

INAGEQ



Cuernavaca 2013

ACTAS INAGEQ

Vol. 19, No. 1, Octubre 2013

**Número especial dedicado al
XIII Congreso Nacional de Geoquímica**

Editores:

**Lorena Díaz González
Facultad de Ciencias**

**Bodo Weber
CICESE**

Cuernavaca, Morelos

del 14 al 17 de Octubre de 2013



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS**

**Facultad
de Ciencias**

INAGEQ
Instituto Nacional de Geoquímica

40
CICESE
Aniversario



**Instituto de
Energías
Renovables**

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Dr. Jesús Alejandro Vera Jiménez – Rector
Dr. Gustavo Urquiza Beltran – Secretaría de Investigación
Dr. Luis Manuel Gaggero Sager- Director

INSTITUTO NACIONAL DE GEOQUÍMICA
MESA DIRECTIVA

Presidente: Dr. Bodo Weber (CICESE)
Secretario: Dr. Kinardo Flores Castro (UAEH)
Tesorero: Dr. Thomas Kretzschmar (CICESE)

XXIII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA

COMITÉ ORGANIZADOR
Lorena Díaz González – Secretaria de Eventos
Dr. Bodo Weber
Dr. Thomas Kretzschmar



PRÓLOGO

La Facultad de Ciencias (antes Escuela de Ciencias), que conmemora sus 21 años de su creación, tiene el enorme gusto de haber sido nombrado sede del XXIII Congreso Nacional de Geoquímica.

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

Este volumen digital de Actas INAGEQ incluye los resúmenes en extenso de las conferencias magistrales, así como los resúmenes de los trabajos a presentarse en el Congreso. Se incluyen de esta manera 5 resúmenes correspondientes a las conferencias magistrales, así como 53 resúmenes. Todas estas contribuciones científicas describen temas geoquímicos de actualidad que se desarrollan en las principales instituciones de investigación de nuestro país. Los trabajos presentados en el XXIII Congreso Nacional de Geoquímica se dividieron en nueve sesiones que se denominan: (i) hidrogeoquímica (2 sesiones); (ii) ambiental (2 sesiones); (iii) sedimentología y petróleo; (iv) mineralogía; (v) métodos analíticos; (vi) geotermia; y, (vii) petrología ígnea. Asimismo, incluimos dos sesiones especiales: (i) “cien años de geocronología en el mundo – México ¿dónde estamos?”; y, (ii) “contribuciones para el avance de la nueva ciencia geoquimiometría en México”.

Finalmente, a nombre del Comité Organizador del Congreso, agradecemos a la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, y a sus autoridades, su hospitalidad y el apoyo logístico para la preparación de este material digital, así como para la organización y el desarrollo del Congreso en sus instalaciones. Asimismo, manifestamos nuestro agradecimiento al Lic. Mauricio Rosales Rivera (Posgrado en Ciencias, UAEM) y a José Raúl García Giles (Licenciatura en Ciencias UAEM) por su gran apoyo y solidaridad en la organización de este congreso. Así también agradecemos al Dr. Surendra Pal Verma (IER-UNAM) por su invaluable apoyo en diversas actividades de logística y en la expedición de las facturas electrónicas. Al Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez (IER-UNAM) y a la Mireya Gally Jordá (IER-UNAM) por su apreciable ayuda en el evento cultural. Asimismo, estamos muy agradecidos con la M. en C. Mirna Guevara García (IER-UNAM) por su ayuda desinteresada en la actualización de la página web del INAGEQ y por su apoyo en diversos detalles de la logística del este congreso. Finalmente, agradecemos el apoyo logístico a la C.P. Rebeca Hernández (UAEM) administradora de la Facultad de Ciencias.

Comité Editorial del Congreso
Lorena Díaz González – UAEM.
Dr. Bodo Weber – CICESE.



C O N T E N I D O

SESIÓN I: HIDROGEOQUÍMICA

CALIDAD DEL AGUA, REFERIDA A LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DE CONCRETO. Luis Emilio Rendón Díaz Mirón	<u>2</u>
EVIDENCIAS GEOQUÍMICAS DE CONTAMINACION ANTROPOGÉNICA EN ACUÍFEROS COSTEROS. Concepción Carreón-Diazconti, Jorge Ramírez-Hernández, Eliana Rodríguez-Burgueño	<u>3</u>
PALEOMANANTIALES EN EL DESIERTO DE CATAVIÑÁ: REGISTRO CLIMÁTICO EN BAJA CALIFORNIA. Halina D. Meza-Camacho ⁽²⁾ , Stephen T. Nelson, Jorge Ledesma-Vazquez, Bodo Weber, Gabriel Rendón-Márquez, Concepción Carreón-Diazconti	<u>5</u>
COMPOSICIÓN HIDROGEOQUÍMICA E ISOTÓPICA DE ACUÍFERO DEL VALLE DE CABORCA, SONORA. Thomas Kretzschmar, Luis Duarte, Rufina Hernández, Cesar Valenzuela, Jesús Valenzuela	<u>7</u>
HUELLA HÍDRICA GRIS DE LOS NUTRIENTES DESCARGADOS EN UNA CUENCA HIDROLÓGICA. Ma. Teresa Rivas-Valdés ⁽²⁾ , Anne M. Hansen	<u>9</u>
EVALUACIÓN DE LA CARGA INTERNA DE FÓSFORO EN UN CUERPO DE AGUA. Henri Márquez-Pacheco ⁽³⁾ , Anne M. Hansen	<u>15</u>
EVALUACIÓN DE CARGAS DE NUTRIENTES A UN CUERPO DE AGUA DENTRO DE UNA CUENCA HIDROLÓGICA CONSIDERANDO LA ATENUACIÓN NATURAL. Gonzalo Jayme Torres ⁽²⁾ , Anne Hansen	<u>17</u>
IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN SEDIMENTOS DEL RÍO APATLACO. Axel Falcón-Rojas ⁽²⁾ , Carlos E. Corzo-Juárez, Anne M. Hansen	<u>19</u>

SESIÓN II: HIDROGEOQUÍMICA (continuación)

DINÁMICA DEL ARSÉNICO EN AGUAS DE POZOS Y SEDIMENTOS DEL DISTRIBUIDOR GENERAL DE AGUA POTABLE DE ZIMAPÁN, HIDALGO, MÉXICO. Francisco Prieto García	<u>22</u>
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA E ISOTOPIA ESTABLE DE LOS ACUÍFEROS DEL VALLE DE BUENAVISTA Y VALLE DE AMAZCALA. Eliseo Hernández, Gilles Levresse, Dora Carreón-Freyre, Audel Torres	<u>23</u>
CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DEL AGUA DE RIEGO EN EL VALLE DE SANTO DOMINGO, B.C.S. ENTRE 1986 Y 2012.	<u>30</u>



Jobst Wurl, Ramos Velázquez, Genaro Martínez Gutiérrez, Gustavo Mercado Mancera

ACUMULACIÓN HISTÓRICA DE METALES PESADOS EN DOS CUERPOS DE AGUA. 35
Mariana Veira⁽²⁾, Anne M. Hansen, Isabel Israde

DISTRIBUCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DE LA PARTE SUR DEL DISTRITO MINERO EL TRIUNFO-SAN ANTONIO, B.C.S., MÉXICO. 37

Jobst Wurl, Lia Mendez-Rodriguez, Baudilio Acosta-Vargas, Ernesto Ramos Velázquez, Genaro Martínez Gutiérrez

SESIÓN III: AMBIENTAL

NIVELES DE MERCURIO EN SUELO Y RESIDUOS DE AMALGAMACIÓN REPROCESADOS EN CEDRAL, SAN LUIS POTOSI. 40
Adriana K. Leura-Vicencio⁽³⁾, Israel Razo-Soto, Javier Castro-Larragoitia, Catalina. Alfaro-De la Torre, L. Carrizales-Yañez, I. Montes-Ávila

METODOLOGÍA PARA ESTABLECER LA RELACIÓN DEL MERCURIO TOTAL CON PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN SAN JOAQUÍN, QRO., MÉXICO 42

Sergio Martínez-Trinidad, Gilberto Hernández-Silva, Silke Cram Heydrich

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO POR MATERIALES PÉTREOS 49
Liliana Rodríguez Flores⁽²⁾, Yolanda Marmolejo Santillán, Fidel Pérez Moreno, Araceli Castañeda Ovando, Araceli Sierra Zenteno, Kinardo Flores Castro, José Luis Cadena Zamudio

VARIACION ESPACIAL DE FUENTES DE ALTA CONCENTRACIÓN DE MANGANESO Y SECTORIZACIÓN DE RIESGO AL CONSUMO HUMANO EN FUNCION DEL FLUJO SUBTERRÁNEO 54

Norzagaray Campos M., Llanes Cárdenas O., *Contreras García J.A⁽¹⁾., Muñoz Sevilla P., Ladrón de Guevara Torres M., Ruiz Guerrero R.

EFFECTOS DAÑINOS EN EL APRENDIZAJE DE INFANTES POR CONSUMO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON PRESENCIA DE MANGANESO EN LA CUENCA DEL RÍO SINALOA, MÉXICO. 61

Llanes Cárdenas O., Norzagaray campos M., *Patiño Camacho E⁽¹⁾., Muñoz Sevilla P., Ladrón de Guevara Torres M., Ruiz Guerrero R.

ISÓTOPOS DE Pb COMO TRAZADORES DE FUENTES DE METALES Y METALOIDES EN EL DISTRITO MINERO SAN ANTONIO-EL TRIUNFO, BAJA CALIFORNIA SUR. 68

Leopoldo Gutiérrez Caminero, Bodo Weber, Jobst Wurl Mariela Carrera Muñoz

SESIÓN IV: AMBIENTAL (continuación)

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL TRATAMIENTO PASIVO DEL DRENAJE ÁCIDO EN TAXCO-GUERRERO 71

Daniel Corrales Pérez⁽³⁾, Francisco Martín Romero.

DETERMINACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO BRAVO/RÍO GRANDE, MEDIANTE EL PROGRAMA DE CÓMPUTO IHA, POR LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DEL ELEFANTE 79

René Holguín Hernández, Jorge A. Salas Plata Mendoza, Angelina Domínguez Chicas, Héctor Quevedo Urías

GEOQUÍMICA Y MINERALOGÍA DE JALES MINA AURORA, DISTRITO MINERO XICHÚ, GUANAJUATO, MÉXICO Érik Salas, Alejandro-Carrillo, Tammie-Gerke, Gilles-Levresse	<u>80</u>
USO DE ISOTOPOS ESTABLES DE C Y N EN LA DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL HUMEDAL CIÉNEGA DE TAMASOPO Filiberta Virginia Pérez Castillo ⁽³⁾ , Ma. Catalina Alfaro de la Torre	<u>82</u>

SESIÓN V: SEDIMENTOLOGÍA Y PETROLEO

ESTUDIO DE GEOQUÍMICA ORGANICA E INORGÁNICA EN UNA ARENISCA EÓLICA DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA EL PINACATE Y GRAN DESIERTO DE ALTAR, NW DE SONORA, MÉXICO Francisco A. Paz-Moreno, Kinardo Flores-Castro, Ma Cristina Peñalba-Garmendia, Jorge A. Santiago-Bautista, Juan C. Durán-Álvarez, Ma Fernanda Solís-Limón	<u>84</u>
LA LUTITA NEGRA DE LA FORMACIÓN LA CASITA (JURÁSICO SUPERIOR), SIERRA MADRE ORIENTAL. Fernando Velasco Tapia, Mauro Eleazar López Medina, Gabriel Chávez Cabello, Kinardo Flores Castro	<u>88</u>
DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ORGANICOS EN EL BITUMEN DE ROCAS SEDIMENTARIAS POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS Patricia Candelaria Montiel García, Mara Cassandra Quiroz Acuña, Kinardo Flores Castro, Evodio Pedro Castañeda Ovando, Enrique Cruz Chávez, José Cruz Escamilla Casas	<u>89</u>
INFLUENCIA DE LAS FUENTES GEOTERMALES SOBRE LA GEOQUÍMICA DE LA COLUMNA SEDIMENTARIA EN EL MANGLAR DE SANTISPAC (BAHÍA CONCEPCIÓN, GOLFO DE CALIFORNIA) María Luisa Leal Acosta, Evgueni Choumiline, Rosa María Prol Ledesma, José Manuel Borges Souza	<u>96</u>
CORRELACIÓN PALEOAMBIENTAL DE LA SIERRA BANCO EL LUCERO, CHIHUAHUA Y SIERRA LAS AZULES, SONORA., MEDIANTE ANÁLISIS Jorge Santiago ⁽²⁾ , Kinardo Flores-Castro, Rogelio Monreal	<u>98</u>
PROPIEDADES DEL CARBÓN DEL ÁREA DE NUEVA ROSITA, COAHUILA, PARA LA PRODUCCIÓN DE COQUE Noé Piedad-Sánchez, José Luis Muñoz-García, Sergio Garza-Blackaller, Gabriel Chávez-Cabello, Pascual Bartolo-Pérez, Aurora Patricia Rodríguez-Monreal, Eduardo González-Partida, Rodolfo Corona-Esquivel, Marina Vega-González, Griselda Ibarra-Escalante, Edgar Rodolfo San Miguel-Sotelo, Mitzué Garza-García	<u>103</u>
CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS YACIMIENTOS ARENAS B Y BASAL LA ROSA DEL ÁREA VLA0016 / VLA0033, AL NORTE DEL BLOQUE I EN LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO Deiby Gómez, Jhoan Urdaneta	<u>110</u>
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR MODELING A ADSORPTION PROCESSES FOR GASOLINE OCTANE NUMBER IMPROVEMENT R. A. Conde-Gutierrez ⁽²⁾ , A. Bassam, G. Laredo, J. A. Hernandez	<u>123</u>

SESIÓN VI: MINERALOGÍA

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA (DRX, IR, SEM) DE LOS SULFATOS SUPERFICIALES DE DOS JALES HISTÓRICOS DEL DISTRITO DE TAXCO	<u>125</u>
--	------------



Adriana Gómez-Cruz⁽¹⁾, Teresa Pi-Puig

MINERALOGÍA Y GEOCROLOGÍA DE FILOSILICATOS ASOCIADOS A LA FALLA CHUPADERO Y SU RELACIÓN CON EL CPCM Y LA ACRECIÓN DEL TERRENO GUERRERO 127

Diana E. Garduño-Martínez⁽²⁾, Teresa Pi-Puig, Jesús Solé-Viñas, Michelangelo Martini, Jorge R. Alcalá-Martínez

EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA Y GEOFÍSICA DE LA MINERALIZACIÓN DE Fe-Cu (Au) ASOCIADA AL SKARN DE LA MINA "EL REFUGIO", JACALA, HIDALGO (MÉXICO) 129

Kinardo Flores, María Elena Balderas, Francisco A. Paz, José Luis Cadena, Màrius Ramírez, Noé Piedad, Eleazar Salinas, Carlos Esquivel

SESIÓN VII: MÉTODOS ANALÍTICOS

INITIAL RESULTS OF THE NEW 1MV MULTIELEMENT AMS SYSTEM AT THE IFUNAM 132

Corina Solís, Alejandro Guízar Méndez, Javier Aragón Navarro, y Miguel Ángel Martínez

OPTIMIZACIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO (EGP), UTILIZANDO EL MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO BCR-723 (ROAD DUST) ADICIONADO A UN FILTRO 134

Elizabeth Hernández Álvarez, Ofelia Morton Bermea, Lida Martínez Trejo, y Omar Amador Muñoz

ADSORBENTES NATURALES APLICADOS AL TRATAMIENTO DE AGUA CONTAMINADA CON Pb Y Cr 140

Pamela Sierra-Trejo, Yolanda Marmolejo-Santillán, Fidel Pérez-Moreno, Kinardo Flores-Castro, Francisco Prieto-García, Claudia Romo-Gómez, José Luis Cadena-Zamudio

EL USO DE LA CÁSCARA DETORONJA PARA LA ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN 145

Leticia Torres, Damaris Arévalo, Juan F. Cárdenas, María de Guadalupe Moctezuma, Víctor Manuel Martínez, Ismael Acosta

IMPLICACIONES BIOGEOQUÍMICAS DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESERVADOS EN MADERA FÓSIL DE CONÍFERA DEL CRETÁCICO SUPERIOR DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE 152

Minerva Lugo, Kinardo Flores, Emilio Estrada, Jesús Martín Torres, Juan Carlos Durán, Carlos Esquivel y Delia Mendoza

SESIÓN VIII: GEOTERMIA

CHEMICAL GEOTHERMOMETRY IN EVALUATION OF GEOTHERMAL RESERVOIR 155

CHARACTERISTICS: A THERMODYNAMIC POINT OF VIEW

Mahendra P. Verma, Klaus Betzler

ROCK MAGNETIC PARAMETERS OF VOLCANIC ROCKS IN GEOTHERMAL AREAS: APPLICATION POTENTIAL IN IDENTIFICATION OF ZONES OF HYDROTHERMAL ALTERATION. 162

Kailasa Pandarinath, Rajasekhariah Shankar, Eduardo González-Partida

AN EVALUATION OF SOLUTE MULTICOMPONENT GEOTHERMOMETRY USING ADVANCED GEOCHEMICAL MODELING: APPLICATION TO LOS AZUFRES GEOTHERMAL FIELD, MICHOACÁN (MÉXICO) 164

L. Peiffer, E. Santoyo, M. Guevara

E. Santoyo-Castelazo, E. Santoyo

SESIÓN ESPECIAL: “CIEN AÑOS DE GEOCRONOLOGÍA EN EL MUNDO – MÉXICO ¿DÓNDE ESTAMOS?”

LA GEOQUÍMICA ISOTÓPICA Y LA GEOCRONOLOGÍA EN MÉXICO: HISTORIA Y AVANCES 170
RECIENCTES
Peter Schaaf

PROTOLITOS DEL MESOPROTEROZOICO TEMPRANO EN GRANULITAS DEL SE DE MÉXICO Y SUS 171
IMPLICACIONES AL CONCEPTO DE OAXAQUIA – EVIDENCIAS CON ISÓTOPOS DE U-PB Y LU-HF
EN ZIRCÓN
Bodo Weber, Carlos Schulze

GEOCRONOLOGÍAS DE RADIOCARBONO RELEVANTES PARA EL CUATERNARIO TARDÍO EN 173
MÉXICO
Laura E. Beramendi Orosco, Galia González Hernández

FECHAMIENTO U/PB IN-SITU DE MINERALIZACIÓN DE URANIO EN EL DISTRITO DE PLACER DE 174
GUADALUPE CHIHUAHUA
Villareal J₍₃₎., Levresse, G., Alexandre P., Nieto-Samaniego A., y Corona-Esquivel, R.

NEW Re/Os AGES IN ANTIMONITE FOR THE WADLEY Sb DEPOSITS, MEXICO 181
Levresse, G., Mascuñano, E., Reisberg, L., Tritlla, J., Cardellach, E., Corona-Esquivel, R.

NUEVA EVIDENCIA GEOCRONOLÓGICA DE LA PARTE SUR DEL COMPLEJO DEL MACIZO DE 187
CHIAPAS – IMPLICACIONES PARA EL ORIGEN Y LA EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL BLOQUE MAYA
Bodo Weber, Román Manjarrez-Juárez, Reneé González-Guzmán

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA E ISOTÓPICA (Lu-Hf y Sm-Nd) DEL BASAMENTO CRISTALINO 189
EN EL COMPLEJO EL TRIUNFO, SURESTE DEL MACIZO DE CHIAPAS
Reneé González-Guzmán₍₃₎, Bodo Weber, Luigi Solari, Peter Schaaf, Mariela Carrera-Muñoz, Uriel Román
Manjarrez-Juárez, Juliana Estrada-Carmona

SESIÓN IX: PETROLOGÍA ÍGNEA

ANORTOSITAS PALEOZOICAS ASOCIADAS A DEPÓSITOS DE ILMENITA-RUTILO EN EL COMPLEJO 193
MACIZO DE CHIAPAS, MÉXICO
Alejandro Cisneros De León₍₃₎, Fernando Ortega-Gutiérrez, Bodo Weber, Luigi Solari, Peter Schaaf, Roberto
Maldonado

ESTUDIO GEOQUÍMICO Y TEMPORAL DE LOS EVENTOS MAGMÁTICOS EN LA MINA EL 194
CASTILLO, MPIO. DE SAN JUAN DEL RÍO, DURANGO, MÉXICO: UNA EVIDENCIA DEL PASO DE LA
SUBDUCCIÓN A LA DISTENSIÓN DURANTE EL Terciario
Francisco A. Paz-Moreno, Alberto Orozco-Garza, Alma Valadéz-Espinoza, Alexander Iriondo, Saul Herrera-
Urbina

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LA TOBA DE TEZOANTLA COMO ALTERNATIVA 198

TECNOLÓGICA EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

Ester M. Magos⁽³⁾, Kinardo Flores, Màrius Ramírez, Francisco J. Olgúin, Armando Ramírez, José Luis Cadena, Edgar Cardoso, Juan Hernández

VOLCÁN ÑADÓ: UN COMPLEJO VOLCÁNICO EFUSIVO AL NORTE DEL GRABEN DE ACAMBAY 203
Castro-Segura Javier⁽¹⁾, Cabrera Román Jesús, Valdez-Moreno Gabriel, y Arce José Luis

SESIÓN ESPECIAL: “CONTRIBUCIONES PARA EL AVANCE DE LA NUEVA CIENCIA GEOQUIMIOMETRÍA EN MÉXICO.”

RENOVACIÓN DE LA CIENCIA GEOQUÍMICA COMO GEOQUIMIOMETRÍA: DIAGRAMAS DE DISCRIMINACIÓN TECTONOMAGMÁTICAS MULTIDIMENSIONALES. 206

Surendra P. Verma

APLICACIÓN DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE DISCORDANCIA Y SIGNIFICANCIA EN LA COMPARACIÓN DEL VULCANISMO DACÍTICO DE LA PARTE CENTRAL DE CINTURÓN VOLCÁNICO MEXICANO. 210

Lorena Díaz-González, René Cruz-Huicochea

EVALUACIÓN DE LAS PRUEBAS DE DISCORDANCIA POR MEDIO DE LA SIMULACIÓN TIPO MONTE CARLO, CON CONTAMINACIÓN MÚLTIPLE PARA DATOS UNIVARIADOS. 211

Mauricio Rosales-Rivera⁽²⁾, Lorena Díaz-González, Surendra P. Verma

MONTE CARLO COMPARISON OF MEAN WITH MEDIAN AND STANDARD DEVIATION WITH MEDIAN ABSOLUTE DEVIATION FOR STATISTICALLY CONTAMINATED SAMPLES OF SIZE 5-20 AND APPLICATION FOR HANDLING TRACE ELEMENT CONCENTRATIONS IN INTERNATIONAL GEOCHEMICAL REFERENCE MATERIALS. 214

José Raúl García-Giles⁽¹⁾, Lorena Díaz-González, Surendra P. Verma

SESIÓN I

HIDROGEOQUÍMICA

CALIDAD DEL AGUA, referida a la infraestructura hidráulica de CONCRETO

Luis Emilio Rendon Díaz Mirón

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnahuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec,
Morelos, México 62550 e-mail lerendon@tlaloc.imta.mx

Es el agua sin lugar a duda uno de los factores primordiales para la vida, su manejo y almacenamiento es una de las principales preocupaciones de la sociedad, por eso desde los orígenes de la humanidad los primeros asentamientos humanos se hicieron a la orilla de los ríos, lagos, manantiales o cualesquier otra fuente que pudiera garantizar su acceso en la cantidad y calidad requerida, con el tiempo fue necesario complementar las fuentes de agua con una infraestructura que proveyera y almacenara el vital liquido a los asentamientos urbanos donde quiera que estos se localizaran.

El hombre siempre ha pensado que lo natural es mejor, algunas personas piensan que no se debe beber del agua almacenada en tanques de plástico, porque el agua huele a plástico y es imbebible, los sistemas de almacenamiento de asbesto cemento han adquirido una mala reputación de ser carcinogénicos, los depósitos de acero inoxidable que son considerados los más higiénicos para el vital fluido, son muy caros. Un depósitos de material mucho más barato, es sin lugar a duda un recipiente de concreto, bien construido y bien aplanado, esto podría ser lo mas cercano a ese recipiente ideal tan deseado para conservar el agua con sus mejores características, para todo uso urbano incluyendo incluso agua para beber, en general, es común pensar que un buen tanque hace del agua lo que puede ser tu mejor amigo o el peor enemigo.

Se entiende por obra hidráulica o infraestructura hidráulica las construcciones, en el campo de la ingeniería civil, donde los elementos dominantes son el agua y el concreto. De las obras hidráulicas, la gran mayoría esta hecha de concreto, y constituyen un conjunto de estructuras construidas con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa.

EVIDENCIAS GEOQUÍMICAS DE CONTAMINACION ANTROPOGÉNICA EN ACUÍFEROS COSTEROS

Concepción Carreón-Diazconti*, Jorge Ramírez-Hernández, J. Eliana Rodríguez-Burgueño

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y calle de la Normal s/n, Col. Insurgentes Este, C.P. 21280, Mexicali, Baja California, México.

[*ccarreond@uabc.edu.mx](mailto:ccarreond@uabc.edu.mx)

RESUMEN

Los acuíferos costeros de la Baja California son pequeños y se localizan en zonas semiáridas, están asociados con depósitos aluviales de corrientes efímeras con pendientes pronunciadas, y de ellos depende una industria agrícola de relevancia internacional y las poblaciones vinculadas. Tratándose de una región con antecedentes de intrusión marina (CONAGUA, 2012), resulta imprescindible mantener una estrecha vigilancia sobre la calidad de su agua subterránea, así como determinar los procesos que contribuyen a su deterioro. Esta evaluación resulta más significativa cuando se consideran los desafíos que los acuíferos costeros enfrentan ante las cambiantes condiciones climáticas mundiales. Utilizando herramientas hidrogeoquímicas tales como relaciones iónicas, gráficas de concentración, diagramas geoquímicos y datos isotópicos, se ha logrado determinar la influencia de procesos diferentes a la intrusión marina simple en la calidad del agua subterránea de la región. Evidencias tales como altas concentraciones de algunos componentes, relaciones iónicas discordantes, gráficas y diagramas diferentes a los esperados para intrusión marina simple y caótico enriquecimiento isotópico, en conjunto con la observación de campo, indican que la inadecuada disposición de residuos de diversos orígenes está afectando seriamente a los acuíferos, acelerando su salinización. Entre los procesos identificados, no reportados previamente en la zona, sobresale la descarga en superficie de aguas de rechazo de plantas desalinizadoras. La alteración en los parámetros fisicoquímicos resultante de este proceso ha afectado al agua de pozos relativamente distantes de la línea de costa, sin embargo, el fenómeno pudo ser identificado mediante la combinación de herramientas hidrogeoquímicas.

CONCLUSIONES

El manejo inadecuado de los residuos de diversos orígenes está acelerando el deterioro de la calidad del agua subterránea en la zona costera de la Baja California. La descarga descontrolada de aguas de rechazo de plantas desalinizadoras es un proceso clandestino y relativamente novedoso que contribuye significativamente a la salinización de los

acuíferos costeros. Este proceso puede ser identificado mediante la combinación de las herramientas hidrogeoquímicas disponibles actualmente.

REFERENCIAS

Comisión Nacional del Agua, 2012. Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., 126 p.p.

PALEOMANANTIALES EN EL DESIERTO DE CATAVIÑÁ: REGISTRO CLIMÁTICO EN BAJA CALIFORNIA

Halina D. Meza-Camacho^a, Stephen T. Nelson^b, Jorge Ledesma-Vazquez^d, Bodo Weber^c, Gabriel Rendón-Márquez^c y Concepción Carreón-Díazconti^{a*}

^aInstituto de Ingeniería, UABC, Ave. A. Obregón s/n, Col. Nueva, 21100, Mexicali, B.C., México.

^bDepartamento de Ciencias Geológicas, Brigham Young University. S389 ESC Provo, UT. 84602, U.S.A.

^cDepartamento de Geología, CICESE, Carr. Ens-Tij 3918, Frac. Playitas, 22860, Ensenada, B.C. México.

^dFacultad de Ciencias Marinas, UABC, Carr Ens-Tij 3917, Frac. Playitas, 22860, Ensenada, B.C. México.

[*ccarreond@uabc.edu.mx](mailto:ccarreond@uabc.edu.mx)

RESUMEN

Los manantiales desérticos son altamente sensibles a los cambios en la humedad de una región. A su vez, los depósitos de paleomanantiales son sistemas fósiles que, cuando pueden ser datados, componen un registro del que se logran inferir los periodos de abundante precipitación efectiva. Algunos depósitos calcáreos han sido utilizados para reconstruir dichos eventos en los desiertos de Atacama, Mohave y Sonora (Pigati et al., 2009; Quade et al., 2008). En la porción central del Estado de Baja California, al norte del desierto de Cataviñá, se ubica la zona conocida como El Mármol-El Volcán, la que contiene abundantes depósitos calcáreos y algunos manantiales activos. La estructura de estos depósitos indica que las descargas se han activado periódicamente en respuesta a las variaciones climáticas de la zona durante el Cuaternario. Utilizando una metodología similar a la de Miner et al (2007), la que consiste en análisis de series de Uranio, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, d^{13}C y d^{18}O en depósitos de paleomanantiales, se propone determinar los periodos más importantes de descargas de agua subterránea en el pasado de la región y las interacciones agua-roca. Con estas herramientas se ha podido corroborar la existencia de al menos dos eventos de precipitación efectiva bien diferenciados. El primero, representado por depósitos de travertinos limpios, cuyo origen se extiende entre los 120 y 130 millones de años y está relacionado con una ruta de flujo profunda y, por lo tanto, de alta temperatura. El segundo, corresponde a depósitos de tufa diatomácea con abundantes terrígenos y una edad de origen que se extiende desde hace aproximadamente 20 millones de años hasta el presente.

CONCLUSIONES

Se concluye que los depósitos de paleomanantiales de El Mármol-El Volcán son adecuados para la determinación de eventos de precipitación efectiva en Baja California, que al menos dos eventos significativos han sido registrados por los paleodepósitos y que al menos dos rutas de flujo se han mantenido constantemente activas.

REFERENCIAS

1. Miner R.E., Nelson S.T., Tingey D.G., Murrell M.T. J. Quat. Sci. 22:4, 373 (2007).
2. Pigati J.S., Bright J.E., et al. Quat. Sci. Rev. 28:3-4, 286 (2009).
3. Quade J., Rech J.A., et al. Quat. Res. 69: 343 (2008).

Composición hidrogeoquímica e isotópica de acuífero del Valle de Caborca, Sonora

Thomas Kretzschmar^{a*}, Luis Duarte^b, Rufina Hernández^c, Cesar Valenzuela^d, Jesús Valenzuela^e

^a Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carret Ensenada –Tijuana No 3918, Fracc. Zona Playitas. Ensenada 22860, México.

^b Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carret Ensenada –Tijuana No 3918, Fracc. Zona Playitas. Ensenada 22860, México.

^c Departamento de Microbiología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carret Ensenada –Tijuana No 3918, Fracc. Zona Playitas. Ensenada 22860, México.

^d INIFAP, Sitio Experimental Costa de Ensenada, Ensenada, Baja California, México.

^e INIFAP, Sitio Experimental Caborca, Caborca, Sonora, México.

* tkretzsc@cicese.mx

RESUMEN

Los acuíferos más importantes del Estado de Sonora, en cuanto a extensión y disponibilidad de agua, están en la Planicie Costera del Pacífico, como los de Caborca, Costa de Hermosillo, Valle de Guaymas y San José de Guaymas. Sin embargo, debido a la extracción desmedida a la que han sido sometidos, se encuentran sobre-explotados y con intrusión salina (Vega Granillo *et al.*, 2011). El desarrollo de la actividad agrícola, en los distritos de riego por bombeo para el estado de Sonora, se ha visto seriamente afectado por la problemática de escasez y contaminación del agua subterránea, ocasionando una baja rentabilidad agrícola, que se ve reflejada en los decrementos considerables de las utilidades que generan los cultivos tradicionales en la región y en la sustitución que se ha ido dando paulatinamente, por los cultivos de frutas y hortalizas. La baja rentabilidad de estos cultivos tradicionales se ha propiciado por un lado, por los altos costos del bombeo y por el decremento de los rendimientos de los cultivos que se siembran en suelos con problemas de sales (2). El área de estudio contempla en acuífero del Valle de Caborca de formando parte de la cuenca del río Asunción cubriendo una área de más de 30,000 km².

La caracterización de la calidad del agua presente el acuífero representa una parte importante en la evaluación de la disponibilidad de agua y la elaboración de un balance hidrológico del área de estudio. Para lograr este objetivo se tomaron muestras de agua de 40 diferentes pozos distribuidos por el área de estudio en 3 diferentes muestreos donde se tomaron las muestras correspondientes para el análisis de aniones, cationes y elementos trazas en el laboratorio de hidrogeoquímica del CICESE y para los

isotopos estables en el laboratorio de la Universidad de Arizona, en Tucson. Además se determinaron los parámetros físico-químicos de campo como T, CE, pH y alcalinidad en el sitio de muestreo.

Los resultados de las muestras de los pozos mostraron una variación en TDS de 300 mg/L hasta mas de 2000 mg/L, lo cual se refleja directamente en las concentraciones de los aniones y cationes mayores. Los cationes están dominados por Na y Ca con concentraciones entre 46,7 mg/L y 550 mg/L y 24,6 mg/L y 397 mg/L respectivamente. Los aniones están dominados por Cl y SO₄ con valores entre 25,3 mg/L y 510 mg/L y 35 mg/L y 300 mg/L respectivamente.

Los valores para los isotopos estables de δD ‰ y $\delta^{18}O$ ‰ varían entre -7,2 y -6,4 para $\delta^{18}O$ ‰ y -54 a -48 para δD ‰.

CONCLUSIONES

La composición química de acuífero de la cuenca hidrológica de Asunción muestra un aumento significativo en la parte baja de la cuenca lo cual esta relacionado a un lado con los procesos de interacción agua roca debido al tiempo de residencia del agua en el acuífero y a orto lado a procesos de evaporación reflejándose el desvió isótopos estables de la línea meteórica.

REFERENCIAS

1. Vega Granillo, E.L.; Cirett Galán, Samantha; De la Parra Velasco, M.L.; y Zavala Juárez, R., Hidrogeología de Sonora, México, *in* Calmus, T, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 9, (2011).
2. Reyes Martínez A., Quintero Soto M.L. Problemática del agua en los distritos de riego por bombeo del estado de Sonora, Revista Digital Universitaria, DGSCA-UNAM, Vol. 10 Núm. 6. (2009).

HUELLA HÍDRICA GRIS DE LOS NUTRIENTES DESCARGADOS EN UNA CUENCA HIDROLÓGICA

Ma. Teresa Rivas-Valdés^b, Anne M. Hansen^a,

^a*Departamento de Hidrología Subterránea, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnahuac No.8532, col. Progreso C.P. 62550, Jiutepec Morelos.*

^b*Maestría en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelos, Paseo Cuauhnahuac No.8532, col. Progreso C.P. 62550, Jiutepec Morelos.*

ahansen@tlaloc.imta.mx, terivalmx@yahoo.com.mx,

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el incremento de la población ha ocasionado una mayor demanda del recurso hídrico. Si bien, las tres cuartas partes del planeta están cubiertas por agua, menos del 1 % es el agua dulce que podemos aprovechar (Wetzel, 2001). Según datos reportados por la FAO, 2002, el volumen de agua disponible económicamente para el consumo humano es de 9 000 hasta 14 000 km³ anuales, la cual debe incluir el consumo de agua, la cantidad necesaria para salvaguardar la integridad del ecosistema acuático, así como para diluir la contaminación. De ahí que la población global, proporciona indicios relativos de la presión ejercida sobre los recursos naturales del planeta (Areválo, 2012)

En México, se ha intensificado la búsqueda de nuevas estrategias para aprovechar al máximo los sistemas acuáticos y así cubrir la demanda de agua potable para la población. Actualmente la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA) tiene como proyecto de construcción las presas El Zapotillo y Presa y Sistema de Bombeo El Purgatorio-Arcediano, localizadas sobre la corriente del Río Verde. Ambas presas impulsarán el desarrollo económico de la población jalisciense debido al suministro del recurso hídrico; sin embargo se presentan nuevos retos tales como, competencia por el recurso hídrico, conflictos socio-ambientales y sobretodo un impacto ambiental reflejado en el transporte de contaminantes.

De ahí la importancia de esta investigación al evaluar la contaminación por cargas de nutrientes en el contexto de huella hídrica, sobre el tramo de la corriente del Río Verde que abarca las dos presas. Cabe destacar que para realizar una evaluación óptima de la contaminación por nitrógeno (N) y fósforo (P) en el río, es necesario considerar la cuenca hidrológica como la escala de estudio, ya que el aporte de nutrientes proviene de diversas corrientes tributarias que aportan sus escurrimientos al cauce principal. De todo el escurrimiento superficial, una parte se destina al riego agrícola, abrevadero de ganado y al abastecimiento público (AyMA, 2006)

Cuando se identifican las actividades socioeconómicas como el principal factor de presión sobre los recursos naturales, se presenta el indicador huella hídrica, como una herramienta de la gestión integral de los recursos hídricos. La huella del agua permite identificar el volumen mínimo requerido para satisfacer las actividades humanas, y así mitigar el efecto negativo sobre la cantidad y la calidad del agua (Areválo, 2013). Para su estudio, se divide en tres componentes; la

Huella Hídrica Azul (HHA), definida como el volumen de agua superficial y subterránea consumido (extraído) para la producción de bienes y servicios; la Huella Hídrica Verde (HHV), la cual se enfoca en el volumen de agua del suelo proveniente de la lluvia sin que llegue a ser escorrentía; y la Huella Hídrica Gris (HHG) que es el volumen de agua dulce necesaria para asimilar una carga de contaminante a tal concentración que la calidad del agua alcance los estándares establecidos (Hoekstra, et al., 2011)

El objetivo de este trabajo es determinar la componente gris de la huella del agua debidas a cargas de N y P en la cuenca del Río Verde. La importancia de estudiar estos contaminantes es debida a su aporte en exceso en aguas subterráneas y superficiales. Cuando los nutrientes se acumulan en los sistemas acuáticos se produce una desviación del equilibrio natural de las aguas. Un ejemplo de este desequilibrio es el fenómeno de eutrofización¹ de lagos. Con la HHG se evalúa las cargas de contaminantes anuales que llegan al río y las relaciona con los criterios estándares de calidad del agua, así como las concentraciones naturales dentro del cuerpo de agua (Hoekstra, et al., 2011).

FUNDAMENTO TEÓRICO

Para esta investigación, la determinación de la HHG por cargas de N y P en un área geográfica limitada, (cuenca), consiste en analizar cada una de las huellas de las fuentes de contaminación puntuales (industrial, municipal y plantas de tratamiento de agua residual) y las fuentes de contaminación difusas (uso de suelo y actividades pecuarias).

Mediante sistemas de georreferenciación (ArcInfo) se delimitó la cuenca hidrológica a la zona de estudio, así como se localizaron los municipios del estado de Jalisco que corresponde al área geográfica de interés.

La metodología aplicada en este trabajo se realizó conforme a la publicación *The water footprint assessment manual* (Hoekstra et al. 2011), en donde se define la HHG como la carga del contaminante dividida entre la diferencia de los estándares permitidos para el contaminante y la concentración natural que recibe el cuerpo de agua (Ec. 1)

$$HHG = \frac{L}{C_{\max} - C_{\text{nat}}} \quad (1)$$

Donde HHG es la huella hídrica gris (volumen/tiempo), L es la carga total del contaminante (masa/tiempo), C_{\max} es la concentración máxima permisible por la legislación o los criterios de autoridades ambientales (masa/volumen) y C_{nat} es la concentración natural² (masa/volumen).

¹ Eutrofización.- (del gr. eu = bien o altamente y trófico = alimentar), describe una condición de los lagos que involucra la concentración de nutrientes o la productividad primaria. Su efecto es el crecimiento acelerado de algas (Manahan, 2007).

² Se entiende por concentración natural, aquella concentración de contaminante encontrada en el cuerpo de agua que se produciría aun sin la intervención de las actividades humanas (Liu et al., 2011)

La obtención de las cargas de N y P se obtuvieron del inventario de Corzo-Juárez, 2009, quien determinó las cargas en base a los escurrimientos anuales, las concentraciones propias de cada fuente de contaminación y sus descargas. La actualización del inventario se realizó conforme a la base de información generada por organismos públicos oficiales en su versión disponible y más reciente. A su vez, los datos de concentración estándar se basaron en el límite para eutroficación establecidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 1982. Estos criterios se eligieron para conocer la fuente de contaminante con mayor probabilidad de incrementar el estado trófico en el cuerpo de agua. Por otro lado, la concentración natural se obtuvo de la base de datos históricos reportados por el departamento de control de calidad de aguas del IMTA.

El análisis de las huellas obtenidas se realizó por fuente de contaminación y por municipios que involucran el área geográfica de la zona de estudio. Finalmente se formularán diferentes escenarios en donde la nueva

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la delimitación de la cuenca se detectaron 11 municipios principales contaminantes del Río Verde.

La huella hídrica gris (HHG), se analizó mediante los impactos generados por las actividades humanas. Para su mejor comprensión se reporta tanto por fuente de contaminación (difusa y puntual), como por municipio.

