción asistida por microondas, cromatografía de Gases-Masas, adsorción, materia orgánica.

ABSTRACT

The interactions between soil and organic compounds are influenced by the soil organic matter; inorganic constituents; soil porosity; microbial activity and the concentration of the pollutant, that's why in this study the removal of 16 PAHs in two types of soils was evaluated, one with high organic matter content (SACMO) and the other with low organic matter content (SBCMO) artificially contaminated, using the microwave-assisted extraction method (MAE) for the extraction of PAHs from the soil matrix and the Gas Chromatography-Mass Spectrometry method, for its quantification, in order to assess the influence of the content of organic matter and the physicochemical composition of these soils in the removal of organic compounds such as PAHs. We found that in the soil with high organic matter content the highest removal percentages (% RE) were presented in the PAHs of greater molecular weight, such a Indeno(1,2,3-cd) with 81.90% RE, and with the lowest molecular weight to Fluorene with 33.33% RE. Furthermore, in the soil with a low content of organic matter, the highest removal percentages are obtained in the PAHs of low molecular weight, Naphthalene obtained 97.78% RE and Fluorantene a 41.33% RE, identifying that the content of Organic matter in the soil is an important factor for the removal of these contaminants.

Keywords: PAHs, Microwave Assisted Extraction, Gas-Mass Chromatography, adsorption, organic matter.

INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos o hidrocarburos aromáticos polinucleares, (HAPs) son compuestos orgánicos, que contiene carbono e hidrógeno, con una estructura de dos o más anillos aromáticos fusionados (bencenos) (Hayakawa, 2018; Oluwaseun, *et al.*, 2017; Huizhong, 2016). Son sólidos incoloros cristalinos, blancos o de color verde-amarillo pálido, con un ligero y agradable olor (D'Souza, *et al.*, 2015; Oluwaseun, *et al.*, 2017) tienen estructura planar, relativamente inertes y de naturaleza volátil. Son compuestos hidrófobos y su persistencia en el medio ambiente se debe principalmente a su baja solubilidad en agua y la estabilidad electroquímica. Sus bajas solubilidades en agua son esperadas por su carácter no polar, estas disminuyen dramáticamente al pasar de los compuestos de dos y tres anillos a los cinco anillos.

Evidencias sugieren que la lipofobicidad, la persistencia ambiental y la genotoxicidad de los HAPs aumentan a medida que el tamaño molecular de éstos aumenta hasta cuatro o cinco anillos de benceno fusionados (D'Souza *et al.*, 2015). El estudio de la remoción de HAPs es importante por qué estos compuestos se introducen en el medio ambiente principalmente a través de fuentes naturales y antropogénicas y son considerados como contaminantes orgánicos persistentes en el medio ambiente, ya que son compuestos no polares, hidrófobos y neutros con baja volatilidad y solubilidad, debido a su alto peso molecular, pues son moléculas que tienen cinco anillos bencénicos fusionados por lo que resisten a la degradación ambiental/biológica (Oluwaseun, *et al.*, 2017).

El suelo es uno de los recursos naturales que están siendo sobreexplotados a nivel mundial debido al aumento de las actividades industriales, agrícolas y actividades humanas. La contaminación del suelo, tanto difusa como localizada, puede provocar daños graves en las funciones del suelo, así como la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Los contaminantes orgánicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) una vez que entran en el suelo, se acumulan en horizontes ricos en materia orgánica donde es probable que se retengan durante muchos años debido a su persistencia e hidrofobicidad. Los sedimentos y los suelos se consideran los principales sumideros de los HAPs en el medio ambiente y los HAPs con cuatro o más anillos aromáticos son contaminantes persistentes en el medio ambiente (D'Souza *et al.*, 2015). En los suelos, los HAPs es más probable que se adhieran fuertemente a las partículas, algunos HAPs se evaporan de la superficie del suelo al aire y ciertos HAPs en los suelos también pueden contaminar el agua subterránea (Murcia, 2019). Los HAPs son una de las formas más estables de los hidrocarburos que se concentran principalmente en suelos contaminados. La impermeabilidad del suelo arcilloso se considera como un obstáculo natural que exagera la contaminación de las aguas subterránea ya que mantiene a los HAPs en el suelo, sin embargo, la baja permeabilidad dificulta la remoción de los contaminantes. La baja solubilidad de los HAPs en el agua hace que su eliminación sea costosa y lenta (Gitipour *et al.*, 2018).

La contaminación orgánica por HAPs es una preocupación cada vez mayor de los científicos ambientales en la actualidad. La creciente preocupación por el medio ambiente ha puesto de relieve recientemente tres problemas importantes a resolver, estos son: la contaminación, la escasez de recursos y el desarrollo insostenible de nuestras sociedades. La contaminación se define como la introducción de elementos, compuestos, sustancias o energía en el medio ambiente en concentraciones que alteran negativamente su funcionamiento biológico o que presentan un riesgo inaceptable para los seres humanos u otros objetivos que utilizan o están relacionados con el medio ambiente. Además, la contaminación por HAPs es la causa de muchos problemas relacionados con la salud humana y ambiental (Fernández Luqueño *et al.*, 2017).

Debido a lo anterior estos compuestos están ampliamente presentes en el aire, el agua, los suelos y los sedimentos (D'Souza *et al.*, 2015) por lo que es factible estudiarlos y en esta investigación lo que se pretende es evaluar la degradación de estos compuestos en dos tipos de suelos, uno con alto contenido de materia orgánica y otro con bajo contenido de materia orgánica (Hong *et al.*, 2015; Xue *et al.*, 2015). La contaminación por estos compuestos orgánicos es una preocupación cada vez mayor de los científicos ambientales en la actualidad por lo que esta investigación es relevante (Fernández Luqueño *et al.*, 2017).

METODOLOGÍA

Selección y Recolección del suelo a estudiar.

Se seleccionaron dos suelos, el primero con alto contenido de materia orgánica (SACMO) y el segundo con bajo contenido de materia orgánica (SBCMO) los cuales fueron extraídos a una profundidad de 1.5 m., colectándose aproximadamente 80 kg de cada uno de los suelos en sacos de polietileno. Se tomaron 5 kg de cada suelo y se procedió a secarlos a temperatura ambiente sobre papel de estraza en el laboratorio. Antes de realizar la molienda se retiraron de las muestras rocas y material orgánico visible como ramas, palos, raíces, etc. La molienda se realizó con un mazo de madera. Los suelos molidos se hicieron pasar por un tamiz con una abertura de dos mm de diámetro (malla 10) de acero inoxidable.

Caracterización Físicoquímica de los suelos

Se determinaron los siguientes parámetros: pH, densidad aparente, densidad real, porosidad, materia orgánica y carbono orgánico de acuerdo a las siguientes metodologías:

Determinación del pH de acuerdo al método AS-02 de la NOM-021-RECNAT-2000.

Determinación de la densidad aparente de acuerdo al método de la probeta del Manual de Metodologías de Análisis Físico-Químicos de Suelos de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Determinación de la densidad real con el picnómetro de acuerdo al método AS-04 de la NOM-021-RECNAT-2000.

La porosidad se calcula a partir de los valores de densidad aparente y densidad real de acuerdo a Manual de Metodologías de Análisis Físico-Químicos de Suelos de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Determinación de materia orgánica del suelo de acuerdo al método AS-07 de Walkley y Black de la NOM-021-RECNAT-2000.

Determinación del carbono orgánico del suelo de acuerdo al método AS-07 de Walkley y Black de la NOM-021-RECNAT-2000.

Contaminación artificial de los suelos

SBCMO.- Se pesaron 50 g del suelo con bajo contenido de materia orgánica, en tres frascos (duplicado y un blanco), se le adicionó 15 ml de agua destilada para humedecer el suelo dejándolos durante 48 h para su completa hidratación, posteriormente se les adicionó 50 ml de la solución estándar 20 µg/ml de los 16 HAP's en diclorometano y se dejaron 48 h para que se evaporara el solvente.

SACMO.- Se pesaron 50 g de suelo con alto contenido de materia orgánica en tres frascos (duplicado y un blanco) adicionándoles 40 ml de agua destilada para humedecer el suelo y se dejaron durante 72 h para su completa hidratación, posteriormente se les adicionó 50 ml de la solución estándar 20 µg/ml de los 16 HAP's en diclorometano, se dejaron durante 72 h, para que se evaporara el solvente.

Extracción de los HAP de la matriz del suelo

Se realizó la extracción de los HAP de la matriz del suelo utilizando el Método EPA 3546 de “Extracción de Solventes asistida por Microondas (MAE)”, pesando 3 g del suelo con 25 ml de una mezcla de hexano-acetona 1:1, los extractos se filtraron y 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 posterior cuantificación.

Preparación de curvas de calibración para el GC/MS.

A partir de la solución estándar de 2,000 µg/ml de los 16 HAPs, se prepararon por duplicado soluciones estándar de 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 y 100 µg/ml aforadas en hexano. Se inyectaron las soluciones estándar para la curva de calibración de 0.2-100 mg/L para la cuantificación de la concentración de HAP en los suelos.

Determinación por CG/MS

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 × 0.25 mm × 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.

La cuantificación de los HAP's se realizó por el Método EPA 8270 "Determinación de Compuestos Orgánicos Semivolátiles por Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas (GC/MS) (Montiel y Ramírez, 2017).

RESULTADOS

Caracterización Físicoquímica de los suelos.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los parámetros físicoquímica determinados de los suelos.

Tabla 1. Caracterización Físicoquímica de los suelos

SUELO	pH	Densidad Aparente gr/cm ³	Densidad Real gr/cm ³	Porosidad (%)	Materia Orgánica (%)	C Orgánico (%)
SACMO	6.4	0.5303	1.3293	60	20.31	11.78
SBCMO	8.3	1.2354	2.6306	53	0.61	0.35

De los resultado obtenidos en la tabla 1 se pueden observar que con respecto al pH, el suelo SACMO se clasifica como moderadamente ácido y el SBCMO medianamente alcalino; con respecto a la densidad aparente, el SACMO el tipo de suelo es orgánico y el SBCMO el tipo de suelo es mineral (francoso); con respecto a la densidad real, el SACMO el tipo de suelo también es orgánico (turba) y el SBCMO el tipo de suelo es inorgánico (arena fina-limoso); con respecto al porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico, el SACMO es de clase alta y el SBCMO de clase baja.

Determinación por CG/MS

En la Tabla 2 se presentan las concentraciones de los 16 HAPs en el suelo de alto contenido de materia orgánica.

Tabla 2. Concentración ($\mu\text{g/ml}$) de los 16 HAP's en SACMO

HAPs	Bco.	R-1	R-2	R-3	D.ST.	PROM.	Concentración ($\mu\text{g/ml}$)	% RE
Naftaleno	0.51	6.18	8.77	8.80	1.50	7.92	7.41	62.97
Acenaftileno	0.01	7.89	11.20	10.96	1.85	10.02	10.01	49.97
Acenafteno	0.01	9.59	12.99	12.92	1.94	11.83	11.82	40.88
Fluoreno	0.04	10.51	14.94	14.67	2.48	13.37	13.33	33.33
Fenantreno	0.24	10.22	14.90	15.13	2.77	13.42	13.18	34.12
Antraceno	0.02	8.09	12.50	12.47	2.54	11.02	11.00	45.00
Fluoranteno	0.04	7.98	11.97	12.31	2.41	10.75	10.71	46.43
Pireno	0.03	7.64	11.50	11.89	2.35	10.34	10.31	48.43
Benzo(a)antraceno	0.01	4.67	7.50	7.82	1.73	6.66	6.65	66.73
Criseno	0.02	5.22	8.06	8.32	1.72	7.20	7.18	64.10
Benzo(b)fluoranteno	0.01	5.11	7.56	8.13	1.60	6.93	6.92	65.38
Benzo(k)fluoranteno	0.01	4.18	6.49	6.89	1.46	5.85	5.84	70.78
Benzo(a)pireno	0.01	3.41	5.22	5.78	1.24	4.80	4.79	76.03
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0.06	2.68	3.99	4.37	0.89	3.68	3.62	81.90
Dibenzo(a,h)antraceno	0.13	3.26	5.11	5.51	1.20	4.63	4.50	77.52
Benzo(g,h,i)perileno	0.07	3.29	4.86	5.23	1.03	4.46	4.39	78.05

En la Tabla 3 se presentan las concentraciones de los 16 HAPs en el suelo de bajo contenido de materia orgánica

Tabla 3. Concentración ($\mu\text{g/ml}$) de los 16 HAPs en SBCMO

HAPs	Bco.	R-1	R-2	R-3	D.ST.	PROM	Concentración ($\mu\text{g/ml}$)	% RE
Naftaleno	0.00	0.34	0.53	0.46	0.10	0.44	0.44	97.78
Acenaftileno	0.00	1.47	2.55	2.30	0.57	2.11	2.11	89.47
Acenafteno	0.00	3.54	5.59	4.99	1.05	4.71	4.71	76.47
Fluoreno	0.00	6.26	10.01	8.98	1.94	8.42	8.42	57.92
Fenantreno	0.00	7.97	13.21	11.88	2.72	11.02	11.02	44.90
Antraceno	0.00	6.62	11.75	10.52	2.68	9.63	9.63	51.85
Fluoranteno	0.00	8.14	14.32	12.74	3.21	11.73	11.73	41.33
Pireno	0.00	8.02	14.06	12.41	3.12	11.50	11.50	42.52
Benzo(a)antraceno	0.00	4.84	9.92	8.75	2.66	7.84	7.84	60.82
Criseno	0.00	6.12	11.61	10.13	2.84	9.29	9.29	53.57
Benzo(b)fluoranteno	0.01	6.08	12.26	10.68	3.21	9.67	9.66	51.68
Benzo(k)fluoranteno	0.01	4.42	9.23	8.18	2.53	7.28	7.27	63.67
Benzo(a)pireno	0.00	2.34	5.83	5.14	1.85	4.44	4.44	77.82
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0.03	2.81	7.26	6.58	2.40	5.55	5.52	72.40
Dibenzo(a,h)antraceno	0.05	3.79	8.57	7.63	2.53	6.66	6.61	66.93
Benzo(g,h,i)perileno	0.03	4.02	9.24	8.07	2.74	7.11	7.08	64.60

En la Figura 1, se presentan los Porcentajes de Remoción de cada uno de los HAP's en los dos tipos de suelos

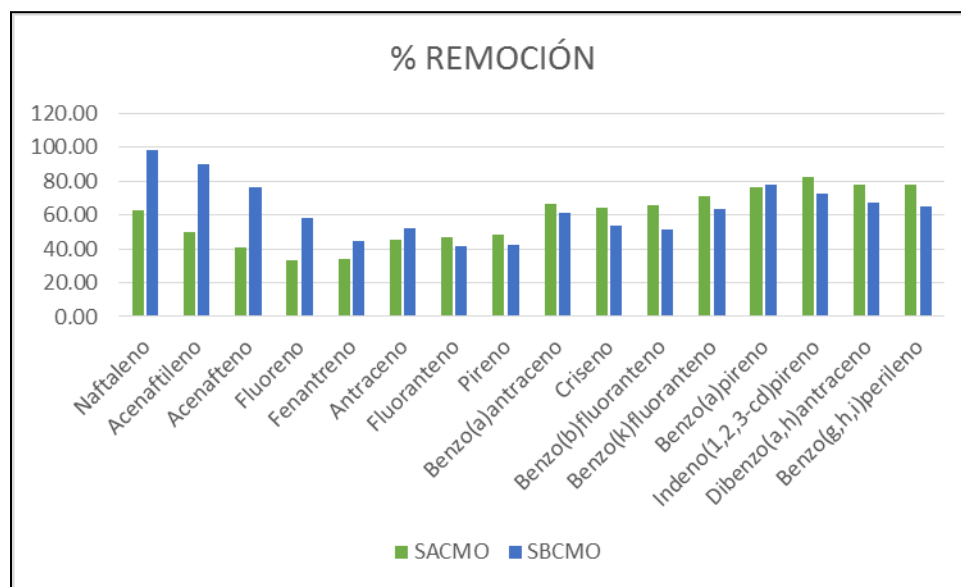


Figura 1. Porcentajes de Remoción de HAP's en los suelos.

Como se podrá observar en la Fig, 1, se presentan los porcentajes de remoción (% RE) de los 16 HAP's en los dos tipos de suelos, apreciándose que el suelo con alto contenido de materia orgánica presenta los % RE más altos en los HAP's de alto peso molecular, a partir del Fluoranteno, siendo el Indeno(1,2,3-cd) el que obtuvo el más alto porcentaje de remoción con un 81.90% y el Fluoreno el que obtuvo el más bajo porcentaje de remoción con un 33.33%. Con lo que respecta a suelo con bajo contenido de materia orgánica los porcentajes más alto de remoción se obtienen en los HAP's de bajo peso molecular, a partir del Antraceno, siendo el Naftaleno el que obtuvo el más alto porcentaje de remoción con un 97.78%, y el Fluoranteno el que obtuvo el más bajo porcentaje de remoción con un 41.33%.

Se puede comprender estos resultados, ya que los HAP's son compuestos que tienen baja solubilidad, y en los suelos con alto contenido de materia orgánica, los de más bajo peso molecular tienden a permanecer unidos al suelo adsorbiéndose sobre el carbono orgánico, lo que no sucede con el suelo de bajo contenido de materia orgánica, pudiendo los HAP's con menor peso molecular movilizarse de tal modo que facilita su remoción (Montgomery & Welkom, 1990).

Por otra parte se puede decir que los HAP se comportaron diferentes unos de otros, esto se debe a sus propiedades físicoquímicas como es su escasa solubilidad en agua y naturaleza hidrofóbica, que conducen a fenómenos de adsorción (polimerización, enlaces covalentes con la materia orgánica) dependiendo de la cantidad de materia orgánica y de arcilla en los suelos. Los HAP con bajo peso molecular son más solubles y volátiles y tienen menos afinidad para las superficies del suelo que los HAP's de alto peso molecular, su presión de vapor decrece. En general, las presiones del vapor disminuyen, al igual que las solubilidades de agua, con el aumento de peso molecular (Roy, *et al.*, 1997).

CONCLUSIONES

El suelo con alto contenido de materia orgánica presento los % RE más altos en los HAP's de peso molecular mayor, siendo el Indeno(1,2,3-cd) el que obtuvo el más alto

porcentaje de remoción con un 81.90% y el Fluoreno el que obtuvo el más bajo porcentaje de remoción con un 33.33%.

El suelo con bajo contenido de materia orgánica los porcentajes más alto de remoción se obtienen en los HAP's de bajo peso molecular, siendo el Naftaleno el que obtuvo el más alto porcentaje de remoción con un 97.78%, y el Fluoranteno el que obtuvo el más bajo porcentaje de remoción con un 41.33%.

En conclusión, el contenido de materia orgánica en el suelo es un factor importante para la remoción de estos contaminantes, pues sus propiedades físicoquímicas de cada uno de ellos, como su escasa solubilidad y su naturaleza hidrofóbica, conducen a que estos compuestos se adsorcionen con la materia orgánica dependiendo de la cantidad de materia orgánica que exista en el suelo, haciendo que sean más difíciles de remover, además los HAP's con bajo peso molecular son más solubles y volátiles y tienen menos afinidad para ser adsorbidos en las superficies del suelo que los HAP's de alto peso molecular.

REFERENCIAS

- D'Souza, R., Varun, M., Lakhani, A., Singla, V., & Paul, M. (2015). PAH Contamination of Urban Soils and Phytoremediation. En A. e. Ansari , *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants* (Vol. Volume 1, págs. 219-241). Switzerland: Springer International Publishing. doi:DOI 10.1007/978-3-319-10395-2_15.
- Fernández Luqueño, F., López Valdez, F., Sarabia Castillo, C. R., García Mayagoitia, S., & Pérez Ríos, S. R. (2017). Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons-Polluted Soils at Laboratory and Field Scale: A Review of the Literature on Plants and Microorganisms. En N. G. Anjum, *Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants: Biological Approaches* (Vol. 1, págs. 43-64). Switzerland: Springer International Publishing AG. doi:DOI 10.1007/978-3-319-55426-6_4.

- Gitipour, S., Sorial, G. A., Ghasemi, S., & Bazyari, M. (2018). Treatment technologies for PAH-contaminated sites: a critical review. *Environ Monit Assess*, 190, 546-562. doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-018-6936-4>.
- Hayakawa, K. (2018). *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Environmental Behavior and Toxicity in East Asia*. Singapore: Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-981-10-6775-4>.
- Hong, Y., Liao, D., Chen, J., Khan, S., Su, J., & Li, H. (2015). A comprehensive study of the impact of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contamination on salt marsh plants *Spartina alterniflora*: implication for plant-microbe interactions in phytoremediation. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 7071–7081. doi:DOI 10.1007/s11356-014-3912-6.
- Huizhong, S. (2016). *Polycyclic Aromatic. Their Global Atmospheric Emissions, Transport, and Lung Cancer Risk*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. doi:DOI 10.1007/978-3-662-49680-0.
- Montgomery J, Welkom L. (1990). "Groundwater Chemicals Desk Reference". Second Printing. Lewis Publishers, Inc. USA.
- 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.
- Murcia, P. s. (1 de mayo de 2019). *Murcia + Salud*. (C. d. Murcia, Productor) Obtenido de <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=252725&idsec#>.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Martes 31 de diciembre de 2002. Diario Oficial de la Federación (Segunda Sección).
- Oluwaseun, A. O., Oluwatoyin, O. B., & Jackson, V. A. (2017). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Critical Review of Environmental Occurrence and Bioremediation. *Environmental Management*, 60, 758–783. doi:DOI 10.1007/s00267-017-0896-2.

- Roy J. Irwin, VanMouwerik M, Stevens L, Seese M, and Basham W. (1997). "Environmental contaminants encyclopedia PAHS entry". National Park Service. Water Resources Divisions, Water Operations Branco. Fort Collins, Colorado.
- Xue, J., Yu, Y., Yu, B., Wang, L., & Wu, Y. (2015). Marine Oil-Degrading Microorganisms and Biodegradation Process of Petroleum Hydrocarbon in Marine Environments: A Review. *Curr Microbiol*, 71, 220–228. doi:DOI 10.1007/s00284-015-0825-7.