En términos de HHG total, el resultado presentado en las Figuras 1 y 2 indica que en términos de contaminación, el aporte relevante está asociado a las cargas de nitrógeno. Así mismo se puede observar que la HHG es mucho mayor para la fuente difusa que para la fuente puntual

Es de resaltar que el municipio Tepatitlán de Morelos es el de mayor huella hídrica, debido a que genera una trascendental descarga municipal, la cual no es tratada en su totalidad, en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). De igual manera es el municipio con mayor desarrollo industrial de las 11 localidades analizadas.

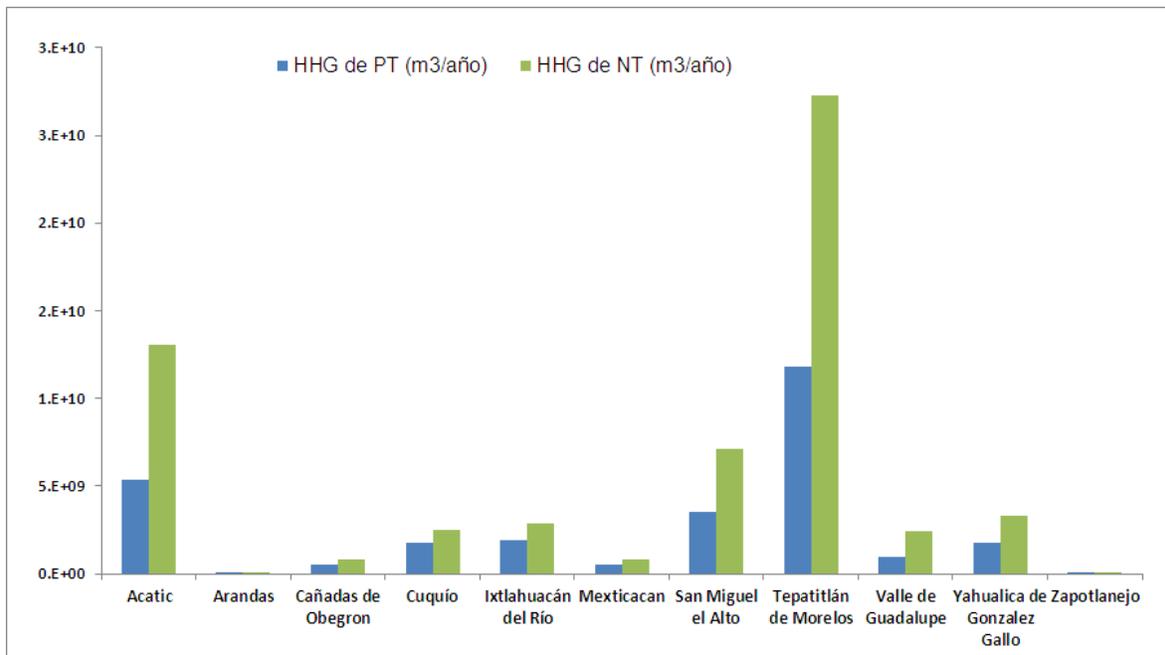


Figura 1. Huella Hídrica Gris por cargas de nitrógeno (N) y fósforo (P). Evaluación de las fuentes difusas

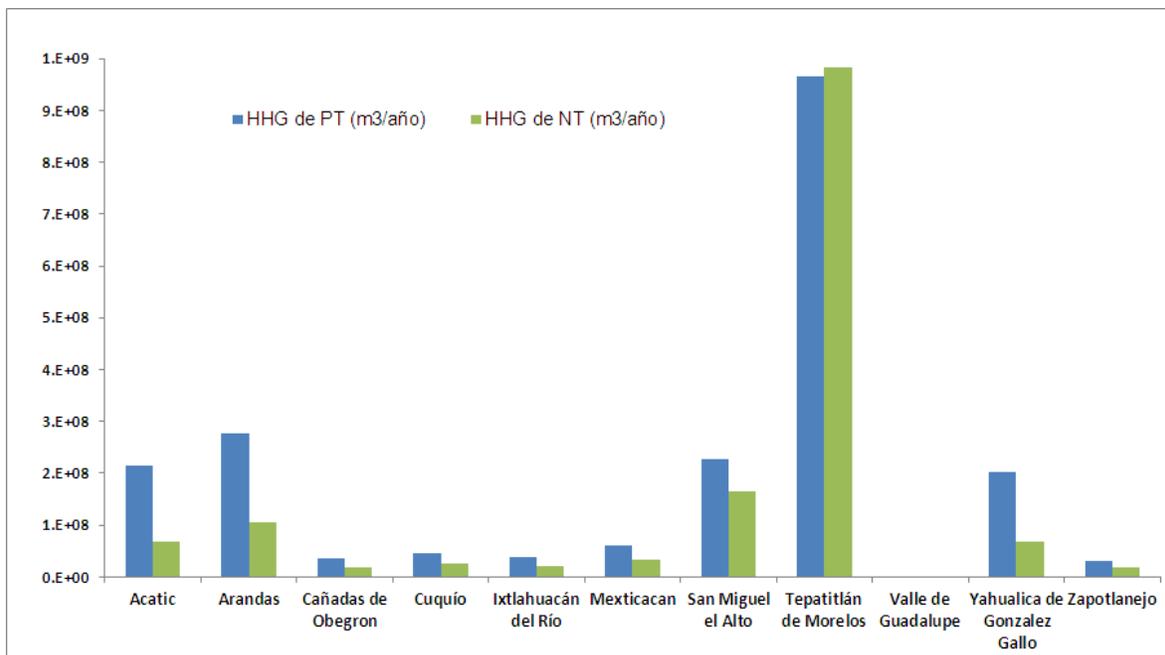


Figura 2. Huella hídrica Gris por cargas de nitrógeno (N) y fósforo (P). Evaluación de las fuentes puntuales

Para analizar los resultados con mayor detalle se presentan las huellas hídricas grises por fuente de contaminación. De los cinco sectores económicos analizados, el de mayor impacto fue el de la actividad pecuaria, ya que se requiere 87, 429, 372, 549.02 m³ anuales de agua limpia requeridos para asimilar la contaminación generada por la producción pecuaria (Figura 3).

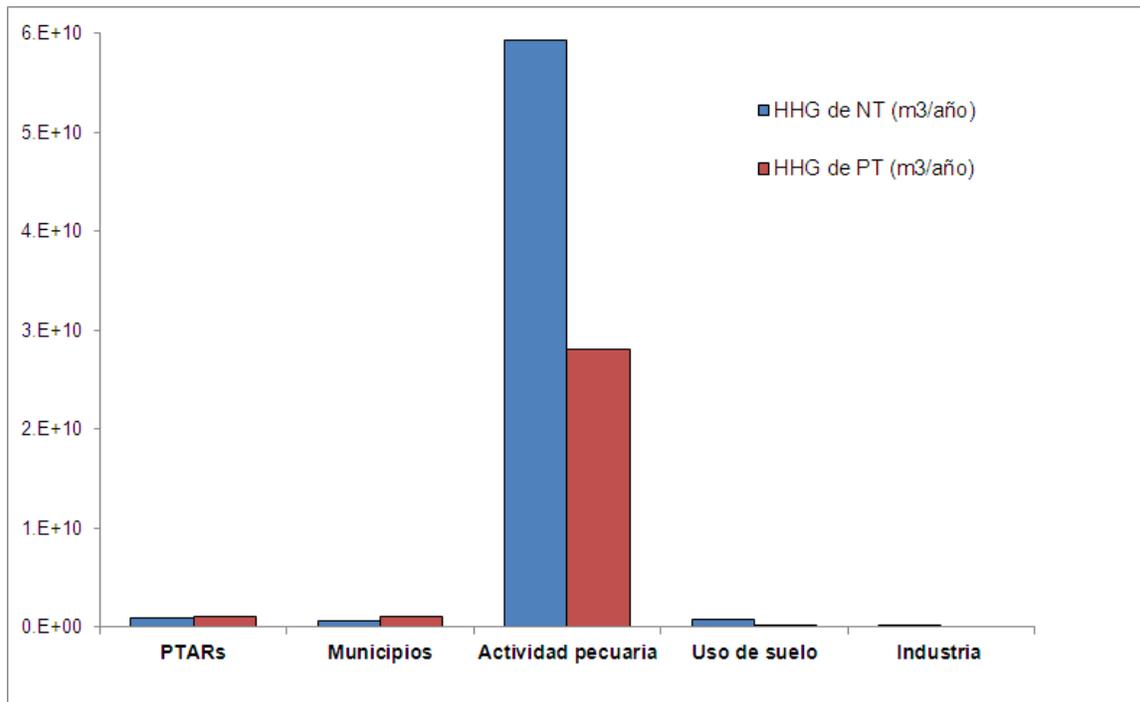


Figura 3. Huella Hídrica Gris por actividad económica.

CONCLUSIONES

Al momento, la HHG calculada únicamente indica qué actividad humana y cuál región tiene mayor impacto ambiental. De esa manera se puede visualizar y tomar acciones alternas que modifiquen el uso inadecuado del agua.

El balance entre oferta y demanda del agua en la cuenca del Río Verde ejerce una fuerte presión hídrica sobre todo para el sector pecuario. Cabe destacar que los resultados mostrados son los preliminares para esta investigación, aun así se tiene una aproximación bastante cercana del impacto ambiental por la entradas de nutrientes al sistema acuático.

El siguiente paso consiste en evaluar el impacto producido por la construcción de las presas sobre la corriente del Río Verde. De igual manera se formularán escenarios en que permitan reducir la HHG.

REFERENCIAS

- Arévalo U. D., WWF (World Wide Fund for nature) Reporte Colombia, 48 (2012).
- Arévalo U. D., *Huella hídrica cuenca Porce* (2013).
- AyMA Ingeniería y Consultría S.A. de C.V., *Actualización y caracterización de fuentes de contaminación de la cuenca del Río Verde en el estado de Jalisco*. [En línea] Disponible en: <http://www.ceajalisco.gob.mx/transparencia/1315-informes.html> [Último acceso: 09 2012]
- Camargo, A. J. & Alonso, A., *Environmental International*, 32:6 831-849 (2006).
- Corzo J. C. E., *Contaminación de la cuenca del Arcediano y propuesta de Saniamiento.*: Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México (2009).
- Hoeskstra, Y. A., Chapagain, F. A., Aldaya, M. M. & Mekonnen, M. M., *The water footprint assessment manual. Setting the global standard*, Earthscan, Washington, D.C., (2011).
- INEGI, 2013. *INEGI. Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos (SIMBAD)*. [En línea] Disponible en: <http://sc.inegi.org.mx/sistemas/cobdem/consulta-por-ageo.jsp?recargar=true> [Último acceso: 06 2013].
- Liu C., Kroez C., Hoekstra A. Y., *Ecological Indicators* 18: 42
- Manahan, S. E., *Introducción a la Química Ambiental*, Reverté Ediciones, México D.F., (2007).
- Wetzel, R. G., *Limnología*, Ediciones Omega, S.A., Barcelona (2001).

EVALUACIÓN DE LA CARGA INTERNA DE FÓSFORO EN UN CUERPO DE AGUA

Henri Márquez-Pacheco^a, Anne M. Hansen^b

^aUniversidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Campus Morelos
Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, Mexico.

^bInstituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, Mexico.

^alab1@tlaloc.imta.mx

RESUMEN

El sedimento de cuerpos de agua puede actuar como fuente o sumidero de nutrientes y otros contaminantes a la columna de agua. La cantidad de nutriente en sedimento y su liberación al agua, o carga interna (CI), es consecuencia de diversos procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el cuerpo de agua [1] y su cuenca hidrológica. A través de los cambios en el potencial redox (Eh) se describe como las condiciones de oxidación-reducción influyen en la liberación de nutrientes [2, 3]. Un estudio realizado a nivel experimental en laboratorio [4], demostró que los cambios de Eh en sedimento influyen fuertemente en la solubilidad de minerales de hierro y manganeso así como de nutrientes. Estos cambios en Eh se presentan frecuentemente en la parte más profunda de los cuerpos de agua, especialmente cuando éstos presentan estratificación térmica estacional. El objetivo de este estudio es demostrar que la CI de nutrientes en cuerpos de agua puede ser pronosticada para diferentes condiciones de estratificación y mezcla del agua con base en las variaciones espacial y temporal de Eh en sedimento. Para ello, se determina la CI de nutrientes aplicando las ecuaciones de liberación de nutrientes en función de Eh, reportadas por Hansen y Márquez-Pacheco [5] y datos de variaciones espaciales y temporales de Eh medidos en agua intersticial del sedimento de un cuerpo de agua. El resultado se valida con el balance de masa de fósforo (P) en agua, el cual considera carga externa de P, P extraído y P sedimentado. Se encontró que la CI de P en cuerpos de agua puede ser pronosticada por periodos anuales en función de las variaciones de Eh en sedimento, al ser ésta validada con el balance de masa. Sin embargo, la CI de P estimada para periodos de muestreo presenta diferencias con el resultado de balance de masa. Para evaluar esta diferencia, se analiza la especiación de P en sedimento y se propone un modelo conceptual de interacción entre agua y sedimento, que describe la liberación y (re) sedimentación de este nutriente.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, indican que la CI estimada en función de Eh representa una CI bruta de P, ya que considera solo liberación, impulsada por la disolución de P en condiciones reducidas y mecanismos de transporte establecido en el sedimento. La diferencia encontrada con el balance de masa en agua, se debe a que el balance estima una CI neta de P al considerar tanto liberación como sedimentación de P. El entender como varía la liberación de P en un cuerpo de agua contribuye a la toma de decisiones sobre el saneamiento del mismo.

REFERENCIAS

- [1] Søndergaard M., Nutrient dynamics in lakes – with emphasis on phosphorus, sediment and lake restoration. Doctor's dissertation (DSc). 74 p. (2007).
- [2] Holmes M., Relation of phosphorus release and sediment oxygen uptake to sediment characteristics in Big Platte Lake, Benzie Co., MI. Central Michigan University, Illinois, USA (2004).
- [3] Perrone U., Facchinelli A., Sacchi E., Phosphorus Dynamics in a Small Eutrophic Italian Lake. *Water Air Soil Pollut.* 189: 335–351 (2008).
- [4] Miao S., De Laune R.D., Jugsujinda A., Influence of sediment redox conditions on release/solubility of metals and nutrients in a Louisiana Mississippi River deltaic plain freshwater lake, *Sci. Total Environ.* (371)1-3: 334-343 (2006).
- [5] Hansen A.M., Márquez-Pacheco H., Procedimiento para evaluar cargas internas de nutrientes en cuerpos de agua, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, (29)1, 265-275 (2012).

EVALUACIÓN DE CARGAS DE NUTRIENTES A UN CUERPO DE AGUA DENTRO DE UNA CUENCA HIDROLÓGICA CONSIDERANDO LA ATENUACIÓN NATURAL

Gonzalo Jayme Torres^a, Anne Hansen^b

^aPosgrado en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Campus Morelos, Universidad Nacional Autónoma de México, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México.

^bInstituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México.

* gonzalojayme@hotmail.com

RESUMEN

Las cargas de nutrientes hacia los cuerpos de agua en una cuenca hidrológica son los principales causantes del proceso de eutroficación. Las consecuencias de este proceso reducen el valor de los cuerpos de agua como fuentes de abastecimiento y para fines recreativos [1]. La comprensión de la relación entre las fuentes de nutrientes y los efectos de la carga en los cuerpos de agua es necesaria para el manejo integral de las cuencas [2]. Para la estimación de cargas de nutrientes se pueden realizar balances de masa, considerando concentraciones conocidas y gastos generados para cada actividad o uso de suelo [3]. Sin embargo este método no considera la atenuación natural de nutrientes que se lleva a cabo dentro de la cuenca durante la movilización de los mismos. Por otro lado es posible efectuar monitoreos de los cuerpos de agua, en este método queda implícito el efecto de la atenuación natural, pero los resultados tienen poco valor con fines de prevención o mitigación ya que no es posible identificar las fuentes. Existen modelos que son desarrollados para comprender y predecir la entrada de nutrientes a los cuerpos así como la respuesta de estos a las condiciones propias de la cuenca [4]. Con el fin de evaluar las cargas de nutrientes a un cuerpo de agua considerando los efectos de la atenuación natural, se delimita la cuenca en estudio en base a un modelo de elevación digital, de acuerdo con las características de la cuenca y de la información existente se selecciona el modelo a aplicar, NEWS 2 [5], que considera tanto fuentes puntuales como fuentes difusas así como la atenuación natural, se complementa el inventario existente [3] con datos requeridos por el modelo y se aplica el modelo para obtener las cargas de nutrientes. Con los resultados obtenidos, además de la magnitud de la carga de nutrientes, se identifican las actividades, prácticas y condiciones que mayor impacto tienen sobre esta. Analizando estos resultados se formulan escenarios con propuestas para mitigación y/o prevención de la eutroficación.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos de la aplicación de un modelo de movilización de nutrientes en una cuenca hidrológica, se entiende el efecto que tiene la atenuación natural en las cargas finales que llegan a un cuerpo de agua. Al considerar esta disminución, se elimina la posibilidad de la sobreestimación de cargas que sucede cuando son consideradas conservativas. Lo anterior sirve para desarrollar propuestas de acción más eficientes con respecto a la prevención y/o mitigación de la eutroficación. Para condiciones particulares de algún sitio de estudio, se recomienda revisar y calibrar las constantes y ecuaciones propias del modelo a utilizar.

REFERENCIAS

1. European Environment Agency, Eutrophication in Europe's Coastal Waters, Dinamarca, (2001).
2. UNESCO, Intergovernmental Oceanographic Commission, Coastal Eutrophication: Linking Nutrient Sources to Coastal Ecosystem Effects and Management – The Intersection of Several UNESCO-IOC Programmes Related to Nutrients, Paris, (2008).
3. Corzo Juárez Carlos Esteban, Contaminación de la Cuenca de Arcediano y Propuesta de Saneamiento, Universidad Nacional Autónoma de México, México (2009).
4. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Estuarine Eutrophication Assessment Update: Workshop Summary and Recommendations for Development of a Long-term Monitoring and Assessment Program, Silver Spring, (2004).
5. Mayorga Emilio, Seitzinger Sybil P., Harrison John A., Dumont Egon, Beusen Arthur H.W., Bouwman A.F., Fekete Balazs M., Kroeze Carolien, Van Drecht Gerard, Global Nutrient Export from WaterSheds 2 (NEWS 2): Model Development and Implementation, Environmental Modelling & Software 25, (2010).

IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN SEDIMENTOS DEL RÍO APATLACO

Axel Falcón-Rojas, Carlos E. Corzo-Juárez, Anne M. Hansen

Coordinación de Hidrología, Instituto Mexicano de Tecnología del agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, 62550, México.

* ahansen@tlaloc.imta.mx

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la población humana y sus actividades con un alto consumo de recursos han ocasionado cambios ambientales que pueden observarse en todo el planeta. Como consecuencia de ello, los cuerpos de agua se han visto sometidos a consumos desproporcionados por parte de los seres humanos (UNESCO-WWAP, 2006). Esta situación en conjunto con las crecientes descargas de aguas residuales provoca un incremento en el vertido de contaminantes, lo que favorece la degradación de los cuerpos de agua originando problemas sanitarios, socioeconómicos y ecológicos, lo que a su vez trae consigo la limitación en sus usos. En este contexto, la cuenca del río Apatlaco en el estado de Morelos no se encuentra exenta. El plan estratégico para la recuperación de esta cuenca, elaborado en 2007, señaló que ésta es una de las más contaminadas en la región centro del país. Con el objetivo de conocer el estado actual que guarda el río Apatlaco, se evaluó la calidad de sedimento presente en este río por medio de análisis fisicoquímicos y un barrido cromatográfico que permite conocer los Compuestos Orgánicos Semivolátiles (COSV) presentes en el sedimento.

METODOLOGÍA

Se seleccionaron 14 sitios de muestreo a lo largo del río Apatlaco y sus afluentes. Se realizó un muestreo de sedimento entre la época de lluvia y de estiaje (26 y 28 de febrero de 2013). Se tomaron muestras de sedimento, sobre zonas de baja velocidad de corriente y sobre el margen del río (ASTM, 2000a; EPA, 2001), por medio de espátula y palangana de acero inoxidable. Las muestras de sedimento se almacenaron en frasco de vidrio, previamente lavados con diclorometano grado HPLC, posteriormente se determinó en laboratorio pH (DOF, 2012), humedad y contenido de materia orgánica (ASTM, 2000b), textura (ASTM, 1998) y COSV por cromatografía (EPA, 1996).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de pH clasifican los sedimentos entre neutros y medianamente alcalinos, al presentar valores entre 7 y 8 unidades. El contenido de materia orgánica en los sedimentos varían entre medio, alto y muy alto. La mayoría de las muestras de sedimento presentan textura arena-limosa. La humedad de los sedimentos (varió entre 27 a 80%). Los resultados del barrido cualitativo de COSV, identifican 337 sustancias químicas en total. En donde la muestra colectada en el sitio El Rayo, ubicado en la corriente principal del río Apatlaco, contiene el mayor número de sustancias por sitio con un total de 88. La distribución de las sustancia química identificadas mediante el barrido cualitativo muestra que el mayor número de sustancias son del tipo alcohol, seguidos de ácidos, cetonas, hidrocarburos poliaromáticos y otros grupos.

CONCLUSIONES

Los estudios granulométricos realizados muestran que el sedimento analizado puede adsorber contaminantes orgánicos, debido a su textura arena-limosa y alto contenido de materia orgánica. Se identificaron 337 COSV, estos resultados permiten un futuro análisis cuantitativo específico para las sustancias encontradas en este trabajo con la finalidad de cuantificar contaminantes presentes y relacionarlos con los límites máximos permisibles según los criterios internacionales.

REFERENCIAS

1. ASTM (American Society for Testing and Materials), ASTM Standards on Environmental Sampling 11:05 (2000a)
2. ASTM (American Society for Testing and Materials), Standard Test Method for Moisture, Ash, and Organic Matter or Peat and Other Organic Soils (2000b)
3. EPA (Environmental Protection Agency), Technical Manual EPA 823-B-01-002 (2001)
4. DOF (Diario Oficial de la Federación), Ley Federal de Derechos, p. 475 (2012)
5. EPA (Environmental Protection Agency), Method 8270C, <http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/8270c.pdf> (1996)
6. ASTM (American Society for Testing and Materials), D422-63 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, (1998)
7. UNESCO-WWAP (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – Programa mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). El agua, una responsabilidad compartida. (2006).

SESIÓN II

HIDROGEOQUÍMICA

(continuación)

DINÁMICA DEL ARSÉNICO EN AGUAS DE POZOS Y SEDIMENTOS DEL DISTRIBUIDOR GENERAL DE AGUA POTABLE DE ZIMAPÁN, HIDAÑO, MÉXICO.

Dr. Francisco Prieto García

Profesor-Investigador Titular, Área Académica de Química, Cuerpo Académico de Ciencias Ambientales.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

RESUMEN:

Se realiza un estudio de caracterización fisicoquímica del agua de los pozos que abastecen al distribuidor general de la población de Zimapán, en el Estado de Hidalgo. Se determina el origen de los altos niveles de arsénico en el agua potable y se propone una metodología adecuada para disminuir los niveles de arsénico en el agua suministrada a la población. Se concluye que los cambios de pH, oxígeno disuelto en el agua y temperatura, ocasionados por la explotación de minerales al noroeste de la región, influyen de manera importante en la lixiviación de As en minerales arsenicales primarios y secundarios, por lo que se considera que el arsénico presente en el agua subterránea es de origen geomorfológico y parcialmente incrementado por causas antropogénicas. Los sedimentos del distribuidor contienen arseniatos, que lixivian en las primeras 2 fracciones del esquema Tessier con un comportamiento semejante al de carbonatos, que corresponde al 10 % del total del arsénico en los sedimentos; el arsénico de las fracciones 3 a 5 corresponden a arsénico asociado a minerales más estables asociados a sulfuros y a óxidos; esto nos permite concluir que los minerales primarios se han modificando como consecuencia de las actividades antropogénicas. Se concluye que probablemente no disminuirán las concentraciones de As en las aguas, pero si podrían incrementarse con el tiempo, ya que las condiciones de oxidación de los minerales arsenopiriticos en el subsuelo están siendo favorecidas y en consecuencia su solubilidad en el agua subterránea. Finalmente se puede asegurar que se presenta una competencia que tienen los arseniatos con otros iones para intercambiarse en un proceso de intercambio que se establece con las resinas aniónicas, y que hace que la capacidad de éstas disminuya, ya que la capacidad real de la resina que se propone (IRA-900) para una tecnología de remediación, fue de 0.6 meq de As por mL de resina, cuando teóricamente debe tener una capacidad de 1 meq·mL⁻¹.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA E ISOTOPIA ESTABLE DE LOS ACUÍFEROS DEL VALLE DE BUENAVISTA Y VALLE DE AMAZCALA.

Eliseo Hernández^a, Gilles Levresse^a, Dora Carreón-Freyre^a, Audel Torres^b.

^a Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla No. 3001, C.P. 76230. Querétaro, Querétaro.

^b Comité Técnico de Aguas Subterráneas del acuífero Valle de Amazcala, km. 13, Carr. Querétaro-Chichimequillas, Rancho Dolores, El Marqués, Querétaro.

[*ehernandez@geociencias.unam.mx](mailto:ehernandez@geociencias.unam.mx)

INTRODUCCIÓN

Los acuíferos del Valle de Buenavista y Valle de Amazcala se localizan en los límites del estado de Querétaro y Guanajuato. Estos acuíferos se encuentran dentro de la región hidrológica-administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico y forman parte de la cuenca alta del río Querétaro. (Figura 1).

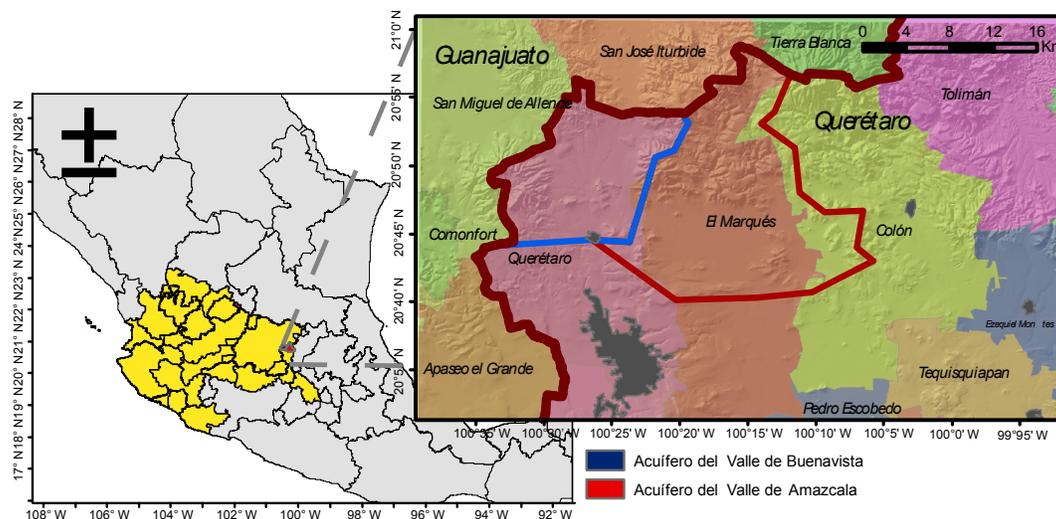


Figura 1. Ubicación del área de estudio. En amarillo se muestra la región hidrológica-administrativa Lerma-Santiago-Pacífico. Se muestra los polígonos de los acuíferos estudiados y la división estatal y municipal para el estado de Querétaro y Guanajuato.

La zona de estudio se encuentra en los límites de las provincias geológicas de la Sierra Madre Occidental (SMOc) y la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). La zona se caracteriza por un clima semiseco con temperatura media anual de 18°C y precipitaciones entre 500 y 700 mm/año. Es principalmente montañosa, conformada por altos volcánicos y valles rellenos de materiales silicoclásticos del tipo Basin and Range (Alaniz-Álvarez, *et al.*, 2001).

Las características de las formaciones geológico-estructurales en los valles de Buenavista y Amazcala (Figura 2) se puede resumir en un basamento Cretácico cubierto por cuatro episodios volcánicos que ocurrieron desde el Oligoceno inferior hasta el Oligoceno tardío (Portillo y Cerca, 2011). El basamento Cretácico está constituido por

rocas sedimentarias deformadas durante la Orogenía Laramide que consisten en areniscas, margas y lutitas intercaladas que afloran al noreste del valle de Buenavista (*Kvs* y *KiCa*).

Un episodio volcánico ocurrido durante el Oligoceno inferior (entre 31 y 29.3 Ma) se caracteriza por la formación de domos riolíticos y de flujos de ignimbritas (*ToDr*, *ToAB*, *Tolg*; Aguirre-Díaz y López-Martínez, 2001). Las unidades geológicas asociadas son rocas riolíticas y andesíticas que constituyen la mayor parte del relieve topográfico ubicado al norte de la zona de estudio. El siguiente episodio registrado está representado por domos riolíticos e ignimbritas del Mioceno medio con edades fechadas por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ entre 10.5 y 7.5 Ma (*TmD*, *TmAz*, *TmAB*). Estas unidades corresponden a la formación de los aparatos volcánicos de los volcanes Cerro Grande, El Zamorano y La Joya. Un tercer episodio es ilustrado por la deposición de flujos piroclásticos durante la formación de la caldera de Amazcala en el Mioceno Tardío $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 7.3 y 6.6 Ma (*TmIgc*, *TmPem*, *TmRdc*). Estas unidades corresponden a ignimbritas, domos riolíticos que se formaron durante este periodo y se ubican al este de la zona de estudio en la Caldera de Amazcala. Finalmente, el último episodio ocurrió entre los 6.2 y 5.2 Ma y generó los derrames basálticos ubicados al sur de la zona de estudio generando los límites sur de los valles y cerrando la cuenca (*TAB*, *TmPca*, *TpBsj*) (Portillo y Cerca, 2011).

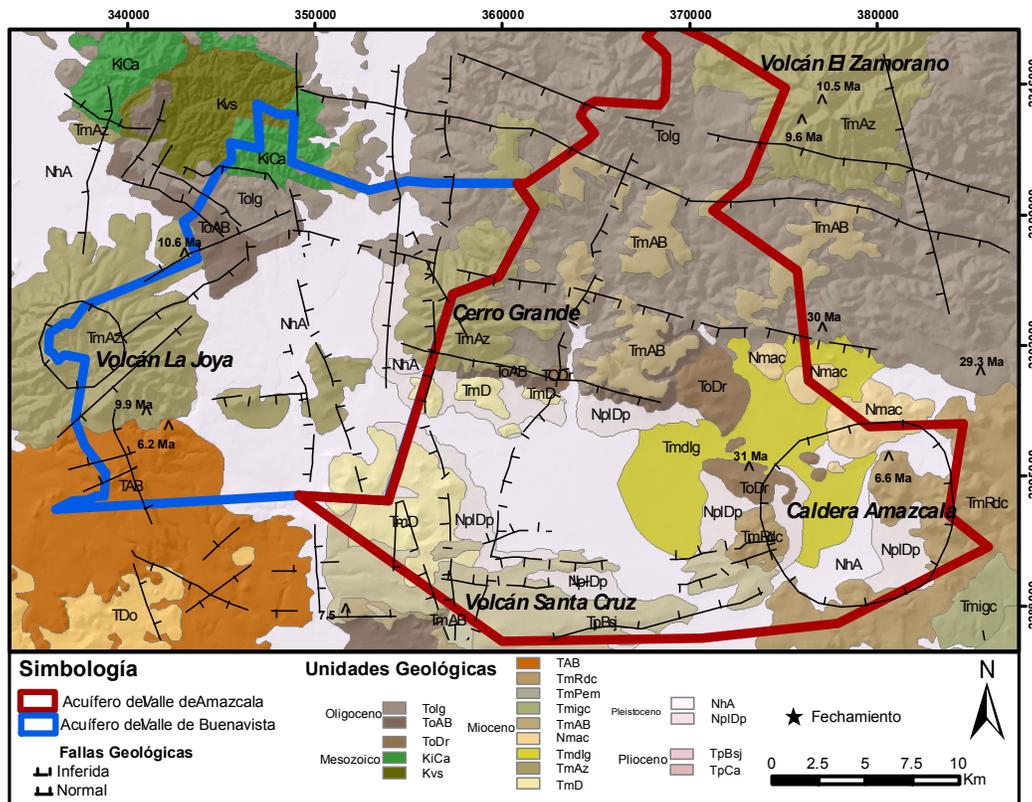


Figura 2. Mapa geológico-estructural con las principales estructuras volcánicas de los valles de Buenavista y Amazcala.

La zona de estudio se encuentra afectada por tres sistemas de deformación. El primer sistema afecta principalmente al valle de Buenavista con orientación NNW y es conocido como el sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende (SFTSMA). El segundo

sistema afecta al valle de Amazcala con orientación ENE y es conocido como el Sistema de fallas Chapala-Tula (SFCHT). El tercer sistema esta caracterizado fallas y alineamientos con orientación NE-SW y es conocido como sistema de fallas Ixtla-La Joya que se identifica al suroeste del valle de Buenavista.

Se realizaron varios perfiles geológicos a partir de la descripción litológica de 29 pozos descritos por Carreón-Freyre y Ortiz-Villaseñor (2010), en los cuales se identifico la existencia de un acuífero libre granular somero en la zona central de los valles con espesor máximo de 100 m que sobreyacen a una unidad acuífera fracturada. En el valle de Buenavista se identificó la existencia de una segunda unidad acuífera granular a una profundidad de 200 m.

Las isolíneas piezométricas realizadas con las mediciones para el año 2010 (Figura 3) muestran que el gradiente principal de agua tiene un sentido NW-SE y se pueden observar conos de abatimiento en las comunidades de Jofre, Tierra Blanca y San Vicente Ferrer. Los niveles del espejo de agua se encuentran entre 90 y 130 m de profundidad.

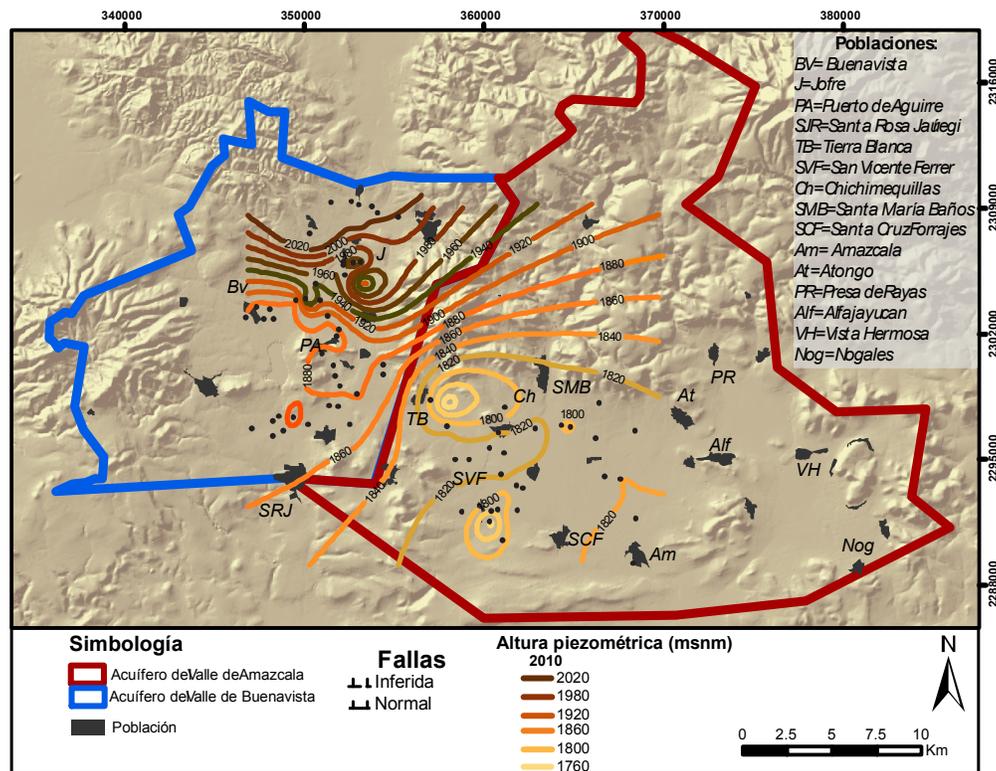


Figura 3. Isolíneas de nivel piezométrico en los Acuíferos Valle de Buenavista y Valle de Amazcala para el año 2010.

SECCION EXPERIMENTAL

Para este trabajo se recolectaron 71 muestras de agua de pozos con uso público-urbano y agrícola, durante el período del 23 de febrero al 31 de mayo de 2012. Los parámetros físicos medidos al momento de la toma de muestra fueron pH, T y conductividad eléctrica. Los recipientes para toma de muestra fueron enjuagadas previamente con agua destilada. Las muestras fueron filtradas (0.45 μ m), selladas y

guardadas a una temperatura de 4°C para su preservación y traslado. Las muestras destinadas para la determinación de cationes fue adicionadas con HNO₃ grado INSTRA hasta alcanzar pH<2 para preservación de la muestra. La determinación de cationes (ICP-OES) y aniones (HPLC-IC) fue realizada en el Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Centro de Geociencias de la UNAM, Juriquilla, Querétaro. Las relaciones isotópicas (TC/EA-IRMS) fueron realizadas por el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica en el Instituto de Geología de la UNAM.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 1 muestra las medidas de tendencia central para los resultados de elementos mayores de las aguas subterráneas provenientes de los acuíferos del valle de Buenavista y valle de Amazcala.

Tabla 1. Medidas de tendencia central para los parámetros físicos y elementos mayores de las aguas subterráneas provenientes de los acuíferos del valle de Buenavista y Amazcala.

	pH	T	Con d	Ca ⁺²	Mg ⁺ ₂	Na ⁺	K ⁻	Alc	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	F ⁻	Br ⁻	Si
		°C	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Buenavista															
Mínimo	6.3 6	24.3 0	305	19.2 2	4.74	14.5 8	4.81	180.0 0	3.14	4.51	0.60	3.75	0.11	-	26.7 0
Máximo	7.6 6	35.3 0	643	95.1 5	17.3 7	70.9 3	31.3 7	340.0 0	17.6 6	51.0 4	0.60	90.17	0.63	-	45.1 1
Media	7.1 5	29.1 6	457	43.0 0	10.9 4	36.5 6	13.3 3	243.4 0	6.13	20.7 3	-	16.20	0.34	-	36.2 7
SD	0.3 5	2.41	71	18.0 8	2.52	11.3 6	5.25	36.59	2.95	9.94	-	16.54	0.12	-	5.75
N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	1	25	25	0	25
Amazcala															
Mínimo	6.7 5	19.8 0	282	4.88	0.00	22.6 7	1.56	155.0 0	3.85	7.17	0.27	5.29	0.25	0.39	17.3 5
Máximo	7.9 6	40.7 0	768	74.5 6	18.5 6	87.0 1	34.9 7	350.0 0	58.1 7	65.5 6	1.00	73.92	2.55	0.39	51.5 4
Media	7.3 2	28.9 8	461	27.4 1	6.46	57.8 2	17.8 5	227.2 8	10.3 8	21.5 9	0.43	22.38	0.77	-	36.3 4
SD	0.2 7	3.58	104	14.3 0	3.91	13.4 4	7.16	47.55	8.59	11.3 7	0.25	12.53	0.47		7.98
n	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	8	46	46	1	46

Los valores de parámetros físicos y de elementos mayores para las aguas del acuífero de valle de Amazcala en general presentan una mayor distribución en comparación con los resultados para el acuífero del valle de Buenavista. Los valores de pH, Ca⁺², Mg⁺² y Alcalinidad fueron ligeramente mayores para el acuífero de Buenavista. Los valores de Na⁺, K⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄⁻², y F⁻ fueron mayores para las aguas provenientes del acuífero del valle de Amazcala. Las aguas subterráneas se caracterizaron en cuatro familias hidrogeoquímicas mostradas en el diagrama de Piper de la Figura 4.

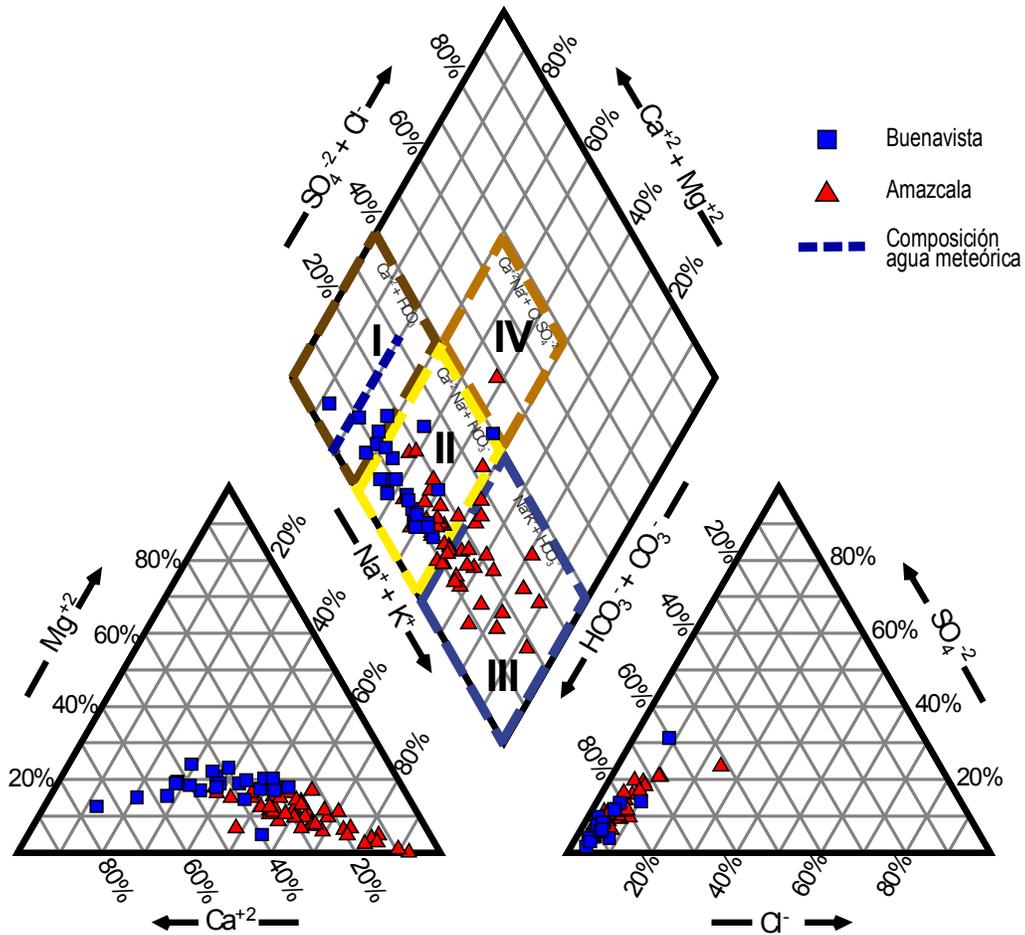


Figura 4. Diagrama de Piper para las aguas subterráneas provenientes de los acuíferos del valle de Buenavista y valle de Amazcala.

La Familia I de agua bicarbonatadas-cálcicas-magnésica. La Familia II con agua bicarbonatada cálcica-sódica. La Familia III con agua bicarbonatadas sódicas-potásica y La familia IV con agua bicarbonatadas-sulfatada clorurada cálcica-sódica.

La evolución geoquímica se manifiesta a partir de una facie HCO_3^- — Ca^{+2} - Mg^{+2} comparable con la composición de agua de lluvia local hacia una facie predominantemente HCO_3^- — Na^+ - K^+ . Esta evolución geoquímica se presenta en sentido Norte-Sureste de la cuenca lo que concuerda con el gradiente piezométrico principal. Las variaciones en la composición química de las aguas se encuentran relacionados con a las variaciones de la geología local como la presencia de calizas, y cambios en la composición de las rocas volcánicas que van desde composiciones básicas en el valle de Buenavista pasando a rocas ácidas en el Valle de Amazcala. De la misma manera este control geológico se encuentra relacionado por intercambio catiónico mediante arcillas en la porción granular del acuífero libre.

Los resultados de isotopía se compararon con los información para Línea de Evaporación Local (LEL) y Línea Meteórica Local (LML) para el valle de Querétaro (García, per. com).

A partir del diagrama de isotopía (Figura 5) se identificaron 3 familias de aguas con diferente composición isotópica. El agua Tipo I (círculo verde) únicamente se identificó en pozos con profundidades superiores a 200 m que se encuentran ubicados en la zona central del acuífero del Valle de Buenavista. El agua Tipo II (rombo azul) se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de ambos acuíferos y la evolución isotópica concuerda con la LEL, por lo que se identificó que esta corresponde al agua de meteorica de reciente infiltración. El agua Tipo III (cuadro rojo) se identificó en los pozos que se encuentran en la base de los altos volcánicos y en los sistemas de fallas, por lo que sugiere el fraccionamiento isotópico de las aguas mediante el efecto de procesos hidrotermales.

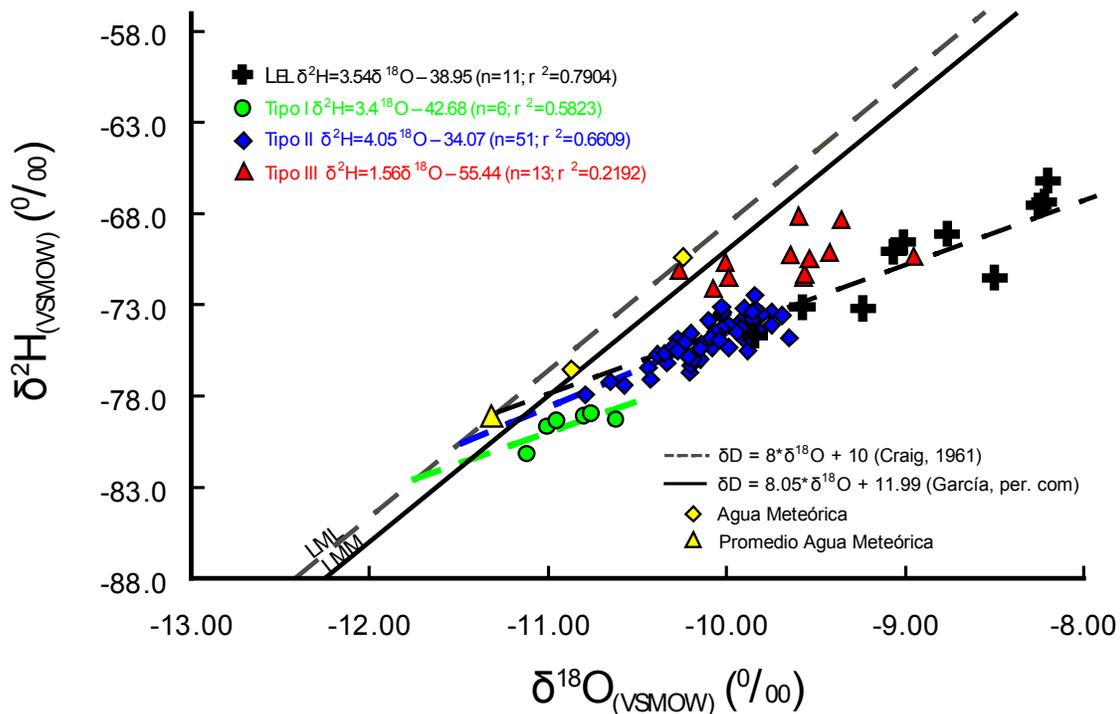


Figura 5. Diagrama δD vs. $\delta^{18}\text{O}$ para los datos de isotopía estable de las aguas subterráneas procedentes de los acuíferos del Valle de Buenavista y Valle de Amazcala. Se identifica el origen de las aguas y sus líneas de evolución isotópica.

CONCLUSIONES

De acuerdo a las familias de agua identificadas, los Acuíferos Valle de Buenavista y Valle de Amazcala conforman un solo sistema hidrogeológico. El gradiente piezométrico y geoquímico nos permiten identificar una dirección de flujo principal en sentido noroeste del valle de Buenavista hacia el sureste del valle de Amazcala. La composición química de las aguas subterráneas en los acuíferos está controlada por una fuerte interacción agua-roca dependiente de la composición química de las diferentes unidades litológicas presentes en la zona de estudio.

Se identificaron dos fuentes de aguas principales. La primera corresponde una agua meteórica antigua (Tipo I) presente en el acuífero del valle de Buenavista y corresponde a un flujo regional a una profundidad aproximada de 200 m proveniente de la cuenca de la Independencia y un agua meteórica reciente (Tipo II) que evoluciona localmente en agua con carácter hidrotermal (Tipo III). Los procesos isotópicos dominantes son el fraccionamiento isotópico por evaporación en la superficie y fraccionamiento térmico (procesos hidrotermales).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al COTAS Amazcala, CONAGUA Dirección Local Querétaro, la Comisión Estatal de Aguas Querétaro, Centro de Geociencias UNAM Juriquilla y CONACYT por el material y apoyo otorgado durante la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., Reyes-Zaragoza, M.A., Orozco-Esquivel, M.T., Ojeda-García, A.C, Vassallo, L.F., Estratigrafía y deformación extensional de la región San Miguel de Allende-Querétaro, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v 18, núm 2, p. 129-148. (2001).
2. Carreón-Freyre, D.C. y Ortiz-Villaseñor, I., Determinación del Funcionamiento del Acuífero del Valle de Amazcala. Reporte Técnico para el COTAS Amazcala. 117 pp. (2010).
3. Mähknecht, J., Garfías-Solís, J., Aravena, R., Tesch, R., Geochemical and isotopic investigations on groundwater residence and flow in the Independence Basin, Mexico, *Journal of Hydrogeology*, Elsevier, v 324, p 283-300, (2006).
4. Portillo R. y Cerca M. Condiciones geológico-estructurales del Acuífero Valle de Amazcala (2010). Reporte Técnico para el COTAS Amazcala. 50 pp. (2011).

CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DEL AGUA DE RIEGO EN EL VALLE DE SANTO DOMINGO, B.C.S. ENTRE 1986 Y 2012

Jobst Wurl^a, Ramos Velázquez^a, Genaro Martínez Gutiérrez^a, Gustavo Mercado Mancera^b

^a Departamento de Geología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur KM 5.5. Apartado Postal 19-B C.P. 23080. La Paz (B.C.S.)

^b Facultad de Estudios Superiores (F.E.S.) Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Carretera Cuautitlán - Teoloyucan KM 2.5 s/n (Estado de México)

* jwurl@uabcs.mx

INTRODUCCIÓN

El Valle de Santo Domingo se localiza en la parte central del estado de Baja California Sur en el municipio de Comondú. El clima en el Valle de Santo Domingo se caracteriza por ser muy árido (cálido en la parte costera a templado en la sierra La Giganta), con un intervalo de temperatura que va de un promedio máximo de 43.3°C a un mínimo de 1.89°C. La media anual de la precipitación alcanza solo 150 mm (el intervalo de precipitación comprende de 50 a 300 mm por año), del cual 30% representan lluvias invernales y 70% veraniegas (CNA, 2002). En la temporada veraniega se generan escurrimientos originados a partir de precipitaciones como resultado de la aproximación de ciclones tropicales. El Valle de Santo Domingo es definido por tres cuencas hidrográficas, al norte la cuenca Santo Domingo, en la parte media la cuenca Las Bramonas, y al sur la cuenca Santa Cruz (Figura 1).

El Valle de Santo Domingo representa la región agrícola y pecuaria más importante del estado; las actividades agropecuarias cubren 72,409 hectáreas que en conjunto se conoce como el Distrito de Riego 066. La problemática en el Valle de Santo Domingo inició con la extracción desmedida de agua. Los primeros pozos se instalaron a finales de la década de los años cuarenta, para la década de los sesenta, las extracciones ya habían alcanzado hasta 250 millones de m³ al año lo que supera la recarga media anual de 188 millones de m³ (CNA, 2002). En los años setenta, el número de pozos había superado 500 unidades, y las extracciones rondaban en 300 millones de m³ al año. El punto más ríspido de la explotación se observó durante la década de los ochenta, con extracciones de hasta 450 millones de m³ al año, más del doble de la recarga media anual. A partir de los noventa se dio inicio a una reducción paulatina de la extracción, con el fin de reducir los efectos de sobreexplotación y alcanzar el equilibrio entre recarga y extracción. Para el año 2007 las extracciones disminuyeron hasta 168 millones de m³ al año, lo que es ligeramente menor a la recarga media anual (SEMARNAT, 2009). Con estas medidas prácticamente se ha logrado disminuir la tasa de abatimiento del acuífero; sin embargo, de acuerdo con la SEMARNAT (2009) de continuar la situación actual los niveles continuarán profundizándose en el centro del cono de descenso y la calidad del agua seguirá empobreciéndose, al disminuir la circulación natural del agua subterránea. Como consecuencia de la sobreexplotación, se han detectado cambios en la mineralización del agua subterránea, la cual se extrae actualmente en 700 pozos del Distrito de Riego 066 del Valle de Santo Domingo, B.C.S. Según Cardona et al. (2004), que interpretaron los 35 análisis de agua de pozos agrícolas (documentadas en SEMARNAP, 1996), los parámetros químicos que se presentan en los pozos del Valle de Santo Domingo resultan de la mezcla entre al menos cuatro tipos de agua: agua salina antigua, agua derivada de retornos de riego y de agua salinas generadas por la intrusión marina y agua de la lluvia o del escurrimiento con baja mineralización.

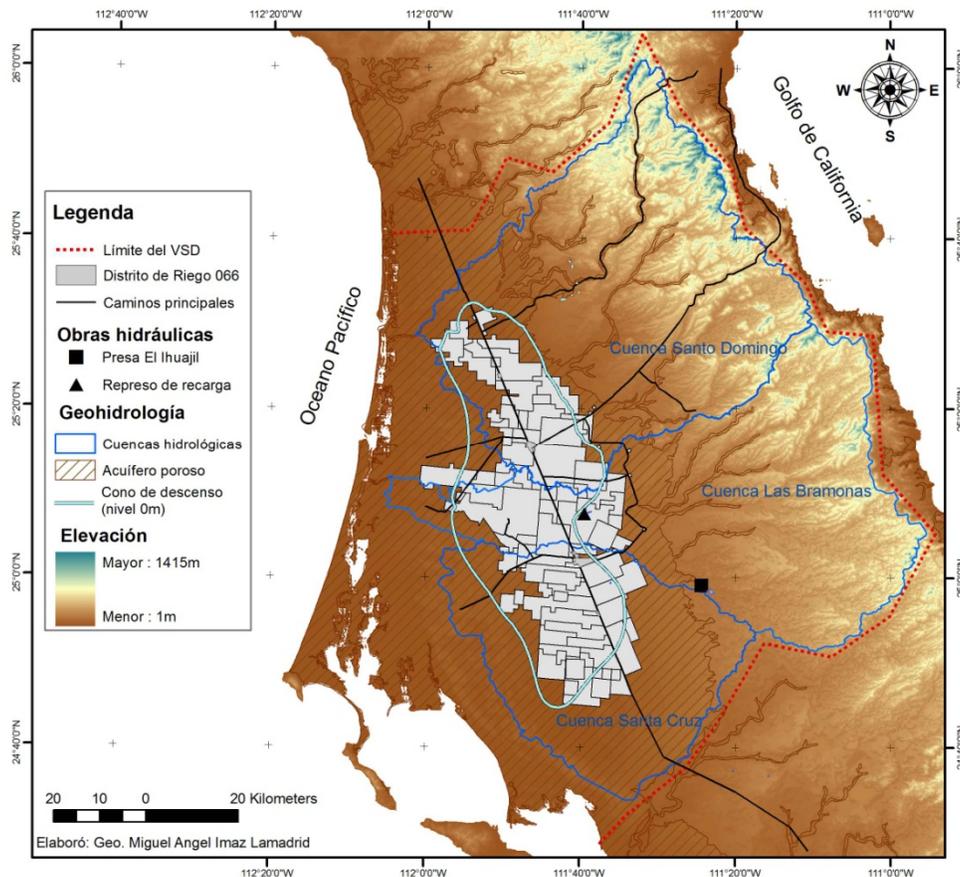


Figura 1: Las cuencas hidrográficas, las principales ciudades y rasgos geohidrológicos en el Valle de Santo Domingo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de investigar la calidad y variación química del agua subterránea de la cuenca Valle de Santo Domingo, se realizó una recopilación de análisis histórica e información hidrogeoquímica disponible. Se interpretaron análisis de 703 pozos agrícolas, tomados entre 1986 y 2012, que están documentados en la base de datos de la CONAGUA (4,633 análisis, tomados entre 1986 y 2012), además, 90 análisis del año 1986 documentados en los mapas de suelos 1:250000 del INEGI (2001) y 35 análisis del año 1995 tomados del reporte SEMARNAP (1996). Además se tomó un total de 100 análisis durante los años 2007, 2008 y 2012. La ubicación de los pozos se documenta en la Figura 2.

El primer paso consistió en la revisión de los análisis químicos disponibles para considerar únicamente aquellos que presentan información confiable. La base de datos elaborada incluye los siguientes parámetros:

- Físicoquímica: pH, conductividad eléctrica y temperatura*.
- Cationes: Ca, Mg, Na, (K*).
- Aniones: HCO₃, SO₄, Cl, (CO₂ disuelto*).

*Parámetro que no fue documentado en todos los análisis.

En el siguiente paso se analizaron los datos respecto a la variación de la composición hidroquímica durante un tiempo de 27 años. Especialmente la conductividad eléctrica, que mide la actividad del agua, permite reconocer de manera indirecta cambios en la salinidad del agua subterránea.

Con el fin de analizar si cambios observados en la conductividad eléctrica corresponden a temporadas secas y húmedas, se realizó una interpretación más detallada: Se graficó en un diagrama "Box & Whisker" la conductividad eléctrica respecto al mes de la toma de muestra, tomando en cuenta análisis de todos los años.

Finalmente se evaluó la calidad del agua para el riego mediante un diagrama de Wilcox, modificado por Blasco y de la Rubia (1973). Este diagrama, diseñado por el Laboratorio de Salinidad de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), permite la clasificación del agua para el riego por medio de solo dos criterios:

- La Salinidad del agua (mediante la medición de su conductividad eléctrica),
- La Relación de Absorción de Sodio (RAS).

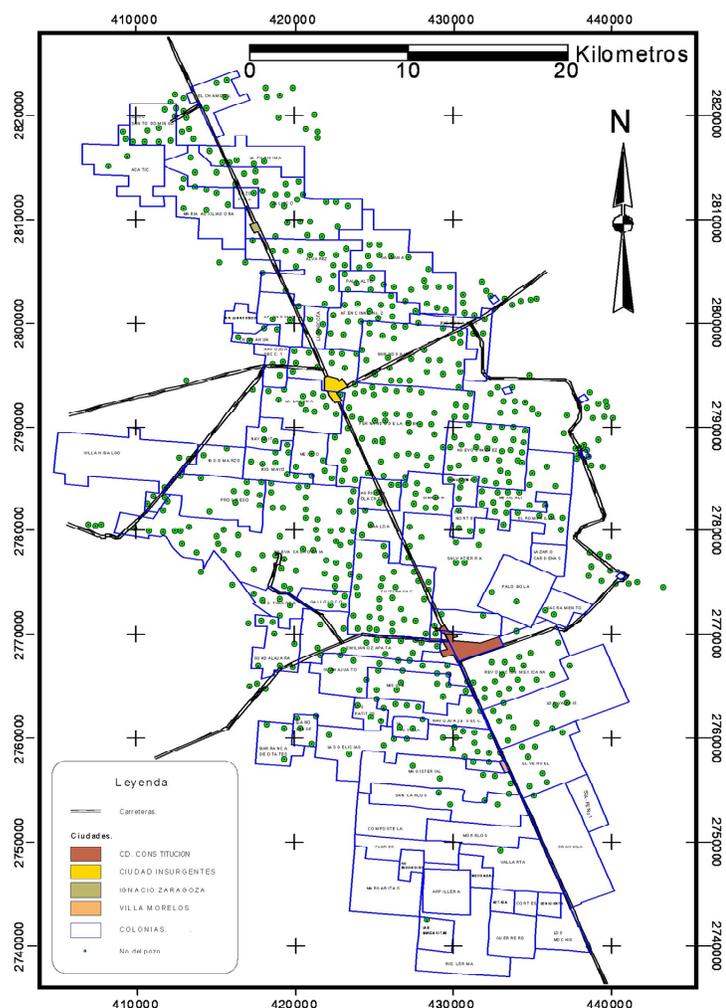


Figura 2: Ubicación de los 703 pozos agrícolas con información hidroquímica en el Valle de Santo Domingo

RESULTADOS

Se observo una alta variación del promedio anual de la conductividad eléctrica en conjunto con un aumento notable desde 1986. Respecto al potencial de hidrógeno (pH) se registró en general una disminución entre 1986 y 2005 alrededor de una unidad de pH (el promedio se disminuyó de 8 a 7). Bajo las condiciones semiáridas de la cuenca con temporadas secas y húmedas, se observó una variación fuerte en la conductividad eléctrica (Figura 3) con su máximo entre los meses abril hasta julio. También se observó la variación temporal en la composición hidroquímica para los iones calcio, sodio, cloruros y sulfatos con un máximo en primavera, mientras que la concentración de bicarbonatos tiene poca variación durante el año.

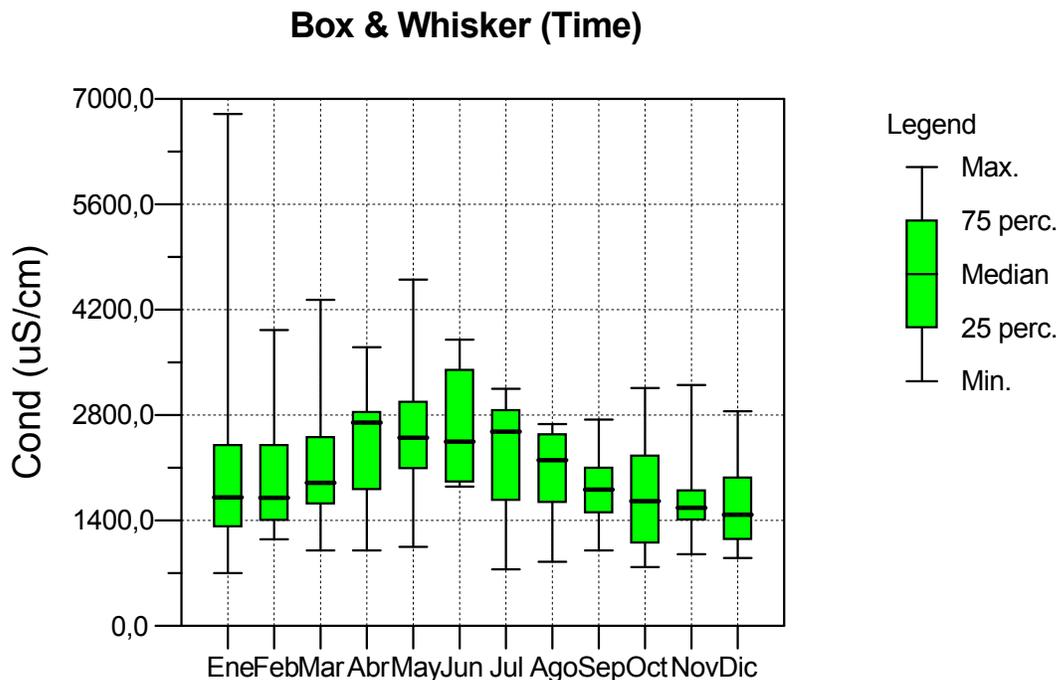


Figura 3: Variación mensual de la conductividad eléctrica en el Valle de Santo Domingo.

La posición de los análisis en el diagrama de Wilcox indica que solo en dos pozos se encuentran aguas de baja salinidad y bajo contenido en sodio, aptas para el riego en todos los cultivos y ocho muestras corresponden a agua de salinidad media, apta para el riego de la mayoría de los cultivos. El 93 % de los datos analizados presentaron agua con alta y muy alta de salinidad, que puede utilizarse solo para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad. Además 14 muestras representan agua con contenido medio en sodio pero de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy específicos. Finalmente diez muestras representaron agua con alto contenido en sodio con peligro de aportación y acumulación de sodio en el suelo; nueve pozos tienen una salinidad excesiva, no aptos para el riego en general.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El agua subterránea en el Valle de Santo Domingo está en vías de degradación, provocada por la sobreexplotación en el pasado. Se observó una acidificación del agua de una unidad de pH entre 1986 y 2005, que corresponde a la fase de sobre-explotación del acuífero. El mayor problema respecto a la calidad del agua para el riego representa la elevada mineralización total del agua, ya que la gran mayoría de las aguas de riego se encontraron en un nivel alto y muy alto según el diagrama Wilcox, mientras que el RAS en la gran mayoría de las muestras indica un nivel bajo-medio. Debido a esta problemática es importante mantener una política para el control y el buen uso del agua de riego, que promueva la disminución de la extracción del acuífero, así como, la reconversión de cultivos en el Valle de Santo Domingo, hacia especies tolerantes al incremento paulatino de la salinidad del agua y del suelo de la región.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por su y apoyo técnico y al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales (SEMARNAT) por su apoyo financiero para el proyecto “Estudio hidrogeológico integral de la Cuenca Santo Domingo, Baja California. Sur” (SEMARNAT-2004-C01-432).

REFERENCIAS

1. Comisión Nacional del Agua. 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Santo Domingo, Estado de Baja California Sur. Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, México. 26 pp.
2. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2009. Estudio Hidrogeológico Integral de la cuenca Santo Domingo, B.C.S. Realizado bajo convenio FOSERMANAT-2004-01-432 por la Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México, (no publicado).
3. Cardona, J.J., Carrillo-Rivera, R., Huizar-Alvarez, R. y Graniel-Castro, E. 2004. Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, México. *Environmental Geology* 45; 350-366, Springer.
4. SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE. RECURSOS NATURALES y PESCA. 1996. Actualización del estudio geohidrológico del acuífero del Valle de Santo Domingo, B. C. S. Informe final, Contrato No. GAS-OIO-96, (no publicado).
5. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2001. Carta de uso del suelo y vegetación, Escala 1:250,000 Serie II (G1207, VILLA CONSTITUCIÓN).
6. Blasco, F y Rubia, J. de la. 1973. Guía para la clasificar las aguas en relación con su calidad para el riego. Instituto para la Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA). Madrid.

ACUMULACIÓN HISTÓRICA DE METALES PESADOS EN DOS CUERPOS DE AGUA

Mariana Veira^a, Anne M. Hansen^b Isabel Israde^c

^a*Posgrado en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelos, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec, Mor., 62550, Mexico*

^b*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec, Mor., 62550, Mexico.*

^c*Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Departamento de Geología y Mineralogía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edif. U, Ciudad Universitaria 888, Morelia, Mich., 58070, Mexico.*

^amarianita_vp@hotmail.com

RESUMEN

En las últimas décadas, el mercurio (Hg), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) han despertado un interés global debido a los efectos adversos que ocasionan al medio ambiente y la salud humana. Estos metales pesados pueden incorporarse a la atmósfera a través de diversos mecanismos y ser transportados a grandes distancias, efectuando “saltos” continuos entre el aire y los ecosistemas (Weinberg, 2009); sin embargo, tienden a acumularse finalmente en los sedimentos de los cuerpos de agua. En México, no existen programas de monitoreo de Hg, Cd y Pb y además, el país ha ratificado convenios internacionales que lo exhortan a tomar medidas de control en cuanto a la contaminación con estos metales. Por consiguiente, los sedimentos constituyen excelentes matrices ambientales para el monitoreo de la contaminación histórica de metales (Hansen, 2012) y de otros contaminantes persistentes. Los núcleos de sedimento deben obtenerse de cuerpos de agua poco perturbados, caracterizados por una tasa constante de sedimentación y presencia de material fino con alta capacidad de adsorber contaminantes (Sherwood-Lollar *et al.*, 2003; van Afferden *et al.*, 2005). En base al inventario nacional de lagos de INEGI, se eligió a la Laguna de Zempoala y la Laguna de Miramar como sitios de estudio propicios para analizar las depositaciones de metales características de las regiones donde se localizan, ya que se encuentran ubicados en cuencas hidrológicas pequeñas dentro de zonas naturales protegidas, alejados de grandes asentamientos poblacionales y de fuentes generadoras directas. Se realizó una batimetría en ambos lagos para identificar zonas profundas y poco alteradas, donde se obtuvieron los núcleos de sedimento. En el laboratorio, se cortó longitudinalmente un núcleo para observar la disposición de las capas y posibles niveles laminares, así como textura, color, estructuras sedimentarias y depósitos orgánicos acompañantes (diatomeas, vegetación, etc.). En intervalos de 1 y 2 cm de espesor se analizó humedad, densidad, tamaño de partícula y

contenido de materia orgánica. En los núcleos restantes, se evaluó la edad de las capas de sedimentos mediante cuantificación de ^{210}Pb y ^{137}Cs (Baskaran y Naidu, 1995) y se determinaron las concentraciones de Hg, Cd y Pb, así como aluminio (Al), hierro (Fe) y manganeso (Mn). Se determinaron los factores de enriquecimiento de los metales traza respecto a los suelos de las zonas de estudio. Se analizaron los resultados considerando la ubicación de los lagos, las velocidades de sedimentación y las características del sedimento.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos, se contribuye con información relevante que permite conocer las variaciones históricas de la concentración de metales y así, dar seguimiento a las políticas de reducción de emisiones de estos contaminantes.

REFERENCIAS

1. Weinberg, J., *Guía para las ONG sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes*, Red Internacional de la Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN), Texcoco, México (2009).
2. Hansen, A.M., *Lake sediment cores as indicators of historical metal(loid) accumulation – A case study in Mexico*, Applied Geochemistry, 27, 1745 (2012).
3. van Afferden, M., Hansen, A.M. y Fuller, C.C., *Reconstrucción de la deposición atmosférica histórica de DDT en la laguna de Zempoala en el centro de México*, Ingeniería Hidráulica en México, México XX (3), 71-83 (2005).
4. Sherwood Lollar, B., Holland, H. D. y Turekian, K. K., *Treatise on Geochemistry*, Volume 9. [9.03 - Heavy Metals in the Environment—Historical Trends](#), Elsevier Science, UK (2003).
5. Baskaran, M. y Naidu, A.S., *^{210}Pb -derived chronology, and fluxes of ^{210}Pb and ^{137}Cs isotopes into continental shelf sediments, East Chukchi Sea, Alaskan Arctic*, Geochimica et Cosmochimica Acta, 59, 4435-4438 (1995).

DISTRIBUCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DE LA PARTE SUR DEL DISTRITO MINERO EL TRIUNFO-SAN ANTONIO, B.C.S., MÉXICO?

Jobst Wurl^a, Lia Mendez-Rodriguez^b, Baudilio Acosta-Vargas^b, Ernesto Ramos Velázquez^a, Genaro Martínez Gutiérrez^a

^a Departamento de Geología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur Km 5.5. Apartado Postal 19-B, C.P. 23080. La Paz (B.C.S.)

^b Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. (CIBNOR) Mar Bermejo 195. Playa Palo de Santa Rita, C.P. 23096, La Paz (B.C.S.)

* jwurl@uabcs.mx

RESUMEN

El distrito minero San Antonio-El Triunfo está ubicado en una región montañosa en una distancia de 60km al sureste de La Paz. La actividad minera inicio en el siglo XVIII y se centró en la extracción de oro y plata; la mayor actividad minera hubo entre 1878 y 1911. En efecto los residuos mineros resultaron distribuidos sobre un área de aproximadamente 350-400 km². El área contiene hoy varios subproductos como resultado de la oxidación de la arsenopirita. Mientras para la parte central del distrito minero San Antonio-El Triunfo el impacto de la minería histórica en la composición del agua subterránea está documentada en varios estudios (Carrillo-Chávez, 1996; Carrillo-Chavez et al., 2000; Naranjo-Pulido et al., 2002; Marmolejo-Rodríguez et al., 2011) falta esta evaluación para la parte sur. El objetivo del estudio fue documentar el contenido de parámetros relevantes de las contaminaciones mineras en el agua subterránea, especialmente con respecto a la concentración de arsénico. Otro objetivo fue comprobar si existe un componente hidrotermal en la composición de las aguas subterráneas y si esto puede ser una fuente adicional de arsénico en el agua subterránea del distrito minero.

En otoño de 2010 se tomo 29 muestras de agua subterránea y se analizo un total de 37 variables en cada muestra. Todas muestras de agua corresponden a agua dulce con concentraciones de sólidos disueltos totales menores a 1000 mg/L. Arsénico disuelto superó al valor de 0,01 mg/L, establecido por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2011), en el 41% de los sitios monitoreados. La concentración máxima de arsénico disuelto fue de 0,45 mg/L. En ningún caso se detecto en el agua concentraciones de mercurio, berilio, selenio, plata, cadmio, estaño, antimonio, talio y bismuto mayores al límite de cuantificación del método correspondiente. Cuatro muestras de agua indican una composición típica para el agua con un componente hidrotermal y se caracterizan por una elevada concentración de boro (máx. concentración 9,5 mg / L) fluoruro (máx. concentración de 3,25 mg / L) y por valores del pH alcalinos (> 9).

CONCLUSIONES

En el área de estudio se observa concentraciones de arsénico elevadas, mientras otros parámetros relevantes de las contaminaciones mineras como mercurio, antimonio o cianuro no alcanzaron concentraciones por encima del límite de calibración. Elevadas concentraciones de arsénico en el área de estudio no están relacionadas con agua subterránea con un componente hidrotermal.

REFERENCIAS

1. Carrillo-Chávez A. 1996. Environmental geochemistry of the San Antonio – El Triunfo mining area, southernmost Baja California peninsula, Mexico.
2. Carrillo-Chavez, A., Drever, J.I and Martinez. M., 2000. Arsenic content and groundwater geochemistry of the San Antonio-El Triunfo, Carrizal and Los Planes aquifers in southernmost Baja California, Mexico. *Environmental Geology*, v.39, n.11, 1295-1303.
3. Naranjo-Pulido, A., Romero-Schmidt, H., Mendez-Rodriguez, L., Acosta-Vargas B., Ortega-Rubio, A., 2002. Soil arsenic contamination in the Cape Region, B.C.S., Mexico. *J. Environ. Biol.*, 23, 347-352.
4. Marmolejo-Rodríguez, A.J., Sánchez-Martínez, M.A., Romero-Guadarrama, J.A., Sánchez-González, A., Magallanes-Ordóñez, V.R., 2011. Migration of As, Hg, Pb, and Zn in arroyo sediments from a semiarid coastal system influenced by the abandoned gold mining district at El Triunfo, Baja California Sur, Mexico. *J. Environ. Monit.*, 2011, 13, 2182-2189.
5. World Health Organization, WHO 2011. Guidelines for drinking water, 2011: World Health Organization. 4th ed. Geneva, Switzerland, World Health Organization. xiii, 541 p WHO

SESIÓN III

AMBIENTAL

NIVELES DE MERCURIO EN SUELO Y RESIDUOS DE AMALGAMACIÓN REPROCESADOS EN CEDRAL, SAN LUIS POTOSÍ.

Adriana K. Leura-Vicencio, Israel Razo-Soto, Javier Castro-Larragoitia, Catalina. Alfaro-De la Torre, L. Carrizales-Yañez, I. Montes-Ávila.

Facultad de Ingeniería y Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Manuel Nava 8, CP. 78290.

karynna_levi22@live.com.mx

RESUMEN

En la localidad de Cedral, San Luis Potosí, durante el S. XVIII se beneficiaron minerales de plata mediante amalgamación con mercurio generando jales de amalgamación que fueron posteriormente reprocesados para recuperar el mercurio. Debido a la ineficiencia de los procesos de beneficio por amalgamación y del reprocesamiento de jales, el suelo del sitio y los residuos que actualmente se encuentran abandonados en Cedral podrían contener concentraciones de mercurio de relevancia ambiental ^[1]. Con base a lo anterior y dado que el mercurio es uno de los elementos más tóxicos debido a su persistencia, movilidad y potencial bioacumulación ^[2], se realizó un estudio exploratorio para determinar los niveles de mercurio en suelo y residuos en Cedral, San Luis Potosí. El muestreo consistió en la extracción de núcleos de suelo y de residuos de hasta 1 m de profundidad que se dividieron en tres secciones: superficial (0-30 cm), media (30-60 cm) y profunda (60-100 cm). La fracción <2 mm de cada sección se digirió en horno de microondas con HNO₃ 25%-HCl 10% para determinar la concentración total-recuperable de mercurio por la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Vapor Frío (CV-AAS). Las concentraciones de mercurio en muestras de suelo variaron desde *no detectable* a 558 mg/kg, donde las concentraciones más bajas se registraron en las secciones profundas de suelos impactados por la dispersión de residuos, mientras que las más altas se encontraron en la sección media del área donde originalmente se depositaron los residuos de amalgamación. En los residuos, las concentraciones de mercurio variaron de 45 a 424 mg/kg y no se observó una asociación con respecto a la sección analizada.

CONCLUSIONES

Se confirmó la presencia de elevadas concentraciones de mercurio en suelo y residuos en el sitio de estudio, lo que representa potenciales riesgos para la salud de la población y el medio ambiente, por lo que resulta de gran importancia definir la extensión de la contaminación y realizar estudios de especiación química del mercurio.

REFERENCIAS

1. Ogura T., Ramírez-Ortiz J., Arroyo-Villaseñor Z.M., Hernández-Martínez S., Palafox-Hernández J.P., García de Alba L.H., Fernando Q. "Zacatecas (México) companies extract Hg from surface soil contaminated by ancient mining industries". *Water, Air and Soil Pollution*. 148:167-177 (2003).
2. Bloom S.N., Presus E., Katon J., Hiltner M. "Selective extractions to assess the biogeochemically relevant fractionation of inorganic mercury in sediments and soils". *Analytica Chimica Acta*. 479:233-248 (2003).

METODOLOGÍA PARA ESTABLECER LA RELACIÓN DEL MERCURIO TOTAL CON PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN SAN JOAQUÍN, QRO., MÉXICO.

Sergio Martínez-Trinidad ^a*, Gilberto Hernández-Silva ^b, Silke Cram Heydrich ^c

^a Posdoctorante del Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, Cd. Universitaria, 04360, Coyoacán, México, D. F.

^b Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus UNAM-Juriquilla, Carretera Querétaro-San Luis Potosí km. 15.5, 76230, Juriquilla, Querétaro, México.

^c Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, Cd. Universitaria, 04360, Coyoacán, México, D. F.

* sergiomtzt@igg.unam.mx

INTRODUCCIÓN

La explotación de mercurio está vedada a nivel mundial por su toxicidad y polución al ambiente [1]. En México este elemento se explotó como cinabrio (sulfuro de mercurio) teniéndose registros de producción de 1891 hasta 1995; el Distrito Minero de San Joaquín tuvo un auge importante en la década de los sesentas y setentas del siglo pasado, obteniendo el primer lugar en producción a nivel nacional con una producción de hasta 3.9 toneladas semanalmente, lo que permitió que México llegara a ocupar el cuarto lugar a nivel mundial [2]. Esta actividad dejó en el Distrito Minero jales a cielo abierto debido a que en esa época no había regulación ambiental. Actualmente, una parte significativa de mercurio permanece aún en el ambiente y no hay estudios en México sobre la magnitud de su dispersión.

El comportamiento del mercurio en el suelo depende de algunas propiedades físicas y químicas. El pH controla la movilidad de los metales, la mayoría son más móviles en condiciones ácidas. La materia orgánica, arcilla y capacidad de intercambio catiónico proporcionan condiciones favorables para la acumulación, fijación e inmovilización del mercurio [3]. La salinidad y el potencial redox son factores que pueden incrementar la movilidad de los metales [4]. Los carbonatos pueden influir en la retención del mercurio en forma de cinabrio (HgS), limitando su solubilidad debido a la neutralización de la acidez [5]. Los cloruros pueden formar especies solubles con el mercurio debido a su afinidad, reduciendo la retención de mercurio inorgánico [6], mientras que los sulfatos pueden precipitar en sulfato de calcio ocasionando la neutralización de la acidez originada por la oxidación de sulfuros [7].

La estadística paramétrica (correlación, regresión lineal, regresión lineal múltiple) se puede utilizar para establecer la relación existente entre la concentración de mercurio total y las propiedades físicas y químicas. No obstante, existen técnicas alternativas que permiten establecer sus relaciones, como el análisis de regresión con árboles de decisión.

Los modelos basados con árboles de decisión permiten interacciones complejas entre las variables de respuesta, sin hipótesis de linealidad [8]. Además, los árboles de decisión son procedimientos no paramétricos, que construye un conjunto de reglas de decisión para la identificación de variables de respuesta de un grupo [9]. Se han empleado para predecir propiedades físicas y químicas del suelo [10], para el modelado

de la sorción y retención de metales pesados en el suelo [11] y para identificar posibles relaciones causales en una variedad de datos ambientales [12].

De igual manera, es importante conocer su distribución espacial ya que determina el grado de la contaminación que podría encontrarse en el ambiente circundante [13]. Los terreros de mina enriquecidos con mercurio expuestos a cielo abierto, favorece el transporte del contaminante por acción del viento y la lluvia hacia los suelos y sedimentos. La erosión hídrica favorece a la re-movilización del mercurio en la capa superficial del suelo transportándolo en los sedimentos y ocasionando su dispersión en la red de drenaje [14], mientras que, el transporte de partículas finas por el aire durante la extracción del metal es un mecanismo de contaminación de las áreas cercanas a las minas [15].

Las técnicas geoestadísticas toman en cuenta la autocorrelación o dependencia espacial de los datos [16]. Para cumplir tal propósito primero se evalúa la estructura espacial de los datos, la cual se describe usualmente mediante un variograma experimental, el cual es básicamente una gráfica de la semivarianza entre pares de observaciones contra su distancia en un espacio geográfico. Un variograma se define mediante modelos teóricos permisibles (exponencial, esférico, logarítmico, etc.) y los parámetros sill (la diferencia del promedio al cuadrado de dos observaciones independientes), range (la distancia máxima en la cual los pares de observaciones se pueden influenciar o están autocorrelacionados) y nugget (la varianza dentro de una unidad de muestreo) [17]. Una vez que la estructura de autocorrelación espacial se ha determinado con el variograma es posible hacer una interpolación con la técnica de kriging para predecir la distribución espacial del mercurio y las propiedades físico-químicas [18, 19].