Determinación de compuestos volátiles asociados a mantos de carbón del distrito minero San Javier, Sonora, México: implicaciones sobre seguridad minera

López-Ángeles, Dahina Y.^{1*}, Flores-Castro, Kinardo ^{1**}, Aguila, Sergio A.², Rodríguez-Monreal, Aurora^{3,4}, Ramírez-Cardona, Màrius¹

¹Laboratorio 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.

²Departamento de Nanoestructuras. Centro de Nanociencias y Nanotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México [CNyN-UNAM]. Ensenada, Baja California, C.P. 22800. ³Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280. ⁴Industrial Minera México, S.A. de C.V. [Grupo México]. Laboratorio de Carbón, Planta Nueva Rosita. Nueva Rosita, Coahuila, C.P. 26880.

loandahina@gmail.com*, *kinardo_flores@hotmail.com*

RESUMEN

El carbón es una roca formada por la transformación diagenética de restos vegetales depositados en una cuenca sedimentaria sujeta a cambios de temperatura y presión que condicionan el grado de madurez de la materia orgánica, conocido como rango del carbón; donde los miembros extremos son la turba y la antracita. La antracita es el carbón de más alto rango y su análisis proximal permite hacer inferencias sobre sus propiedades físico-químicas obtenidas mediante técnicas geoquímicas que determinarán sus características y propiedades para su aplicación final. Este trabajo de investigación se enfoca en la identificación y cuantificación de los compuestos volátiles del carbón del Distrito Minero de San Javier (Sonora), el cual es un sitio con múltiples actividades extractivas que carecen de ingeniería de minas, de sistemas de seguridad y la ventilación adecuada que permita la correcta recirculación de los gases (especialmente los de tipo combustible) concentrados en las obras mineras. La metodología consistió en el muestreo-monitoreo y captación de gas asociado a los mantos de carbón para su posterior análisis por medio de Espectrometría de Infrarrojo (FTIR), y fueron complementados por Cromatografía de Gases-Masa (CG-MS). Los resultados revelaron la composición y concentración de los compuestos volátiles presentes que indicaron que el 82% de los componentes volátiles correspondieron en su mayoría a vapor de agua y CO₂, y a nivel traza y ultra-traza se identificaron grupos funcionales del tipo hidrocarburos alifáticos de medio y alto peso molecular (*n*-C₁₀ al *n*-C₃₆) y aromáticos policíclicos (HAP's), lo que corrobora el grado de madurez térmica de este carbón como antracítico. Con respecto a la concentración de volátiles caracterizados por dos técnicas analíticas, no se tiene evidencia de metano en los mantos de carbón muestreados cumpliendo así

con la NOM-032-STPS-2008, que obliga operaciones especiales de seguridad cuando el contenido de metano sea mayor al 1%.

Palabras clave: Antracita, carbón, contenido de volátiles, San Javier, seguridad minera.

ABSTRACT

Coal is a rock formed by the diagenetic transformation of plant debris deposited in a sedimentary basin subject to changes in temperature and pressure that determine the degree of maturity of organic matter, known as the coal range; where peat and anthracite are its extreme members. Anthracite is the highest-ranking coal and its proximal analysis allows inferences about its physicochemical properties obtained through geochemical techniques that will determine its characteristics and properties for its final application. This research work focuses on the identification and quantification of volatile coal compounds in the San Javier Mining District (Sonora), a site with multiple extractive activities that lack mine engineering, safety systems and adequate ventilation to allow correct recirculation of gases (especially those of the fuel type) concentrated in mining works. The methodology consisted of sampling-monitoring and gas collection associated with the mantles of coal for later analysis using Infrared Spectrometry (FTIR), and was complemented by Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (CG-MS). The results revealed the composition and concentration of the volatile compounds present that indicated that 82% of the volatile components corresponded mostly to water vapor and CO₂, and at the trace and ultra-trace level functional groups of the aliphatic hydrocarbon type of medium were identified and high molecular weight (*n*-C10 to *n*-C36) and polycyclic aromatics (PAH's), also corroborating the degree of thermal maturity of this carbon as anthracite. Concerning the concentration of volatiles characterized by two analytical techniques, there is no evidence of methane in the sampled coal layers thus complying with NOM-032-STPS-2008, which requires special safety operations when the methane content is higher at 1%.

Key words: Coal, anthracite, San Javier, volatile content, mining safety.

INTRODUCCIÓN

El carbón es una roca organógena resultado de la descomposición, compactación, sedimentación y endurecimiento de restos vegetales dentro de una cuenca sedimentaria (Corona-Esquivel *et al.*, 2006). Durante las etapas de enterramiento somero, la materia orgánica es metabolizada por microorganismos anaerobios, que oxidan la materia orgánica y libera dióxido de carbono (CO_2) (Coleman, 1985). Los compuestos orgánicos remanentes son transformados en kerógeno, que es fracción orgánica conformada por polímeros de gran peso molecular y durante la diagénesis tiende a transformarse a fases más estables, cuyo proceso es denominado madurez térmica (Rossi, 2010). La maduración comienza entre los 50° y 60°C , se va incrementando por efecto de la presión, temperatura y el tiempo de exposición (Tissot y Welte, 1984; Hunt, 1996). Las etapas de maduración del kerógeno se manifiestan por las reacciones de descarboxilación térmica que se verifican al generarse CO_2 a partir de grupos carboxilo, que conforme el rango de carbón se incrementa en los componentes macerales se produce un desprendimiento de oxígeno e hidrógeno, principalmente CO_2 y metano (CH_4) (Peters *et al.*, 2005). En etapas tempranas a moderadas de maduración (rango turba, lignito a bituminoso), los niveles de producción de gases combustibles son máximos, lo que destaca el CH_4 y en etapas avanzadas de maduración (rango antracita, meta-antracita y grafito), los fluidos hidrocarbonados conjuntamente con el vapor de agua (H_2O), CO_2 , anhídrido sulfuroso (SO_2), y otros, son expulsados de la roca y su concentración se va minimizando por la aromatización; es decir, el aumento de anillos aromáticos en su estructura (Bratek *et al.*, 2002; Rossi, 2010; Flores-Castro *et al.*, 2017). En la secuencia de carbonificación, cuya escala de tiempo es de decenas, o cientos de millones de años, la antracita es el carbón de más alto rango (Jones y Godefroy, 2002). Las características de las antracitas dependen principalmente de su origen, la edad geológica y el metamorfismo asociado (Bratek *et al.*, 2002). Definir e interpretar el grado de madurez permite hacer una estimación sobre sus propiedades físico-químicas.

Por lo anterior se destaca que el uso del carbón como materia prima en cualquier proceso industrial o de transformación, dependerá de su caracterización y clasificación final que

definirá su aplicación (Barrera-Zapata *et al.*, 2014). La *American Society for Testing and Materials* (ASTM) desarrolló un método de clasificación de carbones que considera la composición química y el grado de madurez basado en parámetros obtenidos mediante técnicas normalizadas que determinan: el contenido de humedad (H₂O), de carbono fijo (CF), de cenizas (C), de azufre (S), el poder calorífico (PC), contenido de materia volátil (MV) y el índice de hinchamiento libre del carbón (FSI). Estos criterios contribuyen con el óptimo desarrollo en su explotación, aplicación y toma de decisiones en materia de seguridad minera; situación que ha tomado importancia en los últimos años, debido a los diversos siniestros que han tenido lugar en nuestro país y en otros lugares del mundo.

En este estudio se hace énfasis en la caracterización de gases combustibles asociados a los mantos de carbón que pudieran representar un riesgo por explosión para los mineros que realizan actualmente obras de exploración y explotación en el Distrito Minero de Carbón de San Javier (Sonora), basándonos en la NOM-032-STPS-2008, que establece que como medida de seguridad para minas subterráneas de carbón se debe de contar con adecuados sistemas de ventilación dentro de las instalaciones, que garanticen también la reducción de contaminantes a niveles que no representen un riesgo de incendio, explosión o daños al personal y a las instalaciones. Se aplicarán entonces las medidas de seguridad adecuadas cuando existan concentraciones que superen el límite permisible de igual o mayor al 1.0% de desprendimiento de gas metano.

Es pertinente mencionar que los trabajos de extracción en las múltiples operaciones mineras de la zona de estudio son efectuados de manera rudimentaria, en su mayoría, carentes de una adecuada ingeniería de minas y de sistemas de ventilación apropiados, que garanticen una recirculación de aire y eviten la acumulación de posibles gases combustibles y polvos de carbón, permitiendo así la segura y eficiente extracción del mineral.

Los recientes trabajos de Flores-Castro *et al.*, (2016), Vite-Hernández *et al.*, (2016) y Vite-Hernández (2018), revelan que el análisis proximal de carbones de este distrito minero le confieren un alto rango de madurez, clasificándolo como carbón tipo antracita

y meta-antracita con un contenido de carbono fijo mayor al 94%, la presencia del 7% de materia volátil y valores de poder calorífico hasta de 13,561.41 BTU/lb; sin embargo y con base en las propiedades físico-químicas obtenidas, estos pueden mantener fluidos adsorbidos en sus matrices por efecto de la porosidad primaria. Para ello se emplearon dos técnicas analíticas para evaluar de manera cualitativa y cuantitativa la composición química de los compuestos volátiles, complementando así la norma ASTM D3175-18 (2018), que determina el contenido de materia volátil, la cual es aquella porción de las muestras de carbón que es desprendida en forma de gas o vapor, cuando es sometida a una prueba controlada de calentamiento, consistente de hidrocarburos y otros gases, producto del resultado de procesos de destilación y descomposición.

Área de trabajo

La zona de estudio se ubica en el Distrito Minero de Carbón de San Javier al E-SE del estado de Sonora, a 4 km al SW del poblado de San Javier y al pie de la Sierra Madre Occidental (Figura 1).

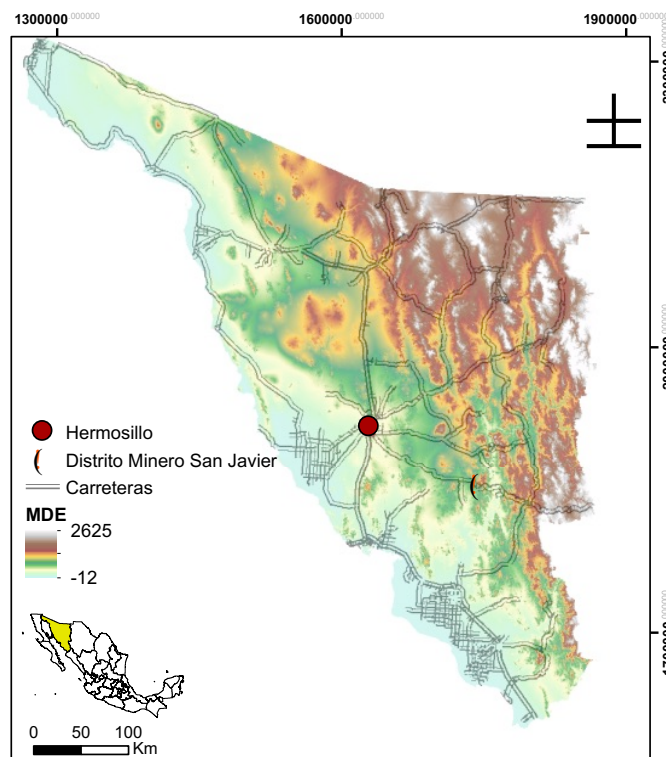


Figura 1. Mapa de localización del Distrito Minero San Javier

MÉTODOS ANALÍTICOS Y MATERIALES

Campo

Se llevó a cabo una visita de reconocimiento a minas de carbón del Distrito Minero de San Javier, de los cuales se visitaron 18 lotes mineros y pozos que cortan los mantos de carbón antracítico y cuyos espesores varían de pocos centímetros hasta tres metros de potencia donde se tomaron muestras directamente de los mantos, así como otras de canal que incluyeron porciones oxidadas coexistentes. La captación, monitoreo y caracterización de fluido asociado a los mantos de carbón se realizó mediante la instalación de trampas directas en los mantos en cinco pozos (Figura 2). Cada trampa de monitoreo y muestreo se diseñó ex profeso por Flores-Castro (2016), fueron instaladas por medio de un barreno de 5cm de diámetro por 1.80m de longitud en el manto de carbón y en el cual se introdujo un tubo de PVC de 0.5cm de diámetro y 1.5m de largo que fue sellado herméticamente en la boca del barreno utilizando gel de silicón. El tramo de tubo de PVC saliente del manto se conectó con el sistema de trampa y muestreo, que consiste de un sistema de tubos comunicantes fabricado con vidrio borosilicatado de 0.5cm de diámetro unido a una probeta graduada invertida de 250mL.



Figura 2. Trampa de captación y monitoreo de gas asociado a los mantos de carbón.

El sistema se calibró con el llenado de agua destilada hasta la marca de referencia, misma que sirve para advertir la presencia de fluido expelido del manto, dado que el sistema es muy sensible a mínimas presiones dirigidas que de inmediato registran desplazamiento en los meniscos, que redunda en el hinchamiento de un globo que es

colocado en el extremo exterior separado por una llave de paso de teflón, mismo que permite el intercambio del globo por un contenedor (*canister*) para la captura de fluido de sellado hermético, para su posterior caracterización en el laboratorio.

Laboratorio

Utilizando el fluido atrapado mediante la trampa del contenedor hermético se realizó un primer esfuerzo de caracterización en la mina El Rosario (Tecoripa) por la técnica de Espectrometría de Infrarrojo (FTIR), mediante un espectrofotómetro infrarrojo *Perkin Elmer System 2000*.

Cromatografía de Gases – Masa (CG-MS).

Para corroborar los resultados obtenidos en la trampa se decidió aplicar una segunda técnica analítica de mayor precisión, la cual se aplicó a diez muestras de carbón mineral de las minas visitadas. Para la determinación de compuestos volátiles las muestras fueron primeramente trituradas y tamizadas a malla 100 para posteriormente ser analizadas geoquímicamente mediante la técnica de extracción de bitumen con disolventes orgánicos, al que se le aplicó cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masa (GC-MS).

La fracción del bitumen fue recuperado mediante la extracción asistida por microondas y posteriormente el fraccionamiento se realizó con un cartucho selectivo de extracción en fase sólida (SPE), que permitió separar los hidrocarburos alifáticos de los aromáticos que finalmente fueron caracterizados en el equipo GC-MS de la marca *Agilent Technologies*[®] modelo 7890, acoplado a un espectrómetro de masas con cuadrupolo simple *Agilent*[®] 5975C, con una fuente de ionización de impacto electrónico a 70eV. Se utilizó una columna capilar HP-5MS UI de 30m de longitud, 0.25mm de diámetro interno y 0.25µm de espesor de película, y se utilizó He 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, al extracto de bitumen a analizar se diluyó en una proporción 1:10 con metanol grado HPLC ≥99.9%. El software de adquisición de datos fue MSD *ChemStation* E.02.02.1431 y el programa fue 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, y se mantuvo esta temperatura por 5 minutos. El tiempo total de corrida fue de 41.25 minutos y la adquisición de los datos se llevó a cabo en modo *Scan* en un rango de masas de 40-450 m/z.

Los cromatogramas resultantes fueron procesados mediante el software *HPCHEM*, y fueron analizados con la base de datos *Wiley168*. Los equipos pertenecen a los laboratorios del CeMIEGeo (Ensenada, Baja California).

RESULTADOS

Los resultados del espectro de infrarrojo arrojaron que un 82% de los compuestos volátiles están constituidos en su mayoría por vapor de agua (H₂O), CO₂ y compuestos aromáticos (HAP's) (Figura 3).

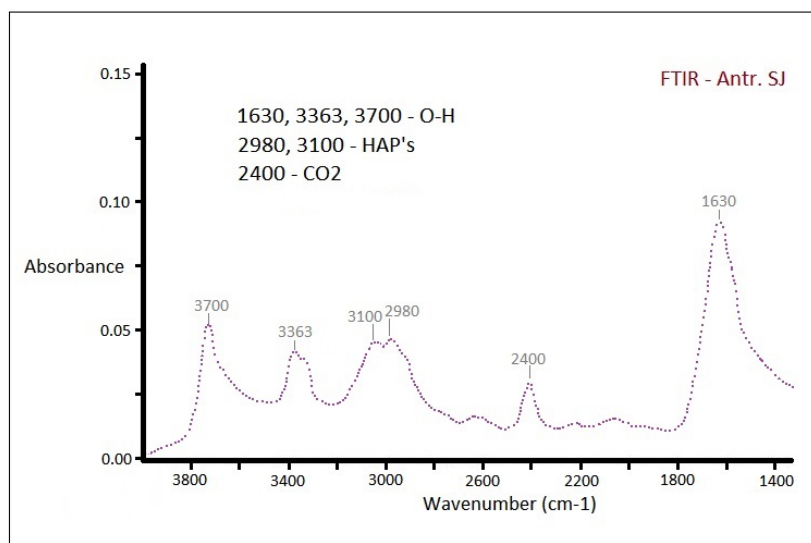


Figura 3. Espectro de Infrarrojo (FTIR). Muestra Antracita mina El Rosario.

ID. Compuesto (FTIR)	Longitud de onda (cm ⁻¹)
O – H, vapor de agua	1630, 3363, 3700
CO ₂	2400
Compuestos aromáticos policíclicos (HAP's)	2980, 3100

El monitoreo de los dispositivos instalados en las minas se mantuvo en observación por un espacio de varios meses sin percibir cambio alguno en los meniscos ni el globo, a pesar de haberlos instalados en distintas partes del manto debido a que el aumento de la madurez viene acompañada con la pérdida de materia volátil.

Resultados obtenidos CG-MS

Tabla1. Hidrocarburos alifáticos

(ng/g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
C10	61.4	6.97	69.6	126	19.9	16.6	190	39.1	354	268
C11	35.0	27.9	36.0	3.59	12.0	3.67	3.69	22.9	8.84	511
C12	364	90.2	347	187	163	51.7	131	341	75.5	650
C13	10.3	56.7	203	81.4	65.0	38.6	69.6	130	145	715
C14	508	146	407	309	249	106	222	612	217	930
C15	59.5	20.0	41.1	17.7	14.4	4.09	6.16	42.6	20.8	750
C16	448	164	300	324	192	111	171	463	310	850
C17	61.9	28.4	27.8	14.0	15.6	2.58	10.3	12.0	33.0	754
Pristano	38.8	11.9	23.6	15.9	6.48	7.81	9.68	16.6	27.6	804
C18	167	163	211	275	141	98.0	80.0	178	234	576
Fitano	209	112	23.8	22.6	15.8	19.9	15.0	16.5	25.2	293
C23	20.8	23.0	22.7	27.7	19.0	18.1	16.2	18.1	22.6	55.0
C34	25.6	24.6	43.7	24.6	29.6	24.0	23.8	24.2	21.8	24.3
C35	34.9	23.1	26.6	22.5	23.4	22.9	21.6	24.5	22.2	37.6
C36	22.2	22.9	24.4	22.6	23.0	23.3	21.4	23.0	21.5	25.2

Del análisis por CG-MS se observa una disminución en la concentración de los hidrocarburos alifáticos conforme se incrementa la presencia de alcanos superiores (Tabla 1), las concentraciones disminuyen hasta llegar a $n\text{-C}_{35}$ y $n\text{-C}_{36}$ con la consecuente presencia de hidrocarburos aromáticos. Las concentraciones mayores de $n\text{-alcanos}$ identificados correspondieron al $n\text{-C}_{10}$ y hasta el $n\text{-C}_{16}$, cuyas propiedades son de tipo alcanos líquidos y viscosos a condiciones ambientales. Con el aumento en contenido de carbón y por ende del rango del carbón, la fracción alifática se elimina gradualmente, lo que genera un incremento paulatino de los grupos estables, tal como se observan en la Tabla 2. Así, la antracita es un carbón de alto rango, y su estructura

macromolecular consiste principalmente en hidrocarburos aromáticos policíclicos, que existen como capas aromáticas y los cuales son intermediarios en la formación del grafito.

Tabla 2. Hidrocarburos aromáticos y aromáticos policíclicos (HAP's)

(ng/g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Benceno	LQ	14.8	1.33	10.6	3.81	14.4	3.37	0.52	LQ	LQ
Tolueno	0.02	27.4	20.6	26.7	12.8	25.7	10.1	9.40	3.71	4.27
Etilbenceno	0.98	12.8	21.3	15.6	6.01	12.1	3.27	18.7	1.63	2.05
m+p-xileno	4.50	16.2	26.9	22.8	10.6	16.8	5.52	26.7	3.67	7.37
o-xileno	11.1	43.5	40.4	47.7	31.5	50.5	19.2	47.2	15.5	22.8
Antraceno	6.13	10.5	13.5	0.73	21.2	3.28	15.5	0.84	4.67	0.38
Fluoreno	2.60	5.21	2.53	2.72	13.9	0.80	17.6	0.75	2.25	0.06
Fenantreno	1.62	8.16	10.5	5.10	18.1	3.15	45.3	4.33	3.40	0.03
Fluoranteno	1.43	1.71	1.99	1.15	3.58	0.75	36.0	1.35	0.88	0.25
Pireno	1.14	1.39	1.57	1.16	2.77	0.71	54.1	1.22	0.69	0.31
Benzo(a) pireno	5.76	7.59	7.18	6.16	8.47	6.03	40.6	6.53	7.04	5.01
Indeno(cd) pireno	1.62	2.14	1.68	1.52	1.77	1.48	2.24	1.63	1.41	1.38
Dibenzo(ah) antraceno	1.89	2.27	2.03	1.80	2.20	1.74	1.83	1.84	1.70	1.69

*LQ: valores por debajo del límite de detección

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La identificación de compuestos volátiles relacionados con la presencia de alcanos alifáticos, isoprenoides acíclicos (pristano y fitano) y grupos de benceno que conforman los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's), son producto de la transformación diagenética de los componentes biológicos que dieron lugar a la formación de hidrocarburos de medio y alto peso molecular; sin embargo, no se detectaron concentraciones de *n*-alcanos de cadena corta (metano, etano, propano, butano), los cuales son altamente inflamables y explosivos.

La determinación de grupos funcionales confirma el grado de madurez que tiene el carbón objeto de estudio, lo que puede ser empleado como una herramienta

complementaria más precisa para la interpretación de los procesos termodinámicos imperantes en la transformación de materia orgánica en la cuenca.

La evaluación de componentes volátiles asociados a los mantos de carbón es de suma importancia, dado que representan un peligro en potencia por su alta inflamabilidad y explosividad, cuando estos se concentran en cavidades sin la adecuada ventilación, los resultados arrojaron contenidos a nivel de traza y ultra-traza, en el orden de los nano gramos (ng), derivados del alto rango del carbón, por lo que se consideran prácticamente despreciables los gases de tipo inflamable emitidos por los mantos de estas minas.

Esto cumple con lo establecido por la NOM-032-STPS-2008; sin embargo, se recomienda el implementar una ingeniería de minas para mejorar las obras subterráneas, dado que carecen la mayoría de ellas de sistemas de soporte (ademe), así como de adecuada ventilación. También es importante continuar con un programa permanente de monitoreo de los gases en las obras que garanticen la integridad física de los mineros y de las instalaciones.

Se considera que, de acuerdo al estudio exhaustivo realizado en las minas de San Javier y Tecoripa, cuyas minas son de tipo antracita, meta-antracita y grafito, deberían estar regida por una norma diferente a la NOM-032, ya que es un mineral distinto al carbón bituminoso, con otro tipo de propiedades y características; lo que trae como resultado que el mineral de las minas de antracita, meta-antracita y grafito sea de nula inflamabilidad y explosividad.

REFERENCIAS

- Barrera-Zapata, R., Pérez-Bayer, J. F., & Salazar-Jiménez, C. (2014). Carbones Colombianos: clasificación y caracterización termoquímica para aplicaciones energéticas. *Revista ION*, 27(2), 43-54.
- Bratek, K., Bratek, W., Gerus- Piasecka, I., Jasienko, S., & Wilk, P. (2002). Properties and structure of different rank anthracites. *Fuel*, 97-108.

- Coleman, M. L. (1985). Geochemistry of diagenetic non-silicate minerals; kinetic considerations. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 315, 39-56.
- Corona-Esquivel, R., Tritlla, J., Benavides-Muñoz, M. E., Piedad-Sánchez, N., & Ferrusquía-Villafranca, I. (2006). Geología, estructura y composición de los principales yacimientos de carbón mineral en México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 58(1), 141-160.
- D3175-18, A. (2018). *Método de prueba estándar para materia volátil en la muestra de análisis de carbón y coque*. Obtenido de ASTM International: www.astm.org
- DOF. (15 de agosto de 2008). *NOM-032-STPS-2008, Seguridad para minas subterráneas de carbón*. Obtenido de <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-032.pdf>
- Flores-Castro, K., Monreal, R., Rodríguez, A. T., Ramírez-Cardonal, M., Esquivel-Macías, C., & Muñoz, J. L. (2016). Geología y Geoquímica de la Cuenca Carbonífera de la Zona de San Javier-Tecoripa Sonora (México). *Actas INAGEQ*, 22(1), 150-153.
- Flores-Castro, K., Muñoz-García, J. L., Rodríguez-Moneal, 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*, 23(1), 58-60.
- Hunt, J. M. (1996). *Petroleum Geochemistry and Geology* (2 ed.). New York, USA.: Freeman, W. H. and Co.
- Jones, J. C., & Godefroy, J. (2002). Stages in the coalification sequence reflected in oxidation reactivities. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 4(1), 10-12.
- Peters, K. K., Walters, C. C., & Moldowan, J. M. (2005). *The biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in the environment and Human History* (2 ed., Vol. 1). Cambridge University Press.
- Rossi, C. (2010). Introducción a la diagénesis de las rocas carbonáticas. En A. Arche, *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria* (Tercera ed., pág. 1160). Madrid, España: CSIC.

- Tissot, B. P., & Walte, D. H. (1984). *Petroleum formation and occurrence: a new approach to oil and gas exploration*. Springer Verlag.
- Vite-Hernández, N. L. (2018). Caracterización fisicoquímica de los mantos de carbón de San Javier Tecoripa, Sonora, México. *Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 61.
- Vite-Hernández, N. L., Flores-Castro, K., Rodríguez-Monreal, A., Monreal-Saavedra, R., Muñoz-García, J. L., & Ramírez-Cardona, M. (2016). Análisis geoquímico de los mantos de carbón antracítico de San Javier y Tecoripa, Sonora, México. *Actas INAGEQ*, 1, 153-161.

Cinética de Remoción de Ibuprofeno y Acetaminofén con Carbón Activado

López Zapata, Narda Azereth¹, Borja Padilla, Yeraldini Alejandra², Pérez Aguilar, Nancy Verónica¹, Aguayo Morales, Hilda¹, Luque Contreras, Diana¹, Arcibar Orozco, Javier Antonio³, Hernández Chavero, Edgardo¹, Oyervides Muñoz, Ernesto¹.

¹Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas, Saltillo, Coahuila, CP 25280.

²Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Irapuato, Guanajuato, CP.36821. ³Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, CIATEC, León, Guanajuato, CP 37545.
nancyperez@uadec.edu.mx

RESUMEN

La presencia de fármacos en el agua se ha incrementado de forma preocupante en años recientes, principalmente por la carga de las aguas residuales urbanas de casas habitación y centros hospitalarios. Considerando que el consumo de estas sustancias continuará creciendo al mismo ritmo de la población, se pronostica que su concentración en los cuerpos de agua seguirá aumentando. En este trabajo se reportan resultados preliminares de la adsorción de ibuprofeno (IBU), y de acetaminofén (ACE), sobre muestras de carbón activado Filtrasorb-400 (CAF). Las pruebas de cinética se realizaron en lote con soluciones de concentración inicial conocida de IBU y de ACE, a 15, 25 y 30 °C. La concentración de los adsorbatos en solución se midió por espectrofotometría UV-Vis, con 260 nm y 240 nm, para IBU y ACE, respectivamente. Los datos de la cinética de adsorción se analizaron con los modelos de pseudo primer orden (PSP) y de pseudo segundo orden (PSO). En los dos casos, el modelo de PSO fue el que describió el comportamiento de los datos experimentales con menor desviación. La constante de velocidad de segundo orden fue $k_2 = -0.0012$ y -0.0194 g/mg-min, para IBU y ACE, respectivamente. En los dos casos, se observó que el equilibrio de adsorción se alcanzó en 2h. Posteriormente, los experimentos de equilibrio mostraron que el CAF tiene una capacidad de adsorción para ACE, superior a 300 mg/g, a pH 5.3 y 30 °C, por lo que la adsorción con CAF es una tecnología adecuada para la remediación de agua conteniendo estas sustancias.

Palabras clave: Fármacos, ibuprofeno, acetaminofén, agua residual, adsorción, carbón activado.

ABSTRACT

Levels of drugs released to urban wastewater has been increasing due to higher consumption from hospitals and residential homes. Considering that the consumption of these substances will be growing at the same rate of population, it is expected their concentration into water sources will also increase. In this research we report some preliminary results of the adsorption of ibuprofen (IBU), and acetaminophen (ACE), onto activated carbon Filtrasorb-400, CAF. Kinetic tests were conducted in a batch reactor with known initial concentration solutions of IBU and ACE, at 15, 25 and 30 °C. The concentration of the adsorbates was measured by UV-Vis spectrophotometry, with 260 and 240 nm, for IBU and ACE, respectively. Adsorption kinetics data were analyzed with the pseudo-first order (PSP), and pseudo-second order (PSO) models. In both cases, the PSO model described better the experimental data. The second order rate constant was $k_2 = -0.0012$ and -0.0194 g/mg-min, for IBU and ACE, respectively. For both drugs, the equilibrium was attained after 2h. After that, equilibrium tests showed the adsorption capacity of CAF for ACE at pH 5.3 and 30 °C, was higher than 300 mg/g at pH 5.3 and 30 °C. Hence, CA is a suitable technology for water remediation containing these substances.

Keywords: Drugs, ibuprofen, acetaminophen, wastewater, adsorption, activated carbon.

INTRODUCCIÓN

Los fármacos son sustancias purificadas que se ingieren para el tratamiento, prevención y diagnóstico de una enfermedad. Un fármaco se aplica de forma externa al cuerpo y provoca un cambio en la actividad celular. Al estar diseñado para efectuar una acción terapéutica durante un periodo de tiempo, el fármaco sigue una ruta de acción específica cuando se suministra en un paciente. Los fármacos son una fuente de contaminación emergente del ambiente, de los cuales se desconocen los efectos que podrían ocurrir en los organismos expuestos a estos productos (Ahmed, 2017). Por esta razón, los investigadores se cuestionan qué efectos a largo plazo podrían originarse por la mezcla de antibióticos, fertilizantes, productos de la quimioterapia, hormonas, etc., en el medio ambiente. Es necesario conocer el o los mecanismos de acción de cada medicamento,

su toxicidad, el volumen de venta/producción, su biodegradabilidad y capacidad de adsorberse en lodos, así como la posibilidad de inducir resistencia bacteriana (Weigel, 2004).

Las investigaciones pioneras en este campo señalan que las tecnologías analíticas actuales ha sido posible detectar hasta 80 especies de fármacos diferentes o sus metabolitos, en muestras de agua de distintas localidades en el mundo. Esta cantidad es pequeña si se compara con el número de fármacos que se descargan al ambiente, que se estiman en 4000 sustancias. La concentración de productos farmacéuticos en cantidades traza es variable, desde ppt hasta ppm (Daughton, 1999; Gadipelly, 2014). Los fármacos pueden descargarse en efluentes de plantas de tratamiento de agua en hospitales y en industrias que fabrican medicamentos, además de los lixiviados generados en rellenos sanitarios. También se incluyen en las fuentes de contaminación las descargas de agua de uso doméstico. Entre las sustancias frecuentes se tienen hormonas, analgésicos, antibióticos, antidepresivos, antiepilépticos y tranquilizantes (Santibañez, 2014). Los lodos de plantas de tratamiento también contribuyen con una carga contaminante importante, debido a que se ha demostrado que las instalaciones no retienen o eliminan en su totalidad estos contaminantes (Fernández, 2014).

Entre una amplia variedad de fármacos en el mercado, dos de los que se consumen en mayor volumen son el acetaminofén (paracetamol) y el ibuprofeno. El ibuprofeno, es un antiinflamatorio no esteroideo derivado del ácido propiónico, se suministra en el tratamiento de dolores leves. Tras ser ingerido, la concentración máxima en el organismo se alcanza después de 2h. Se reporta como un antiinflamatorio con buena tolerancia gastrointestinal y con menos efectos secundarios (Shiau, 2017; Villalva, 2007). Su apariencia física es la de un polvo blanco, insoluble en agua, con pKa de 5.2. Es soluble en acetona, metanol y cloruro de metileno así como en soluciones diluidas de hidroxilos alcalinos y carbonatos (FEUM, 2011). La estructura molecular del ibuprofeno se muestra en la Figura 1(a). Varios estudios han reportado la presencia de ibuprofeno en aguas subterráneas, aguas superficiales, en suelo, y en diferentes lugares alrededor del mundo, incluyendo la región de la península antártica, donde la presencia humana se ha

incrementado en años recientes y el uso de analgésicos con alta concentración ha contribuido con esta contaminación (Cabrita, 2010; González, 2017). La concentración de IBU en el agua es variable, algunos estudios reportan concentraciones de 25 mg/L, resultado del alto consumo del medicamento, su elevada movilidad en agua y su escasa solubilidad (Ahmed, 2017).

En relación con el acetaminofén o paracetamol, ($C_8H_9NO_2$), se caracteriza por ser un polvo blanco cristalino de 151.16 g/mol, fácilmente soluble en alcohol, metanol, acetona, agua caliente y en solución de NaOH 1N; casi insoluble en cloroformo y éter dietílico. El pKa del ACE es 9.9, y su temperatura de fusión entre 168 y 172 °C (FEUM 2011). El acetaminofén se usa para el alivio temporal de dolores menores y dolores asociados con el resfriado, dolores de cabeza, dolores de muelas, dolores musculares y dolor de espalda. Además, se utiliza para el dolor de artritis menor, calambres menstruales, y la reducción de la fiebre. El acetaminofén de 1000 mg es un tratamiento eficaz y bien tolerado para la migraña episódica y moderada (Núñez, 2016). La estructura molecular del ACE se muestra en la Figura 1(b).

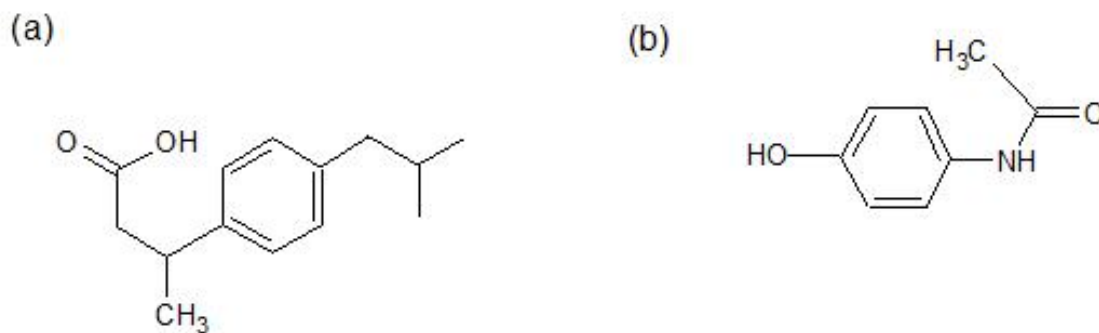


Figura 1. Estructura molecular de (a) ibuprofeno y de (b) acetaminofén.

Para prevenir que estas sustancias lleguen al agua o al suelo, es importante considerar las normas y leyes vigentes en cada país. En México, el marco normativo para la regulación del manejo adecuado de medicamentos se contempla en la Norma Oficial Mexicana NOM-073-SSA1-2015, “Estabilidad de fármacos y medicamentos, así como de remedios herbolarios”, en la que se establecen los requisitos para el diseño y ejecución que deben tener los medicamentos para uso humano, así como su comercialización a

nivel nacional. Entre algunos requisitos obligatorios que deben cumplimentar las fábricas y laboratorios que producen fármacos o remedios herbolarios, están los estudios de estabilidad, especificaciones de liberación, periodo de caducidad o de vida útil, pruebas de fotoestabilidad, desintegración, dilución, entre otros (NOM, 2015). También se establece que los productos de degradación de los fármacos y remedios herbolarios no deben rebasar los límites establecidos por la FEUM (Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos) (Núñez, 2016). En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, se contempla que el manejo adecuado de los fármacos que estén caducados incluye una identificación adecuada, su almacenaje en recipientes rígidos y herméticos, y su destrucción por establecimientos autorizados por la autoridad sanitaria y por la SEMARNAT. Adicionalmente, *la NOM-052-SEMARNAT-2005* (NOM, 2006) establece que los medicamentos caducos se manejan como residuos peligrosos. Debido a este marco normativo, desde el año 2007 se implementó un programa coordinado por el SINGREM, una organización civil, para el manejo adecuado de medicamentos y envases de medicamentos caducos. Algunas farmacias funcionan como centros de acopio de medicamento caducos o sobrantes procedentes de hogares de la localidad. Los medicamentos recolectados son retirados con cierta frecuencia para su disposición conforme a la ley, generalmente su destrucción es a través de prestadores de servicios autorizados (SINGREM, 2019).

Las acciones implementadas para el manejo adecuado de medicamentos buscan que su manejo y disposición final sean los adecuados, para prevenir la contaminación del agua, aire y suelo. Aunque se espera que estas acciones sean generalizadas, se reconoce que el proceso de educación de la población es crucial para este objetivo.

La contaminación causada por estas sustancias debe remediarse con tecnologías y procesos efectivos. La adsorción es un tratamiento terciario que ha demostrado ventajas en la eliminación de diferentes contaminantes (Halling, 2008; Quesada, 2009; Cabrita, 2010). Entre diferentes adsorbentes, el carbón activado destaca por su facilidad para modificarse químicamente, para adaptar sus propiedades fisicoquímicas y de textura. Estas modificaciones favorecen la selectividad hacia ciertos contaminantes específicos.

Actualmente, se cuenta con información sobre estudios con este adsorbente para remover diferentes tipos de fármacos que han permitido conocer la eficacia de este material (Ahmed, 2017). La capacidad de remoción de un fármaco sobre la superficie de un adsorbente está determinada por la identidad química del adsorbato de interés, su concentración inicial en solución, la temperatura y el pH de la solución. En este trabajo se reporta la adsorción de ibuprofeno y de acetaminofén, sobre carbón activado comercial Filtrasorb-400, evaluando el efecto de la temperatura y del pH de la solución, en la cinética y el equilibrio de adsorción.

ÁREA DE TRABAJO, MÉTODOS ANALÍTICOS Y MATERIALES

Materiales y reactivos

Para los experimentos, se utilizó ibuprofeno comercial en presentación de cápsulas de gel de 400 mg (Perrigo), y como referencia el principio activo de ibuprofeno (PA-IBU) del fabricante Hubei Granules Biocause Pharmaceutical Co.Ltd. Las soluciones de ibuprofeno se prepararon por disolución del contenido de una cápsula con 10 mL de acetonitrilo o de metanol, para obtener una solución con 40,000 mg/L. De esta solución se tomaron los volúmenes correspondientes para preparar soluciones de concentración inicial entre 400 y 1200 mg/L, el pH de esta solución se ajustó a 6. Con el PA de IBU, se siguió el mismo procedimiento para obtener una solución madre de 3200 mg/L a partir de la cual se prepararon soluciones con concentración inicial conocida.

Las soluciones de acetaminofén se prepararon a partir de un reactivo grado analítico de Sigma-Aldrich (CAS103-90-2) $C_8H_9NO_2$, con peso molecular 151.16 g/mol. En todos los casos se utilizó agua desionizada. Para la extracción y disolución de ibuprofeno se utilizaron solventes orgánicos, como acetonitrilo (CAS-75-05-8, CH_3CN) y alcohol metílico (CAS-67-56-1, CH_3OH). Para medir la concentración de IBU en solución, cada muestra se diluyó con una solución buffer de fosfato de sodio con pH 7.2.

El adsorbente utilizado en las pruebas de cinética y de equilibrio fue carbón activado filtrasorb 400 pulverizado, CAF, y una muestra de carbón que se modificó con carbonato de sodio, CAFCS, de acuerdo con el procedimiento sugerido por Arcibar (2014): 1g de

carbón se mantuvo en contacto con 50 ml de carbonato de sodio durante 24h con agitación constante, posteriormente se enjuagó con agua desionizada y se secó hasta peso constante. Las características relevantes de CAF y CAFCS fueron el punto de carga cero de 8 y 9, respectivamente, con área superficial específica de 929 y 1030 m²/g, y volumen de poro 0.27 y 0.3 cm³/g.

Pruebas de adsorción: cinética y equilibrio

Previamente a las pruebas de cinética, se investigó la estabilidad del IBU en solución acuosa, para ello se probaron soluciones de cierta concentración inicial conocida de IBU, en un reactor de vidrio con agitación y temperatura controlada. Cada cierto tiempo se tomó una muestra de la solución y se midió la concentración de IBU por UV-Vis. Con los resultados se determinó el tiempo aproximado en que IBU permanece estable en solución acuosa, a fin de conservar las soluciones de IBU solo el tiempo necesario para los experimentos de cinética y de equilibrio.

Para las pruebas de cinética se colocaron 300 mL de la solución en un reactor a 170 rpm controlando las diferentes temperaturas de los diferentes experimentos a 20°C y 30°C. Se tomaron muestras a diferentes tiempos desde 0, 2, 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos.

Para el acetaminofén se prepararon soluciones de concentración inicial de 240mg/L, a partir de esta se obtuvieron soluciones de concentración inicial para la cinética y las isotermas de equilibrio. La cinética se determinó en lote poniendo en contacto 10mL de acetaminofén con 80ppm y 20mg de CAF, en viales de vidrio, en condiciones controladas de temperatura a 30°C y 150 rpm de agitación, usando una incubadora con agitación orbital. Las soluciones se mantuvieron en contacto con el adsorbente durante tiempos determinados entre 0 y 24 h. Cada muestra se retiró en el tiempo especificado para filtrar la solución y medir la concentración de acetaminofén, por espectrofotometría UV-vis con la longitud de onda de 240 nm.

El equilibrio de adsorción se midió con ACE en solución con dos condiciones: pH sin control y pH controlado en 5.3, a 30°C y 150 rpm de agitación. El procedimiento consistió en poner una masa inicial de adsorbente con 10 ml de solución, en relación m/V = 2 mg/mL. La concentración inicial de ACE en solución fue de 5 hasta 1500 mg/L. El contenido de los viales se mantuvo en contacto durante 24h. Las pruebas se realizaron con y sin control del pH de la solución. Al terminar este periodo, se filtró la solución y se midió la concentración de ACE remanente, para calcular la masa adsorbida en el CAF. Los datos del equilibrio se analizaron con los modelos de isoterma de Langmuir y de Freundlich.

RESULTADOS

Para medir la concentración del adsorbato en los experimentos realizados, se prepararon estándares de calibración para IBU y para ACE. Para mantener en solución el IBU, los estándares y las muestras se prepararon con buffer de fosfato de sodio de pH 7.2. Las curvas de calibración presentaron un factor de correlación R^2 de 0.9994 y 0.9964, para ACE e IBU, respectivamente (Figura 2).