En esta investigación, el análisis de regresión con árboles de decisión se aplica para la selección de las propiedades físicas y químicas que están más asociadas con el mercurio. El propósito es utilizar el resultado para la elaboración de mapas con técnicas geoestadísticas, permitiendo la integración de las propiedades espacialmente. La regionalización del área de estudio con atributos específicos de propiedades físicas, químicas y de mercurio permite entender el comportamiento del contaminante en el suelo e indicar las áreas prioritarias para futuros trabajos de remediación.

SECCIÓN EXPERIMENTAL

El estudio se realizó en base a un procedimiento que permite en primera instancia, analizar la tendencia estadística del mercurio y las propiedades físicas y químicas. Posteriormente, se establecen las relaciones del mercurio con las propiedades físicas y químicas mediante la regresión con árboles de decisión. Finalmente, la interpolación e integración de las propiedades a nivel espacial para la interpretación del comportamiento de mercurio en el área de estudio con el uso de técnicas geoestadísticas y sistema de información geográfica.

Sitios de Muestreo

La delimitación del área de estudio se realizó mediante el criterio de cuenca hidrológica, considerándola como marco de referencia para la selección de los sitios de muestreo [20]. Debido a la complejidad del relieve abrupto y accidentado, así como a las pocas vías de comunicación (caminos), el diseño de muestreo se hizo en función de la distribución espacial de los atributos más representativos del área de estudio, muestreándose en suelos, terreros de mina y sedimentos.

El muestreo de suelos se hizo en dos usos del suelo predominantes, el forestal y el agrícola. La información cartográfica del Servicio Geológico Minero se utilizó para la ubicación de las minas más representativas. Además, se muestrearon arroyos y pequeñas terrazas aluviales cercanas a las minas, con la finalidad de conocer el transporte del contaminante.

Cada sitio de muestreo de suelos y terreros representa una muestra de cinco submuestras a distancias de 50 m cada una, y una profundidad de 0-25 cm. Cinco muestras de sedimentos fueron colectados en un segmento de 100 m, obteniendo una sola muestra representativa del segmento a lo largo de los arroyos y pequeñas terrazas aluviales. En total se colectaron 102 muestras, 47 corresponden a suelos, 28 a terreros de mina y 27 a sedimentos.

Análisis de Laboratorio

a) Mercurio total: las muestras colectadas se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron en malla 10 (2 mm). Una parte de la muestra se molió con un mortero para obtener una muestra homogénea y fina. De cada muestra se pesó 0.1 g por triplicado y se colocaron en el analizador avanzado de mercurio AMA-254 de medición directa, emplea la técnica de incineración generando vapor de mercurio. La calibración del equipo se hizo con estándares de MOSTAR Hungarian stream sediment standard, Slovakian reference material (ISE 982) y WEPAL monitor simple (ISE 921).

b) Propiedades físicas y químicas: la textura se determinó por el método de Bouyoucos; el pH en agua con una relación suelo-agua 1:2 y en el extracto de saturación se determinaron con un potenciómetro BECKMAN; la conductividad eléctrica se midió con un conductímetro CORNING; la materia orgánica se realizó por el método de Walkley y Black; el potencial redox se midió con un equipo ORP Meter RE300; y la capacidad de intercambio catiónico se cuantificó con el método de versenato. Se prepararon pastas de saturación para la obtención de extractos y evaluar carbonatos, bicarbonatos y cloruros con titulación volumétrica, y los sulfatos mediante colorimetría. Los procedimientos de laboratorio fueron considerando la Norma Oficial Mexicana-021-RECNAT [21].

Regresión con árboles de decisión

Este análisis se elaboró con la base de datos completa y no por tipo de muestra analizada (terrero, suelo y sedimento) para incrementar el análisis entre el mercurio total y las propiedades físicas y químicas, además de que en esta técnica es necesario un conjunto de datos suficientes para el desarrollo de modelos válidos estadísticamente [8, 9]. El método empleado fue el CART (árboles de regresión y clasificación) y fue elaborado con el software R versión 2.15.2 [22]. Consistió en 4 etapas: a) construcción del árbol, b) parada del proceso de crecimiento del árbol, c) el podado del árbol haciéndolo más sencillo y dejando sólo los nodos más importantes y, por último, d) selección del árbol óptimo con capacidad de generalización [9].

Técnicas geoestadísticas

La primera etapa consistió en el análisis exploratorio de datos con el propósito de identificar variabilidad, forma y observaciones extremas [23]. La segunda etapa se basó en el análisis de la variación espacial mediante la construcción del variograma experimental, modelos teóricos y su validación de ajuste (ampliamente descritos en [18]). La tercera etapa fue la predicción espacial con kriging, este interpolador genera los

resultados más próximos a las observaciones reales [13]. El análisis geoestadístico se realizó con el software R versión 2.15.2 [22].

Asociación de mapas con sistema de información geográfica

Se aplicó algebra de mapas de la herramienta “spatial analyst tool” del software ArcGIS 10 para el agrupamiento de las propiedades y la obtención del mapa final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Regresión con árboles de decisión

La regresión con árboles de decisión permitió identificar relaciones del mercurio total con los bicarbonatos, el pH, el potencial redox y la materia orgánica (Figura 1). Los contenidos más altos de mercurio ($> 77 \text{ mg kg}^{-1}$) se relacionan con las concentraciones de bicarbonatos superiores a 256 mg kg^{-1} , mientras que los niveles de $\text{pH} > 8.5$ se relacionan especialmente con contenidos de mercurio superiores a 64 mg kg^{-1} . La menor capacidad oxidativa ($< 170 \text{ mV}$) se relaciona con los contenidos de mercurio mayores a 50 mg kg^{-1} , en tanto que, los niveles mayores de 5.5% de materia orgánica, se relacionan con los contenidos de mercurio mayores a 19 mg kg^{-1} .

No hay estudios que establezcan las relaciones del mercurio con las propiedades físicas y químicas mediante esta técnica de análisis, únicamente los elaborados con técnica paramétrica. La mayoría de estos estudios muestran relaciones positivas significativas del mercurio con el contenido de materia orgánica [24]; sin embargo, para esta misma propiedad y otras como el pH y carbonatos, el patrón de correspondencia es muy variable, inclusive, se ha obtenido una relación muy baja con la materia orgánica [25], relaciones negativas significativas con pH y carbonatos [26] ó sin relación significativa para pH y carbonatos [27]. No se encontraron estudios de correlación para mercurio y potencial redox.

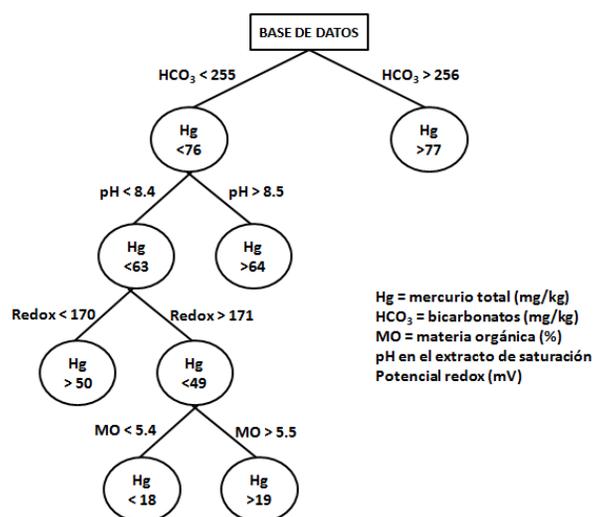


Figura 1. Árbol de clasificación y regresión para predecir las propiedades físicas y químicas más asociadas al contenido de mercurio total.

Mapas con modelos geoestadísticos

Los mapas de las propiedades de materia orgánica, pH, potencial redox, bicarbonatos y de mercurio total se observan en la Figura 2. Las regiones con mercurio total superior a 23 mg kg^{-1} representa el 46% del área de estudio; esto significa que de acuerdo a la NOM-147 [28] esta área requeriría alguna obra de remediación. Sin embargo, la predominancia de rocas carbonatadas en la región, hace que los pH en suelos sean medianamente alcalinos en un 98 % del área (pH 7.4 a 8.5), lo que favorece la presencia de carbonatos en un 68 % del área con cantidades superiores a 120 mg kg^{-1} ; esto favorece a la neutralización y estabilización del mercurio total.

Aproximadamente el 56 % del área de estudio presenta bosques de pino-encino y táscate con especies de Juníferos y Cupressus. Esta vegetación podría explicar los contenidos superiores a 3.5% de materia orgánica con una distribución en un 71 % del área. La acumulación e inmovilización de mercurio en suelos forestales se le atribuye al contenido de materia orgánica presente en el horizonte orgánico [29]; esto significa que entre mayor sea el contenido de materia orgánica, mayor será la capacidad de retención de mercurio. Los valores obtenidos de potencial redox en las muestras (135 a 278 mV) se ubican en el rango intermedio del proceso de oxidación-reducción (+400 a -100 mV) propuesto por la EPA [30]. Aunque los potenciales redox sean superiores a 200 mV en un 77 % del área, su efecto en la movilidad del mercurio podría ser disminuido por las propiedades de pH, carbonatos y materia orgánica.

Los valores del análisis de regresión con árboles de decisión difieren a los mencionados en los mapas geoestadísticos debido a que en el primero, el análisis se hizo con la base de datos completa, mientras que en el segundo, hay procesamiento de los datos, como la exclusión de datos extremos y el ajuste a un modelo esférico, lineal ó exponencial. A pesar de esta diferencia, puede observarse que hay una correspondencia en el comportamiento de las propiedades entre el análisis de regresión con árboles de decisión y los mapas geoestadísticos (Figura 1 y Figura 2).

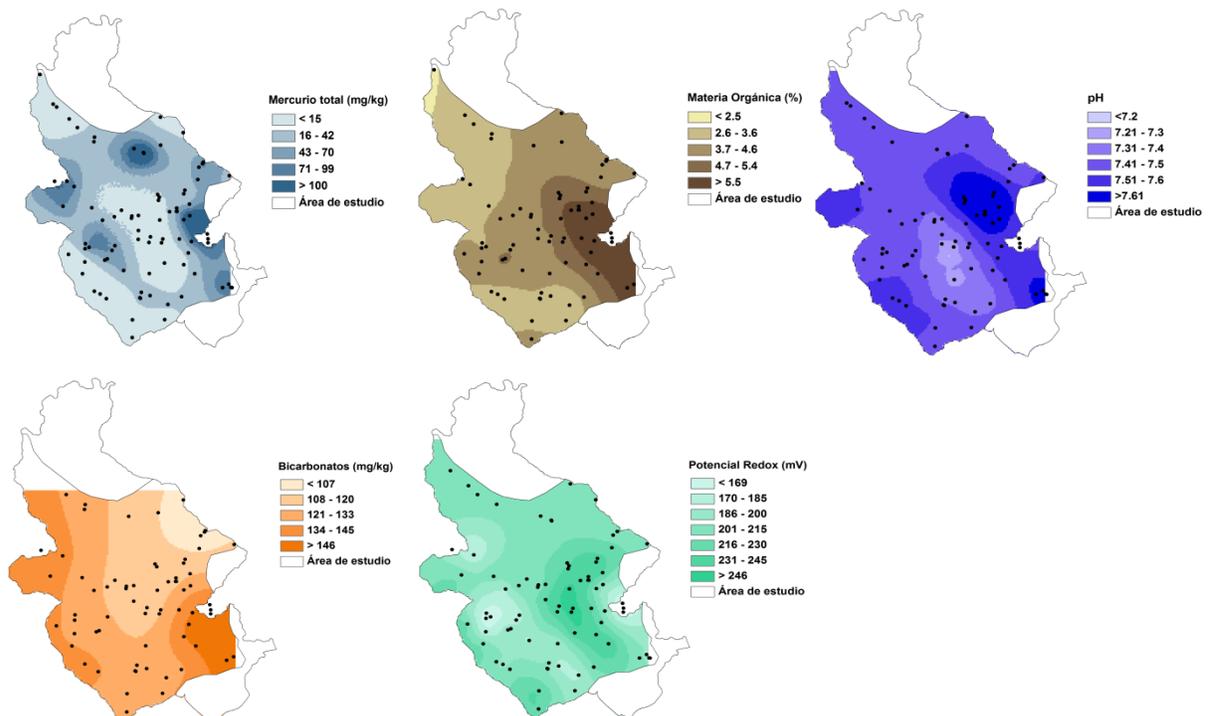


Figura 2. Distribución de los contenidos de las propiedades químicas y de mercurio.

Asociación de mapas con sistemas de información geográfica

Los criterios de clasificación para cada una de las propiedades estuvieron en función a su porcentaje de distribución dentro del área de estudio (Figura 3). Considerando lo reportado sobre el comportamiento del mercurio ante ciertas condiciones químicas [3, 5, 31, 32] se podría indicar que las áreas con mercurio total superior a 100 mg kg⁻¹, presentaron las mejores condiciones de neutralización e inmovilización del mercurio (materia orgánica > 3.5%; pH > 7.4; bicarbonatos > 120 mg kg⁻¹; redox < 199 mV). Las áreas de mercurio total entre 23 a 99 mg kg⁻¹ y menores a 23 mg kg⁻¹ mostraron variabilidad en algunas propiedades, pero con niveles muy adecuados para considerarse áreas no propensas a la movilidad del mercurio. Únicamente, el 2 % del área mostró pH menores a 7.4 (algunas muestras presentaron pH fuertemente ácido menor a cinco) y con contenidos de mercurio total menor a 23 mg kg⁻¹, lo cual podría considerarse un área susceptible a la movilidad del mercurio.

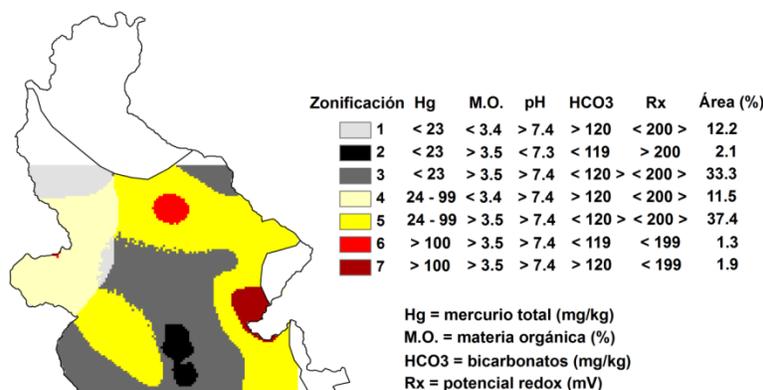


Figura 3. Asociación espacial de las propiedades químicas y de mercurio.

CONCLUSIONES

De las diez propiedades físicas y químicas analizadas, la materia orgánica, el pH, los bicarbonatos y el potencial redox, fueron relacionados en mayor grado con el mercurio total. El análisis de regresión con árboles de decisión fue específico en sus relaciones para que contenidos en las propiedades se presenta la relación con el mercurio total.

Existe una correspondencia entre el resultado de la regresión con árboles de decisión y los mapas elaborados con técnica geoestadística, observándose que en donde existen las mayores concentraciones de mercurio total hay mayor cantidad de materia orgánica, pH y bicarbonatos, en cambio, en las menores concentraciones de mercurio total, hubo mayor nivel de potencial redox.

La integración espacial de las propiedades permitió distinguir la distribución del mercurio total a diferentes concentraciones y su relación con el pH, la materia orgánica, los bicarbonatos y el potencial redox. El 46 % del área de estudio mostró concentraciones de mercurio superior a la NOM-147 (23 mg kg⁻¹), sin embargo, los altos contenidos de materia orgánica favorece a la retención, el pH de neutro a alcalino a la poca movilidad y los bicarbonatos a la neutralización, aunado al potencial redox intermedio, la región de estudio podría considerarse estable a la contaminación del mercurio en el suelo.

Únicamente el 2% del área de estudio podría ser susceptible a la movilidad del mercurio. La regionalización del área de estudio con atributos específicos de mercurio

total y propiedades químicas, permitió entender el comportamiento del mercurio total en el suelo e indicar las áreas prioritarias para futuros trabajos de remediación.

REFERENCIAS

1. UNEP., Report of the Global Mercury Assessment Working Group on the Work of its First Meeting, Geneva, Switzerland, 9-13 September (2002).
2. Langenscheidt A., *Arqueología Mexicana*, 13:77 (2006).
3. Desauziers V., Castre N., Le Cloirec P., *Environ. Technol.*, 18:10, 1009 (1997).
4. Bradl H.B., Elsevier Academic Press, Amsterdam, 269 (2005).
5. Higuera P., Oyarzun R., Biester H., Lillo J., Lorenzo S., *J. Geochem. Explor.*, 80: 95 (2003).
6. Schuster E., *Water Air Soil Pollut*, 56: 667 (1991).
7. Ramos-Arroyo Y.R., Siebe-Grabach C.D., *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23: 54 (2006).
8. Rothwell J.J., Futter M. N., Dise N. B., *Environmental Pollution*, 156: 544 (2008).
9. Breiman L., Friedman J., Olshen R., Stone C., Wadsworth International Group, Chapman & Hall, New York (1984).
10. Henderson B.L., Bui E.N., Moran C.J., Simon D.A.P., *Geoderma*, 124: 383 (2005).
11. Vega F.A., Matías J.M., Andrade M.L., Reigosa M.J., Covelo E.F., *Journal of Hazardous Materials*, 167: 615 (2009).
12. Bennett J.P., Jepsen E.A., Roth J.A., *Environmental Pollution*, 142:2, 354 (2006).
13. Webster R., Oliver M.A., John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, 263 (2001).
14. Almeida M.D., Lacerda L.D., Bastos W.R., Herrmann J.C., *Environ. Pollut.*, 137: 179 (2005).
15. Loredó J., Ordóñez A., Gallego J.R., Baldo C., García-Iglesias J., *J. Geochem. Explor.*, 67: 377 (1999).
16. Rossi R.E., Mula D.J., Journel A.G., Franz E.H., *Ecological Monographs*, 2: 277 (1992).
17. Wagner H.H., *Ecology*, 84: 1045 (2003).
18. Goovaerts P., *Biol Fertil Soils*, 27: 315 (1998).
19. Rodríguez Lado L., Hengl T., Reuter H.I., *Geoderma*, 148: 189 (2008).
20. Hernández-Silva G., Centro de Geociencias, campus UNAM-Juriquilla, Querétaro, México (2009).
21. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT, Diario Oficial de la Federación, México, D.F. (2000).
22. R Development Core Team., R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <http://www.R-project.org> [2012].
23. Hoaglin D.F., Mosteller F., Tukey J., John Wiley & Sons, New York (1983).
24. Ravichandran M., *Chemosphere*, 55: 319 (2004).
25. Wang X., Cheng G., Zhong X., Li M., *Environmental Geology*, 58: 635 (2009).
26. Rodríguez Martín J.A., López Arias M., Grau Corbí J.M., *Environ. Pollut.*, 144: 1001 (2006).
27. Gil C., Ramos-Miras J., Roca-Pérez L., Boluda R., *Chemosphere*, 78: 409 (2010).
28. Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1. Diario Oficial de la Federación, México, D.F. (2004).
29. Lacerda L.D., De Souza M., Ribeiro M.G., *Environ. Pollut.*, 129: 247 (2004).
30. EPA., U.S. Environmental Protection Agency (1986).
31. Adriano D.C., 2nd ed. Springer-Verlag, New York (2001).
32. Jing Y.D., He Z.L., Yang X.E., *Chemosphere*, 69: 1662 (2007).

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO POR MATERIALES PÉTREOS

Liliana Rodríguez Flores^a, Yolanda Marmolejo Santillán^a, Fidel Pérez Moreno^a, Araceli Castañeda Ovando^a, Araceli Sierra Zenteno^a, Kinardo Flores Castro^a, José Luis Cadena Zamudio^a.

^a*Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Mineral de la Reforma Hgo., México. C. P. 42184*

lilianar_f@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un elemento que se encuentra ampliamente distribuido de manera natural en la atmósfera, suelos, rocas, aguas naturales y seres vivos^[1]. Los niveles de As en agua no contaminada tanto superficial como subterránea varía entre 1-10 µg/L^[2], siendo la geología del subsuelo la principal causa de contaminación del agua subterránea^[3]; sin embargo, su concentración se ha incrementado debido a actividades antropogénicas tales como: minería, refinación del petróleo, uso de combustibles fósiles y fabricación de pesticidas y herbicidas^[2].

Debido a las consecuencias en la salud que produce el consumo de agua contaminada con arsénico, ya sea en concentraciones altas o bajas, existe la necesidad de investigar y desarrollar procesos tecnológicos que lo disminuyan. Entre los métodos más utilizados se encuentran: oxidación de arsénico (III), precipitación-coagulación, intercambio iónico, adsorción (alúmina activada, óxidos, hidróxidos, carbón activado), osmosis inversa y electrodiálisis^[4-8].

La adsorción es un método que ha sido aplicado en la disminución de contaminantes tóxicos y tiene la ventaja de ser de fácil manejo, la cual resulta atractiva cuando los materiales adsorbentes son de bajo costo^[9]. Asimismo, en la actualidad las investigaciones científicas se han enfocado en obtener mejores materiales adsorbentes mediante la modificación de los materiales naturales utilizando tratamientos físicos o químicos^[10-12].

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad de adsorción de As en tres tipos de materiales pétreos obtenidos dos de ellos en Huichapan Hgo. y uno en Zimapán Hgo. a los cuales se les realizaron tratamientos con sales, temperatura y recubrimientos con óxidos, para disminuir la concentración de arsénico en agua de consumo humano.

SECCIÓN EXPERIMENTAL

Se adquirieron tres materiales pétreos del estado de Hidalgo, dos en la ciudad de Huichapan y uno en la ciudad de Zimapán. Se trituraron, tamizaron y analizaron por MEB utilizando un equipo de la marca Jeol, modelo JSM 6300 con resolución de 30 KV y 300,000 magnificaciones; y un difractómetro DRX de la marca INEL, modelo Equinox 2000. Para la caracterización química las muestras fueron analizadas en el Laboratorio ActLab (Activation Laboratories) en Canadá.

Tratamiento de los materiales

Los materiales se trituraron y tamizaron hasta obtener un tamaño de partícula en el rango de 0.15-1 mm. Se tomaron tres porciones de cada material y cada porción fue tratada bajo las condiciones que se muestran en la tabla 1

Tabla 1. Tratamientos de materiales pétreos.

Tratamiento	Descripción
1	Activación con NaCl al 4% con agitación continua por 2 h a 125 rpm, posteriormente se lavó con H ₂ O y se seco a 60 °C.
2	Calentamiento a 900 °C durante una hora en horno
3	Tratamiento con MgO en HNO ₃ en agitación continua por 22 h, filtrado y secado a 120 °C

Pruebas en batch para la retención de arsénico

A partir de una solución estándar de As de 1000 µg·mL⁻¹ de la marca Solutions Plus. Inc., se preparó una solución de 500 µg·mL⁻¹. Se colocaron 2 g de cada uno de los materiales tratados en matraces Erlenmeyer de 125 mL, se adicionaron 25 mL de la solución de As preparada y se mantuvieron en agitación continua durante 180 min a 118 rpm, tomando alícuotas de 1.0 mL cada 30 min; cada experimento se realizó por triplicado.

Para la determinación de As, se realizó pre-reducción del As presente a As(III) adicionando KI y ácido ascórbico al 5 % respectivamente y HCl concentrado, dejándolas reposar 20 min antes de su análisis por EAA mediante la técnica de generación de hidruros con un equipo de absorción atómica marca Varian, modelo 860.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los materiales

El material de la localidad La Cañada en Huichapan, Hgo. fue caracterizado como una toba ignimbrítica cuyas fase principales son: albita, hematita, anortita y cuarzo de acuerdo al difractograma (Figura 1); el otro material proveniente de Huichapan es una zeolita amarilla con fase principal de Zeolita-L de composición: K, Sr, Al, Si, O y el material de Zimapán es una Zeolita que presenta como fases principales mordenita y cuarzo. Los resultados obtenidos de su análisis químico muestran un alto contenido en óxidos de silicio y aluminio como se indica en la tabla 2.

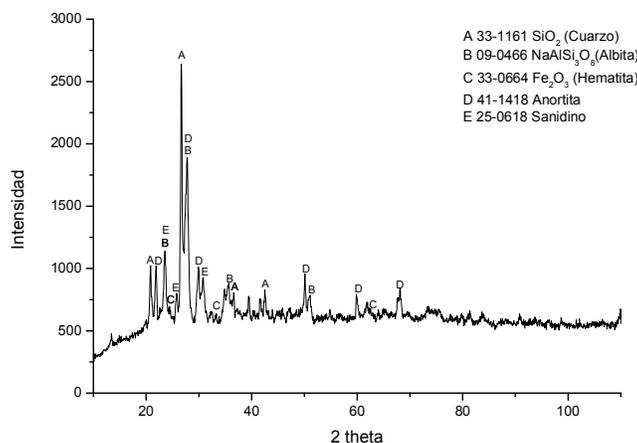


Figura 1. Difractograma de Rayos X. Material de La Cañada, Huichapan Hgo.

Tabla 2. Contenido de minerales como (%) de óxidos en los materiales pétreos Por el método de FUS-ICP.

Óxidos	Materiales pétreos utilizados		
	Zimapán Hgo.	Huichapán Hgo.	La Cañada Huichapan Hgo.
SiO ₂	69.73	64.97	70.87
Al ₂ O ₃	13.14	12.04	11.48
Fe ₂ O ₃ (T)	2.84	2.25	3.78
MnO	0.03	0.06	0.04
MgO	0.96	0.95	0.59
CaO	0.27	2.47	1.19
Na ₂ O	0.14	0.71	3.87
K ₂ O	4.23	3.92	4.45
TiO ₂	0.625	0.2	0.273
P ₂ O ₅	0.19	0.05	0.02
LOI	6.59	13.11	2.62
Total	98.75	100.7	99.19

Pruebas en batch para adsorción de As en los materiales pétreos

Los resultados de retención de As con la toba ignimbrítica (material proveniente de La Cañada) se muestran en la Figura 2. Se observa que cuando el material es tratado con NaCl y MgO se obtienen resultados muy similares con un porcentaje de retención menor al 20 %. Sin embargo, cuando es tratado con calentamiento a 900 °C la retención de arsénico es superior al 60%, con esto se infiere, que el calentamiento a 900 °C logra modificar la estructura natural del material mejorando la capacidad de retención de arsénico.

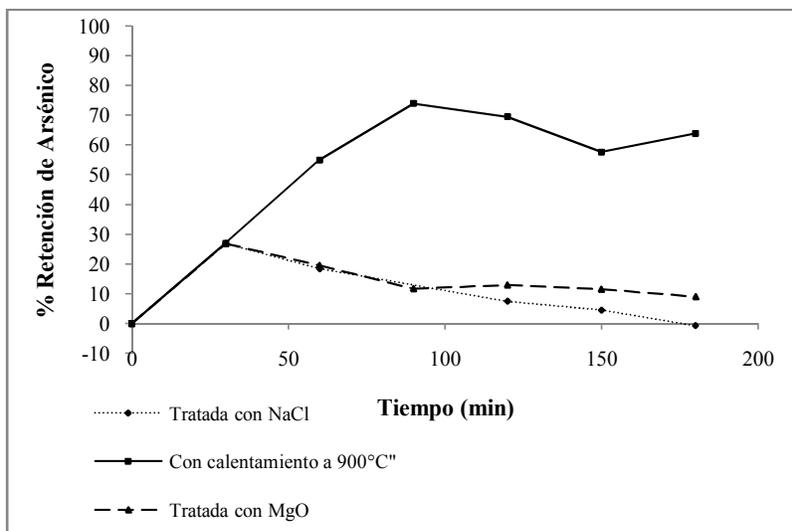


Figura 2. Porcentaje de retención de arsénico con toba ignimbrítica de La Cañada, Huichapan Hgo.

La zeolita-L (material proveniente de Huichapán) no presentó cambios considerables en la retención de arsénico con los diferentes tratamientos a que fue sometida, siendo la mayor retención del 30% cuando fue tratada con MgO (Figura 3). Por lo que por el momento este material no se considera apropiado para continuar haciendo pruebas de adsorción y mejorar su capacidad de retención.

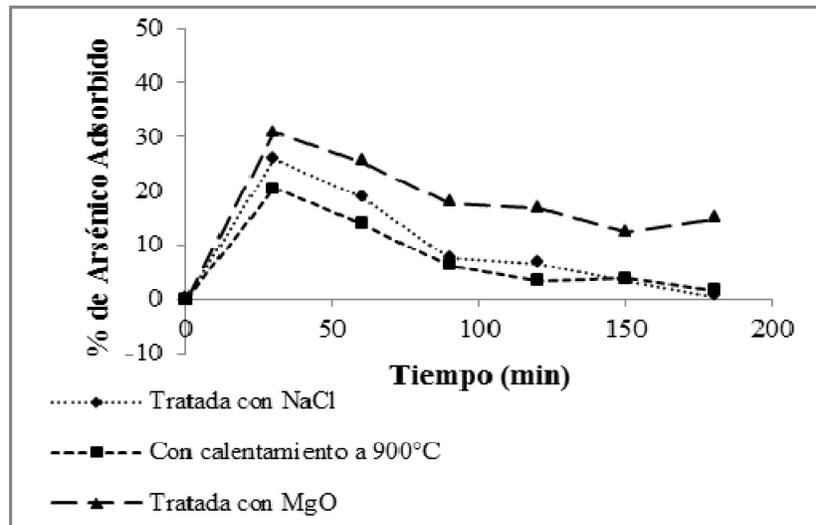


Figura 3. Porcentaje de retención de arsénico con zeolita L de Huichapan Hgo.

La zeolita verde de Zimapán presentó una retención de arsénico superior a 90 % cuando fue tratada con MgO, con los otros tratamientos la retención es muy baja. La estructura propia del material permite que exista una buena incorporación de MgO, lo que contribuye a que se obtengan altos porcentajes de retención de Arsénico (Figura 4).

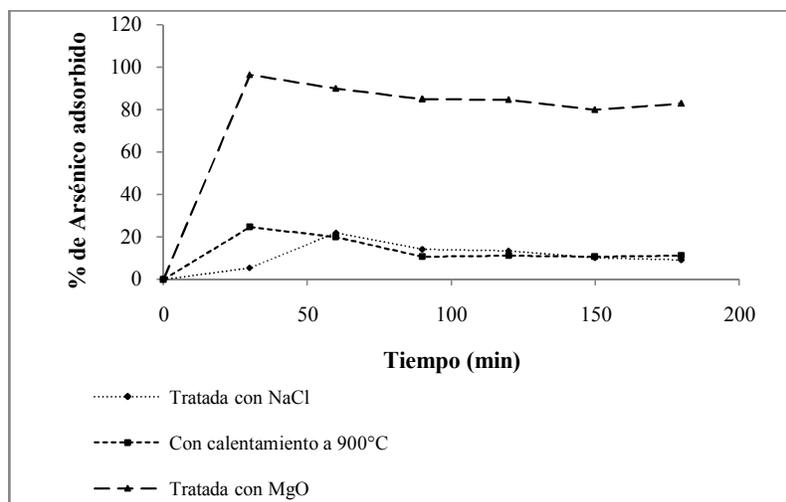


Figura 4. Porcentaje de retención de arsénico en zeolita verde de Zimapán Hgo.

CONCLUSIONES

- El tratamiento de los materiales con calentamiento a 900°C es efectivo únicamente en la toba ignimbrítica de la Cañada con una adsorción máxima del 70%.
- La zeolita-L de Huichapan no se considera un buen material para la remoción de arsénico en el agua, debido a que con los diferentes tratamientos el grado de retención fue bajo.
- El material pétreo con mejor retención de arsénico en el agua es la zeolita verde de Zimapán tratada con MgO. La adsorción obtenida con este material es mayor al 90%.

REFERENCIAS

1. Mandal, B.K., Suzuki, K.T., *Arsenic round the world: a review*, Talanta 58, 201-235 (2002).
2. Sharma, V. K., Sohn M. *Aquatic arsenic: Toxicity, speciation, transformations, and remediation*. Environment International 35: 743-759 (2009).
3. Sepúlveda, S.R. *El arsénico en la contaminación de aguas subterráneas*. Ciencia UANL, 12(3): 239-244 (2009).
4. Jekel, R. M. *Removal of arsenic in drinking water treatment*. In Nriagu, J. O. (Ed). Arsenic in the environment (pp. 119-132). USA: Wiley-Interscience. (1994).
5. Germain, P. E. D. St. y Di Benedetto, P. J. *Opciones para la eliminación de arsénico*. Agua Latinoamericana 5(2): 18-19 (2005).
6. Carro, P. M. E. *Remediación de aguas con arsénico mediante mecanismos de adsorción y floculación*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina (2009).
7. Mejía-Zamudio, F., J. Valenzuela-García, S. Aguayo-Salinas, y D. Meza-Figueroa. *Adsorción de Arsénico en Zeolita Natural pretratada con óxidos de Magnesio*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 25 (4):217-227. (2009).
8. Meltem Bilici Baskan, Aysegul Pala. *Removal of arsenic from drinking water using modified natural zeolite*, Desalination 281: 396-403 (2011).
9. Mohana, D. Pittman C. U., Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents—A critical review, Journal of Hazardous Materials 142:1-53 (2007).
10. Zhaohui Li, Jiin-Shuh Jeanc, Wei-Teh Jiangc *Removal of arsenic from water using Fe-exchanged natural zeolite*. Journal of Hazardous Materials, 187: 318-323 (2011).
11. Ates A. Hardacre C. The effect of various treatment conditions on natural zeolites: Ion exchange, acidic, thermal and steam treatments. Journal of Colloid and Interface Science 372: 130-140 (2012).
12. Zhaohui L., Jiin-Shuh J. Wei-Teh J. Removal of arsenic from water using Fe-exchanged natural zeolite. Journal of Hazardous Materials 187: 318-323(2011).

VARIACION ESPACIAL DE FUENTES DE ALTA CONCENTRACIÓN DE MANGANESO Y SECTORIZACIÓN DE RIESGO AL CONSUMO HUMANO EN FUNCION DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

Norzagaray Campos M.¹, Llanes Cárdenas O.¹, Contreras García J.A.¹, Muñoz Sevilla P.³, Ladrón de Guevara Torres M.² y Ruiz Guerrero R.⁴.

¹ Centro de Investigación Interdisciplinaria para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN).
Unidad Sinaloa.

² Centro de Investigación Interdisciplinaria para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN).
Unidad Oaxaca.

³ Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
CIEMAD.

⁴ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del IPN (CIBA-Tlax.), Carr. Estatal San Inés
Tecuexcomac-Tepetitla Km. 1.5, Tepetitla. Tlaxcala, 90700, México.

RESUMEN

El Manganeso, tiende a acumularse en el medio poroso subterráneo, adherirse, a depositarse y a cambiar sus niveles de concentración según la tasa de dispersión. Por lo anterior, a partir de 1980 los niveles permisibles del Mn en aguas revistieron una alta prioridad, por lo que desde entonces se han incluido en distintos documentos y listas normativas. Se caracterizó la hidrodinámica de la Cuenca del Río Sinaloa, para lo cual se muestrearon 40 pozos al azar, en los que se midió la profundidad del nivel freático, la cota de la superficie del terreno, la carga hidráulica y la superficie piezométrica. Los objetivos del presente trabajo fueron (1) elaborar un mapa de isopiezas que permita interpretar el comportamiento hidrodinámico de la Cuenca del Río Sinaloa, (2) establecer una relación entre la hidrodinámica y los niveles de concentración del manganeso, elemento que en los agroecosistemas es requerido para mantener los niveles nutrimentales requeridos por la fotosíntesis, en tanto que en altos niveles es tóxico, y (3) realizar un mapa de la región que muestre el riesgo de aguas con altos niveles de manganeso, dado que algunas localidades dependientes del recurso agua abastecido por dicha cuenca se extraen y utilizan aguas subterráneas sin ningún tratamiento. En cada pozo se tomó una muestra de agua para ser analizada en laboratorio con las técnicas de espectrometría, con la finalidad de determinar la concentración de manganeso y hierro, éste último para correlacionarlo con la presencia del Mn en las aguas naturales. La piezometría se empleó para determinar una fuente de agua regional y otra local, que durante años han protegido a la Cuenca de la intrusión salina, sin embargo dentro del intervalo de 0.01 a 1.2 mg L⁻¹ existen fuentes de alta concentración de manganeso transportándose con ambos flujos a velocidades promedio de 4.2 x 10⁻³ mh⁻¹ y 1.6x10⁻³ mh⁻¹, respectivamente. El análisis del agua subterránea que se extrae del subsuelo indicó que 22 muestras (55 %) rebasaron el estándar de calidad de agua que establece la EPA de los Estados Unidos para purificadoras, en tanto que 12 muestras (30 %) rebasaron el estándar de la NOM-127-SSA1-1994, relativa al uso y consumo de agua en general. El riesgo determinado para 2 muestras (5 %) fue muy alto, para 4 de ellas (10 %) fue alto, en 3 muestras (7.5%) fue moderadamente alto, en 9 (22.5 %) fue intermedio, en 2 (5 %) fue bajo y 16 muestras (40%) presentaron riesgo nulo. Los resultados obtenidos son de utilidad en modelos numéricos de flujo y transporte, constituyendo una herramienta valiosa para la valoración de la calidad del agua disponible para el sostenimiento de ecosistemas y agroecosistemas y en este caso para el manejo sostenible del agua en la cuenca asociada a uno de los acuíferos más importantes del noroeste de México.

Palabras clave: manganeso, delimitación, superficie piezométrica.

INTRODUCCIÓN

El Manganeso, tiende a acumularse en el medio poroso subterráneo, adherirse, a depositarse y a cambiar sus niveles de concentración según la tasa de dispersión [1]. Por lo anterior, a partir de 1980 los niveles permisibles del Mn en aguas revistieron una alta prioridad, por lo que desde entonces se han incluido en distintos documentos y listas normativas [2, 3]. Con respecto a los estándares recomendables para el Mn, ha sido difícil establecer una certera estandarización para los límites permisibles, debido a que sus efectos dependen de diferentes factores y condiciones, así como del tipo de organismo o ecosistema predominante en una determinada área o región geográfica. En consecuencia, las reacciones de cada organismo ante sus efectos son diversas y variadas. Desde el enfoque de la agricultura la presencia de Mn en el agua es esencial como bebida en pequeñas cantidades. Dado que algunas poblaciones urbanas y rurales en la Cuenca del Río Sinaloa utilizan aguas naturales para bebida sin ningún tratamiento y con la finalidad de prevenir enfermedades en los pobladores, se consideró importante determinar la hidrodinámica de la Cuenca, conocer los niveles de concentración del Mn en su agua y proponer la sectorización de la región con respecto al flujo subterráneo (ϕ).

SECCIÓN EXPERIMENTAL Y/O FUNDAMENTO TEÓRICO

[4] sitúa al área en la región Hidrológica RH10-SINALOA. Tiene un clima húmedo seco (Ar-Aw) y 4 afluentes naturales principales: Río Sinaloa, Arroyo De Cabrera, De Ocoróni y San Rafael y uno artificial construido a finales de los años 40's: El Canal del Valle del Fuerte [5] (Figura 1).

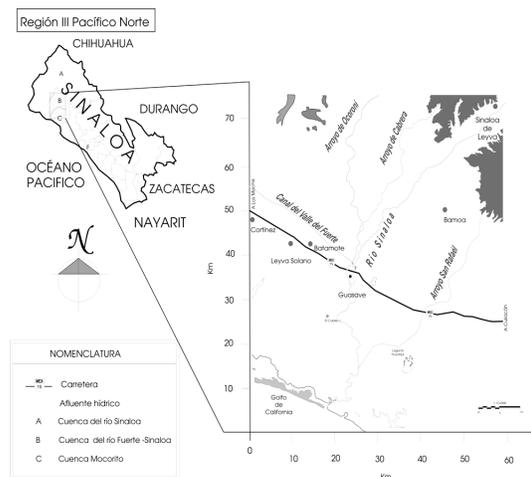


Figura 1. Localización de la Región hidrológica Pacífico Norte III y del Valle de Guasave, Sinaloa de Leyva.