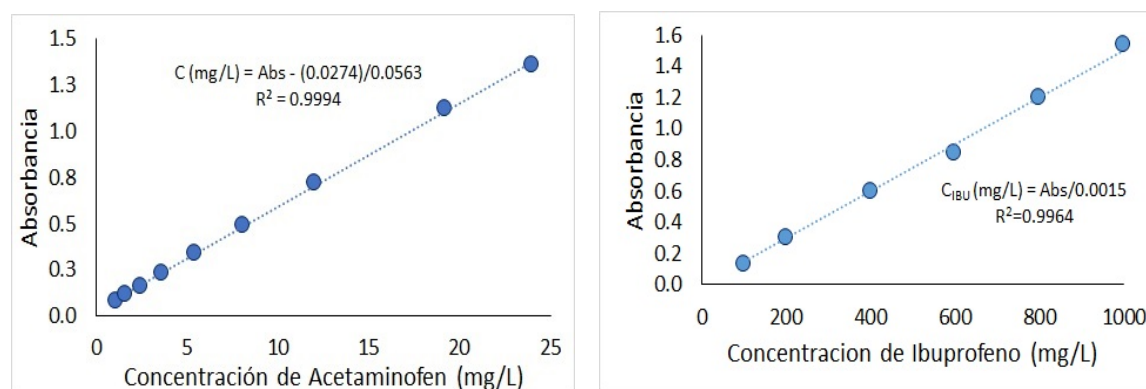


Figura 2. Curvas de calibración de IBU y de ACE, determinadas por UV-Vis con λ de 260 nm y 240 nm, para IBU y ACE, respectivamente.

Los datos de la concentración de las soluciones conteniendo IBU y ACE, para los experimentos de cinética de adsorción, se analizaron de acuerdo con los modelos cinéticos de pseudo-primero y de pseudo-segundo orden, con las ecuaciones siguientes (Nur, 2014):

a) Ecuación del modelo cinético de pseudo-primer orden y su forma lineal:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

Dónde: q_e es la masa de adsorbato que se adsorbe en el equilibrio (mg/g); q_t es la masa de adsorbato que se adsorbe en el tiempo t (min) (mg/g); k_1 es la constante de velocidad de pseudo-primer orden ($1/min$).

b) Ecuación del modelo cinético de pseudo-segundo orden y su forma lineal:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Dónde: q_e es la masa de adsorbato que se adsorbe sobre la superficie del adsorbente, en el equilibrio (mg/g); q_t es la masa de adsorbato que se adsorbe en el tiempo t (min), (mg/g); k_2 es la constante de velocidad de pseudo-segundo orden.

Para los experimentos de equilibrio de adsorción, los datos de concentración del adsorbato al inicio y en el equilibrio, se utilizaron para calcular la masa adsorbida, con un balance de masa, de acuerdo con la ecuación:

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (5)$$

Dónde: q_e es la masa de adsorbato que se adsorbe sobre la superficie del adsorbente, en el equilibrio (mg/g); C_0 y C_e es la concentración del adsorbato en solución al inicio del experimento y en el equilibrio, respectivamente, (mg/L); m es la masa de adsorbente, g. Los datos de la concentración del adsorbato en solución y la masa del adsorbato que se adsorbe sobre la superficie del adsorbente, en el equilibrio, se analizaron con los modelos de isoterma de Langmuir y de Freundlich, de acuerdo con las ecuaciones:

$$q_e = \frac{q_{max}K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

Dónde: C_e es la concentración del adsorbato en el equilibrio, (mg/L); q_e es la masa que se adsorbe sobre la superficie del adsorbente, en el equilibrio (mg/g); q_{max} , es la máxima cantidad de adsorbato que se adsorbe, por unidad de masa de adsorbente, (mg/g); K_L es la constante de Langmuir relacionada con la energía de adsorción, (L/mg).

$$q_e = K_F C_e^{1/n}$$

Dónde: C_e es la concentración del adsorbato en el equilibrio, (mg/L); q_e es la masa que se adsorbe sobre la superficie del adsorbente, en el equilibrio (mg/g); K_F y n son constantes de Freundlich, relacionadas con la capacidad y con la energía de adsorción, respectivamente, (mg/g).

Estabilidad del IBU

El IBU en solución acuosa puede seguir reacciones de descomposición, debido a mecanismos de fotólisis con la luz solar (Santibañez, 2014), por lo que es deseable conocer el tiempo en el que una solución conteniendo IBU puede permanecer estable. Las pruebas de estabilidad se realizaron con soluciones de concentración inicial de IBU y temperaturas diferentes, la primera conteniendo 229 mg/L se midió a 15 °C, la segunda de 562 mg/L a 25 °C y la tercera con 206 mg/L, a 30 °C. En la Figura 3 se observó que la concentración de IBU remanente en solución, expresada en %, comenzó a decrecer rápidamente en las primeras tres horas, hasta alcanzar el equilibrio después de 48 h.

En esta Figura se observó que, para las soluciones de concentración inicial semejante, la temperatura fue una variable determinante en la degradación del IBU, a menor temperatura se observó un menor decrecimiento de la concentración de IBU en solución. Después de 48 h, el IBU remanente en solución fue cercano a 70% a 15°C y 40% a 30°C, lo que significó que cuando la temperatura se duplicó desde 15 hasta 30 °C, el ibuprofeno se degradó con mayor velocidad. Por su parte, la concentración inicial también influyó en la velocidad de degradación de IBU, un incremento de la concentración inicial hasta 563 mg/L resultó en la degradación del 60% del IBU en solución en 48h. El análisis de los

datos con algunos modelos cinéticos permitió identificar que la degradación de IBU en solución acuosa se comportó como una reacción de pseudosegundo orden (Figura 4).

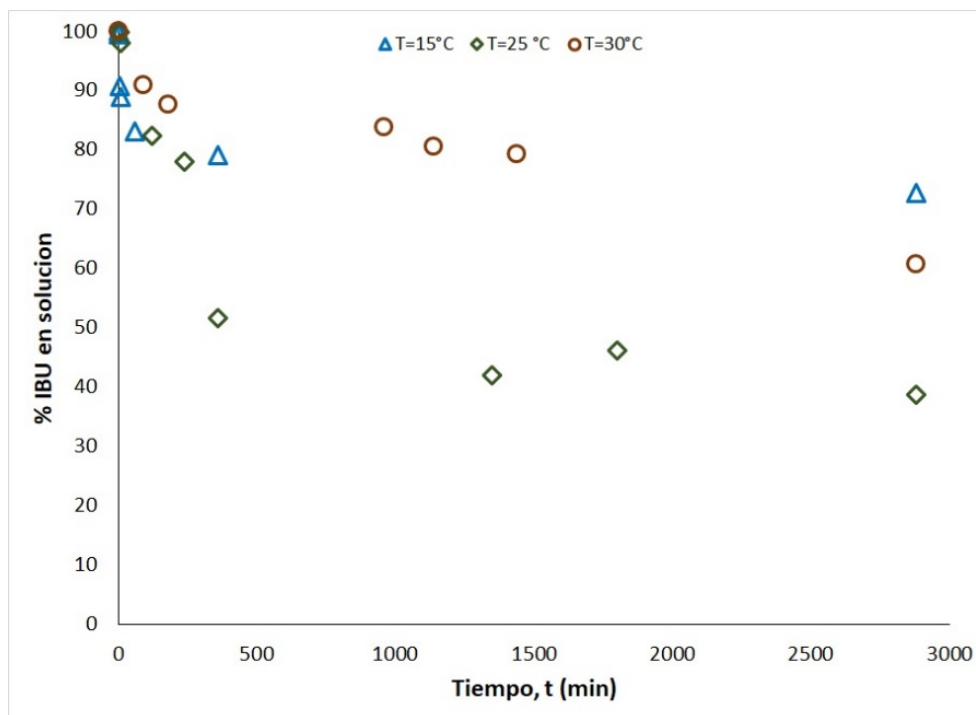


Figura 3. Estabilidad de IBU en solución acuosa, a temperaturas de 15, 25 y 30 °C y concentración inicial diferente.

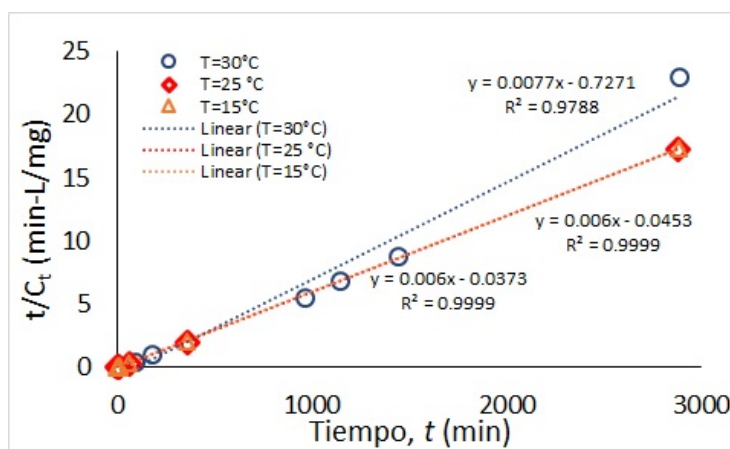


Figura 4. Cinética de pseudosegundo orden de la degradación de IBU en solución acuosa, a diferente temperatura y concentración inicial.

Las pruebas de estabilidad indicaron que el IBU en solución acuosa puede degradarse por fotólisis con la luz solar y por efecto de la temperatura. La concentración inicial de IBU es otro parámetro que debe considerarse en la velocidad de degradación, porque al duplicarse la concentración, se observó que la concentración de la solución fue

decaendo hasta que se mantuvo en 40% de IBU en solución. En los tres experimentos, se observó que, al llegar a 48 h, la concentración de IBU en solución se mantuvo constante, corroborando que el IBU no se degradó completamente por el solo efecto de la luz solar y la temperatura, sino que una fracción permanece en la solución.

Cinética de adsorción de IBU y ACE sobre CAF

Considerando los resultados de la estabilidad de IBU en solución acuosa, las pruebas de cinética de adsorción sobre CAF se realizaron a 20 y 30 °C, utilizando soluciones de concentración inicial conocida. En el primero de estos experimentos se utilizaron concentraciones iniciales entre 200 y 500 mg/L, a 20 y 30 °C (Figura 5).

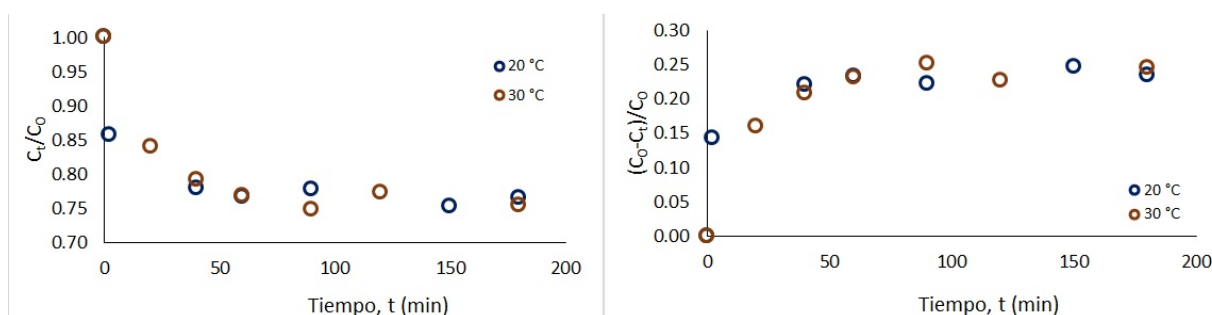


Figura 5. Cinética de pseudosegundo orden de la degradación de IBU en solución, para soluciones de concentración inicial 25 mg/L.

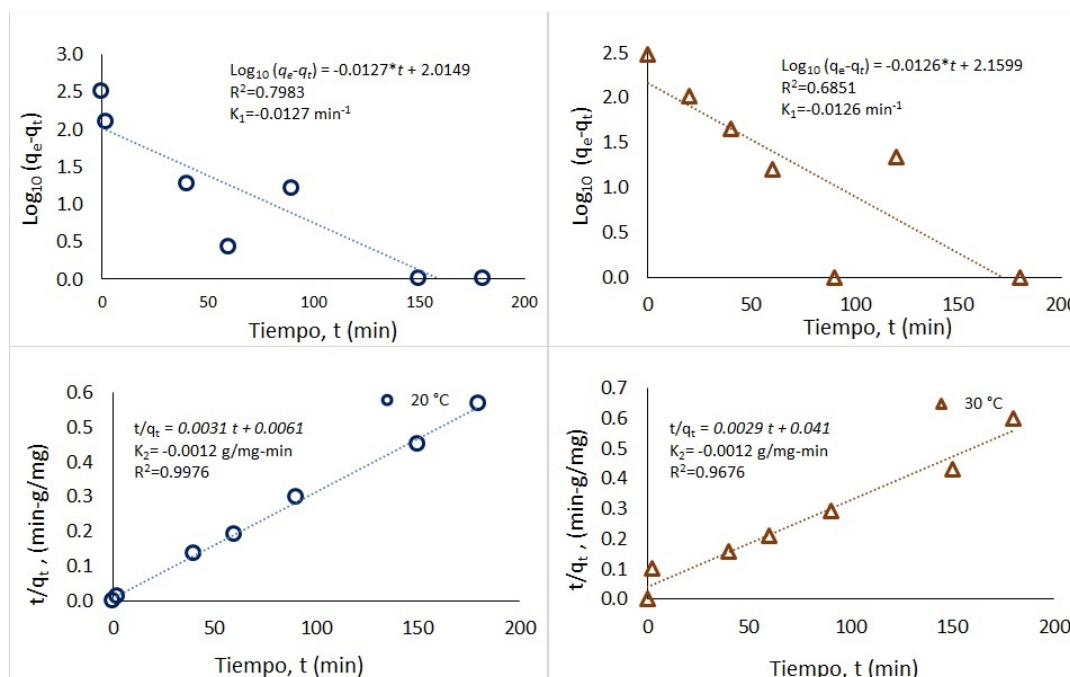


Figura 6. Datos experimentales de la cinética de adsorción de IBU con pH inicial conocido, a diferente temperatura (20 y 30 °C), sobre carbón activado CAF.

Los datos de concentración y de tiempo se analizaron con los modelos cinéticos de adsorción de pseudo-primer orden, PSP, y el modelo de pseudo-segundo orden, para obtener las siguientes tendencias (Figura 6):

El comportamiento decreciente de la concentración de IBU en solución acuosa, se modeló con las ecuaciones de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden. Este último modelo, fue el que ajustó mejor a los datos experimentales, por los que se reportó el factor de correlación de 0.9976 y 0.9676, para la adsorción de IBU sobre CAF, a 20 y 30 °C, respectivamente. Las constantes de velocidad de la adsorción de IBU sobre CAF, fueron -0.0012 para los dos experimentos, a 20 °C y 30 °C.

Con los parámetros cinéticos calculados con el modelo de pseudo-segundo orden, se estimó la masa adsorbida a diferente tiempo, para obtener la gráfica de la Figura 7. El equilibrio se alcanzó en un tiempo de 2h de contacto entre el adsorbente y el adsorbato.

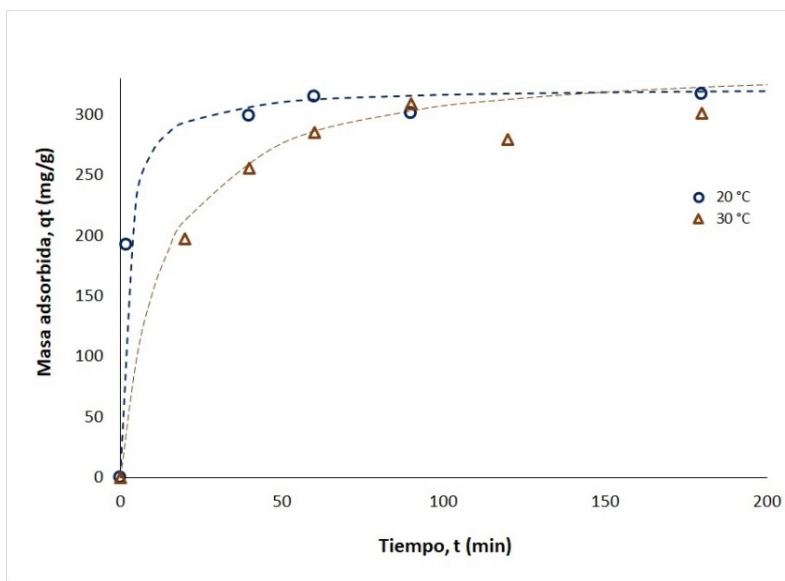


Figura 7. Cinética de adsorción de Ibuprofeno sobre carbón activado comercial, CAF, pruebas a 20 y 30 °C.

En otro experimento, se utilizó el principio activo de IBU, para observar su comportamiento en comparación con el ibuprofeno comercial. La Figura 8 muestra las gráficas de la cinética para este caso, en el que se utilizó como adsorbente CAF y CAF modificado con carbonato de sodio, CAF-CS. Estas pruebas se realizaron con

concentraciones iniciales de IBU en solución cercanas a 40 mg/L. Los datos de las gráficas se reportan en fracción.

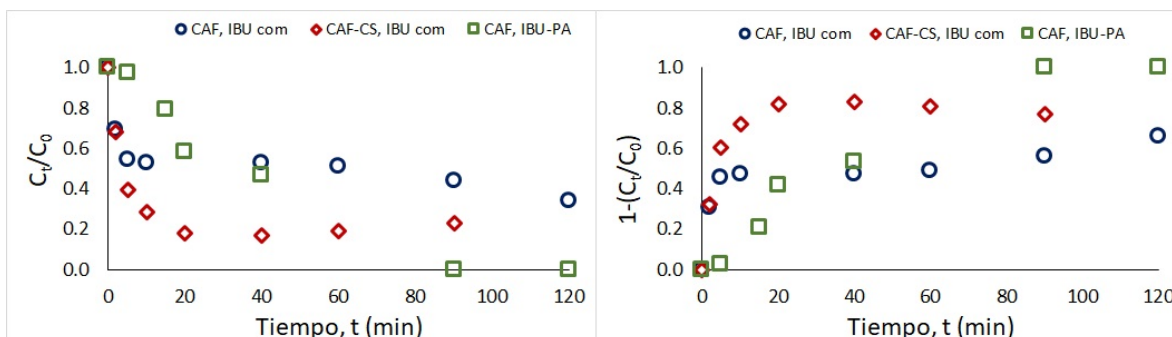


Figura 8. Cinética de adsorción de IBU, comercial y el principio activo, sobre CAF y CAF-CS.

En estas gráficas, se observó que el equilibrio se alcanzó en 40 minutos para el IBU-PA sobre CAF-CS, del que se adsorbió hasta un 80% del IBU en solución. Comparando con el IBU-PA, este se adsorbió completamente sobre CAF, en un tiempo de 90 min. En contraste, el IBU comercial se adsorbió hasta 70% sobre CAF después de 2h de contacto. Por lo que es probable que la presencia de excipientes en el IBU comercial le confieren estabilidad y previenen su adsorción completa sobre la interfase del carbón. En cuanto a la cinética de adsorción de acetaminofén sobre CAF, la curva de la tendencia de los datos experimentales se presenta en la Figura 9. El equilibrio se alcanzó en 2h. Los parámetros cinéticos calculados para este modelo se reportan en la Tabla 1 junto con los que se calcularon con el modelo de pseudo-primer orden, con lo que fue posible comparar el factor de correlación R^2 con cada uno.

Tabla 1. Parámetros cinéticos de la adsorción de acetaminofén, PSP y PSO

Modelo cinético	q_e (mg · g ⁻¹)	k (g · mg ⁻¹ · min ⁻¹)	R^2
PSP	1.330	0.001	0.407
PSO	43.6	0.0194	1.0

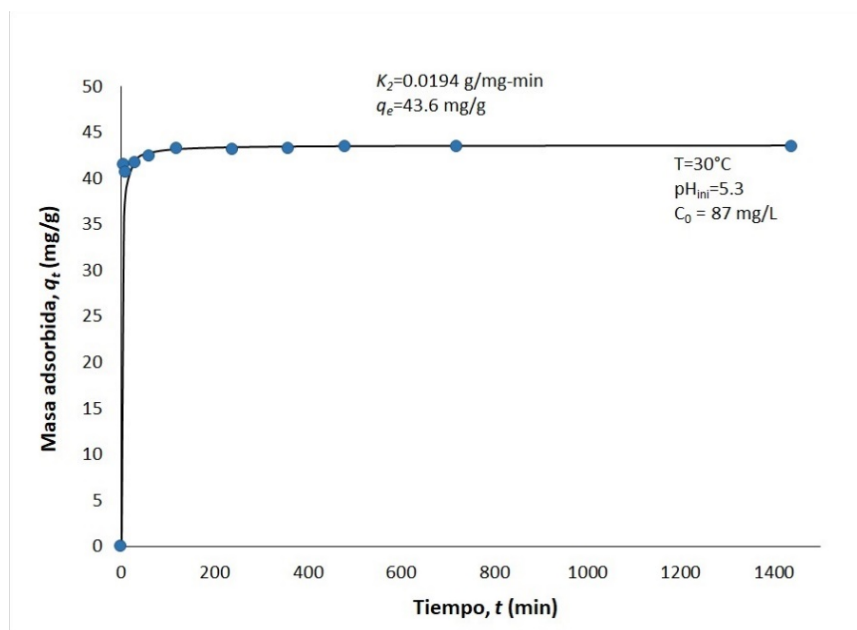


Figura 9. Adsorción de acetaminofén sobre CAF, a 30 °C.

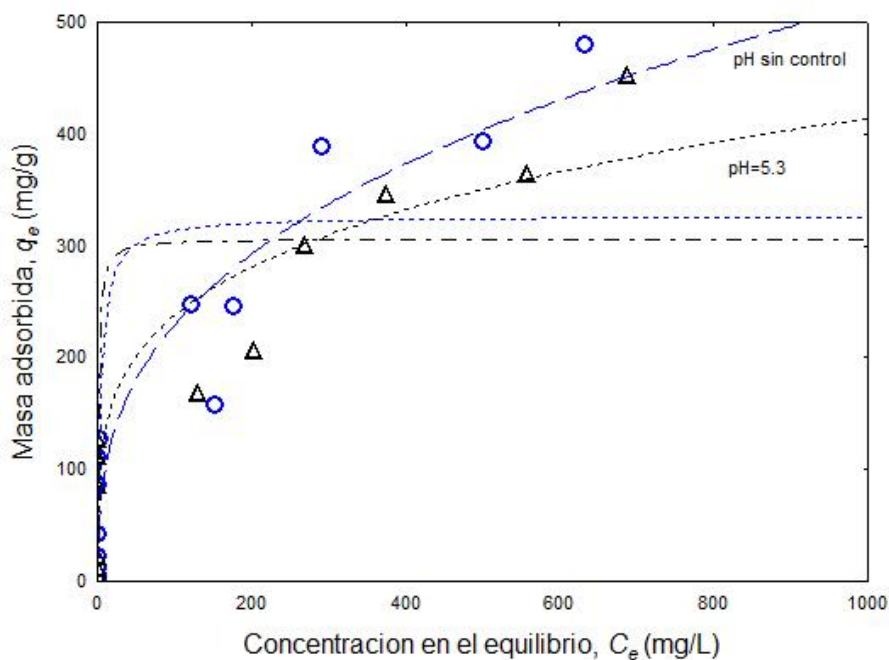


Figura 10. Isothermas de adsorción de acetaminofén sobre CAF, con y sin control de pH a 25 °C.

Equilibrio de adsorción de ACE

La información de la cinética es útil para controlar los experimentos de adsorción en el equilibrio, porque facilitan establecer el tiempo de contacto entre el adsorbente y el adsorbato, a fin de optimizar el procedimiento de la experimentación. En la Figura 10 se

presentan las isotermas de adsorción de acetaminofén sobre carbón activado, CAF, las que fueron calculadas con los modelos de Langmuir y de Freundlich. La capacidad máxima de adsorción reportada con el modelo de Langmuir fue de 306 y 327 mg/g, para los experimentos con pH controlado y sin control de pH, respectivamente.

El modelo de Freundlich es el que representó la tendencia de los datos con mejor aproximación, sugiriendo que el proceso de adsorción ocurriría en multicapas probablemente por la heterogeneidad de los grupos químicos superficiales del carbón. La constante de Freundlich, K_F , fue 45.6 mg/g y $n=2.5$, para el ensayo sin control de pH.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la adsorción de ibuprofeno sobre carbón activado, intervienen diferentes variables, en esta investigación se analizaron los efectos de la concentración inicial y la temperatura. De este último, no se observó un efecto importante, porque en los experimentos realizados el equilibrio se alcanzó en 2h. Debe mencionarse que la estabilidad de la molécula de IBU en solución acuosa es afectada debido a la irradiación de la luz solar. Otro factor que influye en la estabilidad del IBU comercial en solución acuosa es la actividad de los excipientes utilizados en la formulación del fármaco comercial. Este efecto se puede observar con los resultados de la adsorción del IBU comercial y del principio activo del IBU, del cual se detectó que se adsorbió completamente sobre el CAF, a diferencia del primero, que no se adsorbió en su totalidad. La cinética de adsorción de IBU sobre CAF corresponde a una reacción de pseudo-segundo orden. La concentración inicial de la solución juega un papel importante en la cinética, porque a bajas concentraciones el equilibrio puede alcanzarse en menos de 60 minutos, o puede ocurrir hasta en tiempo de 2h si la concentración del adsorbato en la solución es mayor de 30 mg/L.

Este comportamiento también se observó en el caso del acetaminofén en solución acuosa. En conclusión, se tiene que el carbón activado es un material adecuado para remover fármacos como ibuprofeno y acetaminofén en solución acuosa. Para ACE, su capacidad de adsorción es superior a 300 mg/g y es capaz de alcanzar el equilibrio en

2h para concentraciones iniciales de 80 mg/L, por lo que se recomienda su utilización para remover este tipo de contaminantes en el agua.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de esta investigación, a la Universidad Autónoma de Coahuila, a través del proyecto “Procesos de adsorción involucrados en la remoción de contaminantes del agua de alto riesgo ambiental: evaluación del equilibrio y cinética de adsorción de materiales adsorbentes de alto costo” (C01-2019-63). Al Dr. José Luis Benítez Benítez, por su asistencia en el uso del software para modelar los datos.

REFERENCIAS

- Arcibar, J.A., Delgado, J., Rios, J., Rangel, R. “Influence of iron content, surface area and charge distribution in the arsenic removal by activated carbons”. *Chemical Engineering Journal*, 2014, 249: 201-209.
- Ahmed, M.J. “Adsorption of non-steroidal anti-inflammatory drugs from aqueous solution using activated carbons: Review”. *Journal of Environmental Management*, 2017, 190:274-282.
- Cabrita, I., Ruiz, B., Mestre, A., Fonseca, I., Carvalho, A., Ania, C. “Removal of an analgesic using activated carbons prepared from urban and industrial residues” *Chemical Engineering Journal*, 2010, 163(3):249-255.
- Daughton, C.G., Ternes, T.A. “Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change?”. *Environmental Health Perspective*, 1999, 107 (6): 907-38.
- Doll, T., Frimmel, F. “Photocatalytic degradation of carbamazepine, clofibric acid and iomeprol with P25 and Hombikat UV100 in the presence of natural organic matter (NOM) and other organic water constituents”. *Water Research*, 2005, 39: 403-411.
- FEUM. “Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. Undécima edición. Tomo I”. Secretaría de Salud, Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 2014.

- Fernández, M., Fernández, M., Laca, A., Laca, A., Diaz, M. "Seasonal occurrence and removal of pharmaceutical products in municipal wastewaters". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2014, 2, 1:495-502.
- Gadipelly, C., Pérez-González, A., Yadav, G.D., Ortiz, I., Ibáñez, R., Rathod, V.K., Marathe, K.V. "Pharmaceutical industry wastewater: review of the technologies of water for water treatment and reuse". *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2014, 53: 11571-11592.
- Halling, B., Nors, S., Lanzky, P., Ingerslev, F., Holten, H., Jorgensen, S. "Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment: A review". *Chemosphere*, 1998, 36:357-393.
- NOM. 2015. Norma Oficial Mexicana NOM-073-SSA1-2015, "Estabilidad de fármacos y medicamentos, así como de remedios herbolarios". Diario Oficial de la Federación.
- NOM. 2006. Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. "Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos". Diario Oficial de la Federación.
- Nuñez, N.A. , Molina, D., Figueroa, B., Soto, J.C. "Bioequivalence and pharmacokinetic evaluation study of acetaminophen vs. acetaminophen plus caffeine tablets in healthy mexican volunteers". *Drugs R D*, 2016, 16: 339-345.
- Nur, T., Loganathan, P., Nguyen, T.C., Vigneswaran, S. "Batch and column adsorption and desorption of fluoride using hydrous ferric oxide: solution chemistry and modeling". *Chemical Engineering Journal*, 2014, 247:93-102.
- Quesada, I., Jáuregui, U.J., Wilhelm, A.M., Delmas, H. "Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos. Estrategia para enfrentar la problemática" *CENIC*, 2009.
- Rivera, J., Sánchez, M., Ferro, M., Prados, G., Ocampo, R. "Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A revision". *Chemosphere*, 2013, 93(7):1268-1287.
- Santibañez, V.S. "Determinación de la cinética de degradación de diclofenaco, ibuprofeno, y su mezcla, a temperatura ambiente". *Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Estado de México*, 2014.

SINGREM. Sistema Nacional de Gestion de Residuos de Envases y Medicamentos, AC.

“Disposición de residuos o fármacos caducos”

www.singrem.org.mx/marcoLegal.htm (8/febrero/2019).

Shiau, L.D., Liu, K.F., Hsu, Y.C. “Chiral purification of S-ibuprofen from ibuprofen enantiomers by stripping crystallization,” *Chemical Engineering Research*, 2017, 117: 301–308.

Villalva, V., Grande, O., Ortiz, M., Isasi, J., Yantas, J., Fiestas, D. “Estudio de bioequivalencia del Ibuprofeno 400 mg tabletas”. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 2007, 24 (4):356-362.

Weigel, S., Kallenborn, R., Hünerfuss, H. “Simultaneous solid-phase extraction of acidic, neutral and basic pharmaceuticals from aqueous samples and ambient (neutral) pH and their determination by gas chromatography-mass spectrometry”. *Journal of Chromatography A*, 2004, 1023: 183-195.

Bioadsorción de Diferentes Metales Pesados por el Hongo *Aspergillus niger*

Flores Rivera, Mónica¹, Pacheco Castillo, Nancy¹, Cárdenas González, Juan Fernando², Moctezuma Zarate, María de Guadalupe¹, Martínez Juárez, Víctor Manuel³, Rodríguez Pérez, Adriana², Acosta Rodríguez, Ismael¹.

¹Laboratorio de Micología Experimental. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P. C.P. 78320. ²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media. Carretera Río Verde san Ciro Km 4.5. Colonia Puente del Carmen, C.P. 79617. Río Verde, San Luis Potosí, México. ³Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. iacosta@uaslp.mx

RESUMEN

Se analizó la capacidad de remoción de plomo (II), mercurio (II), cobalto (II) y zinc (II) en solución acuosa por la biomasa de *Aspergillus flavus*. Se evaluó la bioadsorción a diferentes valores de pH (3.0-8.0) a diferentes tiempos. También se estudió el efecto de la temperatura en el intervalo de 28°C hasta 45°C y la remoción a diferentes concentraciones iniciales de los metales pesados en un rango de 100 a 1000 mg/L. La mayor bioadsorción (100 mg/L del metal y 1 g de biomasa) fue a las 24 h y 165 minutos [únicamente para zinc (II)], en un rango de pH de 4.0-5.5 y 28°C. Con respecto a la temperatura, la más alta remoción fue a los 28°C, a las 24 h, para zinc (II), mercurio (II) y plomo (II), respectivamente, y para cobalto (II) fue a 37°C y 45°C, y a mayores concentraciones de biomasa, la remoción fue más eficiente, por lo que esta biomasa, se puede utilizar para eliminar metales pesados de aguas residuales.

Palabras clave: Aspergillus niger, biomasa, metales pesados, remoción.

ABSTRACT

Lead (II), mercury (II), cobalt (II) and zinc (II) removal capacity in aqueous solution by *Aspergillus niger* biomass was analyzed. Biosorption was evaluated at different pH (3.0-8.0), at different times. In addition, the effect of temperature in the range of 28°C to 45°C and removal at different initial concentrations of heavy metals from 100 to 1000 mg/L were also studied. The highest biosorption (with 100 mg/L of the metal, and 1 g of

biomass) was 24 h and 165 minutes [only for zinc (II)] at pH range between 4.0-5.5, and 28°C. With regard to temperature, the highest removal was to 28°C at 24 h, for zinc (II), mercury (II), and lead (II), respectively, while 37°C and 45°C for cobalt (II), and at higher biomass concentrations, the removal was most efficient, so this biomass, it can be used to remove heavy metals of wastewater.

Keywords: Aspergillus niger, biomass, heavy metals, removal.

INTRODUCCIÓN

Los iones metálicos son muy importantes para la fisiología humana, ya que algunos son esenciales para la vida, mientras que otros, dependiendo de la dosis, pueden ser tóxicos (aunque en dosis altas todos son tóxicos), y la ingestión a largo plazo de pequeñas cantidades de algunos metales pesados produce síntomas crónicos, ya que algunos de éstos, una vez absorbidos, se eliminan parcialmente, y otros no se eliminan del cuerpo humano, por lo que se depositan en diferentes órganos, por ejemplo: plomo en los huesos y cadmio principalmente en los riñones y el hígado (Albert, 2015). Los metales pesados que pueden tener una función toxicológica muy importante están en orden de mayor a menor toxicidad: plomo, cadmio, arsénico, mercurio, cromo, talio, níquel, zinc, hierro, cobre, cobalto, manganeso, molibdeno y bismuto (González y Ramírez, 2000). Por otro lado, las posibilidades de intoxicación de los seres vivos con metales pesados, se deben principalmente a la presencia natural de éstos en la naturaleza, en lugares donde se originan, cerca de minas o ríos, desde donde pueden ser ingeridos por los animales, a través de los alimentos, y debido a la estrecha relación entre la industria y la agricultura, aumenta el riesgo de contaminación humana. Por ejemplo: a concentraciones muy bajas, el plomo, cadmio y mercurio tienen efectos nocivos. El plomo, cuando se libera al medio ambiente por emisiones industriales y vehículos motorizados, se adhiere a la superficie de las plantas, que pueden ser consumidas por humanos y animales, causando neumonía, pérdida de movimientos musculares y en niños puede causar una disminución en el coeficiente intelectual, así como alteraciones

en el comportamiento ((Calderón y Maldonado, 2008), el mercurio se encuentra principalmente en los mariscos y puede causar excitabilidad, insomnio, problemas de audición, parestesias y ataxia (Bell et al., 2014), mientras que el cobalto puede causar hipotensión, derrame pericárdico, policitemia, vómitos y sordera (Abbas et al., 2014) y el zinc vómitos, diarrea y dolor abdominal (Nasir et al., 2017).

En México, principalmente en algunos estados como Zacatecas, San Luis Potosí, Guerrero y Sonora), hay informes de la presencia de metales pesados en una gran variedad de lugares que provienen de todas las fuentes de agua, áreas urbanas, minería y ecosistemas marinos. (Covarrubias y Peña, 2017), y se ha reportado que en nuestro país, podría haber millones de toneladas de residuos mineros a nivel nacional, de los cuales aún se desconocen las condiciones y su potencial de afectación del medio ambiente (Albert 2015), siendo el ejemplo más común la contaminación del suelo, que ocurre durante la extracción de metales preciosos (oro y plata), comúnmente hecha por amalgamación con mercurio y cianuración, pues nunca hay una recuperación total de los compuestos o elementos agregados, por lo que es común encontrarlos en los residuos del proceso (lodos mineros) en forma soluble (Albert 2015; Covarrubias y Peña, 2017), de modo que los lodos mineros contienen una gran cantidad de metales residuales que se derivan de un proceso de extracción que no es 100% eficiente. Y debido a esto, se exceden los límites máximos permisibles de estos metales para suelos y aguas en México, establecidos en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT 2007) y NOM-001- SEMARNAT-1996 (SEMARNAT 2003) respectivamente, a pesar de la legislación vigente sobre eliminación y gestión de residuos.

En la literatura, hay reportes de la magnitud real del problema, así como tratar de establecer estrategias para la solución del problema, principalmente con el uso de microorganismos como biosorbentes de diferentes contaminantes (Fernández et. al., 2018). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la remoción de plomo (II), mercurio (II), cobalto (II) y zinc (II) en solución acuosa por una cepa de *Aspergillus niger*, resistente a algunos metales pesados.

Área de trabajo, métodos analíticos y materiales

Bioadsorbente utilizado y obtención de la biomasa fungica

La cepa de *A. niger* utilizada en este trabajo, fue aislada de muestras ambientales de una zona aledaña a la Facultad de Ciencias Químicas, de la UASLP (San Luis Potosí, S.L.P., México) (Santos et. al., 2017), y se creció en medio mínimo de Lee (MML) (0.25% KH_2PO_4 , 0.20% MgSO_4 , 0.50% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0.50% NaCl , 0.25% glucosa y 2% agar), suplementado con 500 mg/L de K_2CrO_4 . El pH del medio se ajustó a 5.3 con regulador de citratos (100 mMol/L). Las cajas de Petri se incubaron a 28°C durante 7 días. Para la obtención de la biomasa, el hongo se creció a 28°C en medio de caldo tioglicolato (8 g/L p/v), con agitación constante (100 rpm). Después de 7 días de incubación, la biomasa se recuperó por filtración, y se lavó 3 veces con agua tridesionizada, y se secó en una estufa (80°C, 24 h).

Estudios de remoción de los diferentes metales pesados

A partir de una solución patron de cada metal (1 g/L), se prepararon soluciones de trabajo de plomo (II), mercurio (II), cobalto (II) y zinc (II), con un rango de concentración de 100-1000 mg/L), ajustando el pH de las soluciones con H_2SO_4 1 M. La bioadsorción de los metales pesados por la biomasa fúngica, se determinó a diferentes concentraciones a un volumen de 100 mL de solución con 1 g de biomasa fungica a 28°C y 100 rpm. Posteriormente, se filtro la muestra para eliminar residuos de la biomasa, y en el filtrado se analizó la concentración de metales pesados a diferentes tiempos de incubación. Para la determinación del efecto del pH y temperatura, se utilizaron diferentes soluciones (pH 3-8), temperaturas (28, 37 y 45°C), concentraciones de metales pesados (100-1000 mg/L) y biomasa fungica (1- 5 g/100 mL). La concentración de plomo (II) y zinc (II), se determinó por el método de la Ditizona (Greenberg et. al., 2002), mercurio (II) por Espectrofotometría de Absorción Atómica por generación de hidruros (SSA, 1994), y cobalto (II) por el método de la metilisobutilcetona (Charlot, 1964).

RESULTADOS

En la Figura 1 se muestra el efecto del pH y tiempo de incubación sobre la remoción de 100 mg/L de zinc (II), plomo (II), mercurio (II) y cobalto (II) por la biomasa del hongo *A. niger*, observándose que la mayor bioadsorción ocurre a las 24 h de incubación, a un pH de 4.0 para plomo (II), de 5.0 para cobalto (II) y zinc (II), y de 5.5 para mercurio (II). En la figura 2 se observa el efecto de la temperatura sobre la remoción de los metales pesados, encontrando que la mayor capacidad de remoción se observó a los 28°C, con porcentajes de remoción de 100%, 83% y 59%, para zinc (II), mercurio (II) y plomo, respectivamente, y con respecto al cobalto se observó un 100% de remoción a 37°C y 45°C. Además, la concentración inicial de los metales pesados influye en su remoción, pues a bajas concentraciones la remoción es más eficiente observando que a los 165 minutos y 24 h con 200 ppm del metal, los porcentajes de remoción son de 84.5%, 76.3%, 70.4%, y 57.0%, para zinc (II), mercurio (II), cobalto (II), y plomo (II), respectivamente (Figura 3), y el porcentaje de remoción disminuye cuando se aumentan las concentraciones de los metales analizados.

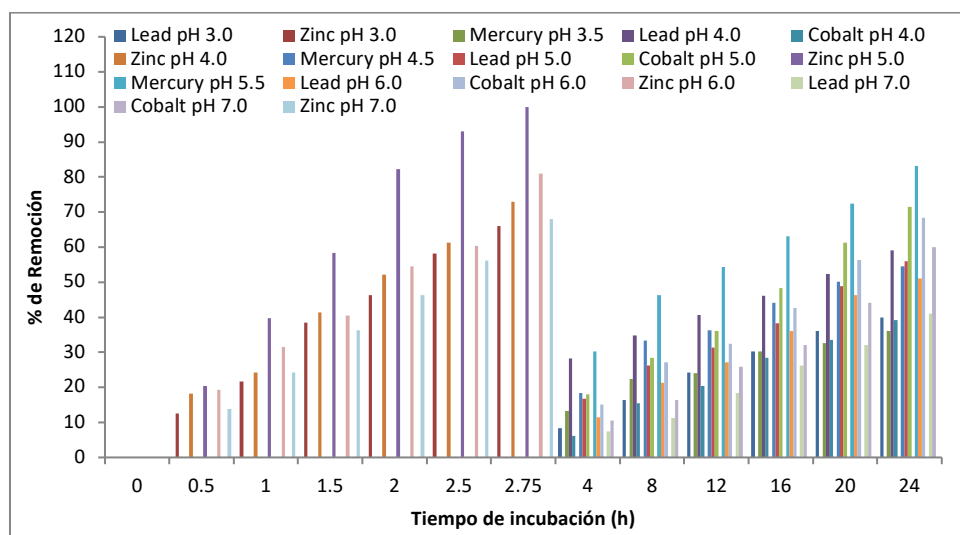


Figura 1. Efecto del pH y tiempo de incubación sobre la remoción de diferentes metales pesados por *A. niger*. 100 mg/L of metales pesados, 100 rpm, 28°C y 1.0 g de biomasa fúngica.

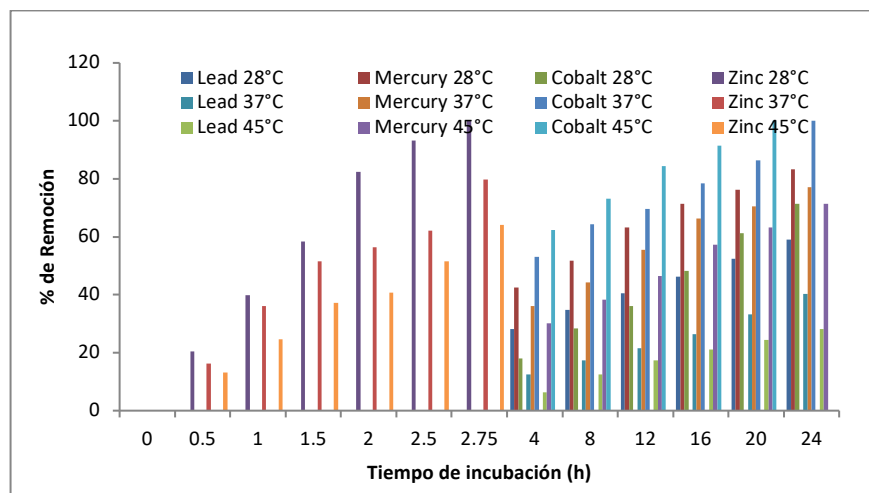


Figura 2. Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de diferentes metales pesados por *A. niger*. 100 mg/L of metales pesados, 100 rpm, pH 4.0 para plomo (II), pH 5.0 para zinc (II) y cobalto (II), pH 5.5 para mercurio (II) y 1.0 g de biomasa fúngica.