En abril del 2008 se muestrearon 40 pozos al azar, de un universo considerando las perforaciones y pozos principales que se explotan para el consumo humano y uso domestico en la región; se posicionaron con un GPS portátil GARMIN Olathe de 12 canales. En cada pozo se tomó una muestra de agua; se rotuló, se acondicionó y trasladó al laboratorio para su posterior análisis. En el laboratorio se filtraron, se tomaron alícuotas ajustando el pH de acuerdo al elemento a analizar. Los niveles de concentración del Mn y Fe se analizaron por triplicado mediante los métodos: (a) colorimétrico de filtración [6] y (b) de espectrofotometría ultravioleta, citados por la Association of Official Analytical Chemist [7]. Para el análisis de agua para consumo humano, según la concentración del Mn, se utilizaron dos referencias: (a) la norma de aguas potables embotelladas para

consumo humano que establece la EPA, de 0.05 mg L^{-1} [8] y el límite permisible de 0.15 mg L^{-1} , que registra la NOM-127-SSA1-1994 para uso y consumo humano de aguas en general. Debido a la asociación que presenta el Mn con el Fe en las aguas subterráneas, éste último se utilizó sólo como referencia para validar la presencia del Mn en las mismas [9], además, también se analizó mediante el límite 0.3 mg L^{-1} , establecido en las modificaciones realizadas a la NOM-127-SSA1-1994 [10]. Los resultados de los niveles de concentración del Mn y Fe fueron interpolados aplicando el Programa SURFER 10.0, con la finalidad de elaborar el mapa correspondiente. Para plasmar los resultados sobre un mapa de riesgo, tomado en cuenta la referencia de 0.15 mg L^{-1} para el Mn, se propusieron 7 unidades y se clasificó el riesgo que podían tener las aguas naturales para su consumo. Estas unidades fueron las siguientes: 6: Muy alto (Ma), 5: Alto (A), 4: Moderadamente-alto (Mda), 3: Intermedio (I), 2: Bajo (B) y 1 Nulo (N).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La H tuvo un promedio de 25.5 msnm, con variaciones de 0.6 a 51.8 msnm. Los resultados de H se muestran en la Tabla 1; el mapa piezométrico se muestra en la sección A de la Figura 2. El promedio de la velocidad de ϕ regional según el resultado del programa FLOWpath 6.0, fue de $4.2 \times 10^{-3} \text{ m h}^{-1}$ y la de la intermedia de $1.6 \times 10^{-3} \text{ m h}^{-1}$. Tal y como se muestra en la Figura 2, una porción importante de los volúmenes de la corriente del noroeste, coincide con lo reportado por [11]; de dichos volúmenes, $3,473.73 \text{ Mm}^3$ convergen a la RH10-SINALOA por el estado de Chihuahua.

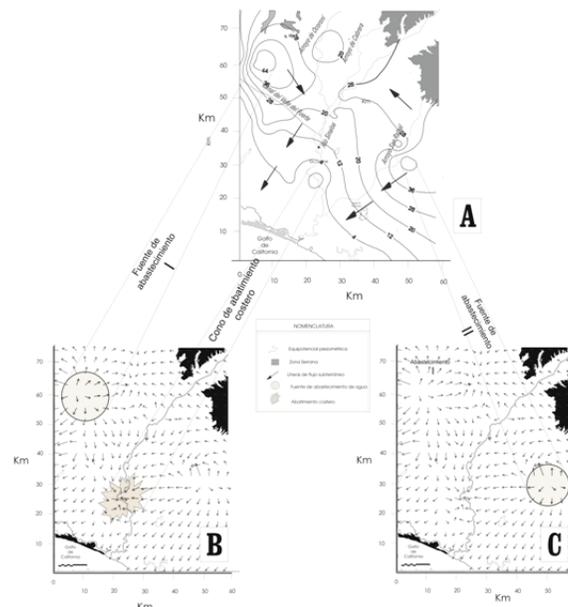


Figura 2. Niveles piezométricos, líneas de flujo, fuentes de abastecimientos y zonas de abatimiento del agua subterránea

La hidrodinámica fuera de control debido a la demanda en su mayor parte por la agricultura con volúmenes de $430 \text{ mm}^3 \text{ año}^{-1}$ extraídos en 1967 contra una recarga de $230 \text{ mm}^3 \text{ año}^{-1}$, $130 \text{ mm}^3 \text{ año}^{-1}$ contra una recarga de $200 \text{ mm}^3 \text{ año}^{-1}$ en 1968 y extracciones de hasta $500 \text{ mm}^3 \text{ año}^{-1}$ en 1977 [12]. Además recientemente se conoce que ya se tienen comprometidos al sector productivo $1131.03 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ (SEMARNAT, 2006) que se encuentran muy por encima de los $510.46 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ de recarga anual identificada para la

Subregión de Planeación Norte del Estado de Sinaloa [13]; de la cual tan solo le corresponden al acuífero de 200-300 mm³ año⁻¹.

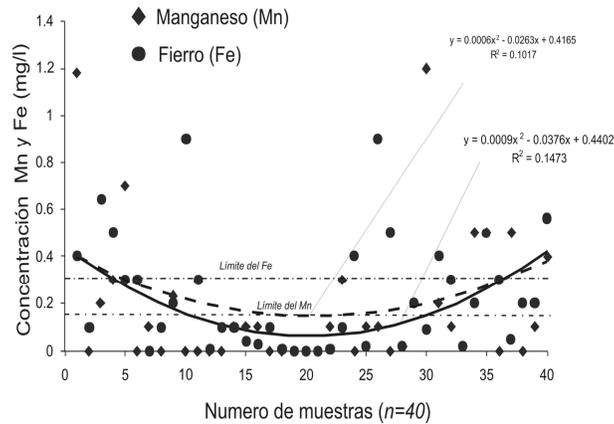


Figura 3. Distribución de la concentración del Manganese y Fierro en las muestras de agua subterráneas de la Cuenca del Río Sinaloa

Las poblaciones con altas concentraciones de Mn y Fe Según la NOM-127-SSA1-1994, en la Tabla 2 se presentan en orden decreciente como una propuesta de riesgo de este trabajo.

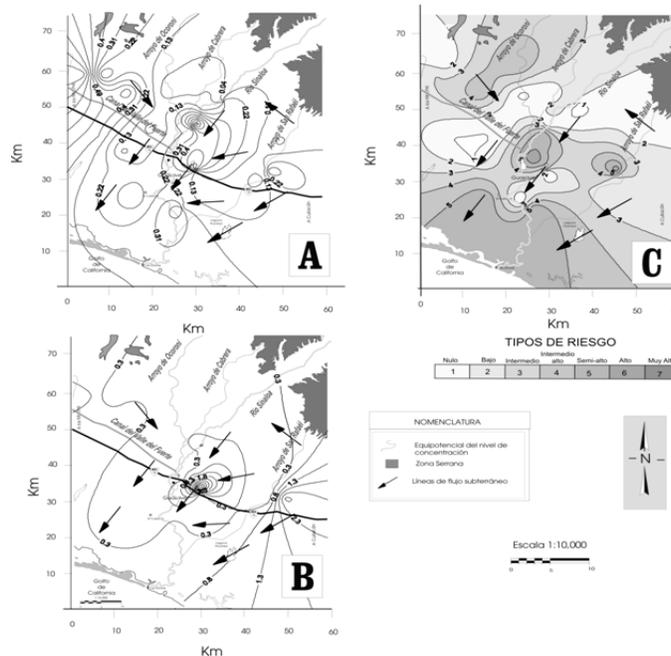


Figura 4. Variación espacial de la dirección del Flujo subterráneo y la distribución de los niveles de concentración (mg/l) del manganeso(A), el Fierro (B) y mapa de riesgo ante el consumo del manganeso (C); en la cuenca del río Sinaloa.

Tabla 1. Magnitud de los niveles piezométricos y de concentración (mg L⁻¹) del manganeso y del hierro.

No. de pozo	Altura piezométrica H msnm*	Manganeso Mg mg/l	NOM-127		Fierro Fe Mg/l	NOM-127 SSAI-1994 0.3 mg/l	No. de pozo	Altura piezométrica H msnm*	Manganeso Mg mg/l	NOM-127		Fierro Fe mg/l	NOM-127 SSAI-1994 0.3 mg/l
			SSAI-1994 0.15 mg/l	EPA 0.05 mg/l						SSAI-1994 0.15 mg/l	EPA 0.05 mg/l		
1	14.9	1.18	x	x	0.4	x	21	29.8	0			0	
2	15.8	0			0.1		22	31.0	0.1		x	0.01	
3	14.9	0.2	x	x	6.4	x	23	18.4	0.3	x	x	0.1	
4	19.0	0.3	x	x	0.5	x	24	24.1	0			0.4	x
5	21.2	0.7	x	x	0.3	x	25	47.4	0.1		x	0.02	
6	25.9	0			0.3	x	26	46.3	0.1		x	0.9	x
7	37.1	0.1		x	0		27	49.4	0			0.5	x
8	32.5	0			0.1		28	37.8	0.02			0.02	
9	22.7	0.23	x	x	0.2		29	23.1	0.2	x	x	0.2	
10	21.0	0			0.9	x	30	38.0	1.2		x	0.09	
11	35.7	0			0.3	x	31	37.1	0.2	x	x	0.4	x
12	29.5	0			0.01		32	51.8	0.1		x	3	x
13	32.0	0			0.1		33	9.1	0.02			0.02	
14	33.6	0.1		x	0.1		34	9.1	0.5	x	x	0.2	
15	32.6	0.1		x	0.04		35	0.6	0.5	x	x	0.5	x
16	29.6	0.1		x	0.03		36	8.1	0			0.3	x
17	21.3	0			0.1		37	13.5	0.5	x	x	0.05	
18	11.1	0			0.01		38	13.1	0			0.2	
19	20.0	0			0		39	40.5	0.1		x	0.2	
20	30.9	0			0		40	29.9	0.4	x	x	0.56	x

*msnm = metros sobre el nivel del mar

Tabla 2. Población y niveles de la concentración del manganeso en orden decreciente según la propuesta para el tipo de riesgo en el consumo humano de aguas crudas procedentes de pozos y perforaciones de la Cuenca del río Sinaloa.

No. de pozo	Población	Manganeso Mg mg/l	Magnitud del riesgo	Tipo de riesgo	No. de pozo	Población	Manganeso Mg mg/l	Magnitud del riesgo	Tipo de riesgo
30	Palmarito	1.2	7	Ma	32	15 de oct.	0.1	3	I
1	Guasave.	1.18	7	Ma	39	Mesquitón 2.	0.1	3	I
5	Nio.	0.7	6	A	28	Reparo.	0.02	2	B
34	Callejones Tamz	0.5	6	A	33	Tesitos.	0.02	2	B
35	Tamazula.	0.5	6	A	2	Burrión N.	0	1	N
37	Buenavista.	0.5	6	A	6	Cruz Blanca.	0	1	N
40	M. Bernal.	0.4	5	Sa	8	Bamoa pozo.	0	1	N
4	R. Castro.	0.3	5	Sa	10	Lichis.	0	1	N
23	Estación Naranjc	0.3	5	Sa	11	Carboneras.	0	1	N
9	El varal.	0.23	5	Sa	12	Port de Gálve	0	1	N
3	Burrión P.	0.2	4	la	13	P. Gálves Nor	0	1	N
29	Serranito.	0.2	4	la	17	Utatabe.	0	1	N
31	Entre 26 y 29.	0.2	4	la	18	La entrada.	0	1	N
7	Bamoa Llave.	0.1	3	I	19	Nacho Bojórq	0	1	N
14	El Sabino.	0.1	3	I	20	La Trinidad.	0	1	N
15	Carboneras.	0.1	3	I	21	Toruño.	0	1	N
16	León Fonseca.	0.1	3	I	24	Sta. Fe.	0	1	N
22	El Palotal.	0.1	3	I	27	Fco. Villa.	0	1	N
25	La pitaya.	0.1	3	I	36	Retiro.	0	1	N
26	El Coyote.	0.1	3	I	38	Mesquitón.	0	1	N

Ma= Muy alto, A= alto, Sa= semi-alto, la=Intermedio alto, I= Intermedio, B=Bajo, N= Nulo.

El ϕ del noroeste transportó al Fe, participando procesos de disolución, dispersándolo por la Cuenca y coaccionando conjuntamente con la recarga, que ocurre en la parte central oeste por el Canal Del valle Fuerte, lo trasladó a su destino final, esto es, las costas del Golfo de California (parte B, Figura 4). Las aguas del ϕ intermedio del sudoeste rebasaron ambas normativas para la concentración de Mn. El riesgo en 2 muestras (5 %) fue muy alto, en 4 (10 %) alto, en 3 (7.5%) moderadamente-alto, en 9 (22.5 %) intermedio,

en 2 (5 %) bajo y en 16 muestras (40%) se determinó un riesgo nulo (sección C de la Figura 4).

CONCLUSIONES

Las zonas donde se rebasó los intervalos de ambas normas consideradas para las concentraciones de Mn y Fe, pueden estar influenciadas por las condiciones ambientales de la época del año, por lo que el resultado del 55 % de las muestras que rebasaron el estándar del Mn de la EPA y el 30 % del de la NOM-127-SSA1-1994, fluctuarían según la temporada de lluvias o de estiaje. Por lo anterior, el promedio de los resultados obtenidos con 40 muestras es sólo la evidencia de un escenario, aunque es notoria la alteración de las aguas subterráneas de la Cuenca del Río Sinaloa, situación que vuelve dudosa su calidad.

REFERENCIAS

- [1] Bianchini, F. 2007. Contaminación de agua en el área de explotación minera del proyecto San Martín, en el Valle de Siria y repercusiones sobre la salud humana. Informe Técnico. 9 p.
- [2] World Health Organization (WHO). 1993. Guidelines for drinking water quality. Revision of the 1984 guidelines. Final task group meeting, 21-25 September 1992. Geneva, Suiza.
- [3] World Health Organization (WHO). 1996. Guidelines for drinking-water quality, (Second Edition) vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva, Suiza.
- [4] INEGI. (2006). Superficies sembrada y cosechada, volumen y valor de la producción agrícola por tipo de cultivo y principales cultivos Año agrícola 2005. Extraído el 13 de febrero de 2007. Disponible en:
<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee06/estatal/pue/index.htm>
- [5] Norzagaray, C.M., Capurro, F.L. Muñoz, S.P. Maya, D.Y., Santamaría, M.A. 2006. El clima y el índice de humedad del suelo: zona costera del valle de Guasave, Sinaloa, México. Revista Naturaleza y Desarrollo. 2(3): 12-22.
- [6] Silva A.A., Castro S.S., Medina G.P. 1996. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Dirección Nacional de Medio Ambiente, España. 174 p.
- [7] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1984. Official Methods of Analysis (14th ed). Arlington, USA. 141 p.
- [8] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. ATSDR. 2000. Reseña Toxicológica de los Manganese. Departamento de Salud y Servicios Humanos de USA., Atlanta, 8 p.
- [9] Ávila, P.G. 2002. Cambio Global y Recursos Hídricos en México: Hidropolítica y Conflictos. Instituto nacional de Ecología, México. 107 p.
- [9] Manahan, S.E. 2004. Environmental chemistry. CRC Press, USA. 811 p.
- [10] Diario oficial de la Federación (DFO). 1999. Modificación a la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México D.F. 8 p.
- [11] Toutcha-Sosa, L. , Soto, R. 2005. La Flora de las Barrancas de Cobre Chihuahua, México. Ecología Aplicada. 4(1-2): 17-23.
- [12] TMISA (1978) Estudio de Evaluación de acuíferos en la zona Fuerte - Sinaloa, en el estado de Sinaloa. Técnicas Modernas de Ingeniería (TMISA). Culiacán, Sinaloa. México. 314 pp.

[13] PEDUES. 2007. Plan Estatal de Desarrollo Urbano del estado de Sinaloa (PEDUES). Gobierno del estado-Secretaria de Desarrollo Social y Sustentable. Culiacán Sinaloa, México. 133p.

EFFECTOS DAÑINOS EN EL APRENDIZAJE DE INFANTES POR CONSUMO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON PRESENCIA DE MANGANESO EN LA CUENCA DEL RÍO SINALOA, MÉXICO.

Llanes Cárdenas O.¹, Norzagaray campos M.¹, Patiño Camacho E.¹, Muñoz Sevilla P.³, Ladrón de Guevara Torres M.² y Ruiz Guerrero R.⁴.

¹ Centro de Investigación Interdisciplinaria para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN).
Unidad Sinaloa.

² Centro de Investigación Interdisciplinaria para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN).
Unidad Oaxaca.

³ Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
CIEMAD.

⁴ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del IPN (CIBA-Tlax.), Carr. Estatal San Inés
Tecuexcomac-Tepetitla Km. 1.5, Tepetitla. Tlaxcala, 90700, México.

RESUMEN

El manganeso se disuelve habitualmente en aguas subterráneas y en el agua potable a niveles bajos. La ingestión, nadar o bañarse con agua que contiene manganeso puede exponer a las personas a esta sustancia química [2, 3]. Por lo tanto, la evaluación de los efectos potenciales a la salud necesita considerar las poblaciones especiales que se encuentran a un mayor riesgo. Por lo anterior, los objetivos fueron la evaluación de los efectos potenciales a la salud así como en la calidad de la educación de los niños del nivel primaria y la manera en como el manganeso es absorbido en el cuerpo para comprender la dosis tóxica. En total, fueron 3, 940 niños de 21 escuelas ubicadas en las 13 poblaciones que consumían aguas con Mn, los que participaron en este estudio. En un 52% de las muestras de orina se encontraron concentraciones de Mn (n = 2049) y todas las aguas el consumo de WMn manifestaron límites por arriba de los estándares. El 35 % de los niños (n=1366) no tienen alto rendimiento en matemáticas, el 31 % (n=1208) no lo tienen en Inglés, el 22 % en Física (858), el 11 % en Química (429), el 21 % (n=819) en Formación Cívica y el 24 % (n=935) en Español. Los resultados demuestran al igual que en otros lugares del Mundo los retrasos en el aprendizaje, principalmente en niños que consumen WMn.

Palabras clave: manganeso, educación, consumo de agua.

INTRODUCCIÓN

El duodécimo elemento más abundante en la tierra es el Manganeso y es un metal natural que se encuentra en muchos tipos de rocas [1]. Debido a esto, el manganeso se disuelve habitualmente en aguas subterráneas y en el agua potable a niveles bajos. La ingestión, nadar o bañarse con agua que contiene manganeso puede exponer a las personas a esta sustancia química [2, 3]. Por lo tanto, la evaluación de los efectos potenciales a la salud necesita considerar las poblaciones especiales que se encuentran a un mayor riesgo.

La manera en que el manganeso es absorbido en el cuerpo podría ser un factor clave para comprender la dosis tóxica de este elemento. Ante la presencia de estudios previos que demuestra la presencia del Mn en aguas del acuífero del Río Sinaloa y que considerables volúmenes de agua, en esta región, conocida como el "Corazón agrícola de México", son destinados al consumo humano; y que en otros lugares del Mundo se ha definido la afectación en los niveles de aprendizaje de infantes por el consumo de agua

con altos niveles de Mn. Se realizó este estudio piloto de intervención continua a fin de evaluar mediante modelos numéricos los niveles de aprendizaje en niños de primaria que consumen agua de pozos que rebasan los estándares oficiales de México y la EPA para el consumo de aguas con Mn.

SECCIÓN EXPERIMENTAL Y/O FUNDAMENTO TEÓRICO

Previo a este trabajo [6] se localizaron 40 pozos destinados al consumo humano, de los cuales 13 rebasan los estándares oficiales de México y la EPA (Figura 1).

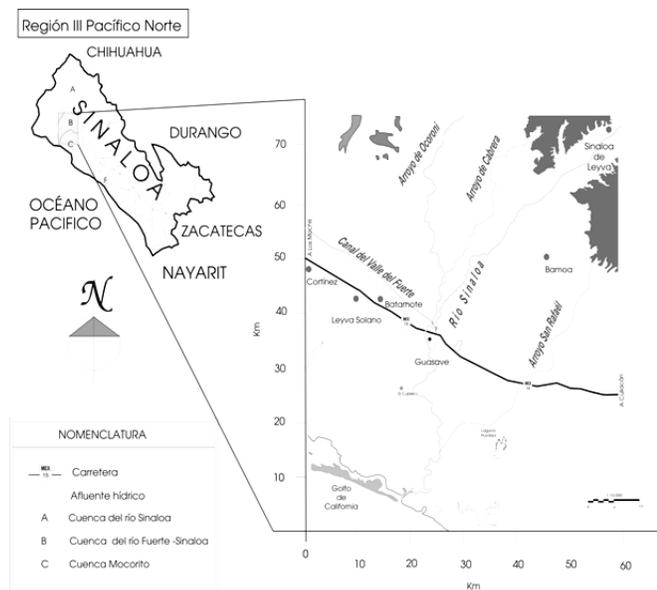


Figura 1. Localización de la Región hidrológica Pacífico Norte III y del Valle de Guasave, Sinaloa de Leyva.

Para identificar las variables de control del modelo, primero se identificaron las variables de la literatura asociada con el rendimiento académico del niño. Por estrategia, en la parte central del Valle se colocó un campamento, se identificaron las escuelas primaria por población y pozos que rebasaban el estándar oficial de 0.05 mgL^{-1} de la EPA para aguas potables embotelladas para el consumo humano [4] y el de 0.15 mg L^{-1} de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Con permisos de padres de familias, de autoridades escolares y de gobierno, se determinó la edad de los niños y se realizó una encuesta para definir los niveles de aprendizaje con respecto a las asignaturas de matemáticas, Inglés, Física, Química, Formación Cívica y Español; bajo las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las clases más difíciles?, ¿Por qué te parecen aburridas?, ¿Cómo te gustaría que fuera tu escuela?, ¿Qué harías para lograrlo?, ¿Cómo te gustaría que fueran tus profesores?, ¿Qué libros lees? y ¿Con qué frecuencia lees?. También se realizaron visitas domiciliarias para registrar el universo de niños ($n= 4, 410$). En total fueron visitados 3, 525 hogares, ninguno de los infantes tenían una discapacidad física conocida o enfermedad crónica y solo 8 fueron gemelos. También se midieron en los infantes la altura, peso, cabeza y brazo. No obstante que la distribución normal de la transformación se podía comprobar utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, en este caso, se empleó el test Anderson-Darling, que permite comparaciones de varianzas entre dos o

más grupos. Después de excluir la confusión potencial del modelo y una vez integrados y analizados todos los factores se considero la exposición al WMn mediante un valor de probabilidad > 0,5 después de aplicar ANOVA [5].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 4, 410 niños cuyas familias fueron visitadas, no se localizaron 120, ya sea porque la familia se había mudado (n = 25) o porque nadie estaba disponible en el momento de la visita (n = 95). Doscientos ochenta niños eran mayores que la edad especificada y 150 asistió a la escuela con poca frecuencia. En total, fueron 3, 940 niños de 21 escuelas ubicadas en las 13 poblaciones que consumían aguas con Mn, los que participaron en este estudio. En un 52% de las muestras de orina se encontraron concentraciones de Mn (n = 2049) y todas las aguas el consumo de WMn manifestaron limites por arriba de los estándares. Cuatro de los sitios monitoreados presentaron un buen número de niños con altas concentraciones en la orina (véase tabla I). La altura promedio en los infantes 1.25 m, el peso 28 kg , 50 cm el perímetro de la cabeza y 14 el del brazo. Fueron 126 profesores los entrevistados de los cuales según las entrevistas a los padres de familias para la enseñanza el 54% (n=68) está preparado, el 41 % (n=52) no está preparado y el 5 (n=6) no recibieron calificación. En una escala del 1 al 10 el primer grupo obtuvo calificación de 10 a 8, el segundo de 7 a 4. Las preguntas para medir los porcentajes de dificultad de las asignaturas en el universo de infantes arrojaron los siguientes resultados: el 35 % (n=1366) del no tienen alto rendimiento en matemáticas, el 31 % (n=1208) no lo tienen en Ingles, el 22 % en Física (858), el 11 % en Química (429), el 21 % (n=819) en Formación Cívica y el 24 % (n=935) en Español [6].

Tabla I. Poblaciones y Niños con presencia de Manganeso

No.	Población	Mn mg/l	No de alumnos	No. de Escuelas	No. de profesores prof	P*	NP*	A*	No de niños con Mn
1	Palmarito	1.2	182	1	5	3	2	0	95
2	Guasave	1.18	352	2	13	7	6	0	183
3	Nio	0.7	195	1	5	3	2	0	101
4	Call. de Tmz.	0.5	395	2	13	7	5	1	205
5	Tamazula	0.5	374	2	13	7	5	1	194
6	Buenavista	0.5	185	1	6	3	3	0	96
7	M. bernal	0.4	165	1	5	3	2	0	86
8	R. castro	0.3	210	1	6	3	2	1	109
9	est. Naranja	0.3	782	4	24	13	10	1	407
10	El varal	0.23	175	1	6	3	2	1	91
11	Burrión	0.2	562	3	18	10	7	1	292
12	Serranito	0.2	153	1	6	3	3	0	80
13	Entre 26 y 29	0.2	210	1	6	3	3	0	109
TOTAL				21	126	68	52	6	2049

* P= Preparado, NP= No preparado, A= Abstención.

En la Tabla II se observa las asignaturas de Matemáticas e Inglés son las de mayor dificultad, le siguen Español, Física, formación Cívica y Química.

Tabla II. Dificultad de aprendizaje de los niños por materia en las poblaciones

	No. alumnos	Materias						
		No. de alumnos Faltantes	Matemáticas %=35	Inglés %=31	Física %=22	Química %=11	Formación Cívica %=21	Español %=24
1 Palmarito	210	182	64	56	40	20	38	44
2 Guasave	420	352**	123	109	77	39	74	84
3 Nio	210	195	68	60	43	21	41	47
4 Call. de Tmz.	420	395	124	110	78	39	75	85
5 Tamazula	420	374	131	116	82	41	79	90
6 Buenavista	210	185	65	57	41	20	39	44
7 M. bernal	210	165	58	51	36	18	35	40
8 R. castro	210	210**	74	65	46	23	44	50
9 est. Naranjo	840	782**	273	242	172	86	164	187
10 El varal	210	175	61	54	39	19	37	42
11 Burrion	630	562**	197	174	124	62	118	135
12 Serranito	210	153**	54	47	34	17	32	37
13 Entre 26 y 29	210	210**	74	65	46	23	44	50
TOTALES	4410	3940	1366	1208	858	429	819	935

* escuelas con menor asistencia, ** escuelas con el 100% de asistencia.

En cuanto a las condiciones de vivienda de los 3, 556 hogares tenían techo de material y piso de cemento. El 65 % de los padres de familia trabajan en el campo, 10 % en la construcción y el 15 % son empleados en la Ciudad y solo el 10 % son profesionistas. El 15 % de las madres se dedican al hogar, el 65 % trabaja en campo, el 15 % son empleadas domesticas y el 5 % son profesionistas. El 95 % de los hogares cuenta con radio y televisión. Las pruebas de Shapiro-Wilk fueron >0.5 por lo demostraron la ausencia de normalidad en los datos e igualdad de varianzas todos los factores (solana y umbría). dio un resultado de solana y umbral de 0.80 y 0.19; por lo que se procedió al análisis de la exposición ante el Mn. La Figura 2 muestra esta variación entre los 13 factores de 0 a 2.18, una media de 1.40, un error estándar de 0.059 (>0.05), una varianza de 0.04 y una desviación estándar de 0.21.

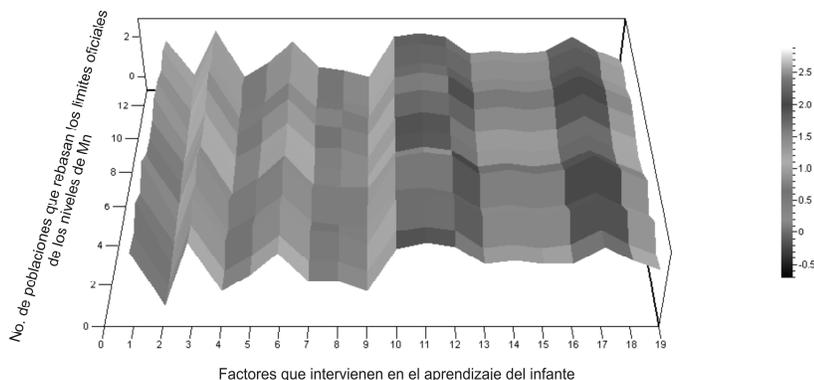


Figura 2. Transformada logarítmica de los factores para determinar la asociación entre el aprendizaje y los niveles de manganeso en niños del Noroeste de México.

En los resultados ANOVA de Wmn con respecto al rendimiento académico el idioma de Inglés y matemáticas se observa en la figura 3. En el caso de WMN y el rendimiento en de Ingles no se encontró una asociación estadísticamente significativa (sc=0.31, gl=1, mc=0.312, F=6.40, P=0.08); mientras que en las zonas rurales se experimentan deficiencias en matemáticas (sc=0.19, gl=1, mc=0.173, F=3.018, P= 0.06). Se encontró una asociación estadísticamente significativa entre WMn y el logro en matemáticas e inglés persistió tras el ajuste para las variables sociodemográficas, tales como la educación paterna, materna y capacidades del profesor; atribuidas a que en la enseñanza de las matemáticas los niños hacen un mayor uso de habilidades analíticas para la

búsqueda de estrategias que den solución a problemas durante clases y exámenes mensuales que dependen fuertemente de la memoria [7].

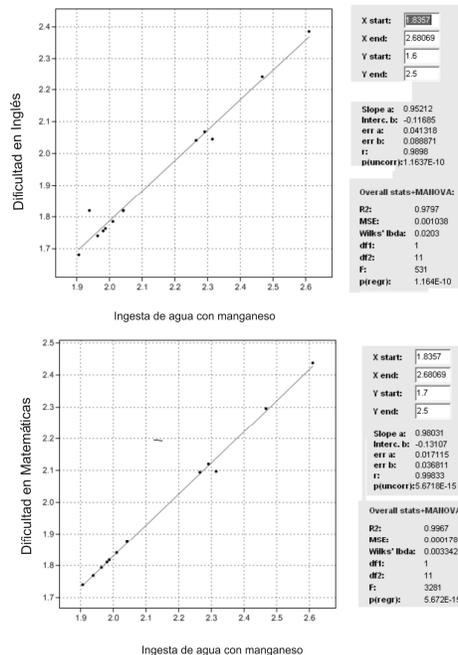


Figura 3. Dificultad que presentan los niños para el aprendizaje del Inglés y las Matemáticas

Los resultados demuestran al igual que en otros lugares del Mundo los retrasos en el aprendizaje, principalmente en niños que consumen WMn. En cuanto a que de cada 10 profesores, en el que 7 fueron mujeres, este comportamiento es normal, ya que en México esta situación ocurre en las escuelas primarias, aumenta en la preescolar con nueve de cada 10 y se equilibra en la secundaria, donde los docentes hombres alcanzan el 47%; y no intervienen en el aprendizaje de los niños [8, 9]. Hay que considerar también estudios sobre los efectos vía de inhalación del Mn han sido muy estudiados y se conoce de la neurotoxicidad en los adultos y niños, pero se sabe poco acerca de las posibles consecuencias de la exposición a través del agua potable [10]; por lo que junto con los efectos ocasionados en los niveles de aprendizaje, se debe de estudiar a fondo otras posibles consecuencias por la ingesta. Este tipo de trabajo se debe de realizar no solo en aguas subterráneas si no también en las superficiales, tener datos con monitoreos continuos y definir el destino y un modelo de transporte en las aguas del acuífero, o alguna combinación de técnicas y datos que permita la vigilancia de los niveles de concentración [11, 12, 13, 14].

CONCLUSIONES

Ahora está claro que muchas de estas mismas regiones tienen las concentraciones excesivas de manganeso en el agua. Sin embargo, niveles elevados de manganeso han recibido muy poca atención de los organismos de Gobierno y desarrollo. La British Geological Survey encontró 35% de las muestras recogidas de diversas partes del país superior a la pauta de WHO Mn ex de 500 mg/L [15]. Donde llevamos a cabo nuestro

estudio, la proporción de alto manganeso pozos superando el estándar de la OMS es aún mayor (80%) [16]. Selección de 400 mg/L como un cortado se basó en la pauta actual de WHO. Sin embargo, el objetivo de nuestros análisis estadísticos no debía establecer si este valor es con eficacia protectora. No podemos descartar posibles efectos de WMn sobre el logro en matemáticas por debajo del nivel de 400 mg/L. En un reciente estudio epidemiológico en la misma región, [17] observó un elevado riesgo de mortalidad durante el primer año de vida en los recién nacidos expuestos a WMn alta (> 400 mg/L) (OR = 1.8 y 95% CI = 1.2–2.6) en comparación con los bebés con menor exposición.

REFERENCIAS

- [1] Yamada, M., Ohno, S., and Okayasu, I., 1986, Chronic manganese poisoning: A neuropathological study with determination of manganese distribution in the brain. *Acta Neuropathologica*, v. 70, p. 273-278.
- [2] Wasserman, G.A., Liu, X., Parvez, F., Factor-Litvak, P., Ahsan, H., Levy, D., Kline, J., van Geen, A., Mey, J., Slavkovich, V., Siddique, A.B., Islam, T., and Graziano, J.H. 2011. Arsenic and manganese exposure and children's intellectual function: *Neuro Toxicology*, v. 32, p. 450-457.
- [3] Zeng, G., Liang, J., Guo, S., Shi, L., Xiang, L., Li, X., and Du, C., 2009, Spatial analysis of human health risk associated with ingesting manganese in Huangxing Town, Middle China: *Chemosphere*, v. 77, p. 368-375.
- [4] Dobson, A.W., Erikson, K.M., and Aschner, M., 2004, *Manganese neurotoxicity*, V. 1012, p. 115-128.
- [5] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2000. Reseña Toxicológica de los Manganese. *Departamento de Salud y Servicios Humanos de USA.*, Atlanta, 8 p.
- [6] Norzagaray-Campos, M., C. García-Gutiérrez, P. Muñoz-Sevilla. 2009. Impacto natural-antropogénico en el flujo y los niveles piezométricos y los niveles del acuífero del río Sinaloa. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 5(3): 212-218 pp.
- [7] Khan, K., Wasserman, G.A., Liu, X., Ahmed, E., Parvez, F., Slavkovich, V., Levy, D., Mey, J., van
- [8] Wasserman, G.A., Liu, X., Parvez, F., Ahsan, H., Levy, D., Factor-Litvak, P., Kline, J., van Geen, A., Slavkovich, V., Lolocono, N.J., Cheng, Z., Zheng, Y., and Graziano, J.H., 2006, Water manganese exposure and children's intellectual function in Araihasar, Bangladesh: *Environmental Health Perspectives*, v. 114, p. 124-129
- [9] Zeng, G.M., Su, X.K., Huang, G.H., Xie, G.X., 2003. A new model for the grid size optimization of the finite element method-based on its application to the water quality modeling of the topographically complicated river. *Prog. Nat. Sci.* 13 (12), 920–926.
- [10] Geen, A., Graziano, J.H., and Factor-Litvak, P., 2012, Manganese exposure from drinking water and children's academic achievement: *NeuroToxicology*, v. 33, p. 91-97.
- [11] Bennett, D.H., Kastenber, W.E., McKone, T.E., 1999. A multimedia, multiple pathway risk assessment of atrazine: the impact of age differentiated exposure including joint uncertainty and variability. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 63, 185–198.
- [12] Bouchard, M., Laforest, F., Vandelac, L., Bellinger, D., and Mergler, D., 2007, Hair manganese and hyperactive behaviors: Pilot study of school-age children exposed through tap water: *Environmental Health Perspectives*, v. 115, p. 122-127.
- [13] Kirk, M.F., Crossey, L.J., Takacs-Vesbach, C., Newell, D.L., and Bowman, R.S., 2009, Influence of upwelling saline groundwater on iron and manganese cycling in the Rio Grande floodplain aquifer: *Applied Geochemistry*, v. 24, p. 426-437.

- [14] Zhang, G., Zeng, G.M., Jiang, Y.M., Huang, G.H., Li, J.B., Yao, J.M., Tan, W., Xiang, R.J., Zhang, X.L., 2006. Modeling and measurement of two-layer-canopy interception loss in a subtropical mixed forest of central-south China. *Hydro. Earth Syst. Sci.* 10, 65–77.
- [15] Padilla-López H., Vázquez M., Rodrigue D., *Polymer Engineering & Science*, 43:10, 1646 (2003)
- [16] Acierno D., Di Maio L., Ammirati C.C., *Polymer Engineering & Science*, 40:1, 108 (2000).
- [17] Su, X.K., Zeng, G.M., Huang, G.H., Li, J.B., Liang, J., Wang, L.L., Du, C.Y., 2007. Modeling research on the sorption kinetics of pentachlorophenol (PCP) to sediments based on neural networks and neuro-fuzzy systems. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 20, 239–247

ISÓTOPOS DE Pb COMO TRAZADORES DE FUENTES DE METALES Y METALOIDES EN EL DISTRITO MINERO SAN ANTONIO-EL TRIUNFO, BAJA CALIFORNIA SUR

Leopoldo Gutiérrez Caminero^a, Bodo Weber^a, Jobst Wurl^b, Mariela Carrera Muñoz^a

^aDepartamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Zona Playitas, Ensenada, BC, 22860, México

^bDepartamento de Geología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur km 5.5, La Paz, BCS, 23080, México

* bweber@cicese.mx

RESUMEN

Los desechos de las minas abandonadas de San Antonio-El Triunfo, Baja California Sur, contienen altas concentraciones de metales y metaloides (Pb, Cd, Zn, As). En el transcurso de los años, los metales se han acumulado en sedimentos y cuerpos de agua cercanos[1]. Sin embargo, existen indicios de que las manifestaciones hidrotermales son fuente complementaria de metales y metaloides en el área[2]. Este trabajo tiene como objetivo utilizar las firmas isotópicas de Pb para trazar e identificar las fuentes del Pb, y con esta información sacar conclusiones acerca del origen de otros elementos del grupo de los metales y metaloides.

Las actividades de campo se llevaron a cabo en el distrito minero y en las cuencas adyacentes, al norte y al sur de las minas abandonadas. Se recolectaron muestras de agua subterránea, sedimentos, roca total de zonas con mineralización diseminada, sulfuros emplazados y desechos calcinados. Los sedimentos y una roca con mineralización diseminada fueron lixiviados con HCl 1N a fin de distinguir entre el Pb impregnado (soluble en HCl 1N) y el Pb sustituido en la estructura mineral (residuo). La separación de Pb en columnas de intercambio iónico se realizó en el Laboratorio Ultralimpio de Geología Isotópica del CICESE. Las razones isotópicas se midieron mediante espectrometría de masas con ionización térmica (TIMS) en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) de la UNAM.

Los sulfuros y desechos calcinados de las minas se consideran la fuente principal con relaciones isotópicas muy similares, que se expresan por $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 2.062-2.065 y $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de ~1.198 (Componente A). Los residuos de los sedimentos tienen relaciones isotópicas de Pb similares a los sulfuros, indicando la fuente principal de sedimentos en la erosión de los plutones mineralizados. Sin embargo diferencias significativas indican aporte de fuentes adicionales. Las composiciones isotópicas de los lixiviados de los

sedimentos (Pb impregnado) sugieren un aporte antropogénico que puede explicarse por contaminación con plomo industrial típico mexicano [3] (Componente B). Sulfuros de una muestra con mineralización diseminada tiene valores diferentes ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.05$; $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 1.214$) al resto de las muestras indicando que esta mineralización relacionada con estructuras profundas tiene otra fuente de Pb (Componente C). El lixiviado de una muestra de sedimento tomado cerca de una falla sugiere una mezcla de la componente A con la componente C.

Las muestras de agua subterránea se agrupan de manera subparalela a las tendencias de mezcla arriba mencionadas, influenciadas por una fuente adicional de Pb (componente D; ¿gasolina?).

CONCLUSIONES

Los resultados indican al menos dos fuentes naturales de metales y metaloides en el área, representadas por la mineralización epitermal relacionada al magmatismo y una mineralización diseminada relacionada a fallas. El Pb impregnado en los sedimentos contiene un aporte considerable de otra fuente probablemente antropogénica; sin embargo, el mayor porcentaje de aporte de Pb, especialmente en las áreas con concentraciones altas de Pb y As, proviene del material explotado en las minas. Las razones isotópicas indican que el Pb de las muestras de agua no tiene relación directa con el Pb de la mina.

REFERENCIAS

1. Carrillo-Chávez, A., Drever, J. I. & Martínez, M., *Environmental Geology* 39:10, 1295 (2000).
2. Romero L., Alonso H., Campano P., Fanfani L., Cidu R., Dadea C., Keegan T., Thornton I., Farago M., *Applied Geochemistry*, 18:9, 1399 (2003).
3. Monna F., Lancelot J., Croudace I.W., Cundy A.B., Lewis J.T., *Environ Sci Technol*, 31:8, 2277 (1997)

SESIÓN IV

AMBIENTAL

(continuación)

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL TRATAMIENTO PASIVO DEL DRENAJE ÁCIDO EN TAXCO-GUERRERO

Daniel Corrales Pérez ^a, Francisco Martín Romero ^b

^a Post grado en ciencias de la tierra, Instituto de geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, DF, México.

geoquimica72@gmail.com

^b Departamento de geoquímica, Instituto de geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, DF, México.

fmrch@geologia.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas ambientales atribuidos a la minería, es el drenaje ácido de minas (DAM), generado por la oxidación de la pirita (FeS_2) contenida en los residuos sólidos que contienen otros sulfuros metálicos (FeAsS , CuFeS_2 , PbS , ZnS entre otros). La acidez generada incide en que los escurrimientos superficiales generados por la erosión hídrica, se caractericen por presentar significativas concentraciones disueltas de metaloides y metales (As, Cu, Pb, Zn).

Son numerosos los casos reportados de contaminación en ríos, lagos y acuíferos, debido al vertido de aguas ácidas en cuerpos receptores. De igual forma se han registrados efectos en la salud humana y fauna y flora terrestre, por el nivel de exposición de contaminantes [1,2,3]. La erosión eólica es otro factor que influye en el transporte de contaminantes hacia la periferia de donde se depositan los residuos mineros [4].

El control del DAM se realiza a través de la utilización de tratamientos activos y tratamientos pasivos. Las condiciones actuales en la que se ha venido desarrollando la minería moderna, nos hace suponer que en el futuro se intensificará el uso de los tratamientos pasivos, que consisten en la utilización de sustratos reactivos (roca caliza) con potencial de neutralizar la acidez, incluso el uso de bacterias catalizadoras, ambos en función de cambiar las condiciones originales bajo los cuales se genera el drenaje ácido.

Se ha reportado en muchas investigaciones, que la roca caliza utilizada ampliamente en tratamientos pasivos, presenta una serie de limitantes que en algunos casos es inevitable contrarrestar. La principal desventaja radica en los precipitados de óxidos de hierro y aluminio, que se forman alrededor de los agregados de calcita contenidos en la caliza [5].

Existen otros tipos de rocas diferentes de la caliza que pueden estar constituidas de calcita, dolomitas, plagioclasas y filosilicatos, que también pueden ser identificados en residuos mineros benéficos, dependiendo de la naturaleza geológica de las formaciones a partir de donde fueron generados. Los minerales en función de sus propiedades geoquímicas y abundancia en las rocas, pueden ejercer una importante función, en el tratamiento pasivo del DAM. Por

consiguiente, puede convertirse en una opción tecnológica sostenible, que exitosamente puede alargar la vida útil de los tratamientos pasivos.

En la presente investigación se ha evaluado el potencial geoquímico que tiene la roca lutita calcárea y el terrero La Concha, en el control del drenaje ácido de minas, generado en una presa de jales y un socavon en Taxco-Guerrero. En la evaluación se ha incluido la roca caliza como material de referencia, debido a su amplio uso en los tratamientos pasivos.

SECCIÓN EXPERIMENTAL

Se colectaron muestras de lixiviados ácidos generados en la presa de jales El Fraile (N_1 , N_2 , S_1). Así mismo, se recolectaron aguas ácidas generadas de un socavón 1412 (Soc_1), ubicado al sur este de la planta de concentración El Solar.

Las rocas lutitas (L) y calizas (C) utilizadas para tratamientos en el control de drenaje ácido, son pertenecientes a la Formación Mezcala y Formación Morelos respectivamente. Por otro lado, el terrero (T) puede haber sido extraído de las formaciones sedimentarias (Formación Morelos) que subyacen a los depósitos minerales en la zona [6].

Para evaluar la eficiencia de rocas y terreros en el control del drenaje ácido, se utilizaron pruebas de lotes y pruebas en columnas [7,8]. En las pruebas en lotes se definieron 9 tratamientos ($LN_1, LN_2, LS_1, CN_1, CN_2, CS_1, TN_1, TN_2, TS_1$) de la combinación de lixiviados (N_1, N_2, S_1) y rocas (L,C,T). En las columnas fueron generados 3 tratamientos, es decir, que cada columna estaba empacada con un tipo de roca y terrero, sobre ellas se hizo fluir lixiviado ácido (Soc_1).

Todas las muestras objeto de estudio fueron caracterizadas antes y después de realizadas las pruebas de lotes y columnas, por diferentes técnicas de laboratorio (cromatografía iónica, fluorescencia de Rayos X, difracción de rayos X, microscopia electrónica de barrido con espectroscopia de energía dispersa de rayos X, espectroscopia de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado). Los principales parámetros determinados fueron: pH, conductividad eléctrica, concentraciones disueltas de iones mayoritarios, metales y metaloides. Adicionalmente, en las muestras sólidas se identificaron las fases minerales y fue determinado el potencial de neutralización (NOM.141- SEMARNAT, 2003). La modelación hidrogeoquímica se utilizó complementariamente para identificar los procesos y mecanismos geoquímicos que intervienen en el control de contaminantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La nula y baja presencia de contaminantes (Cd, Cr, Cu etc.) registradas en las muestras sólidas (Tabla 1), es una característica deseable en rocas utilizadas para el control de drenaje ácido, ya que cuando se mezclan con lixiviados ácidos, se debe asegurar que las rocas no liberen elementos tóxicos más de los que contienen las muestras líquidas.

Tabla 1. Caracterización geoquímica de las rocas y terreros utilizados como tratamientos.

Rocas	Elementos Mayores											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC Suma	
	(%)											
L	44.52	0.26	7.68	2.17	0.05	1.20	22.10	2.55	0.67	0.09	18.0	99.3
T	2.66	0.01	0.92	0.20	0.04	12.01	41.57	0.04	0.02	0.02	43.5	101.0
C	6.60	0.01	0.77	0.28	0.04	0.62	51.69	0.04	0.05	0.02	40.6	100.7

Rocas	Elementos Potencialmente Tóxicos									
	As	Ag	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn
	(mg/kg)									
L	9.5	nd	1033.0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
T	nd	nd	146.0	nd	nd	nd	nd	9.8	nd	nd
C	11.5	nd	181.0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

PXC: Pérdidas por calcinación, nd: No detectado

De todos los elementos mayores analizados en rocas y terrero, el calcio (CaO), magnesio (MgO) y silicio (SiO₂) registra las mayores concentraciones. En cuanto a las concentraciones de aluminio (Al₂O₃), sodio (Na₂O) y potasio (K₂O) en la lutita, son mayores que las detectadas en las otras muestras sólidas, lo cual se debe en cierta medida a la presencia de plagioclasas, que mediante los productos de disolución incongruente puede retener contaminantes. En las muestras de terrero se identificó dolomita, y la disolución de este mineral puede estar ejerciendo un efecto importante en la neutralización de la acidez de los lixiviados. De igual forma que la disolución de la calcita identificada en todas las muestras (L,T,C).

Tabla 2. Caracterización hidroquímica de lixiviados ácidos.

Lix	Elementos Potencialmente Tóxicos y otros parámetros																
	As	Al	Cd	Cr	Cu	Fe _{total}	Ni	Pb	Si	Zn	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	pH	CE
	mg/L																
N ₁	0.7	446	12.3	< LD	23.7	1505	< LD	< LD	50.2	1263	8.5	< LD	497	219	12249	2.0	9.2
N ₂	0.9	85.7	2.8	< LD	6.1	459	< LD	< LD	20.4	335	< LD	< LD	395	130	3509	2.6	3.9
S ₁	1.3	363	5.6	< LD	14.9	717	< LD	< LD	53.3	504	3	110	510	130	6388	2.4	5.5
Soc ₁	0.05	134	5.13	0.15	12.5	516	0.58	0.2	34.4	727	26.1	10.5	332	202	5392	2.5	6.5
LD	0.001	0.250	0.111	0.116	0.106	0.142	0.135	0.125	5.000	0.118	0.40	0.30	0.40	0.20	0.14	na	na

Lix: Lixiviado; CE: conductividad eléctrica; <LD: menor al límite de detección; na: no aplica

Los lixiviados (N₁,N₂,S₁,Soc₁) presentan pH ácidos (2.0-2.6), que concuerdan con las altas conductividades eléctricas (3.9-9.2 mS/cm), concentraciones disueltas de hierro (459-1505 mg/L) y sulfatos generadas (3509-12249 mg/L) por la oxidación de FeS₂. Existen marcadas diferencias entre la composición química de los lixiviados analizados. De todas las muestras líquidas analizadas, el lixiviado N₁, presenta mayor acidez y los mayores valores de todos los contaminantes analizados a excepción del As (Tabla 2).

La naturaleza tóxica y el tipo de fuente en donde se generan los lixiviados inciden en las concentraciones disueltas de elementos potencialmente tóxicos. En los lixiviados ácidos generados en la presa de jales El Fraile (N_1 , N_2 , S_1) se detectan mayores concentraciones disueltas de metaloides y metales en relación a los generados en el socavon 1412 (Soc_1). Sin embargo, la muestra Soc_1 , presenta concentraciones trazas de Cr, Ni y Pb, que no fueron detectados en las otras muestras (Tabla 2). Los metaloides y metales disueltos, que se encuentren por arriba de los límites permisibles de las normas nacionales pueden ser perjudiciales para la salud humana y fauna acuática de los ríos [9].

No obstante, cuando los lixiviados son tratados con rocas y terreros en pruebas en lotes y columnas neutralizan la acidez y retienen contaminantes. En las pruebas en lotes de 24 horas se alcanzaron valores máximos que oscilan entre 6.4 - 7.0. Sin embargo, en las columnas se obtuvieron valores entre de 6.5 y 8.6. Los pH alcanzados en los lotes varían con el tipo de lixiviado ácido y muestra sólida (Figura 1). Los máximos valores de pH de los lixiviados tratados se alcanzan con la roca caliza (N_1C , N_2C , S_1C). Sin embargo, en las pruebas en columnas, la caliza presentó el comportamiento más desfavorable, con respecto al descenso de los valores de pH a partir del día 20 aproximadamente, lo cual puede ser debido a los precipitados de hierro que se forman sobre los agregados de la calcita, que disminuyen la disolución de calcita, de acuerdo a lo reportado en la literatura [10].

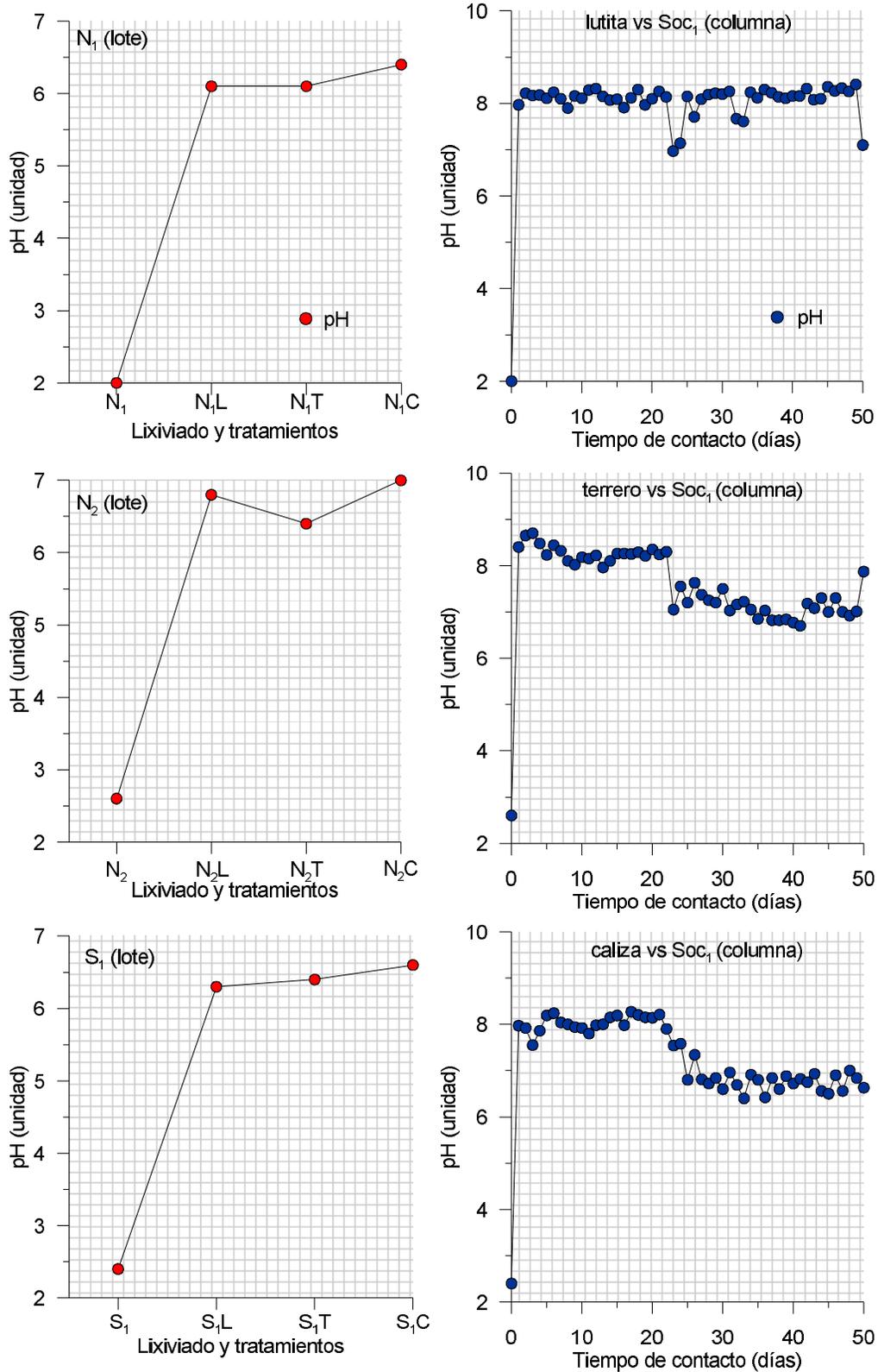
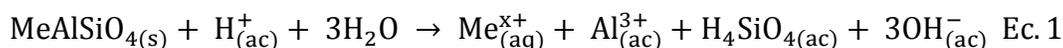


Figura 1. Valores de pH generado del contacto de lixiviados y rocas en pruebas de lotes y columnas

Muy similar fue la tendencia mostrada por el terrero. El comportamiento más favorable fue presentado por la lutita, es decir, que se mantuvo estable la distribución de los valores del pH a lo largo de la prueba. Se asume que además de la calcita, las fases minerales de plagioclasas pueden contribuir significativamente a evitar el descenso de los valores de pH. De acuerdo a la ecuación 1, los aluminosilicatos en medios ácidos por procesos de disolución congruente consumen iones de H^+ y se producen cationes disueltos [11]. Por lo tanto, este mecanismo podría estar incidiendo en la estabilidad de los valores de pH en la lutita.



Los valores de pH alcanzados en ambas pruebas contribuyen a la remoción total del As, Cu y Fe de los lixiviados. No obstante, la química del cadmio y zinc esta fuertemente influenciada por el pH (Figura 2). Inicialmente en las pruebas en lotes, ambos cationes fueron removidos parcialmente. La modelación hidrogeoquímica con datos generados en lotes, nos indican que la presencia de cadmio y zinc a los pH alcanzados en lotes, se debe a la formación de compuestos acuosos neutros (Figura 2). A través de análisis de regresión se permite inferir que si se logra incrementar el pH del tratamiento a valores mayores de 8, la remoción del Zn y del Cd será más eficiente [12].

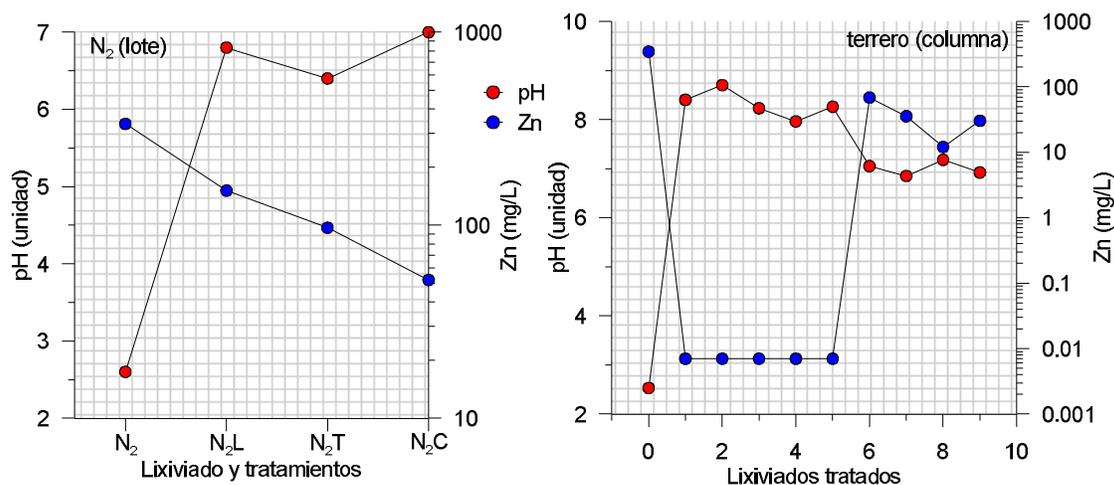


Figura 2. Distribución de los valores de Zn con base al pH alcanzado en lotes y columnas.

En las pruebas en columnas se confirmó que las concentraciones de zinc son removidas en un 100% cuando se alcanzan valores de $pH \geq 8$. Así mismo, se comprobó que las concentraciones de zinc incrementan con una disminución del pH. De esta forma se cumple lo pronosticado en las pruebas en lotes mediante la modelación y análisis de regresión. En cuanto al comportamiento del cadmio en columnas, fue removido en su totalidad a partir de que se alcanzan valores de pH de 6.5. En principio hay que tener presente que la concentración de cadmio y zinc

en el lixiviado Soc₁, es menor que las concentraciones en los lixiviados generados en la presa de jales El Fraile. Por consiguiente, la composición química de los lixiviados ácidos es un factor fundamental que influye en la remoción de contaminantes.

CONCLUSIONES

Las rocas y terreros utilizados para el tratamiento de lixiviados ácidos muestran eficiencia en el control de contaminantes disueltos en lixiviados ácidos. Los procesos geoquímicos de sorción, precipitación-disolución en conjunto con la naturaleza geológica de las rocas y terreros, determinan la eficiencia de la remoción de los contaminantes. La eficiencia mostrada por el terrero y lutita en pruebas de laboratorio, nos hace suponer que si es utilizada como barrera geoquímica, puede convertirse en una opción tecnológica sostenible para el control del drenaje ácido. De esta forma se demuestra que existen otros sustratos reactivos que pueden ser utilizados en el tratamiento pasivo de aguas ácidas, diferentes de la roca caliza tradicionalmente utilizada.

REFERENCIAS

1. Romero, F.M., Gutiérrez, M., 2010. Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en el sur y centro de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 62, 43 - 53.
2. Marmolejo-Rodríguez, A.J., Sánchez-Martínez, M.A., Romero-Guadarrama, J.A., Sánchez-González, A., Magallanes-Ordóñez, V.R., 2011, Migration of As, Hg, Pb, and Zn in arroyo sediments from a semiarid coastal system influenced by the abandoned gold mining district at El Triunfo, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 2182-2189.
3. Mussali-Galante, P., Tovar-Sánchez, E., Valverde, M., Valencia-Cuevas, L., Rojas, E., 2012, Evidence of population genetic effects in *Peromyscus melanophrys* chronically exposed to mine tailings in Morelos, Mexico, *Environmental Science and Pollution Research*, Res. doi 10.1007/s11356-012-1263-8.
4. Mireles, F., Davila, J. I., Pinedo, J. L., Reyes, E., Speakman, R. J., Glascock, M. D., 2012, Assessing urban soil pollution in the cities of Zacatecas and Guadalupe, Mexico by instrumental neutron activation analysis, *Microchemical Journal*, 103,158-164.
5. Ulrich, M.,1999, Non-metallic carbonous minerals in the passive treatment of mining wastewater in Slovenia: *Chemical Engineering and Processing*, 38, 249 - 258.
6. Morán-Zenteno, D.J., Alba-Aldave, L.A., Martínez-Serrano, R.G., Reyes-Salas, M.A., Corona-Esquivel, R., Angeles-García, S., 1998, Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the Tertiary volcanic sequences of the Taxco-Quetzalapa región souther Mexico, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15, 167-180.
7. Secretaria de Medio Ambiente de Recurso Naturales (SEMARNAT), 2003, Norma Oficial Mexicana NOM-141, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y post operación de presas de jales: México, D.F., Diario Oficial de la Federación, 13 septiembre de 2004.
8. Secretaria de Medio Ambiente de Recurso Naturales (SEMARNAT), 2003, Norma Oficial Mexicana NOM-157, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros.
9. Secretaria de Medio Ambiente de Recurso Naturales (SEMARNAT), 1996, Norma Oficial Mexicana NOM-001, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales.

10. Hammarstrom, J.M., Sibrell, P.L., Belkin, H.E., 2003, Characterization of limestone reacted with acid-mine drainage in a pulsed limestone bed treatment system at the Friendship Hill National Historical Site, Pennsylvania, USA, *Applied Geochemistry*, 18, 1705-1721.
11. Blowes, D.W., Ptacek, C.J., 1994, Acid-neutralization mechanisms in inactive mine tailings. In: Blowes, D.W., Jambor, J.L. (Eds.), *The Environmental Geochemistry*.
12. Corrales, D, Romero, M, 2013, Evaluación de la peligrosidad de jales de zonas mineras de Nicaragua y México, y alternativas de solución, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, en prensa.

“DETERMINACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO BRAVO/RÍO GRANDE, MEDIANTE EL PROGRAMA DE CÓMPUTO IHA, POR LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DEL ELEFANTE

¹Ing. René Holguín Hernández, Dr. Jorge A. Salas Plata Mendoza, Mtra. Angelina Domínguez Chicas y Dr. Héctor Quevedo Urías.

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)

Las actividades humanas alteran el curso de los ríos y degradan la calidad de las aguas y de la ribera, poniendo en riesgo las obras de infraestructura hidráulica y afectando un sin número de especies biológicas. Por lo anterior, es importante cuantificar y/o describir el grado de alteración de un río. El objetivo de este estudio fue determinar la alteración hidrológica del Río Bravo/Río Grande debido a la construcción de una obra de ingeniería civil en su cauce, mediante el programa de cómputo IHA. Se trabajó con los gastos diarios del río de 1890-2010, suministrados en la Internet por el Servicio Geológico de los Estados (USGS, por sus siglas en inglés), detallándose el uso del programa de cómputo IHA para obtener información relativa a la alteración del Río Bravo/Río Grande. Una vez que se ejecutó el programa con los gastos diarios del río en el periodo señalado, se obtuvieron una serie de tablas con los resultados estadísticos que indican la fecha del impacto en el cauce del Río Grande. El funcionamiento normal de los cuerpos de agua, como en el caso de los ríos, se ve alterado con la construcción de obras civiles como las presas. Estas presas son muy útiles para la agricultura de riego, el control de inundaciones y de sedimentos y favorecen el crecimiento económico. Sin embargo, debido a la construcción de la Presa del Elefante, la alteración del Río Grande fue significativa y cambió radicalmente el comportamiento hidrológico de la corriente, sobre todo en lo que se refiere a la magnitud de las inundaciones periódicas.

GEOQUÍMICA Y MINERALOGÍA DE JALES MINA AURORA, DISTRITO MINERO XICHÚ, GUANAJUATO, MÉXICO

ÉrikSalas^a, Alejandro-Carrillo^a, Tammie-Gerke^b, Gilles-Levresse^a

^a Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, Querétaro, 76230, México.

^b Departamento de Geología, Universidad de Cincinnati, PO Box 0013, Cincinnati, OH 45221-0013.

RESUMEN

El distrito Minero de Xichú está localizado en el extremo noreste del Estado de Guanajuato, México, dentro de la Sierra Gorda, un área de natural de reserva de la biósfera. La explotación de minerales se registra a partir del siglo XVIII y concluyendo a mediados del siglo pasado. Existen varios depósitos minerales en el área, siendo los más importantes los de tipo skarn. Los principales minerales de mena son: galena (PbS) con algunas concentraciones de plata (Ag), calcopirita (CuFeS₂), esfalerita (ZnS) y abundante pirita con algo de arsénico (As) junto con trazas de oro (Au)¹. Los metales económicos de extracción fueron Ag, Cu, Pb y Zn.

Los procesos de extracción de la Mina Aurora dejaron un estimado de un millón de toneladas de desechos en 4 jales mineros sobre el lecho del Rio Xichu y con potencial riesgo ambiental de dispersion de metales pesados a varias pequeñas comunidades circundantes.

Muestras de jales mineros fueron procesados por digestión ácida². Además se realizó un procedimiento de extracción secuencial³, como una herramienta para la detección de la movilización de los elementos y los procesos de retención. Se utilizó difracción de rayos X para obtener algunas fases mineralógicas de los jales y microscopía electrónica de barrido e imágenes de espectroscopía de electrones dispersos para un análisis semicuantitativo de los elementos.

CONCLUSIÓN

Los jales mineros presentan las concentraciones máximas siguientes As: 62,000 mg/Kg; Cd: 200 mg/Kg; Cu: 2,400 mg/Kg; Fe: 370,000 mg/Kg; Pb: 18,000 mg/Kg y Zn: 13,000 mg/Kg. Los análisis de difracción rayos X muestran los siguientes minerales: esfalerita, goethita, jarosita, yeso, cuprita, arsenopirita, magnetita y galena.

REFERENCIAS

1. CORESMI (Consejo de Recursos Minerales), 1978. Boletín Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XXXIX, No. 2, p.p. 101-106, septiembre 1978.
2. EPA (Environmental Protection Agency). Método 3051^a. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils.
3. Parviainen, A., 2009. Tailings mineralogy and geochemistry at the abandoned Haveri Au-Cu Mine, SW Finland. Mine Water Environmental, 28:291-304 (2009).

Uso de isótopos estables de C y N en la determinación del origen de la materia orgánica en el Humedal Ciénega de Tamasopo.

Filiberta Virginia Pérez Castillo, Ma. Catalina Alfaro de la Torre.

Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, PMPCA, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ciencias Químicas; UASLP, SLP. México C.P. 78220. Tel: (444) 8262300 ext. 6565. Correo electrónico: alfaro@uaslp.mx, perez_fv@yahoo.com.mx.

Resumen

El análisis de datos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en la materia orgánica pueden reportarnos la fuente de la materia orgánica, productividad pasada y cambios en el suministro de nutrientes en los sedimentos de los humedales y otros ecosistemas. Valores de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{12}\text{C}$ complementan la información, para determinar la procedencia del carbono. Estudios en sedimentos de lagos y aguas costeras han demostrado la utilidad de usar isótopos como el ^{15}N para distinguir los aportes del nitrógeno de múltiples fuentes, para la biota acuática, incluyendo la atmosférica, la fijación biológica y los efluentes de aguas residuales. A su vez, mediante la relación C/N y en menor grado por el $\delta^{13}\text{C}$, puede distinguir la materia orgánica lacustre sedimentada, formada predominantemente a partir de plantas acuáticas y terrestres y en menor grado por organismos externos que viven en y fuera del ecosistema. En el humedal Ciénega de Tamasopo, a partir de muestras de sedimentos en 5 sitios, los perfiles de concentración de C, N y la relación C/N indican un enriquecimiento reciente en los sedimentos superficiales. El comportamiento y los valores de la relación C/N de 13.3-16.9; 13.73-15.78; 9.71-21.99; 11.97-26.9 y 11.82-15.96 en los sitios S1 a S5 respectivamente sugieren predominancia de materia orgánica terrestre depositada o retenida, proveniente de plantas vasculares. Resultados de la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y de las relaciones $^{13}\text{C}/^{15}\text{N}$ en esos mismos sitios fueron de -16.1 a -8.1; -10.8 a -8.7; -15.2 a -8.1; -48 a -9.1 y -28.6 a -8.5‰, respectivamente, y sugieren que la materia orgánica en los sedimentos puede deberse a una mezcla de plancton, y en mayor medida de plantas terrestres y macrófitos acuáticos. El aporte de nitrógeno parece provenir de fertilizantes. Los resultados sugieren que los aportes de nutrientes son recientes en el humedal.

Palabras claves: Isótopos estables " $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ ", relación C/N, Ciénega de Tamasopo.

SESIÓN V

SEDIMENTOLOGÍA Y

PETRÓLEO

ESTUDIO DE GEOQUÍMICA ORGANICA E INORGÁNICA EN UNA ARENISCA EÓLICA DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA EL PINACATE Y GRAN DESIERTO DE ALTAR, NW DE SONORA, MÉXICO.

Francisco A. Paz-Moreno ^a, Kinardo Flores-Castro ^b, M^a Cristina Peñalba-Garmendia ^c, Jorge A. Santiago-Bautista ^{a*} Juan C. Durán-Álvarez ^d, M^a Fernanda Solís- Limón ^{e*}

^a Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, Hermosillo, Son. 83000, México.

fpaz@ciencias.uson.mx

* Tesista de Maestría en Ciencias-Geología

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

^c Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, Hermosillo, Son. 83000, México.

^d Posgrado de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria s/n, Delegación Coyoacán, Distrito Federal 04510, México.

^e Instituto de Geografía, facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria s/n, Delegación Coyoacán, Distrito Federal 04510, México.

* Tesista de Doctorado en Geografía

RESUMEN

El presente estudio se realizó sobre un afloramiento rocoso estratiforme de naturaleza detrítica, muy discreto en sus dimensiones, localizado en la Reserva de la Biósfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar, NW de Sonora. Consiste de una arenisca cuarzo-feldespática de grano fino a medio bien clasificada y litificada, de color blanco a gris claro, presenta estratificación cruzada que se pone claramente en manifiesto sobre las superficies intemperizadas. Su arreglo textural consiste de granos subredondeados (cuarzo-feldespatos) sostenidos, que atestiguan una madurez mineralógica, y que atrapan materia orgánica (<5%) ± óxidos de Fe-Ti; los granos se encuentran cementados por cuarzo que rellena casi todas cavidades intergranulares, sin embargo los límites entre los granos y el cementante se reconocen con dificultad.

Los resultados de la geoquímica inorgánica de elementos mayores, analizados por ICP-AES, muestran un dominio composicional total (>99%) por los óxidos:

SiO_2N (77.3%), $\text{Al}_2\text{O}_3\text{N}$ (12.76%), $\text{Na}_2\text{O}_\text{N}$ (3.40%), $\text{K}_2\text{O}_\text{N}$ (2.93%) CaO_N (2.17%) y $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{N}$ (0.92%), composición que resulta consistente con la asociación mineralógica observada bajo el microscopio. La geoquímica de elementos traza, analizada por ICP-MS, en particular las 14 Tierras Raras (REE), presentan muy bajas concentraciones ($\sum 14 \text{ REE} = 55.2 \text{ ppm}$). Las REE normalizadas con Condrita [1], muestran un espectro en forma de “L abierta” con $[\text{LREE}]_\text{N} > 10$, $(\text{La}/\text{Sm})_\text{N}$ de pendiente muy pronunciada; $[\text{HREE}]_\text{N} < 10$, $(\text{Gd}/\text{Lu})_\text{N}$ de pendiente muy suave a subhorizontal, y con una discreta anomalía negativa en Eu, $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_\text{N} < 1$. Otras trazas como elementos incompatibles presentan también valores bajos en ppm: U(1), Ta(0.5), Hf(2.2), Th(4), Nb(6.3) e Y(8.7) y de igual manera los elementos móviles: Cs(1.4), Co(2), Cu(5) y V(13). El conjunto de bajas concentraciones en los elementos traza: REE y su espectro, incompatibles y compatibles, son característicos y muy similares a las concentraciones reportadas por [2], para las arenas de las dunas crecientes y sus fuentes potenciales los granitoides en la misma región del presente estudio.

El estudio de geoquímica orgánica se efectuó con un CG-MS (cromatógrafo de gases masa), el contenido de materia orgánica de la roca se recuperó y concentró por el método de extracción secuencial termoregulada a flujo constante por 50 horas, empleando los disolventes orgánicos: Hexano C_6H_{14} y Acetato de Etilo $\text{CH}_3\text{COOHCH}_2\text{CH}_3$. Los resultados muestran un predominio de alcanos alifáticos que van del $n\text{C}21$ al $n\text{C}30$, lo cual indica la presencia de plantas superiores de origen continental [3], asimismo, la presencia de estos compuestos orgánicos del $n\text{C}23$ al $n\text{C}25$ o mayores, indican un mayor aporte de materia orgánica [4].

Por otra parte, se encontró el Crocetano, que es un isoprenoide asociado a lípidos de archaea, se ha identificado en ambientes antiguos como modernos, asociado principalmente con la **Oxidación Anaeróbica del Metano** [5], [6]. Su abundancia puede ser indicativo de un pronunciado rol de las archaea (bacterias) en los ciclos biogeoquímicos [7],[8].

CONCLUSIONES

El análisis petrográfico de la arenisca muestra: una madurez mineralógica y una buena clasificación del tamaño de partícula, con un arreglo textural sostenido y una fábrica de estratificación cruzada, este conjunto de características están a favor de un mecanismo de formación eólico para estas rocas.

Los resultados de geoquímica inorgánica de elementos mayores confirma la correspondencia de las concentraciones de los óxidos con la mineralogía observada al microscopio. Los elementos traza permiten establecer la casi identidad composicional con las arenas actuales de las dunas crecientes del Gran Desierto, que por una lado refuerza el origen eólico antes propuesto para estas rocas y por otro permite proponer un rango temporal mayor para estos procesos eólicos que los hasta ahora propuestos y la consistencia con las mismas fuentes potenciales.

Los resultados de la geoquímica orgánica apoya el carácter continental para la formación de estas rocas y la presencia del Crocetano que es un biomarcador asociado con la **Oxidación Anaeróbica del Metano**, puede indicar que el depósito sedimentario, previo a su litificación, estuvo cubierto por agua, o bien que la materia orgánica atrapada entre los sedimentos y que contiene este biomarcador, fue transportada por efectos eólicos de una fuente de ambiente anaeróbico contemporánea.

REFERENCIAS

- 1.- Sun S. S. & McDonough W. F. (1989) Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: implications for mantle composition and process. In Saunders A. D. and Norry M. J., (eds) Magmatism in the ocean basins, Geol. Soc., London, special publications, v. 42, p. 313-345.
- 2.- Solís-Limón M. F. (2003) Caracterización y Procedencia de las dunas que bordean al Campo Volcánico El Pinacate, Sonora, México. Tesis de Maestría en Ciencias- Geología, UNISON, p. 158.
- 3.- Tissot, B. & Welte, D. H. (1984) Petroleum formation and occurrence. 2ed Edition, Springer Verlag, p. 699.

- 4.- Pearson A. & Eglinton T.I. (2000) The origin of *n*-alkanes in Santa Monica Basin surface sediment: A model based on compound-specific $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ data. *Organic Geochemistry*, 31, 1103-1116.
- 5.- Barber, C.J., Price, K., Bastow, T.P., Alexander, R., & Kagi, R.I. (2001) The Identification of crocetane in Australian crude oils. *Organic Geochemistry*. v. 32, p. 943-947.
- 6.- Peckmann, J. & Thiel, V. (2004). Carbon cycling at ancient methane-seeps. *Chemical Geology*. v. 205, p. 443-467.
- 7.-Wasmund, K., 2009. Microbial and functional diversity associated with hydrocarbon seeps in the tropical Timor sea, Australia. PHD Thesis University of Sunshine Coast. 158p.
- 8.-Valentine, D.L., 2002. Biochemistry and microbial ecology of methane oxidation in anoxic environments: a review. *Antonie van Leeuwenhoek*. v. 81, p. 271-282.

LA LUTITA NEGRA DE LA FORMACIÓN LA CASITA (JURÁSICO SUPERIOR), SIERRA MADRE ORIENTAL

Fernando Velasco Tapia^a, Mauro Eleazar López Medina^a, Gabriel Chávez Cabello^a, Kinardo Flores Castro^b

^a Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carretera Linares-Cerro Prieto km. 8, 67700 Linares, Nuevo León

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Col. Carboneras, 42184 Mineral de la Reforma, Hidalgo

velasco@fct.uanl.mx

RESUMEN

Se reporta el estudio mineralógico y geoquímico de la lutita negra (*black shale*) que ocurre en la Formación La Casita (Kimmeridgiano-Tithoniano; Sierra Madre Oriental) para la localidad Potrero Prieto (Iturbide, Nuevo León). La sección basal de esta unidad litológica se encuentra conformada por: (a) U1/Base (72.5 m): conformado por estratos de lutita negra laminar con intercalaciones de marga. Contiene además concreciones carbonatadas, que incluyen fósiles (amonites y restos de un ictosaurio) y (b) U1/Techo (32.0 m), constituida por estratos delgados de lutita negra intercalados con marga delgada.

CONCLUSIONES

La lutita negra está constituida por cantidades variables de cuarzo, muscovita, illita, yeso, calcita, dolomita, albita y/o anortita. Su geoquímica de elementos traza es comparable a la reportada para la Corteza Continental Superior. Proviene de una fuente granodiorítica, probablemente relacionada al Bloque Coahuila, y tiene una afinidad a un ambiente de arco continental. Las características geoquímicas indican diversos grados de madurez sedimentaria, que correlacionan con la composición mineralógica. La composición en Ca y Mn indica condiciones químicas de depósito de tipo anóxico, fuertemente reductoras ($Eh < -0.1$ mV) y con pH bajo (< 6.5). Este ambiente fue propicio para la acumulación de materia orgánica y carbonato de calcio, con ausencia de pirita y acumulación de Mn. La lutita negra de la Formación La Casita y aquellas que se le correlacionan estratigráficamente son representativas de las rocas generadoras que constituyen los sistemas petroleros de gas en el NE de México.

DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ORGANICOS EN EL BITUMEN DE ROCAS SEDIMENTARIAS POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS

Patricia Candelaria Montiel García^a, Mara Cassandra Quiroz Acuña^a, Kinardo Flores Castro^a, Evodio Pedro Castañeda Ovando^a, Enrique Cruz Chávez^a, José Cruz Escamilla Casas^a

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Ciudad Universitaria, Carretera Pachuca-Tulancingo, Km 4.5, Col. Carboneras, C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo.

* pmontiel@uaeh.edu.mx

INTRODUCCIÓN

El método de extracción asistido por microondas (MAE) es un procedimiento que sirve para extraer compuestos orgánicos insolubles o ligeramente solubles del agua y de matrices sólidas (suelos, arcillas, sedimentos, lodos y residuos sólidos). El proceso utiliza energía de microondas proveniente de un magnetrón con difusor rotatorio, logrando una distribución homogénea de las microondas para producir condiciones de presión y temperatura elevadas en recipientes cerrados que contienen la muestra y la mezcla de solventes adecuada, facilitando la rápida disolución de los analitos de interés en la mezcla de solventes con una alta eficiencia de recuperación. La mezcla de solventes consta de un solvente insoluble en agua (hexano o diclorometano) y un solvente miscible en agua (acetona). El propósito de usar un solvente miscible en agua es el de facilitar la extracción de sólidos húmedos permitiendo que la mezcla de solventes penetre la capa de agua de la superficie de las partículas sólidas. El solvente inmisible en agua extrae compuestos orgánicos con polaridad similar. Una vez extraídos los analitos en el solvente adecuado, se está en condiciones de proceder a su análisis siendo la Cromatografía de Gases-Masas, el método instrumental utilizado en esta aplicación [1].

Por otra parte la introducción de las técnicas analíticas modernas, y principalmente de la cromatografía de gases espectrometría de masas, en el estudio de la materia orgánica sedimentaria soluble (bitumen) permite la identificación de fósiles geoquímicos a partir de los cuales pueden reconocerse ambientes deposicionales y procesos geoquímicos antiguos. Así, se ha visto que el análisis de las distribuciones de hidrocarburos alifáticos lineales permite la determinación de aportes algales, bacterianos y de plantas superiores así como la identificación de condiciones oxido-reductoras en el medio deposicional [2].

Las principales ventajas de MAE estriban en que los tiempos de extracción giran en torno a los 30 minutos; se utilizan pequeños volúmenes de disolventes orgánicos, en torno a los 50 ml; menor exposición de los analistas a los solventes de extracción (menor cantidad y tiempo de exposición); mayor seguridad al medio ambiente por el menor consumo de mezcla de solventes; mayor cantidad de muestras a procesar por proceso de extracción (14 muestras a la vez) y menor costo de operación [3],[1].

Dentro de los parámetros que afectan al proceso de MAE, los más comúnmente estudiados son: composición y volumen del disolvente, temperatura, presión, potencia de microondas, tiempo de extracción y características de la matriz, por lo que en este trabajo

de investigación se pretende estudiar el efecto de utilizar dos mezclas de disolventes acetona-hexano y acetona-diclorometano, con la finalidad de probar con que mezcla se obtiene la mayor cantidad de bitumen y la mejor identificación compuestos orgánicos en seis muestras de calizas recolectadas de la formación La Casita en el Cañón “El Álamo” municipio de Viesca, Coahuila, utilizando la Cromatografía de Gases-Masas.

SECCIÓN EXPERIMENTAL

La zona de estudio es denominada el cañón “El Álamo” en el municipio de Viesca, Coahuila y se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 25°20’N y 102°49’W. El muestreo se realizó retirando la roca afectada por intemperismo para obtener una muestra sana, esto se hizo mediante la eliminación del material que presentaba una alteración en color hasta obtener material sin alteración, tomándose seis muestras de caliza (VIE 22, 23, 24, 25, 27 y 29), los estratos se enumeraron de menor a mayor de la base a la cima. Las muestras se trituraron con apoyo de la pica y se dejaron secar a temperatura ambiente para eliminar cualquier humedad que pudieran tener, posteriormente se pulverizaron (10 min. aprox.) en un pulverizador modelo Pulverisette 2, marca Frisch, constituido por un mortero y un pistilo de ágata.

Se pesaron 3 g de muestra en los vasos de teflón, adicionándoles 25 ml de mezcla de solventes acetona-hexano (1:1) y en otra serie de vasos con acetona-diclorometano (1:1), posteriormente se cerraron los vasos y se colocaron en el tornamesa del microondas modelo MARS 5, marca CEM, versión 049031 con las siguientes condiciones: potencia 1200 w, rampa 10:00 min, PSI 100, temperatura 110oC, tiempo de extracción 15 min y tiempo de enfriamiento 15 min. Las muestras se dejaron enfriar y se filtraron, utilizando papel filtro Whatman 40, el cual previamente fue tratado en hexano para evitar cualquier humedad en el sedimento.