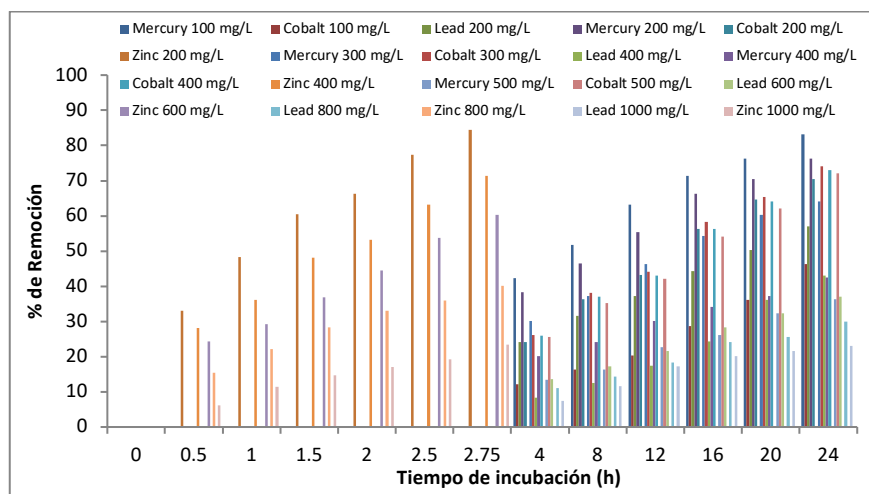


Figura 3. Efecto de la concentración inicial de los metales sobre la remoción de los mismos por *A. niger*. 100 rpm, pH 4.0 para plomo (II), pH 5.0 para zinc (II) y cobalto (II), y pH 5.5 para mercurio (II), 28°C y 1.0 g de biomasa fúngica.

Por otro lado, 1 g de biomasa fúngica remueve 100%, 83.2%, 71.4% y 59%, de zinc (II), mercurio (II), cobalto (II), y plomo (II), a los 165 minutos y 24 h de incubación, respectivamente, mientras que con 5 g de biomasa el tiempo de remoción es menor para los cuatro metales analizados (Figura 4).

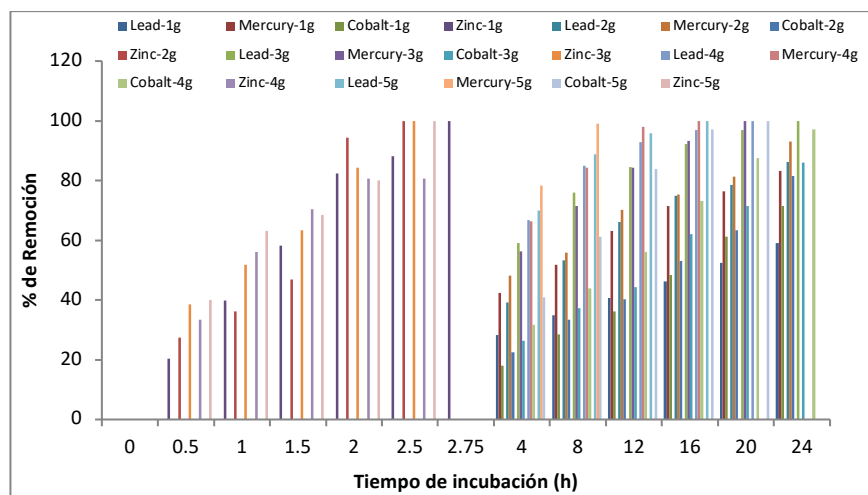


Figura 4. Efecto de la concentración inicial de la biomasa fúngica sobre la remoción de diferentes metales pesados por *A. niger*. 100 rpm, pH 4.0 para plomo (II), pH 5.0 para zinc (II) y cobalto (II), y pH 5.5 para mercurio (II), 28°C y 1.0 g de biomasa fúngica.

DISCUSIÓN

Uno de los problemas ambientales más importantes relacionados con la contaminación del agua y el suelo del país, es el vertido directo de metales pesados altamente contaminantes, lo que constituye un peligro para el equilibrio y el funcionamiento natural de los ecosistemas acuáticos. Una alternativa para el tratamiento de nichos acuáticos contaminados por metales pesados, es el uso de una tecnología limpia, eficiente y económica para los procesos de remediación ambiental. En este trabajo, con respecto al efecto del tiempo de incubación y el pH sobre la biosorción de 100 mg/L de zinc (II), plomo (II), mercurio (II) y cobalto (II) por la biomasa de *A. niger*, se encontró una mayor remoción, para todos los metales analizados, a las 24 horas y en un rango de pH entre 4.0-5.5. Al respecto, se ha reportado un tiempo de dos semanas y un pH 7.0, para *Macrophomina phaseolina* y *Rizophus stolonifer* para la eliminación de plomo, cadmio, cobre y zinc del suelo (Fawzy et al., 2017), 10 días para la eliminación de plomo, cadmio y cromo, en cultivo líquido con *Pleurotus ostreatus* HAAS (Yang 2017), 48 horas para la eliminación de aluminio y níquel en medio líquido con *Rhodotorula mucilaginosa* y *Escherichia coli* (Grujic 2017), la eliminación de cadmio (2.11%), zinc (II) (4.99%) y níquel (II) (29.25%) por células planctónicas de *R. mucilaginosa* después de 48 horas de

incubación (Grujic et al., 2018), 30 minutos y un pH de 5.0 para la eliminación de plomo en medio líquido con *Alcaligenes* sp. BAPb.1 (Jin 2017), 5 horas y un pH de 5.0 para la eliminación de plomo, cadmio, cobre y níquel, con *A. niger* (Kapoor et al., 1999), cuatro días después de la eliminación del 97.5% de cobre, 88.2% de cadmio, 26% de plomo y 14.5% de zinc en residuos secos del suelo con *A. niger* durante el proceso de biolixiviación (Yang et al., 2009), 30 minutos y un pH 5.5, para la eliminación de cobre (II) y cadmio (II) en sistemas discontinuos por células inmovilizadas de *A. niger* (Tsekova et al., 2010), 120 minutos y pH 2.0, para la eliminación del 90% de cromo (VI) por la biomasa de *A. niger* pretratada con NaOH, y esa absorción de metales pesados por la biomasa de *A. niger* viva aumenta con el aumento del pH en el rango 3-4 para cadmio (II) y pH 3-6 para zinc (II) a las 6 horas (Liu et al., 2006). La biosorción de metales pesados por hongos ocurre como resultado de la interacción iónica y la formación compleja entre iones metálicos y el grupo funcional presente en la superficie de la célula fúngica (Kapoor et al., 1999). Estos grupos funcionales que pueden estar involucrados en la biosorción de metales pesados incluyen grupos fosfato, carboxilo, amino y amido (Akhtar et al., 1996).

Con respecto al efecto de la temperatura de incubación, la capacidad máxima de eliminación se encontró a 28°C, para zinc (II), mercurio (II) y plomo (II), respectivamente, mientras que 37°C y 45°C para cobalto (II). Esta capacidad disminuyó con temperaturas superiores a 28°C. Estos resultados son similares a los reportados para *M. phaseolina* y *R. stolonifer* para la eliminación de plomo, cadmio, cobre y zinc del suelo a temperatura ambiente (Fawzy et al., 2017), 30°C para la eliminación de cobre, cadmio, plomo y zinc en residuos de suelo seco con *A. niger* durante el proceso de biolixiviación (Yang et al., 2009), 25°C para la eliminación de cobre (II) y cadmio (II) en sistemas discontinuos por células inmovilizadas de *A. niger* (Tsekova et al., 2010), 30°C para lixiviación de metales de un catalizador utilizado por *Alternaria alternata* (Rojas et al., 2017), 28°C para la biosorción de arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa fúngica modificada de *A. niger* (Santos et al., 2017) y 28°C para la bioremoción de arsénico (V) de soluciones acuosas por biomasa modificada químicamente de los hongos: *Aspergillus flavus* III, IV y V, *Aspergillus fumigatus* I – II, *Paecilomyces* sp., *Cladosporium* sp. y *Mucor* sp-1 y 2

(Cárdenas et al., 2017). La temperatura del medio de adsorción podría ser importante para los mecanismos dependientes de la energía en la biosorción de metales por microorganismos. Los mecanismos independientes de la energía tienen menos probabilidades de verse afectados por la temperatura, ya que el proceso responsable de la biosorción es en gran parte de naturaleza fisicoquímica (Pokhrel y Viraraghavan 2006).

Por otro lado, a una concentración más baja de metales pesados, la eliminación es más rápida y el porcentaje de adsorción disminuyó cuando la concentración de iones aumentó. Se ha informado que la eliminación óptima de arsénico (V) y arsénico (III) de las aguas residuales por la biomasa de *A. niger* recubierta con óxido de hierro se puede lograr con una concentración más baja de arsénico en solución (Pokhrel y Viraraghavan 2006), para la biosorción de arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa fúngica modificada de *A. niger* (Santos et al., 2017), con *R. mucilaginosa* para la eliminación de cobre (Grujic et al., 2017), la eliminación de cromo (VI) por *A. niger* aislado del aire contaminado cerca de la Facultad de Ciencias Químicas, UASLP (San Luis Potosí, México) (Acosta et al., 2017), y cepas de *Yarrowia* aisladas de sedimentos de agua de estuarios contaminada con mercurio (Salvadori et al., 2014). Por otro lado, la cantidad adsorbida de iones de cadmio (II) y zinc (II) aumenta al aumentar las concentraciones iniciales de iones metálicos en el rango de 25-250 mg/L, para la biosorción de metales pesados por *A. niger* in vivo (Liu et al., 2006), que puede deberse a la sorción a bajas concentraciones, pero a concentraciones más altas, posiblemente cuando las posiciones positivas estaban saturadas, se produce precipitación (que es un proceso más lento) (Leyva 2010).

A partir de la eliminación de metales pesados con diferentes concentraciones de biomasa, se descubrió que la eliminación de metales pesados es mayor y más rápida con una mayor concentración de biomasa, y estas observaciones pueden explicarse porque la cantidad de bioadsorbente agregado determina la cantidad de sitios disponibles para la biosorción de los iones o cualquier contaminante metálico (Kratochvil y Volesky, 1998). Se han reportado resultados similares para la eliminación de plomo en medio líquido con *Alcaligenes* sp. BAPb.1, en el cual el porcentaje de biosorción aumentó rápidamente de 28 a 90% con una concentración de biosorbente que aumentó de 0.5 a

2.0 g/L (Jin et al., 2017), para la eliminación de cromo (VI) por *A. niger* aislado del aire contaminado (Acosta et al., 2017), para la eliminación de cobre (II) y cadmio (II) en sistemas discontinuos por células inmovilizadas de *A. niger* (Tsekova et al., 2010). Como tendencia general, se observó un aumento del porcentaje de eliminación al aumentar la concentración del adsorbente de 0.1 a 0.3 g/L (Tsekova et al., 2010), para la biosorción de arsénico (III) en solución acuosa en 1, 2, 3, 4 y 5 g de biomasa fúngica modificada de *A. niger* (Santos et al., 2017), en la biosorción de cobalto (II) de soluciones acuosas con paja de arroz, cuando la dosis de adsorbente varió de 0.1 a 1.0 g (Swelam et al., 2017), con hidrogeles de quitosano puro y modificado de la cáscara de camarón en la adsorción de cobre en solución ácida con concentraciones crecientes de biosorbente (1, 2, 3, 4, 4.5 y 5 g) (Sánchez et. al., 2017). Sin embargo, la capacidad de absorción de cromo (VI) por biomasa fúngica pretratada con NaOH disminuye con el aumento de la concentración de biomasa (Kumar 2008). También, el porcentaje de eliminación de zinc de la levadura *Pichia kudriavzevii* A16, no mejoró significativamente cuando la concentración inicial de biomasa se elevó de 0.05 a 1 g/L (Li et al., 2016), y para *S. cerevisiae* (BCRC23331), cuya capacidad de biosorción de níquel (II) disminuye con el aumento de la dosis de adsorbente (Nguyen y Ruey-Shin, 2015).

En conclusión, la biomasa analizada mostró una capacidad de biosorción muy eficiente de 100 mg/L de zinc (II), plomo (II), mercurio (II) y cobalto (II) en solución a las 24 h de incubación, a 28°C, 100 rpm con 1 g de biomasa. Estos resultados sugieren su aplicabilidad potencial para la remediación de algunos metales pesados de agua y suelos contaminados. Además, en el proceso de desintoxicación de metales pesados, aún es necesario trabajar para determinar la distribución y diversidad de las comunidades microbianas en presencia de metales pesados con el fin de emplearlos para la biorremediación de estos contaminantes tóxicos, solos o en combinación para una mayor eficiencia. Además, algunos hongos biosorbentes de metales pesados también eliminan otros metales como el cromo (VI) y el arsénico (III y V) (Acosta-Rodríguez et. al., 2017; Santos et. al., 2017), lo que confirma la capacidad de esta biomasa para ser utilizada en la biorremediación de metales pesados.

REFERENCIAS

- Abbas, S.H., Ismail, I.M., Mostafa, T.M. and Sulaymon, A.H. (2014). Biosorption of heavy metals: A Review. *Journal of Chemical Science and Technology*. 3(4): 74-102.
- Acosta-Rodríguez, I., Cárdenas-González, J.F., Moctezuma-Zárate, M.G., Rodríguez Pérez, A. and Martínez-Juárez. V.M. (2017). Hexavalent Chromium (VI) Removal by *Aspergillus niger*. In: "Metal-microbe interactions and bioremediation: Principles and applications for toxic metals". Editor: Surajis Das. CRS Press Book. Taylor Francis. Chapter 42, pp. 673-688. ISBN: 9781498762434 (ebook).
- Albert, L. (2015). Gestión de los productos químicos. En: México Tóxico. Lilia A. Albert y Marisa Jacott, eds. 1a. Ed. XXI Siglo veintiuno editores. México. Cap. 1. pp. 21-37.
- Akhtar, M.N., Sastry, K.S. and Mohan, P.M. (1996). Mechanism of metal ion biosorption by fungal biomass. *Biometals*. 9: 21-28.
- Bell, L., DiGangi, J. and Weinberg, J. (2014). Introducción a la contaminación por mercurio y al convenio de Minamata sobre mercurio para las ONG. Red Internacional de Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN). pp. 23-35.
- Calderón Salinas, V. and Maldonado Vega, M. (2008). Contaminación e intoxicación por plomo. 1a. Ed. Cap. 2. pp. 13-17.
- Cárdenas-González, J.F., Acosta-Rodríguez, I., Terán Figueroa, Y. and Rodríguez Pérez, A.S. (2017). Bioremoval of arsenic (V) from aqueous solutions by chemically modified biomass. *3 Biotech*. 7(226), 1-6.
- Charlot, G. (1964). *Colorimetric Determination of Elements*. (trad. de 12.a ed. francesa) Elsevier Publishing Company - Amsterdam - London - New York, pp. 449.
- Covarrubias, S.A., and Peña Cabriales, J.J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 33:7-21.
- Fawzy, E.M., Abdel-Motaal, F.F., Soad, A. and El-Zayat, S.A, (2017). Biosorption of Heavy Metals onto Different Eco-Friendly Substrates. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*. 8(3): 1-7.

- Fernández, P.M., Vinarta, S. C., Bernal. A.R., Cruz, E.L. and Figueroa, L.I.C. (2018). Bioremediation strategies for chromium removal: Current research, scale-up approach and future perspectives. *Chemosphere*, 208: 139-148.
- González Aguilar, D. and Ramírez Álvarez, A. (2001). Metales Tóxicos. En: *Genética, ambiente y Salud*. Carlos Álvarez Moya, ed. 2a. Ed. Universidad de Guadalajara, México. Cap. 8, pp.151-159.
- Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. and Eaton, A.D. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC, pp. 3.58–3.60, 3-83, 3-119, 1-49.
- Grujić, S., Vasić, S., Radojević, I., Čomić, L., and Ostojić, A. (2017). Comparison of the *Rhodotorula mucilaginosa* biofilm and planktonic culture on heavy metal susceptibility and removal potential. *Water Air Soil Pollution*. 228(73): 1-8.
- Grujić, S.M., Radojević, I.D., Sava M. Vasić, S.M., Čomić, L.R. Aleksandar M. and Ostojić, A.M. (2018). Heavy metal tolerance and removal efficiency of the *Rhodotorula mucilaginosa* and *Saccharomyces boulardii* planktonic cells and biofilms. *Kragujevac Journal of Sciences*. 40: 217-226.
- Jin, Y., Yu, S., Teng, Ch., Song, T., Dong, L., Liang, J., Bai, X., Xu, X. and Qu, J. (2017). Biosorption characteristic of *Alcaligenes* sp. BAPb.1 for removal of lead (II) from aqueous solution. *3 Biotech*. 7(123): 1-12.
- Kapoor, A., Viraraghavan, T. and Cullimore, D.R. (1999). Removal of heavy metals using the fungus *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*. 70: 95-104. Kratochvil, D, and Volesky, B. (1998). Advances in the biosorption of heavy metals. *Review Tibtech*: 16: 291–300.
- Kumar, R., Bishnoi, N., Garima, R. and Bishnoi, K. (2008). Biosorption of Chromium (VI) From Aqueous Solution and Electroplating Wastewater Using Fungal Biomass. *Chemical Engineering Journal*. 135: 202–208.
- Leyva-Ramos R (2010). *Fundamentos de adsorción en sistemas liquido-sólido. Situación del arsénico en la Región Ibérica e Iberoamericana. Posibles acciones articuladas e integradas para el abatimiento del arsénico en zonas aisladas*. CYTED, Argentina. Chapter 3, pp. 43.

- Li, X., Zhanga, D., Sheng, F. and Qinga, H. (2018). Adsorption characteristics of Copper (II), Zinc (II) and Mercury (II) by four kinds of immobilized fungi residues. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 147: 357-366.
- Liu, Y.G., Fan, T., Zeng, G.M., Li, X., Tong, Q., Ye, F., Zhou, M., Xu, W.H., and Hung, Y.E. (2006). Removal of Cadmium and Zinc Ions from Aqueous Solution by Living *Aspergillus niger*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 16:681–686.
- Nasir, M., Ansari, T.M., Yasin, G., Shoaib, M., Mudassir, M.A. and Khan, A.A. (2017). Bioaccumulation of zinc in *Rana tigrina* in different aquatic habitats. *African Journal of Biotechnology*. 16 (17): 921-927.
- Nguyen, M.L. and Ruey-Shin, J. (2015). Modification of cross linked chitosan beads with histidine and *Saccharomyces cerevisiae* for enhanced Ni(II) biosorption. *Journal Taiwan Institute of Chemical Engineering*. 56: 96–102.
- Pokhrel, D. and Viraraghavan, T. (2006). Arsenic removal from an aqueous solution by a modified fungal biomass. *Water Research*. 40: 549-552.
- Rojas-Avelizapa, N.G., Otamendi-Valdez, J. and Gómez-Ramírez, M. (2017). Metal leaching from a spent catalyst by *Alternaria alternata*. *Mexican Journal of Biotechnology*. 2(2): 221-231.
- Salvadori, M.R., Oller do Nascimento, R.A., Benedito, C.A. and Correa, B. (2014). Intracellular biosynthesis and removal of copper nanoparticles by dead biomass of yeast isolated from the wastewater of a mine in the Brazilian Amazonia. *PLOS ONE*: 9: 1-9.
- Sánchez-Duarte, R.G., Martínez-Macias, M.R., Correa-Murrieta, M.A., Saldivar-Cabral, J., Sánchez-Machado, D.I. and López-Cervantes, J. (2017). Síntesis de hidrogeles de quitosano a partir de cáscara de camarón para ensayos de bioadsorción de cobre. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 33: 93-98.
- Santos Domínguez, E.E., Cárdenas, J.F., Torre, M.E., Martínez, V.M., Rodríguez, A. and Acosta, I. (2017). Bioadsorción de Arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa modificada de *Aspergillus niger*. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 8(2). 1- 10.
- SEMARNAT (2003) Norma Oficial Mexicana NOM- 001-SEMARNAT 1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de

aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. 23 abril 2003. SEMARNAT (2007) Norma Oficial Mexicana. NOM- 147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece los 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. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. 2 de marzo de 2007.

Swelam, A.A., Awad, M.B., Salem, A.M.A. and El-Feky, A.S, (2017). Biosorption of Cobalt(II) Ions from Aqueous Solution using Rice Straw and its Modification. *Journal of Science Engineering Research*. 4(1): 121-129.

Tsekova, K., Todorova, D. and Ganeva, S. 2010. Removal of heavy metals from industrial wastewater by free and immobilized cells of *Aspergillus niger*. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 64: 447-451.

Yang, S., Sun, X., Shen, Y., Chang, Ch., Guo, E., La, G., Zhao, Y. and Li, X. (2017). Tolerance and removal mechanisms of heavy metals by the fungus *Pleurotus ostreatus* HAAS. *Water Air Soil Pollution*. 228(130): 1-9.