El filtrado se colocó en un matraz balón de 250 ml y se colocó en un rotavapor marca Büchi modelo R-205 a una temperatura de 60°C con una rotación de 45 rpm para evaporar el exceso de disolvente hasta obtener aprox. 5 ml de extracto por muestra. El extracto se transfirió con ayuda de una pipeta Pasteur a un vial de vidrio (previamente pesado) y se le colocó una tapa de papel absorbente para permitir la evaporación total del disolvente y prevenir cualquier contaminación por partículas del aire.

Una vez corroborado que no quedara disolvente en los viales, éstos se pesaron para obtener el peso de la Materia Orgánica Soluble (bitumen) en el sedimento. Los extractos obtenidos en los viales se analizaron mediante un Cromatógrafo de Gases, marca Hewlett Packard (HP) modelo 6890N con sistema de inyección splitless acoplado a un Espectrómetro de Masas marca HP modelo 5973N; las condiciones de la operación del cromatógrafo fueron: columna de sílice fundida de 30 m largo x 0.25mm de diámetro, 0.25 mm de grosor; gas acarreador helio a un flujo de 1 ml/min; rampa de temperatura del horno T= 70°C /1 min, 10°C/min hasta 290°C y 290°C por 17 min; temperatura de inyección 250°C y volumen inyectado 1.0 microlitro. Para la interpretación de los cromatogramas se utilizó el software HP-Chem, apoyándose de la base de datos Wiley138 con lo que fue posible identificar los compuestos orgánicos presentes en los extractos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los pesos obtenidos de bitumen después de la extracción, permiten conocer la cantidad de recuperación del bitumen en ambas mezclas de disolventes (acetona-hexano y acetona-diclorometano) mediante el método de extracción asistida por microondas (Tabla 1).

Tabla 1. Peso del bitumen recuperado utilizando mezclas de disolventes por MAE

Muestra	Tipo de Roca	Peso del bitumen (gr)	
		acetona-hexano	acetona-diclorometano
VIE 22	Caliza	0.0032	0.0012
VIE 23	Caliza	0.0005	0.0017
VIE 24	Caliza	0.0008	0.0020
VIE 25	Caliza	0.0008	0.0007
VIE 27	Caliza	0.0003	0.0007
VIE 29	Caliza	0.0015	0.0013

De acuerdo con los datos presentados en la tabla anterior, se puede apreciar que la mayor cantidad de bitumen (0.032 gr) se obtuvo en la muestra VIE 22, utilizando la mezcla de acetona-hexano, pero también utilizando esta mezcla de disolventes en muestra VIE 27, se obtuvo la menor cantidad (0.0003 gr), sin embargo de las seis muestras de caliza estudiada se obtienen pesos altos del bitumen tanto en tres muestras tratadas con la mezcla acetona-hexano (VIE 22, 25 y 29), obteniéndose un peso promedio del bitumen extraído de 0.0018 gr, como en tres muestras tratadas con la mezcla acetona-diclorometano (VIE 23, 24 y 27) obteniéndose un peso promedio del bitumen extraído de 0.0015 gr. Por los datos obtenidos anteriormente se puede concluir que la variación del peso promedio obtenido del bitumen extraído por las dos mezclas de disolventes estudiadas no es tan significativa teniendo una variación de 0.0003 gr de diferencia.

Por lo que respecta al análisis por Cromatografía de Gases-Masa (CG-MS) de las seis muestras de calizas (VIE 22, 23, 24, 25, 27 y 29) se lograron identificar en la Materia Orgánica Sedimentaria a los alcanos lineales como compuestos orgánicos principales y también se encontraron derivados de hidrocarburos aromáticos policíclicos como naftaleno, azuleno, antraceno y fenantreno además de aromáticos heterocíclicos derivados de furano y tiofeno como compuestos traza.

De manera general los cromatogramas obtenidos del bitumen extraído donde se utilizó la mezcla de acetona-diclorometano, en la mayoría de los casos se identificaron alcanos de bajo peso molecular los cuales corresponden a $n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$, $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$, $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ y $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$, siguiendo hasta $n\text{-C}_{43}\text{H}_{88}$ como el alcano de cadena más larga.

De igual manera en la mezcla acetona-hexano los alcanos de bajo peso molecular identificados son: $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30}$, $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$ y $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$, siguiendo la secuencia hasta $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$ e identificándose también al $n\text{-C}_{31}\text{H}_{64}$, $n\text{-C}_{32}\text{H}_{66}$, $n\text{-C}_{33}\text{H}_{68}$, $n\text{-C}_{34}\text{H}_{70}$ y $n\text{-C}_{36}\text{H}_{74}$ como los alcanos de cadena más larga.

Los cromatogramas de los alcanos lineales identificados en las seis muestras de calizas analizadas por CG-MS, se presenta a continuación:

Muestra **VIE 22**. Corresponde a caliza con mezcla de disolvente acetona-hexano donde los alcanos identificados son $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ al $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$ presentándose la señal más predominante en $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ como se muestra en la figura 1.

Cromatograma muestra Vie 22 Ac: Hex

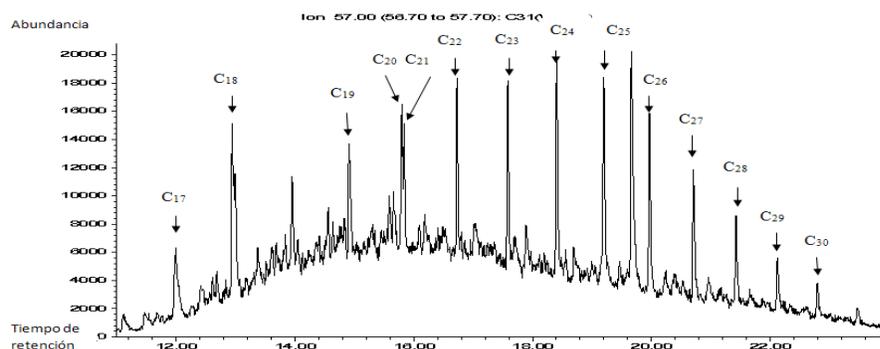


Figura 1. Cromatograma de la muestra VIE 22 extraída por MAE
Muestra **VIE 23**. Corresponde a caliza con mezcla de disolvente acetona-diclorometano donde los alcanos identificados son $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ al $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$, $n\text{-C}_{32}\text{H}_{66}$ y $n\text{-C}_{34}\text{H}_{70}$ presentándose la señal mas predominante en $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ como se muestra en la figura 2.

Cromatograma muestra Vie 23 Ac: Diclo

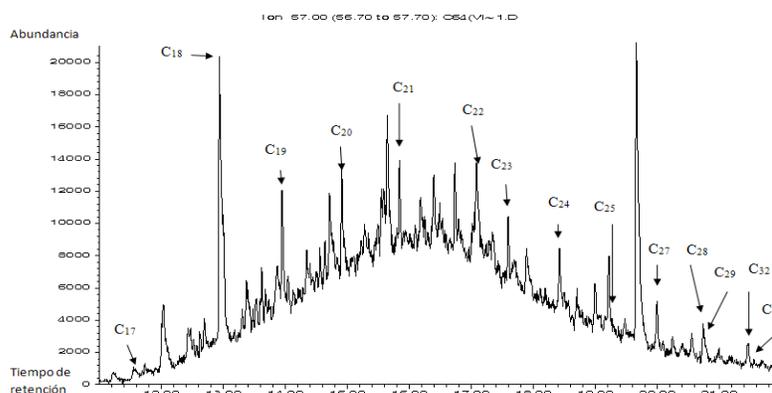


Figura 2. Cromatograma de la muestra VIE 23 extraída por MAE

Muestra **VIE 24**. Corresponde a caliza con mezcla de disolventes acetona-diclorometano donde los alcanos identificados son $n\text{-C}_{15}\text{-H}_{32}$ al $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$, $n\text{-C}_{32}\text{H}_{66}$, $n\text{-C}_{34}\text{H}_{70}$, $n\text{-C}_{36}\text{H}_{74}$ y $n\text{-C}_{43}\text{H}_{88}$ presentándose la señal mas predominante en $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ como se muestra en la figura 3, así como el espectro de masa (fig. 4) del $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ el cual nos permite identificarlo

Cromatograma muestra Vie 24 Ac: Dicho

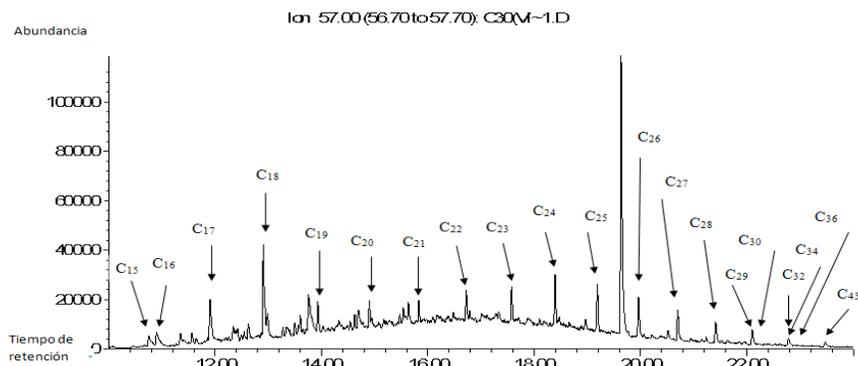


Figura 3. Cromatograma de la muestra VIE 24 extraída por MAE

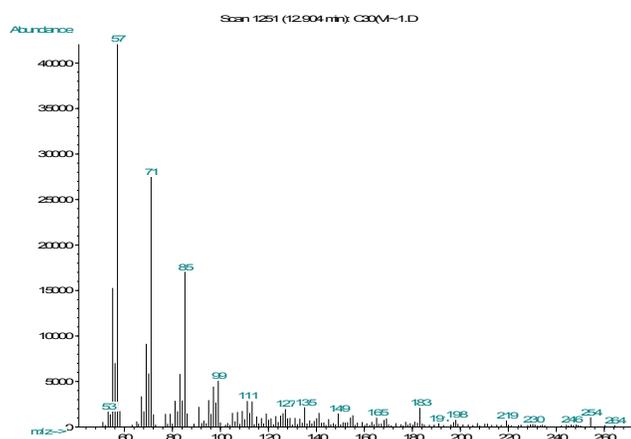


Figura 4. Espectro de masa de alcano $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$

Muestra **VIE 25**. Corresponde a caliza con mezcla de disolventes acetona-diclorometano donde los alcanos identificados son $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ al $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$, $\text{C}_{36}\text{H}_{74}$ y $n\text{-C}_{43}\text{H}_{88}$ presentandose la señal mas predominante en $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ como se muestra en la figura 5.

Cromatograma muestra Vie 25 Ac: Dicho

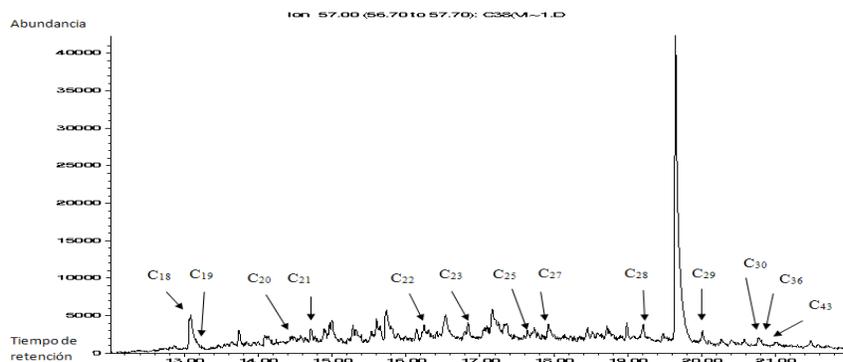


Figura 5. Cromatograma de la muestra VIE 25 extraída por MAE

Muestra **VIE 27**. Corresponde a caliza con mezcla de disolvente acetona:diclorometano donde los alcanos identificados son $n\text{-C}_{19}\text{H}_{40}$ al $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$, $\text{C}_{32}\text{H}_{66}$ y $n\text{-C}_{36}\text{H}_{74}$ presentándose la señal más predominante en $n\text{-C}_{19}\text{H}_{40}$ como se muestra en la figura 6.

Cromatograma muestra Vie 27 Ac: Dicio

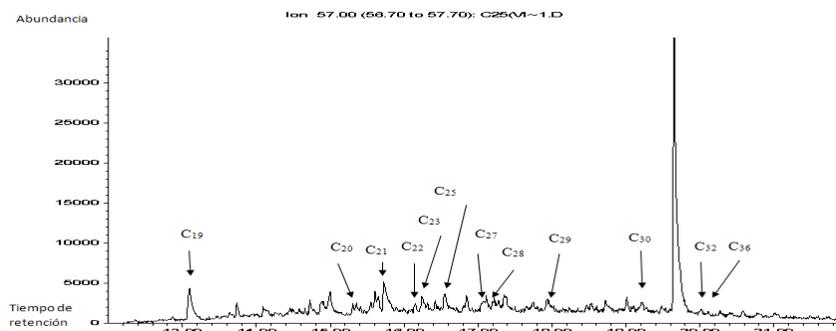


Figura 6. Cromatograma de la muestra VIE 27 extraída por MAE

Muestra **VIE 29**. Corresponde a caliza con mezcla de disolventes acetona- diclorometano donde los alcanos identificados son $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ al $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$ presentándose la señal más predominante en $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ como se muestra en la figura 7.

Cromatograma muestra Vie 29 Ac: Dicio

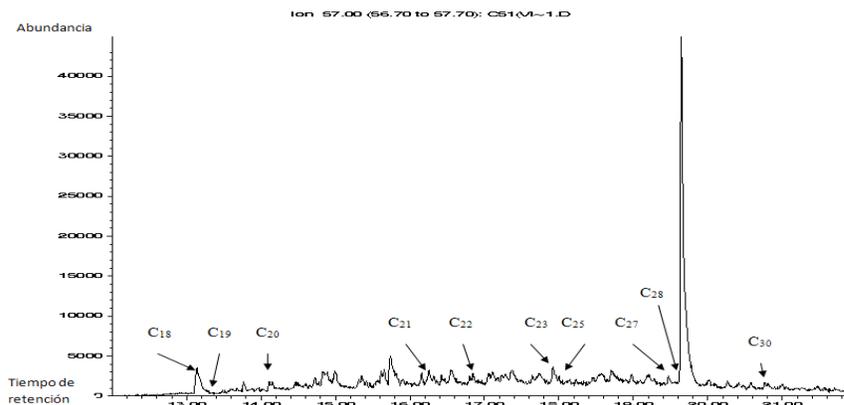


Figura 7. Cromatograma de la muestra VIE 29 extraída por MAE

De los cromatogramas presentados anteriormente se puede observar, que con respecto a la utilización de las dos mezclas de disolventes, en la que se tuvo la mejor identificación de los alcanos lineales fue en la mezcla de acetona-diclorometano, ya que la identificación fue más significativa en cinco de las muestras, que con la mezcla de acetona-hexano en donde solo lo fue en una de ellas VIE 22.

Otra observación que se pudo apreciar es que con la mezcla acetona-diclorometano, permite ver alcanos de cadena más larga como $n\text{-C}_{43}\text{H}_{88}$, sin embargo de acuerdo a Pastor, et al., (2001)[4], la ausencia de n -alcanos de bajo número de átomos de carbono puede deberse a su eventual evaporación, disolución o biodegradación.

CONCLUSIONES

Con respecto a la variación del peso promedio obtenido del bitumen extraído de calizas por las dos mezclas de disolventes acetona-hexano y acetona-diclorometano no fue tan significativa ya que esta variación oscilo en un valor de 0.0003 gr por lo que cualquiera de las dos mezclas de disolventes puede ser utilizada.

En cuanto a la identificación de alcanos lineales utilizando las dos mezclas de disolventes por medio de la Cromatografía de Gases-Masas, la mezcla que tuvo la mejor identificación de los alcanos lineales fue la mezcla de acetona-diclorometano, ya que la identificación fue más significativa en cinco de las muestras, que con la mezcla de acetona-hexano en donde solo lo fue en una de ellas VIE 22, por otro lado la mezcla de acetona-diclorometano nos permitió identificar alcanos de cadena larga ($n\text{-C}_{43}\text{H}_{88}$) y los cromatogramas obtenidos presentaron picos de identificación altos por lo que se observa la eficacia del disolvente.

Finalmente se puede comentar que el método de extracción asistida por microondas (MAE) tiene la ventaja de reducir costos, tanto de tiempo de extracción, de disolventes y de cantidad de muestra, comparado por los métodos convencionales, por lo que para la extracción de la materia orgánica sedimentaria (bitumen) de calizas y para la identificación de alcanos lineales se recomienda ampliamente.

REFERENCIAS

1. Villemur M. S. y Rimini M. G. Determinación de pesticidas organoclorados en suelos - extracción por microondas. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México. (2002).
2. Albaigés J. y Grimalt J. Contribución de la Geoquímica Orgánica a la reconstrucción de paleoambientes y procesos diagenéticos. *Acta Geológica Hispánica*, t. 21-22, p. 577-583 (1986-1987).
3. Pino V. Extracción y preconcentración micelar. Aplicación a la determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en muestras de interés medioambiental. Tesis de Doctor en Química, Universidad de la Laguna (2002).
4. Pastor D., Sánchez J., Porte C. y Albaijes J. *The Aegean sea oil spill on the Galicia Coast (NW Spain). I. Distribution and fate on the crude oil and combustion products in subtidal sediments*. *Mar. Pollut. Bull.*, v.42, p 895-904 (2001).
5. López E., Flores K., Ángeles C., Esquivel C., Montiel P., Durán J., Velasco F., Chávez G., Leyva C. y Ortiz J. Geoquímica orgánica de la formación la Casita en el afloramiento de Viesca, Coahuila: Implicaciones paleoambientales. *Actas INAGEQ*, 16, p 66-71 (2010).
6. López V. and Young R. Microwave-Assisted Extraction of Organic compounds from standard Reference Soils and Sediments. *Anal. Chem.* 66. pp 1097-1106 (1994).

INFLUENCIA DE LAS FUENTES GEOTERMALES SOBRE LA GEOQUÍMICA DE LA COLUMNA SEDIMENTARIA EN EL MANGLAR DE SANTISPAC (BAHÍA CONCEPCIÓN, GOLFO DE CALIFORNIA)

María Luisa Leal Acosta ^a, Evgueni Choumiline ^b, Rosa María Prol Ledesma ^a, José Manuel Borges Souza ^b,

^a Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, C.P. 04510, México D.F.

^b Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Av. IPN s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita Apdo. Postal 592. Código Postal 23096. La Paz, B.C.S., México

* maluleal40@yahoo.com.mx

RESUMEN

Las fuentes geotermales intermareales en la zona costera de Bahía Concepción aportan al medio marino los fluidos, caracterizados por elevada temperatura, bajo pH, condiciones reductoras y altas concentraciones de algunos elementos traza (ET), enriqueciendo los sedimentos superficiales con As y Hg. Se estudió la composición química del núcleo NM de sedimentos finos colectado en mayo del 2011 en un manglar cerca de una fuente geotermal y se comparó con el núcleo de sedimentos finos NT, extraído en la parte sur más profunda de la bahía. Las submuestras de ambos núcleos (1 cm de espesor) fueron secadas y homogeneizadas. Los contenidos totales de los ET, después de la digestión con la mezcla de ácidos fuertes concentrados (HClO₄-HCl-HNO₃-HF) fueron determinados por ICP-MS en el laboratorio comercial ACTLABS[®]. Los sedimentos del núcleo NM mostraron alto enriquecimiento en la materia orgánica (C_{org} hasta 10.8 %), así como mayores contenidos de los elementos potencialmente tóxicos As, Cd y Hg y redox-sensibles Fe, Mn, U y V. El perfil vertical en la columna sedimentaria tiene un pico entre los 6 y 8 cm, que coincide con máxima concentración de azufre (2 %), sugiriendo condiciones anóxicas con la posible formación de sulfuros insolubles y fijación de U y V en los sedimentos de esta capa del núcleo. Los máximos contenidos son: As (258 mg kg⁻¹), Cd (24.4 mg kg⁻¹), Hg (74.3 mg kg⁻¹), U (72.7 mg kg⁻¹) y V (280 mg kg⁻¹). Al contrario, el núcleo de sedimentos NT del sur de la bahía muestra los contenidos de los elementos mucho menores y relativamente constantes: As (14.3), C_{org} (1.9 %), Cd (2.5 mg kg⁻¹), Hg (33.3 µg kg⁻¹), Mn (302 mg kg⁻¹), U (6.3 mg kg⁻¹), V (74.8 mg kg⁻¹), pero alto contenido de CaCO₃ (22.3 %).

CONCLUSIONES

La columna sedimentaria cerca de las fuentes geotermales intermareales del manglar de Santispac muestra altos contenidos de azufre y de los elementos potencialmente tóxicos (As y Hg) sugiriendo la existencia de las condiciones anóxicas que favorecen a la formación de partículas de sulfuros insolubles, el enriquecimiento de ET redox-sensibles U y V y a la movilización diagenética del Fe y Mn.

CORRELACIÓN PALEOAMBIENTAL DE LA SIERRA BANCO EL LUCERO, CHIHUAHUA Y SIERRA LAS AZULES, SONORA., MEDIANTE ANÁLISIS DE GEOQUÍMICA ORGÁNICA Y DE MICROFACIES

Jorge Santiago ^{a*}, Kinardo Flores-Castro ^{b**}, Rogelio Monreal ^a

^a Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Calle Rosales y Boulevard Luis Encinas s/n, Colonia Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México.

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

*santiagode27@hotmail.com, ** kinardo_flores@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Se llevan a cabo los análisis de geoquímica orgánica y de microfacies en dos localidades cretácicas ubicadas al norte de México, con la finalidad de tener un mejor entendimiento acerca de los ambientes de depósito que prevalecían en dichas áreas durante el Cretácico Inferior. Posterior a ello se realizó una correlación bio y químico-estratigráfica.

Es por más conocido que en las rocas sedimentarias pueden preservarse compuestos y elementos tales como carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre y nitrógeno principalmente, que a su vez conforman a la materia orgánica, la cual puede ser recuperada y analizada mediante un análisis de geoquímica orgánica y así identificar biomarcadores, que nos aporten información acerca de las condiciones fisicoquímicas y biológicas, procedencia y/o de procesos diagenéticos, sin importar hace cuantos millones de años ocurrieron [³Eglinton *et al.*, 1964].

Por otro lado, los análisis de microfacies permiten interpretar las propiedades de las rocas y los paleoambientes, basándose principalmente en criterios texturales y de composición [⁵Flügel, 2004]. Recientemente se han incluido para complementar el estudio de los modelos de ambientes de depósito, la petrografía y la geoquímica para la determinación de procesos diagenéticos y la relación que tienen con el ambiente y de esta forma caracterizar el depósito sedimentario en particular [²Carozzi, 1989].

Usando en conjunto estas técnicas multidisciplinarias, es posible obtener una mejor interpretación paleoambiental, dado que es posible asignar la edad a un evento ambiental y determinar el nivel de oxigenación de la cuenca, acidez o alcalinidad del medio, su salinidad, etc. e inferir los cambios y/o alteraciones de los organismos fósiles recolectados en las rocas analizadas.

Con respecto a las litologías estudiadas corresponden a secuencias carbonatadas de aproximadamente 700 m de espesor en ambas localidades, que incluyen fauna de amonites, foraminíferos y colomiélidos que definen la edad Aptiano Superior - Albiano Inferior.

LOCALIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

Las localidades de estudio involucradas son: sierra Las Azules, que se ubica a unos 150 km al noreste de la ciudad de Hermosillo, Sonora y a casi 4 kilómetros al suroeste de la Mina "Mineral de Lampazos" y la sierra Banco El Lucero, que se encuentra al norte del estado de Chihuahua, a unos 20 km al noroeste del municipio de Villa Ahumada y a 240 km al noroeste de la Ciudad de Chihuahua (Figura 1).

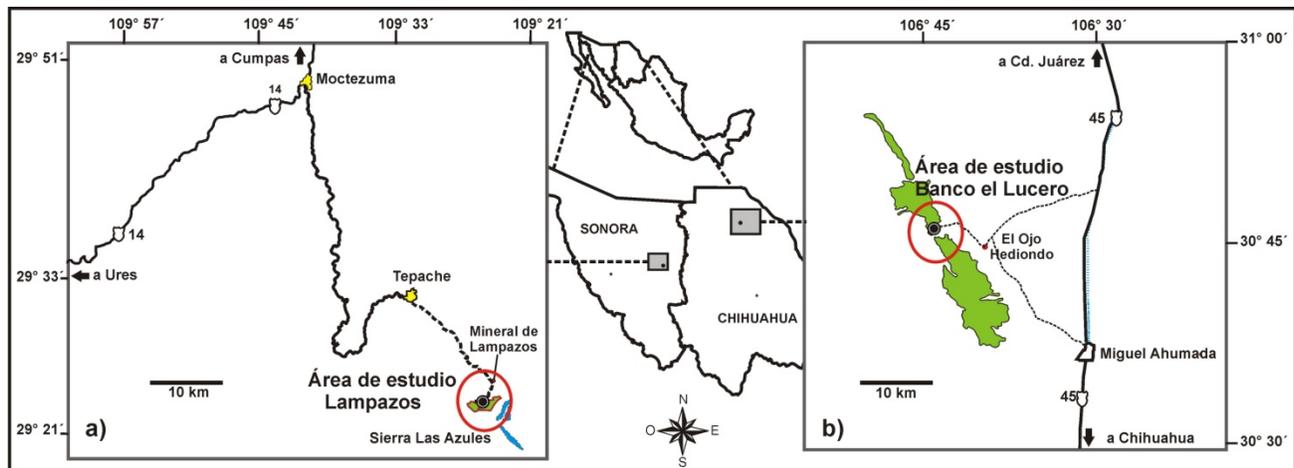


Figura 1. Localización de las secciones analizadas: a) área de Lampazos, ubicada a 150 kilómetros al noroeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora., b) Sierra Banco el Lucero, localizada a 20 kilómetros al noroeste del municipio de Miguel Ahumada, Chihuahua.

SECCIÓN EXPERIMENTAL

Para el caso del análisis de geoquímica orgánica se utilizaron técnicas de recuperación y concentración, caracterización e interpretación del bitumen, correspondiente a la fracción soluble de la materia orgánica sedimentaria contenida en las rocas del Cretácico Inferior de las sierras cretácicas antes mencionadas.

Se recolectaron en total 19 muestras de calizas que varían de *mudstone* a *wackestone* de aproximadamente 500 gramos cada una de los estratos con cambios litológicos representativos de cada sección litológica. Posteriormente se envolvieron en papel aluminio y después se transportaron en bolsas de polietileno debidamente rotuladas. En el Laboratorio de Geoquímica de la UAEH se pulverizaron de 100 a 150 g de cada muestra y se colocaron en un matraz balón de 1000 ml al que se le agregaron de 250 a 300 ml de disolventes orgánicos (hexano, acetato de etilo y metanol, en ese orden), esto para abarcar un amplio rango de polaridad. A continuación se sometieron a extracción secuencial por reflujo continuo y termoregulado durante 48 horas (Figura 2).

Una vez concluida cada una de las extracciones, las muestras se filtraron a gravedad y el extracto obtenido fue recuperado por medio de un rotavapor y recuperado mediante pipetas Pasteur para ser depositado en viales de 8 ml (previamente pesados y etiquetados). Los extractos con algunos mililitros de disolvente, se dejaron secar a temperatura ambiente. Finalmente éstos fueron pesados tras dejar evaporar el exceso de disolvente para poder cuantificar la fracción extractable.



Figura 2. Diagrama de la extracción secuencial por reflujo continuo y termoregulado, llevado a cabo durante 48 horas por cada solvente (hexano, acetato de etilo y metanol).

El bitumen extraído de las 19 muestras de ambas localidades se analizó por medio de un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard Agilent 5973 Network con el sistema de inyección 7683B, acoplado a un espectrómetro de Masa Hewlett Packard 6890N del Instituto de Ingeniería, UNAM, por el Dr. Juan Carlos Durán Álvarez.

La identificación de compuestos específicos contenidos en los extractos, se realizó considerando varios aspectos: tiempo de retención y peso molecular, correspondencia de su espectro de masa (>90%) con los de la base de datos Wiley138, así como los patrones de elusión y de fragmentación característicos comparados con los de estándares.

De igual forma se utilizaron parámetros tales como pristano/fitano [¹¹Tissot y Welte, 1984], los cuales han sido utilizados para obtener datos acerca de la madurez de la materia orgánica.

Para el caso del análisis de microfacies, se utilizaron características de acuerdo con ²Carozzi [1989] y ⁵Flügel [2004] entre las que destacan: Litología, Estructuras sedimentarias, Estratificación, Textura deposicional, granos esqueléticos o bioclastos, granos detríticos, tipo de Microfacies Estándar (SMF) y zona de facies [⁵Flügel, 2004].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En algunos estratos tanto en la Sierra Banco el Lucero como en La Sierra Las Azules, se han reconocido compuestos orgánicos representados por alcanos alifáticos de $nC_{16} - nC_{19}$, los cuales sugieren la presencia de algas verdes [⁸Hoffmann *et al.*, 1987 y ⁶Fowler, 1992], cianobacterias y algas rojas [⁷Gogou *et al.*, 2000] por lo que indican un ambiente de plataforma nerítica (Figura 3). Sin embargo, se observan diferencias en ambas localidades, corroboradas por el análisis de microfacies, En los estratos inferiores de la Sierra Banco el Lucero se reconocieron compuestos orgánicos con nC_{23} , nC_{24} , nC_{25} y mayores, los cuales indican un mayor aporte de materia orgánica

[¹⁰Pearson y Eglinton, 2000], estos compuestos se encuentran mayormente distribuidos en la Sierra Las Azules.

Así mismo, la relación pristano – fitano presenta un valor mayor a 1 en algunos niveles, lo que representa condiciones óxicas o lo que es igual, un ambiente de circulación restringida rica en materia orgánica [⁹Lijmbach, 1975].

El análisis de estos compuestos, permitió establecer algunos datos que nos proporcionan información acerca del origen de la materia orgánica y su posible alteración debido a los eventos diagenéticos ocurridos en las zonas de estudio [¹Ángeles-Cruz *et al.*, 2008].

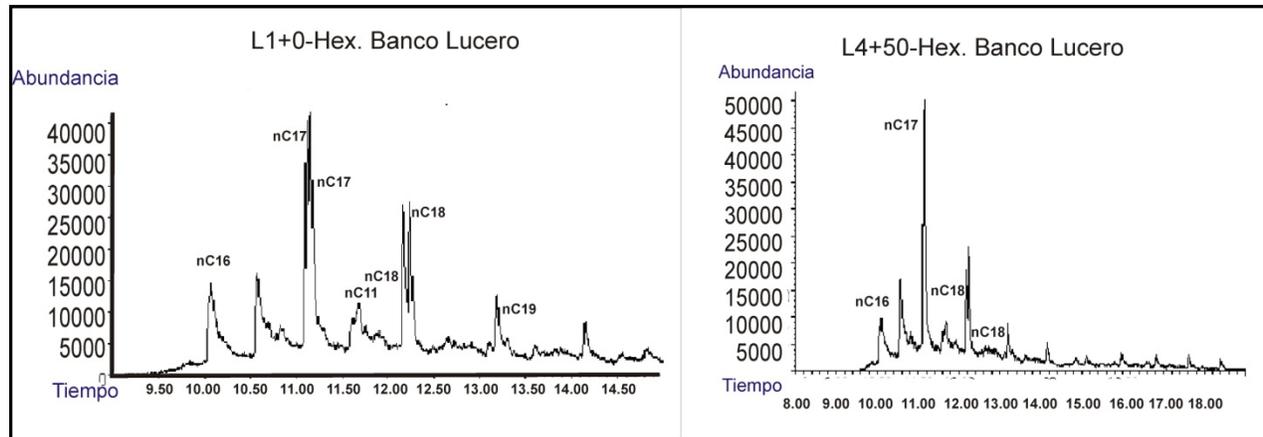


Figura 3. Cromatogramas de gases del extracto de Hexano para la Localidad Sierra Banco el Lucero, Chihuahua, las muestras corresponden a la cima de la sección.

A su vez, el análisis de microfacies, arroja datos sobre diferentes ambientes, los cuales varían desde un ambiente de pie de talud y cuenca profunda [¹²Wilson, 1975], hasta un ambiente de plataforma interna o un ambiente lagunar, teniendo variaciones en ambas localidades.

Al agrupar ambos datos permiten reforzar la interpretación de los ambientes de depósito, dado que de acuerdo a los compuestos identificados se observa en algunos casos un mayor aporte de terrígenos y de material procedente de un ambiente más somero, también puede observarse un “equilibrio” en el ambiente, es decir, sin variación a lo largo de la sección, viéndose esto reflejado con el análisis de microfacies.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Mediante el análisis de geoquímica orgánica y el análisis de microfacies, se puede observar que en la sierra Banco El Lucero en Chihuahua, existe una mayor diversidad de ambientes de depósito que en la Sierra las Azules en Sonora, esto dado por los resultados en conjunto, tanto de los biomarcadores identificados como de la caracterización de las láminas delgadas. La sierra Las Azules indica un ambiente más profundo que el observado en Chihuahua.

Por otro lado, los resultados para la sierra Las Azules, representa mediante un análisis de microfacies, indican una homogeneidad en el ambiente, el cual está representado principalmente por una cuenca profunda y marino abierto, sin observarse cambios significativos a lo largo de la sección. los análisis geoquímicos muestran compuestos los cuales indican un mayor aporte de materia orgánica y se observan condiciones de alta oxigenación, aunado a esto, se ve reflejado en

el análisis de microfacies, ya que se observa una diversidad mayor de grupos de organismos a diferencia de la sierra Banco El Lucero, en donde hay una abundancia menor e incluso casi escasa en algunos estratos y esto se refleja con los compuestos orgánicos identificados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por el apoyo brindado para la realización del trabajo de campo, así mismo al CONACyT por la beca de posgrado otorgada para contribuir con la realización de la presente investigación.

REFERENCIAS

1. Ángeles-Cruz C. A., Ledesma R. M., Flores-Castro K., Canet-Miquel C., Dando P.R., Gibson R., Pérez-Moreno F., Origen y distribución de hidrocarburos alifáticos en sedimentos de las Cuencas Wagner y Consag, Golfo de California, México. *Actas INAGEQ. XVIII*, 48-52 (2008).
2. Carozzi A. V., Carbonate rock depositional models, A microfacies approach. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall., 489 (2008).
3. Eglinton G., Scott P. M., Besky T., Burlingame A. L. y Calvin M., Hydrocarbons of biological origin from a one-billion-year-old sediment. *Science*, 145, 263-264 (1964).
4. Flügel E., Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application, Heidelberg, Springer-Verlag, Alemania, 976 (2004).
5. Fowler M.G., The influence of *Gloeocapsomorpha prisca* on the organic geochemistry of oils and organic-rich rocks of late Ordovician age from Canada. En: *Early Organic Evolution: Implications for mineral and energy resources*. Ed: Schidlowski, M., Golubik, S. Kimberly, M. and Trudinger, P.A. Springer, Berlin, 336-356 (1992).
6. Gogou A., Bouloubassi I., Stephanou E. G., Marine organic geochemistry of the Eastern Mediterranean: 1. Aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in Cretan Sea surficial sediments. *Mar chem*; 68: 265-282 (2000).
7. Hoffmann C.F., Foster C.B., Powell T.G., Summons R.E.. Hydrocarbon biomarkers from Ordovician sediments and the fossil alga *Gloeocapsomorpha prisca*. *Zalesky*, 1917. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51, 2681-2697 (1987).
8. Lijmbach G. M. G., On the origin of petroleum, *Proceedings of Ninth World Petroleum Congress*, London: Applied science publishers, 2, 337-369 (1975).
9. Pearson A, Eglinton Tl., The origin of *n*-alkanes in Santa Monica Basin surface Sediment: a model based on compound-specific ¹⁴C and ¹³C data. *Organic Geochemistry*, 31, 1103-1116 (2000).
10. Tissot B. y Welte D. H., *Petroleum formation and occurrence*. 2nd Edition, Springer Verlag, 699 (1984).
11. Wilson J. L., *Carbonate Facies in Geología History*: Berlin Springer, 471 (1975).

PROPIEDADES DEL CARBÓN DEL ÁREA DE NUEVA ROSITA, COAHUILA, PARA LA PRODUCCIÓN DE COQUE

Noé Piedad-Sánchez ^a, José Luis Muñoz-García ^b, Sergio Garza-Blackaller ^b, Gabriel Chávez-Cabello ^c, Pascual Bartolo-Pérez ^d, Aurora Patricia Rodríguez-Monreal ^c, Eduardo González-Partida ^e, Rodolfo Corona-Esquivel ^{f,g}, Marina Vega-González ^e, Griselda Ibarra-Escalante ^a, Edgar Rodolfo San Miguel-Sotelo ^a, Mitzué Garza-García ^h

^a Facultad de Metalurgia, DES Ciencias Extractivas, Unidad Norte, Universidad Autónoma de Coahuila. Carretera 57 km 5, Monclova, Coah., 25700, México.

^b Industrial Minera México S.A. de C.V. (IMMSA), Calle Adolfo López Mateos S/N, Colonia del Seis, Nueva Rosita, Coah., México.

^c Facultad de Ciencias de la Tierra, Campus Linares, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera a Cerro Prieto km 8, Ex. Hacienda de Guadalupe, Linares, N.L., 67700, México.

^d Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Física Aplicada, Unidad Mérida, km. 6 Antigua carretera a Progreso, Apdo. Postal 73, Cordemex, 97310, Mérida, Yuc., México

^e Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla No. 3001, Querétaro, Qro., 76230, México.

^f Unidad Ticomán, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, Ticomán, México, D.F., México.

^g Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D.F., México.

^h Escuela Superior de Ingeniería Lic. Adolfo López Mateos, DES Ciencias Extractivas, Unidad Norte, Universidad Autónoma de Coahuila, Calle Adolfo López Mateos S/N, Nueva Rosita, Coah., 26800, México.

* noe-piedad-sanchez@uadec.edu.mx; npiedads@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos de carbón más importantes de México se localizan principalmente en la denominada Región Carbonífera, al norte del estado de Coahuila de Zaragoza, México, dentro de la denominada subcuenca de Sabinas, una de las subregiones en que se encuentra dividida la Cuenca de Sabinas. Los mantos de carbón económicamente explotables, dentro de la zona San Juan de Sabinas - Monclova, se localizan hacia la base de la Formación Olmos, asociados a un sistema deltaico con influencia de mareas de edad Cretácico Tardío (Maastrichtiano).

En el área de San Juan de Sabinas-Monclova (Figura 1), especialmente en Nueva Rosita, Coah., se extrae carbón metalúrgico (o coquizable), que es enviado a plantas lavadoras para mejorar su calidad. El carbón lavado de grado metalúrgico es coquizado y usado como materia prima para la obtención de arrabio, que posteriormente se transforma en acero.

La designación de un carbón como coquizable o no coquizable depende de su comportamiento cuando se le calienta en ausencia de aire (proceso de coquización): Si el carbón se ablanda y eventualmente se solidifica en una masa más o menos compacta, se clasifica como coquizable; si se desmenuza ante el calor o forma una masa coherente débil, se clasifica como no coquizable.

En principio, el carbón extraído de Nueva Rosita, Coah., no presenta mayores problemas al coquizarse, sin embargo, modifica sus propiedades físicas durante el procesado para generar el coque, e inclusive durante su almacenamiento en patios al experimentar un intemperismo acelerado, ocasionando problemas a nivel operativo en los hornos de coquización. Este comportamiento físico – químico puede ser más notable en el carbón extraído de áreas adyacentes a la Subcuenca de Sabinas (e.g., Las Esperanzas, San

Patricio, Saltillito - Lampacitos, Las Adjuntas - Monclova, etc.), donde se presenta carbón con otras características y calidad.

Por ello, es importante reconocer los factores que se modifican en el proceso de coquización para planear la producción del carbón, así como las condiciones de almacenamiento y parámetros de lavado, a fin de optimizar la producción de coque en la Región Carbonífera.



Figura 1. Aspecto de la región de estudio en Nueva Rosita, Coahuila, Norte de México (Tomado de GoogleEarth, 2012).

El presente trabajo busca comprender la parte geoquímica del carbón extraído en el área de Nueva Rosita, Coah., durante su preparación para ser utilizado en el proceso de coquización con el objetivo de conocer las transformaciones físico – químicas que afectan a la generación de coque y con ello, a mediano plazo, proponer alternativas para el beneficio de los mantos de carbón en la producción de coque en otras áreas de la Región Carbonífera.

GENERALIDADES

Existe un buen número de trabajos de índole geológica, la mayoría con enfoque económico, debido a la presencia de yacimientos no metálicos en la Cuenca de Sabinas, principalmente de carbón, gas y petróleo, y otros de enfoque regional sobre la sedimentación, tectónica y paleogeografía del noreste de México [1 – 4].

Geomorfológicamente, la Cuenca de Sabinas, está constituida regionalmente de grandes planicies, resultado de la erosión y de la meteorización de la sucesión de anticlinales y sinclinales, formados por el plegamiento, en la dirección preferencial NW-SE impuesta por la orogenia Laramide del Cretácico Superior al Paleoceno (80 a 55 Ma, [5]), de los depósitos del Jurásico Superior y del Cretácico.