Geoquímica

Exploración geoquímica por Au en el Rancho Don Chuy, Potrero el Llano, Aldama, Chihuahua (México): implicaciones analíticas

Maya-Zúñiga, Evaris A.^{1*}, Flores-Castro, Kinardo^{1**}, Pérez-Moreno, Fidel¹, Cadena-Zamudio, José Luis¹. 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.
**ma283870@uaeh.edu.mx, **kinardo_flores@hotmail.com*

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realiza en una porción del Desierto Chihuahuense y se encuadra en los terrenos que alberga el Museo de Sitio Paleontológico y Ecológico Rancho Don Chuy, aledaño a la comunidad de Potrero El Llano, municipio de Aldama, en el estado de Chihuahua. Tiene como objetivo la exploración de minerales densos, incluido el oro, en los cursos intermitentes que conforman los patrones de drenaje que desembocan en el río Conchos, único curso fluvial permanente en la región. La cuenca sedimentaria en cuestión se caracteriza por tener la influencia de rocas carbonatadas correspondientes a la Formación Aurora (Cretácico Inferior) en el extremo sur de la Sierra El Morrión, también rocas volcánicas terciarias de composición ácida a intermedia procedentes de la Sierra Cuesta El Infierno, y que también afloran en la parte norte de Julimes; así como la influencia de rocas plutónicas y metasomáticas que afloran en el Distrito Minero de Chorreras, que aunque distante a este lugar, las manifestaciones hidrotermales son evidentes en los sedimentos y significativos para los abundantes fósiles (vertebrados, invertebrados y plantas superiores) que aquí yacen permineralizados. Los sedimentos en cuestión forman terrazas y planicies aluviales asociados a éstos causes intermitentes, representando un espesor considerable que los hace interesantes para la exploración geoquímica por minerales densos y que la construcción e industria demandan para múltiples aplicaciones. El muestreo se realizó tomando en cuenta los cursos principales y tributarios de los arroyos *El Chalino* y *La Labor*, que desembocan en el río Conchos y que cruzan los terrenos del museo de sitio. Las muestras se georreferenciaron y homogenizaron mediante la técnica de cuarteo que permitió reducirlas de tamaño, confiriéndoles representatividad estadística. Las arenas en el laboratorio se prepararon por diversas metodologías, entre ellas la granulometría, la concentración gravimétrica y magnética, seguida de diversos tratamientos de digestión para finalizar con ensayos por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), Plasma

Inductivamente Acoplado (ICP) y por vía seca (copelación, Au-Ag). Los resultados obtenidos al momento revelan una concentración de Au 0.3 a 0.5 g/ton, Ag 20 g/ton, Fe 17.28% en peso, Cu 199 g/ton, Pb 110 g/ton y Zn 85 g/ton.

Palabras clave: Desierto Chihuahuense, Exploración geoquímica, Yacimientos de placer, Minerales densos, Oro.

ABSTRACT

This research work is carried out in a portion of the Chihuahuan Desert and is framed on the grounds that houses the Rancho Don Chuy Paleontological and Ecological Site Museum, adjacent to the community of Potrero El Llano, municipality of Aldama, in the state of Chihuahua. Its objective is the exploration of heavy-minerals, including gold, in the intermittent courses that make up the drainage patterns that flow into the Conchos River, the only permanent river course in the region. The sedimentary basin in question is characterized by the influence of carbonate rocks corresponding to the Aurora Formation (Lower Cretaceous) at the southern tip of the Sierra El Morrión, also tertiary volcanic rocks of acidic to intermediate composition, coming from the Sierra Cuesta El Infierno and which also appear in the northern part of Julimes; as well as the influence of plutonic and metasomatic rocks that outcrop in the Chorreras Mining District, which although distant from this place, hydrothermal manifestations are evident in sediments and significant for the abundant fossils (vertebrates, invertebrates and higher plants) that lie permineralized here. The sediments in question form terraces and alluvial plains associated with these intermittent causes, which represent a considerable thickness that makes them interesting for geochemical exploration by heavy- minerals, which construction and industry demand for multiple applications. The sampling was carried out taking into account the main courses and several tributaries of the *El Chalino* and *La Labor* streams, which flow into the Conchos River and cross the grounds of the site museum. The samples were georeferenced and homogenized using the quartering technique that allowed them to be reduced in size, conferring them with statistical representation. The sands in the laboratory were prepared by various methodologies, including granulometry, gravimetric and magnetic concentration, followed by several digestion treatments to end the test by Atomic Absorption Spectroscopy (EAA),

Inductively Coupled Plasma (ICP) and by fire assay gravimetry (Au-Ag). The results obtained at the moment reveal a concentration of Au of 0.3 g/ton up to 0.5 g/ton, Ag 20 g/ton, Fe 17.28 wt%, Cu 199 g/ton, Pb 110 g/ton and Zn 85 g/ton.

Keywords: Chihuahuan Desert, Exploration Geochemistry, Placer Ore Deposits, Heavy-minerals, Gold.

INTRODUCCIÓN

La exploración geoquímica de sedimentos de arroyo es una técnica que se aplica para determinar el comportamiento y distribución de elementos químicos de interés económico (ej. Au, Ag, Pt, Cu, Fe, Pb, Zn, W, Ti, etc.), y que forman parte de los minerales de mena, cuya característica es su alta densidad con respecto al agua (Viladevall, 2004). Este tipo de proyectos implementan metodologías que están estandarizadas por el *US Geological Survey* y por el mismo *Servicio Geológico Mexicano*, en las cuales se establecen procedimientos de campo y laboratorio para que el muestreo y los resultados analíticos sean estadísticamente representativos.

Es pertinente mencionar que la geoquímica, conjuntamente con la utilización de algoritmos matemáticos y estadísticos permiten realizar inferencias sobre el comportamiento espacio-temporal del movimiento de las partículas, en este caso de los minerales densos, que constituyen las “arenas negras”, compuestas principalmente por magnetita, hematita, apatito, zircón, rutilo, monacita, barita, casiterita, wolframita, oro nativo, entre otros. Su acumulación en cauces de ríos y arroyos representan una importante actividad económica si el volumen de sedimentos depositados en los valles y en las terrazas aluviales son considerables. Este tipo de procedimientos de exploración son considerados *ecológicos*, porque lo único que emplean en el proceso de separación es el agua y ésta no se contamina. En la Comunidad Europea es el único procedimiento aceptado para recuperar minerales a raíz del desastre ecológico provocado por una empresa minero-metalúrgica que ocasionó un derrame de metales lixiviados contenidos en una presa de jales, los cuales fueron vertidos a una zona natural protegida del sur de España (Arenas *et al.*, 2001).

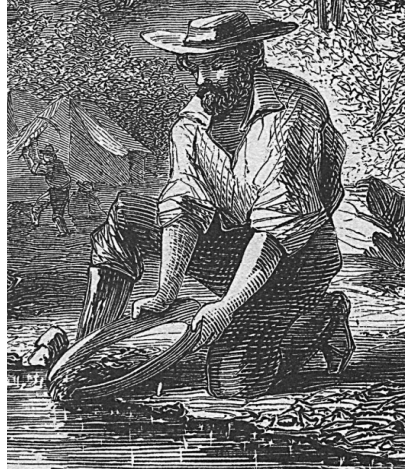


Figura 1. Gambusino operando la batea en el río Mokelumne (Harper's Weekly: How We Gold in California, 1860).

Con respecto al área de estudio, este proyecto de exploración se realiza en una parte de la cuenca del río Conchos, al suroeste de la presa Luis L. León (El Granero) y específicamente en los terrenos que comprende el Museo de Sitio Paleontológico y Ecológico Rancho Don Chuy, en los cuales se realizó un estudio geomorfológico previo con la identificación de patrones de drenaje y principales arroyos intermitentes que desembocan en este río y que localmente se denominan *La Labor* y *El Chalino* (Figura 1), los cuales presentan un importante volumen de sedimentos.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra aledaña a la comunidad de Potrero El Llano, perteneciente al municipio de Aldama en el estado nortero de Chihuahua. Se ubica con las coordenadas UTM 13R 0454236 3182750 con elevación de 1049m sobre el nivel del mar. La principal vía de comunicación se realiza a través de la autopista Chihuahua – Aldama (Carretera Federal 16) que conecta las localidades de Maclovio Herrera (Falomir), El Pueblito, Coyame y Ojinaga, que hace frontera con los Estados Unidos de América. De igual forma también comunica poblaciones como San Diego de Alcalá, El Mimbres, Potrero El Llano, Chorreras y a la presa Luis L. León (El Granero) mediante carreteras vecinales.

El municipio de Aldama tiene clima desértico con temperaturas extremas tanto en invierno (-5°C) como en verano (45°C) y forma parte de la Altiplanicie Mexicana, llamada en este territorio como las Llanuras Boreales, el territorio es plano además de que en ella se encuentra bien diferenciado los parteaguas y los tributarios que ellas generan. La principal corriente permanente del municipio es el río Conchos, que atraviesa su territorio con dirección suroeste-noreste, proveniente del municipio de Julimes y que nace en la Sierra Madre Occidental (sierra Tarahumara).



Figura 2. Arroyo La Labor.



Figura 3. Arroyo El Chalino.

MÉTODOS ANALÍTICOS Y MATERIALES

Campo

Previo al trabajo de campo se realizó un estudio detallado de la carta topográfica Trancas (H13C58) editada por el INEGI (1999) en la que se analizó la geomorfología y se ubicaron los arroyos *La Labor* (Figura 2) y *El Chalino* (Figura 3). Se delimitaron las cuencas hidrológicas y se identificaron los patrones de drenaje, cursos permanentes e intermitentes, así como otros cursos abandonados; utilizando para ello un Sistema de Información Geográfica (ArcMap v. 10.6.1), que también permitió el planteamiento de los accesos y caminamientos del área. El muestreo en campo se llevó a cabo siguiendo los protocolos y metodologías establecidos por el *US Geological Survey* (Yeend y Shawe, 1989), los cuales garantizan que sea sistemático (Figura 4).



Figura 4. A) Generación de cono de sedimentos con diámetro aprox. a 2m. B) Aplanado de punta del cono. C) Trazo y orientación de cruz para cuarteo. D) Elección de cuartos opuestos (I y III) a eliminar con una pala reduciendo al 50% la muestra, y así sucesivamente. E) Se Repite la operación las veces que sean necesarias hasta reducir la muestra a ~5 kg para su posterior recolección, identificación y embalaje.

Siguiendo los patrones de drenaje se recolectaron las muestras cada 50m, haciendo un total de 70 y en cada afloramiento georreferenciado se inició partiendo de ~ 100kg de muestra, misma que se homogenizó y redujo a mínima expresión (~ 5kg).

Esta muestra representativa se identificó y embolsó en bolsas de polietileno. La ubicación de muestras se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Mapa de ubicación de muestras en los arroyos *El Chalino* y *La labor*.

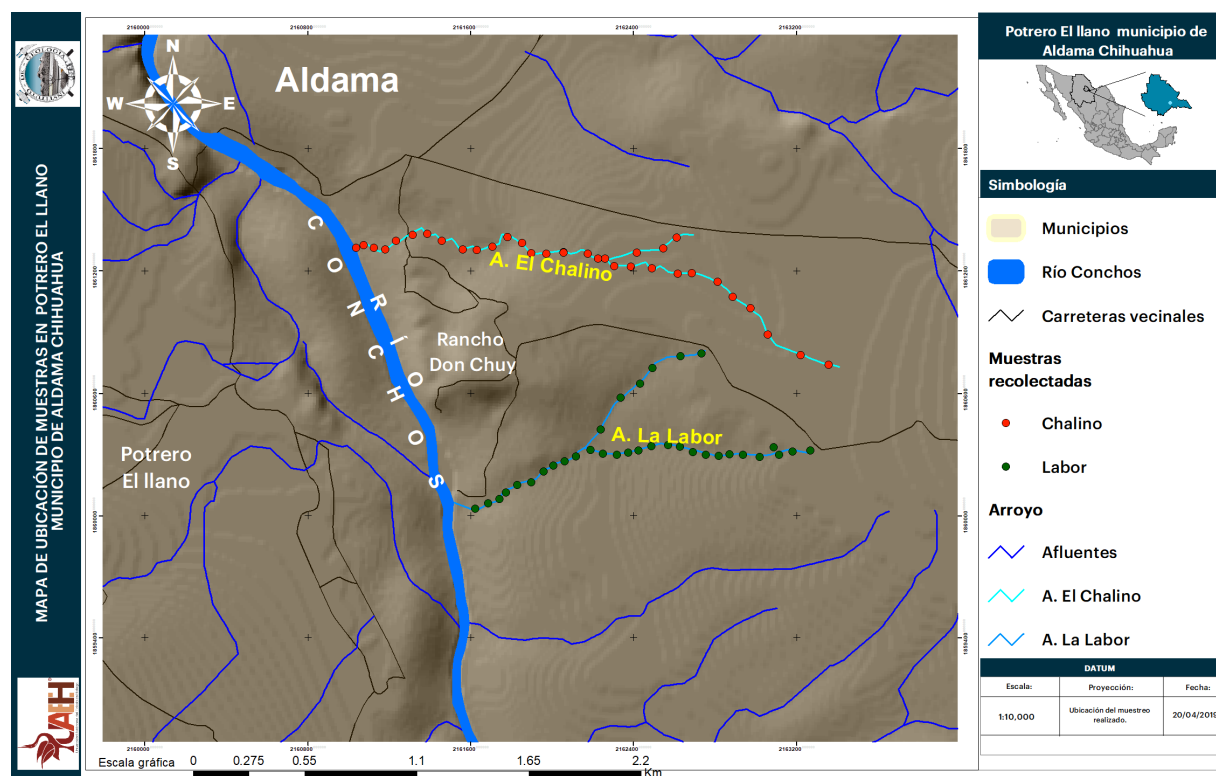


Figura 5. Mapa de ubicación de las muestras en los arroyos El Chalino y La Labor.

Laboratorio

- Esta etapa inicia con la realización de un segundo cuarteo de las muestras colectadas en campo para su reducción a 2kg, para así tener un producto homogéneo y representativo.
- Se prosigue con el secado de las muestras las cuales se pasan a charolas de aluminio y se introducen a una estufa termoregulada a 50°C por espacio de 24 horas hasta alcanzar el punto de sequedad. Posteriormente se vuelven a pesar para descontar la humedad.
- Se continúa con un tercer cuarteo hasta obtener muestras representativas de 100g de cada una y se procede a pulverizarlas hasta que pasen la malla n. 100 para continuar con los procesos de digestión ácida, para finalmente ser analizadas por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) y así determinar la ley de cabeza (Melendez, 1987).

- d) Se realiza posteriormente un análisis granulométrico con el restante de los 2kg de muestra (utilizando los tamices 12, 16, 20, 40, 80 y <80). Se procede a determinar el peso acumulado en cada tamiz y se calcula el porcentaje retenido en cada uno para conocer la distribución granulométrica en los cursos fluviales muestreados.
- e) Posteriormente se vuelven a juntar las muestras separadas correspondientes a los tamices utilizados para proceder a su trituración y molienda con equipo de quijada, rodillos y finalmente con el pulverizador. Nuevamente se repite la operación de tamizado utilizando las mallas 100, 150, 200, 325, 400 y <400. Se realiza a continuación el pesado y cálculo de retención en cada tamiz procurando que el margen de pérdida no supere el 5%.
- f) La siguiente operación consiste en aplicar la técnica de separación magnética en cada una de las mallas 100 a la <400, utilizando un imán para la recuperación de minerales magnéticos y se procede al pesado de la fracción magnética y al cálculo de la no magnética.
- g) A continuación se realiza un cuarteo y homogenizado de cada una de las fracciones separadas por tamices (100, 150, 200, 325, 400 y <400), de los cuales se utilizan 100g de cada uno y se recuperan 100g de la muestra obtenida antes de pasar por los tamices del paso (c) y 100g de muestra procedente del concentrado magnético (Quijandria, 2016).
- h) Para empezar a realizar el proceso de análisis por vía húmeda y vía seca (copelación, ensaye gravimétrico), se debe tener noción del orden que tendrán los resultados obtenidos por cada una de las muestras; por ejemplo, la muestra del paso (c) representará la ley de cabeza, los resultados obtenidos para cada malla 100 a la <400 serán los testigos y la muestra magnética representa el concentrado (Viladevall, 2004).
- i) Cabe mencionar que las muestras a analizar en el paso (h) se analizaron por Au y Ag por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) y los metales base (Fe, Zn, Pb y Cu) por Plasma Inductivamente Acoplado (ICP).

ANÁLISIS POR VÍA SECA (COPELACIÓN - ENSAYE GRAVIMÉTRICO)

Equipos y materiales. Para realizar el ensaye de Au y Ag por vía seca (copelación) se utilizaron hornos de fundición y copelación, balanza analítica (mg) y microbalanza (μg), así como una parrilla de calentamiento, crisoles de cerámica, crisoles de barro de 50g, copelas de ceniza de hueso, lingotera, martillo, pinzas, granalla de plata, láminas de Pb grado reactivo, bórax, litargirio de tetra-óxido, harina de trigo y carbonato de sodio (Barefoot, 1989).

- a) Primeramente se realiza la preparación de la mezcla de fundente que contiene 1.2kg de litargirio de tetra-óxido, 0.44kg de carbonato de sodio, 0.061kg de harina de trigo y 0.24kg de bórax, perfectamente homogenizados.
- b) Para el proceso de copelación se vierten 45 a 60g de la preparación homogénea del fundente en un crisol de barro, al que posteriormente se le adicionan 20g de la muestra problema y para el caso del concentrado se realizan tres testigos para corroborar los datos. Para muestras de alta ley se agregan 10g y 20g para las de baja ley. Se agregan a continuación 0.2g de granalla de plata y 19g de bórax, mismos que se mezclan perfectamente. A esta mezcla posteriormente se agregan 9.2g de Pb reactivo y adicionalmente 38g de bórax sin agitar.
- c) Se identifican los crisoles y las copelas con gis y se ponen en el horno (mufla) a 920°C por 35 a 40 min.
- d) Al término de este tiempo se vierte el contenido de la copela de barro en una lingotera para que sea depositada la escoria y se deja enfriar (para reducir el tiempo de enfriamiento se deja caer un poco de la escoria sin llegar a tirar el regulo de plomo).
- e) Posteriormente al estar frío el producto se empieza a martillar la escoria para la recuperación de los regulos, posteriormente se les da la forma de cubo. Cada regulo de plomo debe de pesar entre 25g y 35g. (Cuando la muestra es de alta ley se procede a recuperar su escoria para repetir el proceso de fundición).

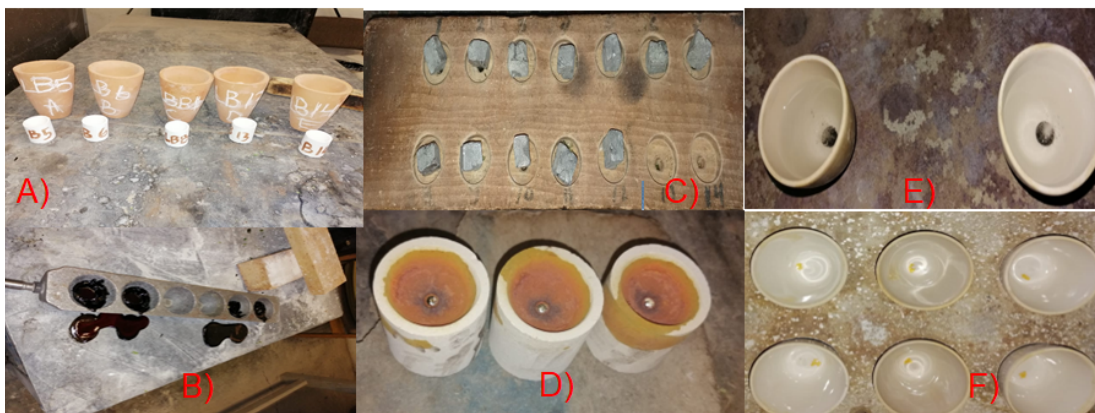


Figura 6. Se muestra el proceso de copelación A) Preparación de los crisoles de barro con las muestras y reactivos junto con su copela de hueso para meter a fundición, B) Escoria de fundición con el régulo, C) Palloneado del regulo a forma de cubo D) Presencia del doré en la copela de hueso E) Digestión del doré de color negro y burbujeando, indicador de presencia de oro F) El oro pasado por calcinación.

- f) El regulo formado se coloca dentro de las copelas de hueso sin sacarlas del horno y se deja copelar a 895°C por 35 a 40 minutos; posteriormente se verifica que se haga el doré con la formación del botón y se retira para proceder al limpiado con unas pinzas para retirarle restos de la escoria. Finalmente se pesa el botón en la microbalanza (μg).
- g) Se vierte el doré libre de escoria al crisol de cerámica y se agregan 10mL de HNO_3 al 30% y se coloca en la parrilla a una temperatura de 100°C, de esta manera se disuelve la plata y se separa del oro. Para saber si la muestra contiene oro, el doré al momento de la digestión empieza a burbujear tomando un color negro que es indicador de su presencia. El punto negro de oro se lava con agua destilada y se guarda el líquido de nitrato de plata para su posterior recuperación y reutilización.
- h) Posteriormente el oro que quedo en el crisol se introduce en el horno de copelación a una temperatura de 600°C para calcinarlo, lo que ocasiona el cambio de coloración de negro a amarillo-naranja.
- i) Finalmente se pesa el botón de oro en la microbalanza y por diferencia se obtiene el cálculo de la plata para su posterior recuperación:

$$Ag = (\text{Doré} - Au) - 0.200g \quad (\text{Figura 6}).$$

ANÁLISIS POR VÍA HUMEDA

Para realizar la disolución de las muestras se realizan dos procesos de digestión diferentes para analizar las muestras de oro y plata para su posterior análisis por la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), (Skoog, 2014).

Digestión para plata:

Materiales: Balanza analítica, vasos de precipitado de 150 ml, piseta, probeta graduada de 100ml, parrilla, ácido nítrico (HNO_3), ácido clorhídrico (HCl), ácido perclórico (HClO_4), agua destilada y un imán.

- a) Primeramente se pesa 1g de la muestra y se agrega a un vaso de precipitados de 250mL.
- b) Se coloca el vaso de precipitados en una parrilla a una temperatura de 150°C a 200°C y se le añaden 10mL de HCl concentrado para eliminar el exceso de hierro. Posteriormente se pasa un imán por debajo para observar que ya no presente magnetita y entonces se procede a realizar la digestión con agua regia preparando 10mL de HCl concentrado, 1 mL de HNO_3 y se agrega a continuación 1mL de HClO_4 , llegando hasta la sequedad en la parrilla (Figura 7).
- c) Posteriormente se prepara una probeta de 100mL con 10mL de HCl al 50% y 90mL de agua destilada que se le verterán a la muestra en seco que quedo en el vaso de precipitados y se agita, para pasar después a reposo por 10 minutos para que cualquier partícula en suspensión se decante. La solución queda lista para pasar al ensaye por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA).



Figura 7. Digestión con agua regia y ácido perclórico.

Digestión para Oro:

Materiales: Balanza analítica, vasos de precipitado de 150ml, piseta, matraz aforado de 25mL, probeta de 100mL, parrilla de calentamiento, HNO₃, HCl, agua destilada y un imán.

- a) Primeramente se pesan 2g de la muestra y se vierten a un vaso de precipitados.
- b) Se agregan 10mL de HCl concentrado, colocándola en la parrilla a una temperatura de 150°C a 200°C evitando las salpicaduras y sin llegar a sequedad.
- c) Posteriormente se hace una preparación de 90mL de agua destilada y 10mL de HCl concentrado que se le vierte a la muestra y se agita para posteriormente dejar en reposo por 24 horas para que los sólidos se decanten.
- d) Después se realiza el ataque ácido con agua regia a una temperatura de 100°C a 150°C hasta sequedad.
- e) Posteriormente se le agregan 10mL de HCl al 50% y 15ml de agua destilada al vaso de precipitados, se agita bien el concentrado y se afora a 25mL en un matraz aforado pasándolo por papel filtro sin dejar pasar sólidos. Posteriormente se agita la muestra y estará lista para ser analizada por EAA. En este caso se analizará cuatro veces la muestra juntando los resultados de las réplicas y los datos promedio, ya que tendrán que coincidir con los datos obtenidos por la copelación. De esta manera se evita un análisis erróneo por interferencia de hierro en la digestión, lo que ocasiona que los valores de Au se reporten elevados por este efecto (Medel, 2019).

RESULTADOS

Los resultados para Au y Ag obtenidos por copelación fueron los siguientes:

Tabla 1. Resultados obtenidos en el proceso de copelación oro (Au) y plata (Ag).

N°	ID. Muestra	Muestra (g)	Ag (g)	Pb (g)	Regulo (g)	Doré (g)	Au (g/ton)	Ag
								(ppm)
1	LB7	20.000	0.201	9.002	26.588	0.204	0.400	2.500
2	LB16	20.002	0.200	9.007	25.088	0.207	0.100	7.100
3	LBB1	20.000	0.202	9.006	26.399	0.205	0.150	2.400
4	LB10	20.000	0.201	9.001	25.663	0.204	0.300	2.200
5	LB3	20.002	0.201	9.004	27.922	0.205	0.500	3.800
6	LB5	20.003	0.204	9.005	25.649	0.208	0.100	3.800

7	LB13	20.001	0.201	9.002	28.873	0.204	0.500	2.000
8	LBBb1	20.001	0.202	9.010	25.924	0.205	0.100	2.400
9	LB6	20.004	0.202	9.006	25.965	0.205	0.200	2.300
10	LB14	20.003	0.201	9.009	26.708	0.204	0.100	2.700
11	LBBa2	20.009	0.201	9.500	25.559	0.205	0.200	3.500
12	LB15	20.006	0.205	9.582	25.318	0.225	0.100	19.800
13	LBBa1	20.009	0.202	9.553	25.671	0.214	0.100	12.300

Tabla 2. Resultados obtenidos en el proceso de digestión ácida para Au y Ag mediante el método de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA).

N°	ID. Muestra	Muestra para Ag (g)	Muestra para Au (g)	Au (g/ton)	Ag (ppm)
1	LB7	0.100	0.200	0.395	2.450
2	LB16	0.100	0.200	0.123	7.100
3	LBB1	0.100	0.200	0.149	2.380
4	LB10	0.100	0.200	0.295	2.168
5	LB3	0.100	0.200	0.450	3.750
6	LB5	0.100	0.200	0.950	3.800
7	LB13	0.100	0.200	0.500	1.998
8	LBBb1	0.100	0.200	0.100	2.395
9	LB6	0.100	0.200	0.195	2.297
10	LB14	0.100	0.200	0.950	2.700
11	LBBa2	0.100	0.200	0.200	3.494
12	LB15	0.100	0.200	0.100	19.780
13	LBBa1	0.100	0.200	0.100	12.300

Resultados por ICP para Fe, Zn, Pb y Cu en los sedimentos de arroyo

Tabla 3. Resultados obtenidos para metales base (Fe, Zn, Pb y Cu) por Plasma Inductivamente Acoplado (ICP).

N°	ID. Muestra	Fe (%)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)
1	LB7	15.053	73.608	72.198	70.743
2	LB16	15.438	59.869	75.179	51.638
3	LBB1	15.031	59.681	67.930	52.061
4	LB10	16.131	66.906	80.381	58.600
5	LB3	17.028	77.811	82.979	52.451
6	LB5	16.760	84.859	85.486	49.339

7	LB13	16.569	79.186	77.090	52.594
8	LBBb1	17.315	73.901	75.003	52.651
9	LB6	15.948	82.360	70.806	55.293
10	LB14	16.235	70.055	79.090	54.008
11	LBBa2	11.598	78.450	74.049	199.136
12	LB15	16.694	76.445	110.419	109.122
13	LBBa1	15.053	73.608	72.198	70.743

CONCLUSIONES

La técnica analítica por Vía Seca (Copelación, ensaye gravimétrico) resulta ser un método muy efectivo que da resultados tangibles y permite corroborar los resultados obtenidos por vía húmeda (EAA y/o ICP).

Las características del yacimiento de placer, motivo de estudio, y acorde con los datos obtenidos mediante las técnicas analíticas empleadas para Au y Ag, permiten argumentar que este sitio es interesante para explotar a cielo abierto aplicando tecnologías amigables con el medio ambiente, como los implementados en la Comunidad Europea y descritos por Viladevall (2004).

Los metales base analizados por ICP: Fe, Zn, Pb y Cu, muestran valores bajos en general; sin embargo, el volumen total de las arenas que entran al proceso de separación gravimétrica se enriquecen sustancialmente en varios órdenes de magnitud, tornándolos de interés.

El tratamiento de las arenas permite recuperar los minerales densos, dejándoles libres de éstos hasta con una eficiencia mayor al 95%.

Las arenas tamizadas y libres de los metales preciosos y nobles pueden ser comercializadas para la industria de la construcción, electrónica, cerámica, vidrio, abrasivos y demás aplicaciones industriales.

REFERENCIAS

- Arenas, J. M., Carrero, G., Galache, J., Mediavilla, C., & Silgado, A. (2001). Actuaciones realizadas tras el accidente de Aznalcóllar. *Boletín Geológico y Minero*, 35-56.
- Barefoot, J. V. (1989). *Analytical Methods for Geochemical Exploration*. San Diego, California (U.S.A.): Academic Press, Inc.
- INEGI (1999). Carta topográfica 1:50000, Trancas H13C58 (Chihuahua). 2da edición.
- Jack y Dangermond, L. (2018). ArcGIS (ArcMap 10.6.1) [Windows]. Redlands, California, Estados Unidos.
- Quijandria, S. (2016). *R-Chemical*. Obtenido de <https://www.r-chemical.com/el-cuardeo-un-muestreo-representativo/>
- Medel, M. A. (2019). Técnicas analíticas para análisis de oro y plata por vía húmeda y vía seca. . (E. A. Zúñiga, Entrevistador)
- Melendez, A. (1987). ASTM Standards Chemical Analysis Metals and Method-Bering Ores E-945, volume 03.05. U.S.A.: American Society for testing and Materials; Easton, Maryland.
- Skoog, W. (2014). *Fundamentos de Química Analítica*. México, D.F: CENGAGE.
- Viladevall-Solé, D. M. (2004). La prospección de placeres de oro y otros minerales densos. Obtenido de Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona: http://www.publicacions.ub.es/refs/pub_dig/pros_aluv.pdf

Utilización del método de FRX expreso para una caracterización más rápida y económica de los carbones procedentes de los depósitos en explotación en la Región Carbonífera de Coahuila. México

Piña Pachicano, J, A.¹, Barboza Martínez, G.¹, López Saucedo, F¹, Rodríguez Vega, A.¹.
¹Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos". Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Licenciado Adolfo López Mateos S/N; Nueva Rosita, Coahuila.
jpina@uadec.edu.mx

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo la implementación de una metodología que permita de manera muy rápida y económica la caracterización de los carbones procedentes de los depósitos de la Región Carbonífera de Coahuila, mediante la determinación previa de su composición química con ayuda de un equipo portátil de FRX, lo que permitiría en gran medida disminuir los relativamente altos costos y tiempo de realización de los "análisis próximos" para la caracterización del carbón mediante las técnicas tradicionalmente empleadas en los laboratorios de carbón. Con tales fines se llevaron a cabo las siguientes tareas:

- 1.- Determinación de la composición química promedio del carbón analizado, componentes mayores y traza mediante la técnica de FRX expreso.
- 2.- Determinación de los componentes mayores orgánicos e inorgánicos, expresados en forma de sus óxidos y carbón fijo, a partir de los cuales se determinaron los porcentajes correspondientes a los componentes mayores inorgánicos propios de la ceniza y materias volátiles acompañantes del carbón y los componentes mayores propios de la ceniza.
- 3.- Caracterización de la muestra de carbón a partir de los análisis próximos tradicionales en el laboratorio de carbón de la ESI-UADEC.
- 4.- Preparación de secciones pulidas para conteo de macerales y caracterización de la vitrinita con ayuda del microscopio petrográfico.

Los resultados obtenidos demuestran que la metodología propuesta permite obtener una caracterización de los carbones muy cercana a la que se logra mediante los resultados de los análisis próximos tradicionales con una notable disminución de los costos y del tiempo de realización, lo que redundaría en una toma más rápida de decisiones durante la extracción y procesamiento del carbón. Adicionalmente, la metodología propuesta

aporta importantes datos relacionados con los contenidos de elementos traza, que no son determinados por los análisis próximos, lo que pudieran ser de mucho interés desde el punto de vista ambiental y económico en la caracterización de los carbones.

Palabras claves: Región Carbonífera, carbón, FRX, elementos mayores y traza ceniza, materia volátil, análisis próximo.

ABSTRACT

The objective of this research is the implementation of a methodology that allows the characterization of the coals from the deposits of the Carboniferous Region of Coahuila very quickly and economically, through the prior determination of their chemical composition with the help of a FRX portable equipment, which would greatly reduce the relatively high costs and time of "proximal analysis" for the characterization of coal through the techniques traditionally used in coal laboratories. For these purposes the following tasks were carried out:

- 1.- Determination of the average chemical composition of the analyzed coal, major components and trace, using the express FRX technique.
- 2.- Determination of the major organic and inorganic components, expressed in the form of their oxides and fixed carbon, from which the percentages corresponding to the inorganic major components of the ash and volatile materials accompanying the coal were determined
- 3.- Characterization of the coal sample based on the traditional proximal analysis in the ESI-UADEC coal laboratory.
- 4.- Preparation of polished sections for maceral counting and vitrinite characterization with the help of the petrographic microscope.

The results obtained show that the proposed methodology allows to obtain a characterization of the coals very close to that achieved by the results of the traditional proximal analyzes with a notable diminution in the costs and time of realization, which would result in an take of decisions more rapidly during coal extraction and processing. Additionally, the proposed methodology provides important data related to the contents of trace elements, which are not determined by the next analysis, which could be of great

interest from the environmental and economic point of view in the characterization of the coals.

Keywords: Carboniferous region, coal, FRX, major elements and trace, ash, volatile matter, proximal analysis.

Área de trabajo, materiales y métodos

Durante la realización del presente trabajo, relacionado con el estudio experimental de una metodología encaminada a la caracterización de los carbones procedentes de la Región Carbonífera (Fig. 1), la cual posee los mayores recursos y reservas de carbón en el territorio mexicano, cuya producción se destina fundamentalmente a la generación de electricidad y a la producción de coke.



Figura 1. Ubicación de la Cuenca Carbonífera de Sabinas dentro de los límites del estado de Coahuila. Tomado de Corona Esquivel et al., 2006.

Las tareas llevadas a cabo en la presente investigación fueron las siguientes:

1.- Determinación de la composición química promedio del carbón analizado, componentes mayores y traza, a partir de tres mediciones con la ayuda de un microanalizador de Fluorescencia de Rayos X (FRX) marca Olympus INNOV.X, modelo DPO-2000-CC (Fig. 2), cuyos resultados aparecen reflejados la tabla 1.



Figura 2. Fotografía del microanalizador FRX marca Olympus INNOV.X, modelo DPO-2000-CC utilizado.

2.- Determinación de los componentes mayores orgánicos e inorgánicos, expresados en forma de sus óxidos y carbón fijo, a partir de los cuales se determinaron los porcentos correspondientes a los componentes mayores inorgánicos propios de la ceniza y materias volátiles acompañantes del carbón, tal y como se puede observar en la tabla 2.

3.- Caracterización de la muestra de carbón a partir de los Análisis Próximos aplicando la metodología tradicionalmente empleada por el laboratorio certificado de carbón de la ESI-UADEC a partir de la determinación del poder calorífico, la humedad, contenido de ceniza, contenido de azufre y la cantidad de los componentes volátiles, cuyos resultados aparecen reflejados en la tabla 3.

4.- Conteo de macerales y caracterización de la vitrinita con la ayuda de un microscopio LEICA DM 2500 P mediante el método de luz reflejada sobre superficies pulidas de briquetas del carbón estudiado previamente preparadas, cuyos resultados aparecen en la tabla 4. Esta tarea también contempla la obtención de microfotografías de campos representativos con el empleo de una cámara Leica acoplada al microscopio, las que se pueden apreciar en la figura 3.

Discusión de los resultados obtenidos y conclusiones

De acuerdo con los datos reflejados en la tabla 1, la composición Química fundamental de los carbones analizados está determinada por el contenido de elementos ligeros (LE) con un promedio de 90.9, determinada fundamentalmente por la presencia de carbono, acompañado de cantidades menores de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros elementos con números atómicos menores que 12. Sólo el 9.1% de la masa de los carbones está representada por elementos mayores como Si, Al, Fe, Ca, K, Na y Ti, además de oligoelementos y traza como S, P, Zr, Zn, Y, Th y U.

Como se puede observar en la Tabla 2, la sumatoria de los contenidos de los componentes mayores inorgánicos expresada en óxidos representan el 21.15%, correspondiente a ceniza, agua y gases del azufre (SO_3). Eliminando estos dos últimos componentes, la sumatoria de los restantes componentes mayores sería de 13.36, correspondiente a la cantidad de ceniza calculada en base a los resultados de los análisis de FRX, sólo ligeramente superiores a la determinada mediante los análisis próximos, con un valor de 11.37%

Tabla 1. Contenido promedio de componentes mayores y "traza" obtenidos a partir de tres análisis realizados a la muestra de carbón.

Contenido de elementos mayores en %				Promedio %	Contenido de elementos "traza" en ppm				Promedio ppm
LE	90.72	90.57	91.40	90.90	Zr	58	53	57	56
Si	3.14	3.04	3.00	3.06	Zn	10	13	7	10
Al	2.94	2.97	2.60	2.84	Y	18	17	19	18
S	1.66	1.77	1.60	1.68	Th	7	7	6	6.6
Fe	1.38	1.30	1.31	1.33	U	5	4	3	4
Ca	0.22	0.2	0.18	0.20	Rb	4	4	4	4
Ti	0.088	0.077	0.11	0.09	Pb	4	4	4	4
P	0.02	0.02	0.015	0.018	Sr	38	37	40	38
K	0.033	0.04	0.03	0.03					
Na	0.031	0.03	0.03	0.03					

De acuerdo con los componentes inorgánicos mayores que pasan a formar parte de la ceniza se puede estimar que la mayor parte de la misma estaría constituida por minerales arcillosos (alumosilicatos de aluminio hidratado) algo de óxidos e hidróxidos de fierro y una cantidad ínfima de cuarzo.

Tabla 2. Componentes mayores orgánicos e inorgánicos expresados en forma de carbono fijo y óxidos en %.

Componentes Mayores minerales y orgánicos %		Comp. minerales volátiles+ceniza %	Mayores	Componentes mayores minerales ceniza %	
Carbono	78.85	H ₂ O	3.59	SiO ₂	5.55
H ₂ O	3.59	SiO ₂	5.55	Al ₂ O ₃	5.37
SiO ₂	5.55	Al ₂ O ₃	5.37	Fe ₂ O ₃	1.90
Al ₂ O ₃	5.37	SO ₃	4.20	CaO	0.27
SO ₃	4.20	Fe ₂ O ₃	1.90	TiO ₂	0.15
Fe ₂ O ₃	1.90	CaO	0.27	P ₂ O ₅	0.04
CaO	0.27	TiO ₂	0.15	K ₂ O	0.04
TiO ₂	0.15	P ₂ O ₅	0.04	Na ₂ O	0.04
P ₂ O ₅	0.04	K ₂ O	0.04		Σ 13.36
K ₂ O	0.04	Na ₂ O	0.04		
Na ₂ O	0.04		Σ 21.15		

El contenido de azufre promedio determinado por FRX resultó ligeramente inferior al determinado mediante los análisis próximos, con valores de 1.68% y 1.83% respectivamente.

Tabla 3. Resultados del análisis próximo realizado a la muestra de carbón

Pcal	7521.94
Humedad	3.59%
Ceniza	11.37%
Azufre	1.83 %
M. V.	9.44

Tomando en consideración los datos obtenidos mediante los Análisis Próximos (Tabla 3) se puede determinar que la sumatoria de la humedad, cenizas y materia volátil (el contenido de azufre queda incluido en la materia volátil) es de 24.4%, lo que implicaría un contenido de carbono fijo de 75.6%, ligeramente inferior al 78.5% estimado a partir de los datos de FRX (Tabla 2).

Tabla 4. Datos obtenidos a partir del conteo de macerales y materia mineral realizado a la muestra de carbón.

Reflectancia promedio de la vitrinita 0.5696

Conteo de macerales y materia mineral

Vitrinita	Mat Mineral	Inertinita
74.74%	22.19%	3.05%

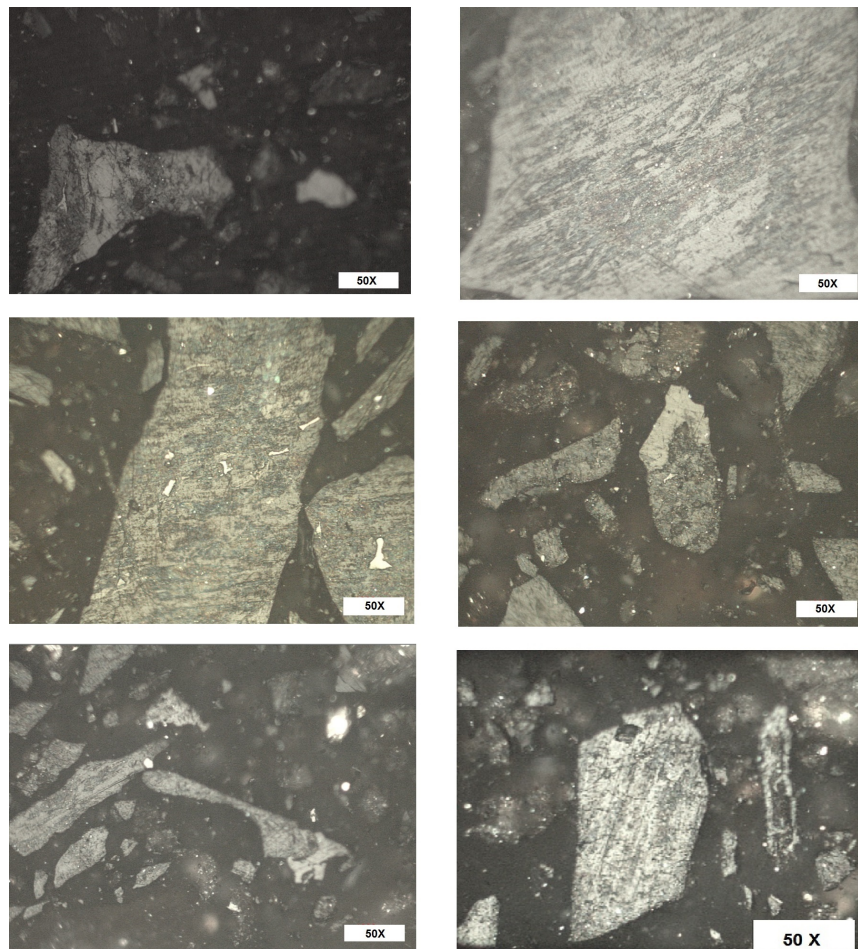


Figura 3. Microfotografías obtenidas a partir del conteo de macerales y medición de sus reflectancia realizados a la muestra de carbón.

Los datos de ceniza y carbón fijo estimados a partir de FRX y los análisis próximos guardan muy buena correspondencia con los resultados obtenidos mediante el conteo de macerales reflejados en la tabla 4, donde la sumatoria de vitrinita e inertinita se estima en 77.79%, bastante cercano a los contenidos de carbón fijo estimados a partir de los

datos de FRX y los análisis próximos, mientras que el contenido de materia mineral (22.19%) concuerda con los estimados a partir de los datos de FRX (21.15%) y los análisis próximos (24.4 %).

CONCLUSIONES

1.- Los resultados obtenidos demuestran que la metodología propuesta permite obtener una caracterización de los carbones muy cercana a la que se logra mediante los resultados de los análisis próximos tradicionales con una notable disminución de los costos y del tiempo de realización, lo que redundaría en una toma más rápida de decisiones durante la extracción y procesamiento del carbón.

2.- Como ventaja sobre la metodología basada en la realización de "Análisis Próximos", la propuesta aporta importantes datos relacionados con los contenidos de elementos traza, lo que pudieran ser de mucho interés desde el punto de vista ambiental y económico en la caracterización de los carbones.

REFERENCIAS

- Corona Esquivel R. et al., Geología, estructura y composición de los principales yacimientos de carbón mineral en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen Conmemorativo del Centenario. Revisión de Algunas Tipologías de Depósitos Minerales de México. Tomo LVII núm. 4, 2006, p.141-160.
- Corona M., et al., Caracterización de carbones de la Región Carbonífera de Coahuila (México) para la determinación dispersión, formas geométricas, concentración y tipos de azufre presentes. Revista Colombiana de Materiales N. 5pp. 84-90 Edición Especial Artículos Cortos 84.

file:///C:/Users/ANTONIO/Downloads/19347-69217-1-PB.pdf.

<http://www.factoria3.com/documentos/CARBON%202.pdf>