Dumble [6] y Vaughan [7] realizaron los primeros estudios geológicos, describiendo las formaciones de la región. Böse y Cavins [8], con base a la biogeocronología europea, asignaron edad a estas unidades. Finalmente, Stephenson [9] definió las formaciones tal como se conocen hasta ahora.

El estudio geológico más completo es el de Robeck *et al.* [10], en el que se describe detalladamente la estratigrafía y estructura de la región de Sabinas. Otros trabajos más recientes han sido publicados por Flores-Galicia [11], Rivera y Alcocer [12] y Eguiluz de Antuñano [13].

Las rocas de la Subcuenca de Sabinas representan una secuencia compleja de estratos de rocas terrígenas del Cretácico Superior, principalmente en la Formación Olmos de edad Maestrichtiano [10], que incluye capas de carbón intercaladas, cuyas relaciones laterales son poco conocidas, provocando que no exista consenso en la litoestratigrafía, ya que algunos autores como Eguiluz de Antuñano y Amezcua-Torres [14] indican que las capas de carbón se encuentran en la Formación Escondido de la misma edad.

La columna litológica en la zona de estudio presenta intercalaciones de mantos de carbón, en capas de arenisca, limolita, lodolita y lutita (Figura 2).

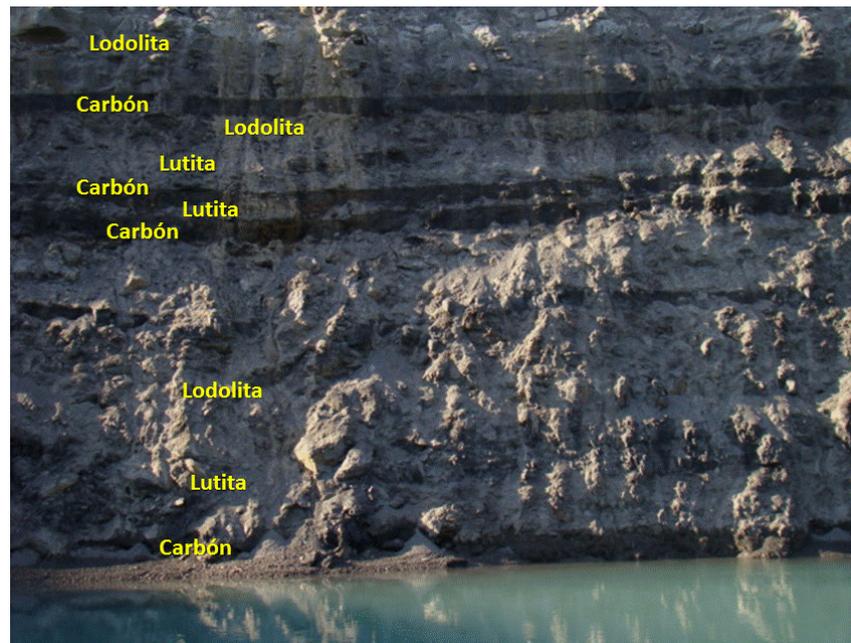


Figura 2. Columna litológica inferior en la región de estudio en Nueva Rosita, Coahuila, Norte de México (Foto: Dr. Gabriel Chávez-Cabello).

SECCIÓN EXPERIMENTAL

La primera parte de la caracterización geoquímica convencional se realizó primordialmente con muestras de carbón tomadas en el área de estudio: Las muestras de Carbón Todo Uno (CTU) se seleccionaron de los diferentes mantos de carbón para realizarles el análisis inmediato y elemental, y posteriormente, se estudiaron utilizando las técnicas de petrografía orgánica. Finalmente, para una muestra de carbón fino lavado (CFL) se obtuvo el poder calorífico, el índice de hinchamiento y su composición porcentual por EDX (energy dispersive X-ray).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la petrografía orgánica indican que las muestras de carbón procedentes de Nueva Rosita, Coah., contienen a la vitrinita (Figura 3) como el principal componente maceral (> 65 % en promedio), con cantidades subordinadas de inertinita y escasa liptinita.

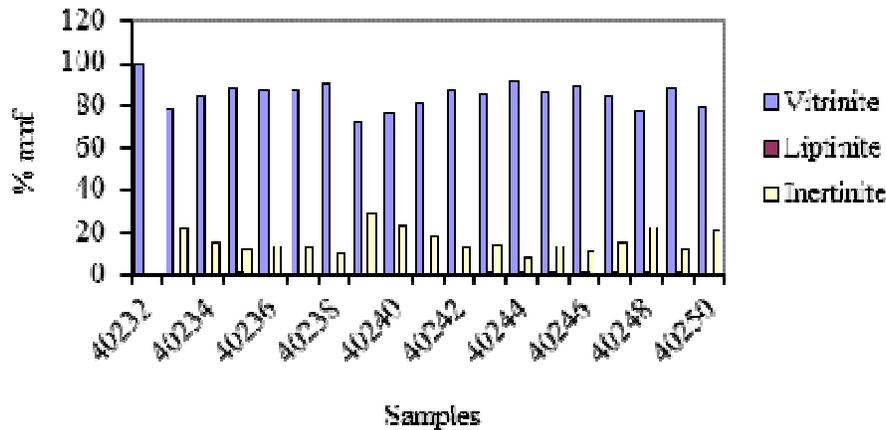


Figura 3. Composición maceral en % para las muestras de carbón en la región de estudio en Nueva Rosita, Coahuila, Norte de México.

El poder reflector de la vitrinita de las muestras estudiadas varía de 0.7 a 1 %, señalando que el carbón estudiado se clasifica entre carbón bituminoso medio volátil - carbón bituminoso alto volátil A - carbón bituminoso alto volátil B, lo que también se refleja en el diagrama de Van Krevelen (Figura 4), con una madurez media cercana a la ventana del aceite, susceptible de producir hidrocarburos por reacciones térmicas.

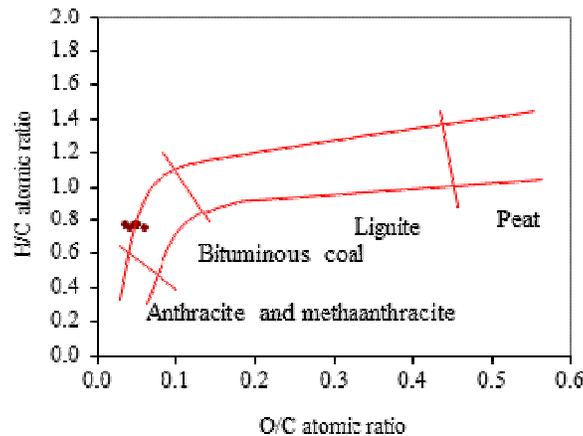


Figura 4. Diagrama de Van Krevelen para las muestras de carbón en la región de estudio en Nueva Rosita, Coahuila, Norte de México.

Los resultados del análisis inmediato y elemental, son similares con los resultados de la petrografía orgánica, con un contenido de humedad 0.69 a 1.09 %, materia volátil del 28 al 30 %, carbono fijo de 61 a 79 %, ceniza de 9 a 19 %, azufre 0.9 a 3.7 %, H/C entre 0.75 a 0.78, y O/C de 0.03 a 0.06, indicando que las muestras varían de carbón bituminoso medio volátil a carbón bituminoso alto volátil A.

Los resultados anteriores sugieren que las muestras de carbón estudiadas tienen excelentes propiedades aglomerantes.

El análisis para la muestra seleccionada de carbón fino lavado arrojó un contenido de materia volátil de 28 %, carbono fijo de 61 %, ceniza 10 %, azufre 1.2 %, poder calorífico de 7661.36 kcal/kg y un índice de hinchamiento (FSI) de 8, sugiriendo un carbón con excelente calidad para producir coque.

Los resultados de EDX para la muestra de carbón lavado se observan en la Tabla 1, donde se nota la presencia de Al, Si y S, como componentes inorgánicos importantes embebidos en la materia orgánica.

Tabla 1. Resultados de EDX para una muestra de carbón lavado de la región de estudio en Nueva Rosita, Coahuila, Norte de México.

Muestra de carbón proveniente de la región de Nueva Rosita, Coah.	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	K
	89.32	9.58			0.53	0.28		0.16	
	CaCO ₃	SiO ₂	NaAlSi ₃ O ₈	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	GaP	FeS ₂	KAlSi ₃ O ₈
	Ca	Cl	Ti	Mn	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn
		0.01	0.01			0.02	0.02	0.07	
	CaSiO ₃	KCl	Ti	Mn	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn

El proceso de lavado muestra ser eficiente para disminuir el contenido de ceniza y azufre, pero en este caso, no afecta sensiblemente al contenido de la materia volátil y carbono fijo. Posiblemente, el proceso de lavado del carbón mejora la concentración de la materia orgánica, en este caso, de la vitrinita. La presencia del pico de O, detectado por EDX, posiblemente se relaciona en parte a la humedad presente en el carbón estudiado.

Los componentes inorgánicos como Al, Si, S, y tal vez una parte de O, podrían estar asociados a minerales como Caolinita, Cuarzo, y Pirita, que fueron reportados por Gentz *et al.* [15] en muestras de carbón extraídas muy cerca del área de estudio. Elementos como Cu, Fe, Ni, Cl y Ti, sugieren la presencia de sulfuros y óxidos en el carbón [15, 16].

La presencia de estos elementos en la muestra de carbón fino lavado muestra que el proceso de lavado no elimina completamente a la parte inorgánica.

CONCLUSIONES

El carbón del área de Nueva Rosita, Coah., está compuesto principalmente de vitrinita, presentando una madurez térmica media en la ventana del aceite.

Los parámetros del carbón todo uno y del carbón fino lavado, sugieren que el rango del carbón clasificado como bituminoso, es coquizable.

No obstante, la parte inorgánica que compone al carbón estudiado, indica que la composición inorgánica disminuye cualitativamente en el proceso de lavado, pero se conserva la mineralogía original de cada uno de los mantos de carbón.

Considerando el comportamiento de la composición inorgánica de los mantos de carbón del área de Nueva Rosita, Coah., la humedad es un parámetro que puede impactar en la reactividad de los minerales diseminados en los mantos de carbón (e.g., en las arcillas como la caolinita), en conjunto con la composición orgánica reactiva (vitrinita - liptinita) de cada uno de los mantos de carbón, sin olvidar su ambiente de deposición y su madurez térmica capaz de generar hidrocarburos ligeros: Esta reactividad química entre la materia orgánica e inorgánica del carbón, puede incrementar la posibilidad de oxidarse durante el proceso de almacenamiento y durante el proceso de lavado, lo que impacta en el proceso de coquización [17 – 20].

Futuros datos geoquímicos obtenidos de los mantos de carbón localizados en las otras subcuencas de la Región Carbonífera, aunados al progreso en el conocimiento estratigráfico y geológico del área de estudios, permitirán precisar con certeza, los factores que influyen en el proceso de coquización del carbón en las diferentes subcuencas coahuilenses, y con ello, se optimizará la planeación y delimitación con mayor certidumbre de nuevas áreas de interés económico en Coahuila.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las facilidades para la recolección de muestras a los líderes de Industrial Minera México S.A. de C.V., especialmente al Ing. Miguel Angel GONZÁLEZ GONZÁLEZ y al Ing. Javier FERNÁNDEZ CASAS.

Asimismo, los investigadores reconocen el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y de las autoridades de las instituciones de educación superior involucradas en este proyecto (FM-UAdeC, FCT-UANL, CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, ESI-UAdeC, ESIA-IPN, IGEOLOG-UNAM, CGEO-UNAM), por las facilidades académicas y administrativas prestadas.

Un agradecimiento especial a la Coordinación de Estudios de Posgrado e Investigación de la Universidad Autónoma de Coahuila, especialmente, al Dr. Edgar BRAHAM PRIEGO, por su reconocido soporte logístico para desarrollar este trabajo.

REFERENCIAS

1. Padilla y Sánchez R.J., *Post-Paleozoic tectonics of northeast Mexico and its role in the evolution of the Gulf of Mexico*, Geofísica Internacional, 25:1, 157-206 (1986).
2. Meiburg P., *Paleogeografía y desarrollo estructural del Cretácico de la Sierra Madre Oriental septentrional, México*, en El Cretácico de México y América Central, Simposio Internacional Actas Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L., México, 2, 197-199 (1987).
3. McKee J. W., Jones N. W., Long L. E., *Stratigraphy and provenance of strata along the San Marcos fault, central Coahuila, Mexico*, Geological Society of America Bulletin, 102, 593-614 (1990).
4. Valdez-Moreno G., *Geoquímica y petrología de las rocas ígneas de los campos volcánicos Las Esperanzas y Ocampo, Coahuila, México*, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México (2001).
5. English J.M., Johnston S.T., Wang K., *Thermal modeling of the Laramide Orogeny; testing the flatslab subduction hypothesis*, Earth and Planetary Science Letters, 214, 619-632 (2003).
6. Dumble T.E., *Notes on the geology of the Valley of the Middle Río Grande*, Geological Society of America Bulletin, 3, 219-230 (1892).
7. Vaughan T. W., *Reconnaissance in the Rio Grande coal fields of Texas*, U.S. Geological Survey Bulletin, 164 (1900).
8. Böse E., Cavins O. A., *The Cretaceous and Tertiary of southern Texas and northern Mexico*, Texas University Bulletin, 2748, 7-142 (1927).
9. Stephenson L.W., *Notes on the Stratigraphy of the Upper Cretaceous formations of Texas and Arkansas*, American Association Petroleum Geologist Bulletin, 11:1, 1-17 (1927).
10. Robeck R.C., Pesquera R.V., Ulloa S.A., *Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila*, 20th International Geological Congress, México, 103 (1956).
11. Flores-Galicia E., *Geología y reservas de los yacimientos de carbón en la República Mexicana*, In: Salas G. (Editor), Geología Económica de México, Fondo de Cultura Económica. México, 175-217 (1988).
12. Rivera-Martínez J. C., Alcocer Valdés C., *La situación actual del aprovechamiento del carbón en el estado de Coahuila*, Consejo de Recursos Minerales, Boletín Técnico, IX:54, 2-19 (2003).

13. Eguiluz de Antuñano S., *Geologic evolution and gas resources of the Sabinas Basin in northeastern Mexico*, In: Bartolini C., Bufler R.T., Cantú-Chapa A., eds., *The western Gulf of Mexico Basin: tectonics, sedimentary basins and petroleum systems*, AAPG Memoir, 75, 241-270 (2001).
14. Eguiluz de Antuñano S., Amezcua-Torres N., *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*, AAPG Memoir, 79, 395–402 (2003).
15. Gentzis T., Murray K., Klinger R., Santillan M., *Horizontal degasification and characterization of coals in the Sabinas Sub-basin, Mexico: implications for CBM production*, Bulletin Of Canadian Petroleum Geology, 54:3, 221-237 (2006).
16. Orem W.H., Finkelman R.B., *Coal Formation and Geochemistry*, In: Mackenzie F.T., ed., *Treatise on Geochemistry*, Elsevier Ltd., 7, 191-222 (2003).
17. Mastalerz M., Solano-Acosta W., Schimmelmann A., Drobniak A., *Effects of coal storage in air on physical and chemical properties of coal and on gas adsorption*, International Journal of Coal Geology, 79, 167–174 (2009).
18. Carmona-López I., Ward C.R., *Composition and mode of occurrence of mineral matter in some Colombian coals*, International Journal of Coal Geology, 73, 3–18 (2008).
19. Ruau O., Pradier B., Landais P., Gardette J.L., *Influence of the conditions of deposition on the chemistry and the reflectance variations of the Brent coals*, Organic Geochemistry, 25:5-7, 325-339 (1996).
20. Cimadevilla J.L.G., Alvarez R., Pis J.J., *Effect of coal weathering on technological properties of cokes produced at different scales*, Fuel Processing Technology, 86, 809–830 (2005).

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS YACIMIENTOS ARENAS B Y BASAL LA ROSA DEL ÁREA VLA0016 / VLA0033, AL NORTE DEL BLOQUE I EN LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO.

Deiby Gómez y Jhoan Urdaneta

Petróleos de Venezuela S. A., División Occidente, Cabimas 4013, Venezuela.
Correo electrónico: urdanetajx@pdvsa.com, gomezdz@pdvsa.com,
Urdanetajx@gmail.com, deibygomez@gmail.com

Resumen

El propósito de esta investigación es documentar la zonificación molecular de los crudos entrampados en la Formación Basal La Rosa (BLR) / Arenas B, localizados en el Bloque I, del Occidente de la República Bolivariana de Venezuela específicamente en la Cuenca del Lago de Maracaibo, en las áreas VLA0016 y VLA0033 de la Unidad de Producción Lagomar. Para el desarrollo del mismo se llevó a cabo la recolección de las muestras de crudo en campo siguiendo la metodología estándar, luego a nivel de laboratorio se determinaron las relaciones atómicas entre compuestos para establecer la transformación físico-química de la materia orgánica desde su depositación hasta su estado actual. Una vez obtenidos el dato de campo se llevó a cabo la inyección de la misma en el equipo de Cromatografía de Gases acoplado a un Espectrómetro de Masa, donde ocurre la separación de los compuestos para su posterior análisis detallado. Los resultados de ésta investigación permiten establecer los niveles de madurez térmica, origen de materia orgánica, huella digital del crudo, ambiente de depositación, alteraciones del crudo a través de relaciones estadísticas entre compuestos, con el fin de caracterizar geoquímicamente el crudo del área de interés.

Introducción.

La Cuenca del Lago de Maracaibo, posee los campos petrolíferos de más importancia económica para la Región Occidental Venezolana, que están integrados por varios pozos que producen petróleo de yacimientos ubicados en diferentes niveles estratigráficos de edad cretácica y terciaria. Los datos y las muestras que se analizaron y estudiaron fueron muestreados en cabezal de pozo, utilizando la metodología aprendida del Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas (INZIT).

Los resultados obtenidos a partir de estos análisis permitieron mostrar la presencia de crudos con distintas características geoquímicas indicando el origen de materia orgánica, ambiente deposicional, grado de madurez, gravedad API° y la posibilidad de existencia de varios procesos de alteración dentro del yacimiento. Entre los principales procesos de degradación de un crudo se pueden mencionar: biodegradación, lavado por agua, alteración térmica, entre otros. También, las diferencias detectadas apuntarían a una falta de comunicación entre varios compartimientos que han sido aislados entre ellos y por consecuencia, han seguido diferentes líneas de evolución estructural y composicional.

Finalmente, se determinaron los parámetros moleculares de los crudos de interés, a través de análisis de biomarcadores extraídos del crudo por cromatografía de

gases acoplado a espectrometría de masa, esto en aras de mitigar la incertidumbre molecular existente entre los yacimientos.

Ubicación Geográfica

El área de estudio se encuentra localizada al noroeste de la República Bolivariana de Venezuela, dentro de la Cuenca Petrolífera de Maracaibo, la cual posee una extensión estimada de 47.705 km². Al oeste-noroeste, la cuenca está delimitada por el piedemonte de la Sierra de Perijá; hacia el este-noreste por el piedemonte occidental de la Serranía de Trujillo; al sureste por el piedemonte andino hacia el Río Motatán; al norte e imaginariamente delimitada por una línea en la frontera entre los estados Zulia y Falcón y por la línea geológica de la Falla de Oca-Ancón. Las líneas mencionadas anteriormente son bastante arbitrarias en sentido fisiográfico y geológico, pero corresponden en realidad al carácter geo-económico de la cuenca petrolífera como tal. A nivel local, el estudio fue elaborado en el Bloque I perteneciente a la Unidad de Producción Lagomar del Distrito Maracaibo, el cual se encuentra situado en la parte centro-norte del Lago de Maracaibo, ocupando una extensión de 242.324 Km² y encontrándose dividido en flanco este y flanco oeste. Específicamente, el área de estudio, denominada VLA0016 / VLA0033, cuya dimensión es aproximadamente 11.888 km², corresponde al Campo Lagunillas y se ubica en la zona centro-norte de El Pilar en el Bloque I del Lago de Maracaibo. El Área VLA0016/VLA0033 limita estructuralmente al oeste por una falla de tipo normal con la Unidad de Producción Urdaneta Lago, hacia el este con la Falla Lama-Icotea, hacia su parte norte con un límite arbitrario de la Unidad de Producción Rosa Mediano y al sur con dos fallas que se interceptan a nivel del mismo miembro Santa Bárbara. Tabla 2 se muestran las coordenadas UTM que delimitan el área de estudio y en la Ilustración 1 puede apreciarse la ubicación geográfica del Área VLA0016 / VLA0033.

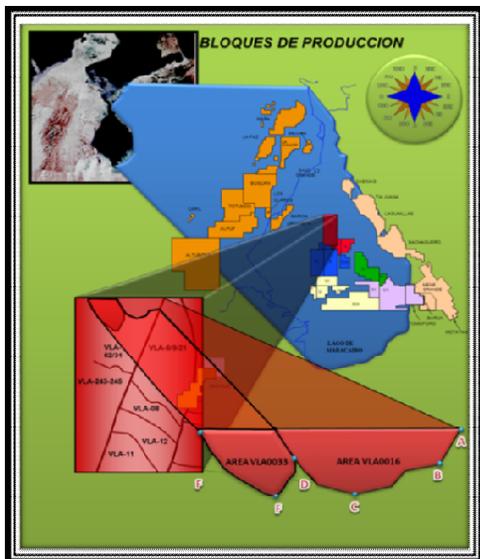


Ilustración 1. Ubicación Geográfica del Área de Estudio. Área VLA0033 / VLA0016 en el Bloque I del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Marco Metodológico

La investigación de esta investigación es de carácter descriptivo e interpretativo. El universo de muestras analizadas fue de 9 pozos distribuidos en las áreas CLA0016 y VLA0033 del Bloque I campo Lagunillas de la Cuenca del Lago de Maracaibo, haciendo énfasis en crudos medianos y livianos del área (9 Pozos), gracias a que en ellos se logró realizar un mayor número de análisis. El mismo involucró la toma de muestras de estos pozos de la Unidad de Producción Lagomar (U.P. Lagomar).

En primer lugar, se procedió a la búsqueda y recopilación de toda la información disponible en cuanto a estudios realizados anteriormente y bibliografía. Las muestras fueron sometidas a análisis SARA (separación de las fracciones de saturados, aromáticos, resinas y asfáltenos), para posteriormente analizar las fracciones de aromáticos y saturados a través de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masa con el fin de cuantificar de manera relativa los biomarcadores presentes en el crudo, con el fin de caracterizar y simular los yacimientos.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación, mediante el procesamiento, análisis e interpretación de los datos arrojados por la población de crudos estudiados, se llevaron a cabo a través de estudio geológico del área, y su posterior toma de muestra en cabezal del pozo que seguidamente fueron analizados en laboratorio, a fin de determinar la caracterización geoquímica de los crudos del área.

Características Generales De Los Crudos

Los crudos marinos de la Cuenca del Lago de Maracaibo, provenientes de pozos completados en distintos depósitos de la columna geológica de esta cuenca, han sido generados en su gran mayoría, por la Formación La Luna.

De acuerdo a la composición general de los crudos (hidrocarburos saturados, hidrocarburos aromáticos y resinas + asfaltenos), el porcentaje de hidrocarburos saturados en relación con la gravedad API, también puede proporcionar tendencias de madurez, entre mayor es el contenido de saturados, disminuyen los aromáticos y las resinas más asfaltenos; de aquí que los crudos se conviertan en crudos más livianos como los de este estudio.

Los análisis geoquímicos realizados sobre las muestras de crudos de yacimientos Terciarios, incluyeron el análisis SARA, la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas de las fracciones de Saturados y Aromáticos para revisar la concentración y distribución de biomarcadores de estos hidrocarburos.

Relación de parafinicidad Vs aromaticidad de Thompson (1988)

La caracterización, correlación y clasificación de los hidrocarburos se establece en función de su origen, grado de madurez alteración dentro del yacimiento como biodegradación, lavado por aguas fraccionamiento evaporativo, y mezclas de hidrocarburos, por esta razón se plantea la metodología propuesta por K. F. Thompson (1988), que se basa en la evidencia de que la fracción ligera de

algunos crudos que contienen concentraciones muy altas de compuestos aromáticos y naftenos, mientras que la proporción de compuestos n-alcanos es baja.

Así, se definen los términos aromaticidad (Tolueno/n-C₇), que se relaciona con fraccionamiento evaporativo, y parafinicidad (n-C₇/Metilciclohexano), valor que se incrementa con la madurez del crudo. El gráfico propuesto por Thompson permite clasificar los crudos livianos y condensados de acuerdo al tipo de alteración: fraccionamiento evaporativo, madurez, lavado por agua y biodegradación.

En este gráfico, el sentido de las flechas indica una tendencia de incremento en el proceso o bien que el proceso es más avanzado, por ejemplo, en los crudos de área de estudio, ellos están siendo afectados, por una alteración de fraccionamiento evaporativo, ubicado en la zona A, por otra parte también muestra una buena madurez, pero conforme se presenta el proceso de fraccionamiento evaporativo los crudos residuales tienden a incrementar la aromaticidad, en la zona A, mientras que si se analiza la fracción ligera migrada se encontraría incremento de la parafinicidad.

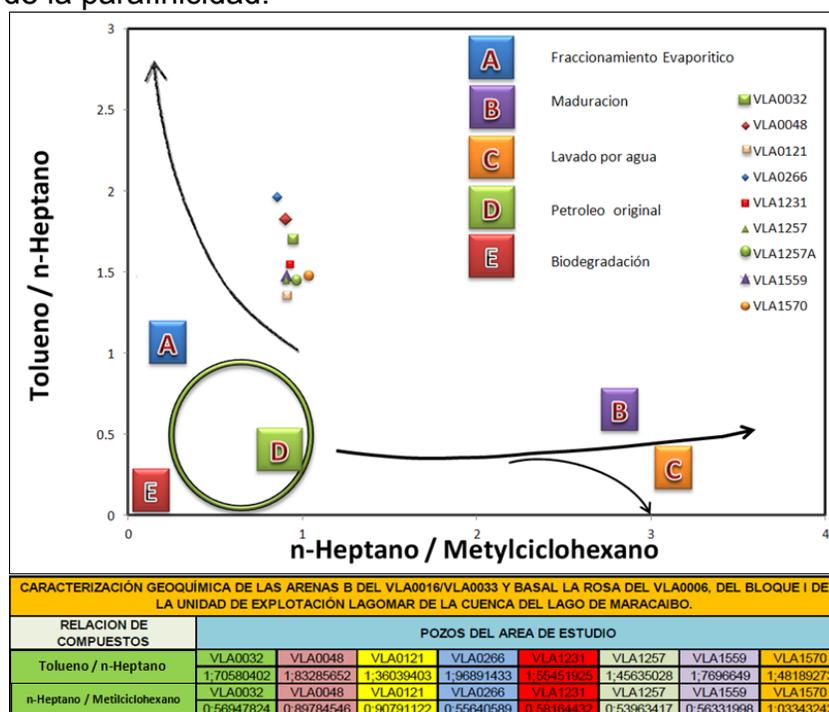


Ilustración 2. Relación de Parafinicidad vs. Aromaticidad.

Determinación de correlación y transformación de crudos según Halpern (1995).

Buscando las diferencias en los datos de los compuestos C₇- de petróleos inalterados comparados con crudos biodegradados de la misma familia se construyeron las relaciones por interacción a fin de enfatizar las diferencias.

El parámetro Tr1 mide la disminución de tolueno que es el compuesto C₇; más soluble en agua, y por lo tanto es útil para determinar la alteración (lavado por aguas). Las relaciones restantes miden biodegradación y la susceptibilidad de los compuestos involucrados disminuye en sentido contrario a las manecillas del reloj

hacia la relación Tr8, es decir, la relación más resistente y estable con la biodegradación. El parámetro Tr6 está formado por compuestos que difieren significativamente en los puntos de ebullición, por lo que resulta ser un parámetro más resistente (menos susceptible) a la transformación que los parámetros Tr menores. Consecuentemente, el parámetro Tr6 es muy útil para medir evaporación causada por el manejo inapropiado de muestras y probablemente por efecto de fraccionamiento-migración, en ambos casos el parámetro incrementara su valor. Por otra parte, el diagrama de estrella para determinar correlaciones entre los petróleos está formado por relaciones que son resistentes o estables a los procesos de transformación y que están relacionados con el origen de los crudos. Esto significa que las relaciones son invariantes virtualmente dentro de una misma familia, pero que muestran cambios significativos entre los crudos de diferentes familias.

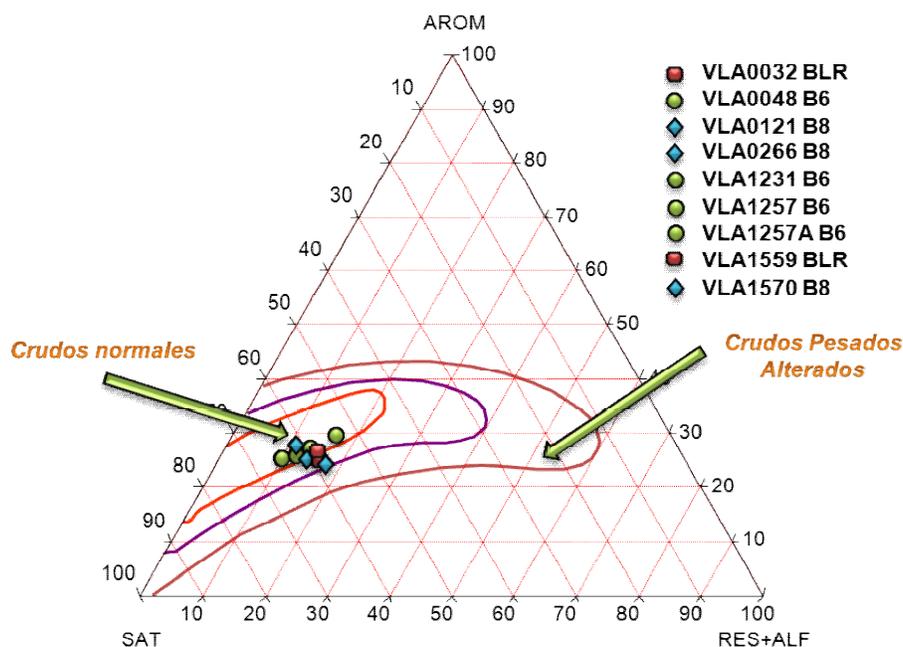
Las relaciones C1 a C5 pueden ser utilizadas para monitorear evaporación o fraccionamiento-migración entre muestras de una misma familia. La relación C1 tiene una diferencia en temperaturas de ebullición de -6 entre el numerador y el denominador y debe disminuir con la evaporación, mientras que la relación C5 tiene una diferencia de +8 y por lo tanto debe incrementarse.

El diagrama estrella para la transformación de crudos con base en el alto porcentaje de tolueno para el compuesto C7, indica que los crudos en estudio, no presentan alteración de lavado por aguas, de las nueve (9) muestras, solo se diferenciaron los pozos VLA1257, VLA0121, VLA1570 y VLA0048 por presentar un menor valor de tolueno en el pico Tr1, no siendo afectados por este tipo de alteración. Sin embargo se puede inferir que el total de las muestras analizadas (8), presentan alteraciones por fraccionamiento evaporativo. El parámetro Tr6 afecta todos los crudos de los pozos analizados, exceptuando al pozo VLA0266, que presenta un proceso de alteración distinto asociado más a una alteración por fraccionamiento – migración, debido a la resistencia que opone con respecto al resto de los crudos.

El diagrama estrella para determinar correlaciones de crudo según lo expuesto por Halpern (1988), manifiesta que las muestras en estudios exhiben un perfil similar, aunado a ello, se tiene que para el parámetro C1 en todos los crudos a excepción de los pozos VLA0266 y VLA1570, difieren de los otros, siendo esto un indicativo de un posible fraccionamiento – migración, en donde otros autores lo asocian a un mal manejo de la muestra durante su preparación, adicionalmente los hidrocarburos en estudio presentan un alto grado de maduración y biodegradación.

parafínico (saturados), y se puede indicar que estos crudos por estar a mayor profundidad presentan un mayor nivel de madurez que los crudos de las arenas más someras de áreas adyacentes.

**Diagrama Ternario SARA de Crudos
Según Tissot y Welte, 1984)**



POZOS	% SATURADOS	% AROMÁTICOS	% RESINAS	% ASFALIENOS	% RES+ASF
VLA 0032	59;55	24;17	15;69	0;59	16;28
VLA 0266	59;18	24;62	15;90	0;30	16;20
VLA 1231	59;70	26;69	13;23	0;38	13;61
VLA 1257	54;36	28;68	16;35	0;61	16;96
VLA 1559	59;60	25;13	14;81	0;47	15;28
VLA0048	62;52	25;05	12;2	0;23	12;43
VLA0121	61;55	27;06	11;12	0;27	11;39
VLA1257A	65;29	24;55	10;06	0;1	10;16
VLA1570	61;33	24;35	13;79	0;53	14;32

Ilustración 5. Diagrama ternario de las fracciones SARA (saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos) con información de los crudos del área de estudio.

Relación entre Pr/n-C17 y F/n-C18

En términos generales, las relaciones entre isoprenoides son parámetros que definen el tipo de aporte de materia orgánica ya que una relación de Pr/Ph inferior a 1 indica ambientes de depósitos anóxicos y por el contrario, relaciones de Pr/Ph superiores a 1 indican ambientes óxicos o disóxicos. Si estas relaciones superan el valor de 3 ya se considera un claro aporte terrestre. Al analizar los datos, se observa que todas las muestras presentan una relación Pr/Ph menor a 1. De acuerdo a esta relación, se puede inferir un origen de la materia orgánica de tipo marino con algo de aporte de materia orgánica terrestre.

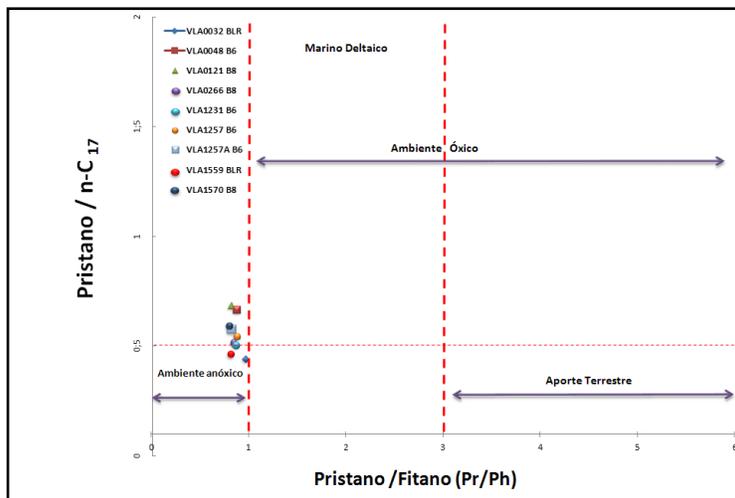


Ilustración 6. Relaciones Pr/Ph vs. Pr/nC17 de los crudos del área de estudio.

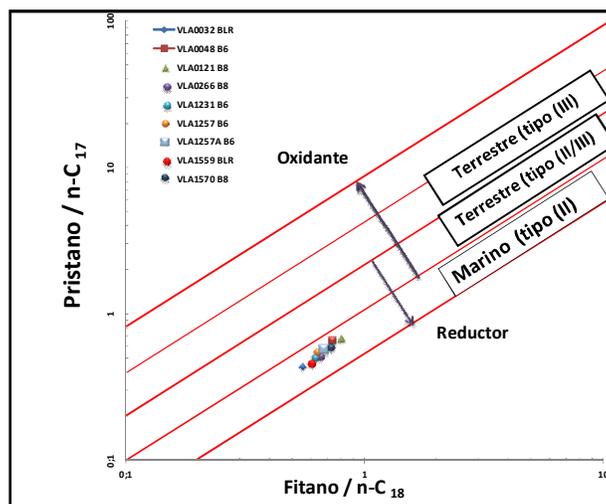


Ilustración 7. Relaciones Pr/Ph vs. Pr/nC17 de los crudos del área de estudio.

Por otra parte, la relación Pr/nC_{17} vs. Ph/nC_{18} según Hunt, (1996), muestra también valores inferiores a uno, lo cual es particular de una materia orgánica de tipo marino en condiciones de reducción lo cual se atribuye a un estado de madurez desarrollado, característico de los crudos del área.

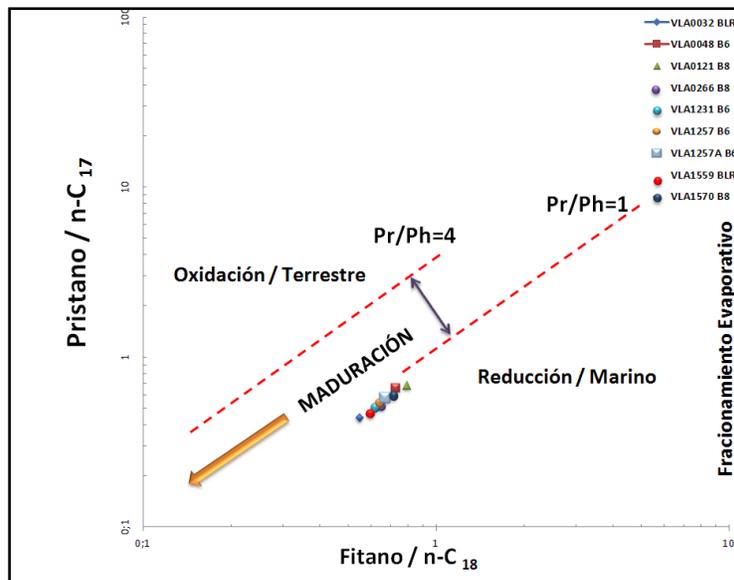


Ilustración 8. Relaciones Pr/nC17 vs. Ph/nC18 de los crudos del área de estudio.

La distribución bimodal de n-alcanos revela aporte de materia orgánica marina, y la relación Pristano/Fitano indica condiciones de reducción. Esto se atribuye al avanzado estado de madurez térmica de las muestras. Los marcadores de CPI (Índice Preferencial de Carbono) corroboran que se está en presencia de un crudo maduro con posibles mezclas, según Escobar (2007).

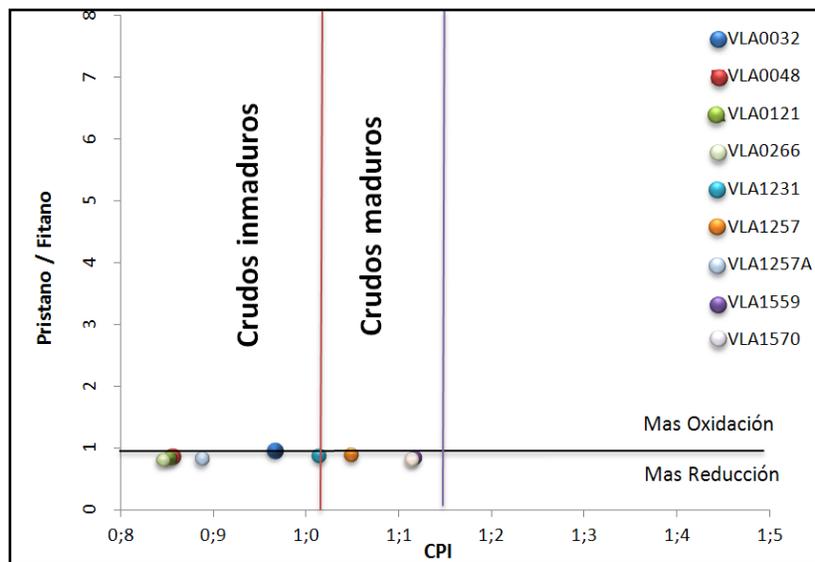


Ilustración 9. Relaciones Pr/Ph vs. CPI de los crudos del área de estudio.

Madurez Térmica

Las relaciones Ts/Tm se utilizan con frecuencia para la determinación del grado de madurez. A medida que aumenta el grado de madurez, Tm incrementa mientras que Ts permanece constante. Un aumento en la relación Ts/Tm indicaría un aumento en el grado de evolución (Philp, 1985).

Si nos fijamos en los valores de T_s/T_m presentan valores de 0.47 y 0.55 respectivamente. Caracterizando a las muestras como relativamente maduras. No obstante, T_s y T_m también dependen del tipo de materia orgánica, T_s y T_m son biomarcadores que se caracterizan por su resistencia frente a la biodegradación.

Es por ello que la aplicación de la relación T_s/T_m como indicador de madurez hay que utilizarla con prudencia, ya que los petróleos que presentan las relaciones más altas pueden haber sufrido algún tipo de biodegradación, mientras que las relaciones anormalmente bajas pueden mostrar una procedencia de una roca madre carbonática.

Los crudos del área de interés en estudio presenta un rango de madurez amplio donde los parámetros T_s ($T_s + T_m$) varían entre los valores de 0,41 a 0,55. En el gráfico 34, se observa con la relación T_s ($T_s + T_m$) presenta una tendencia definida al incrementar la gravedad API° de los crudos, la relación anómala de madurez Vs Gravedad API° que presentan los crudos de estudio, probablemente es el resultado de alguna causa de alteración de tipo fraccionamiento – migración como se observa en resultados anteriores, y estos también una buena madurez térmica de los hidrocarburos a medida que los valores van en crecimiento.

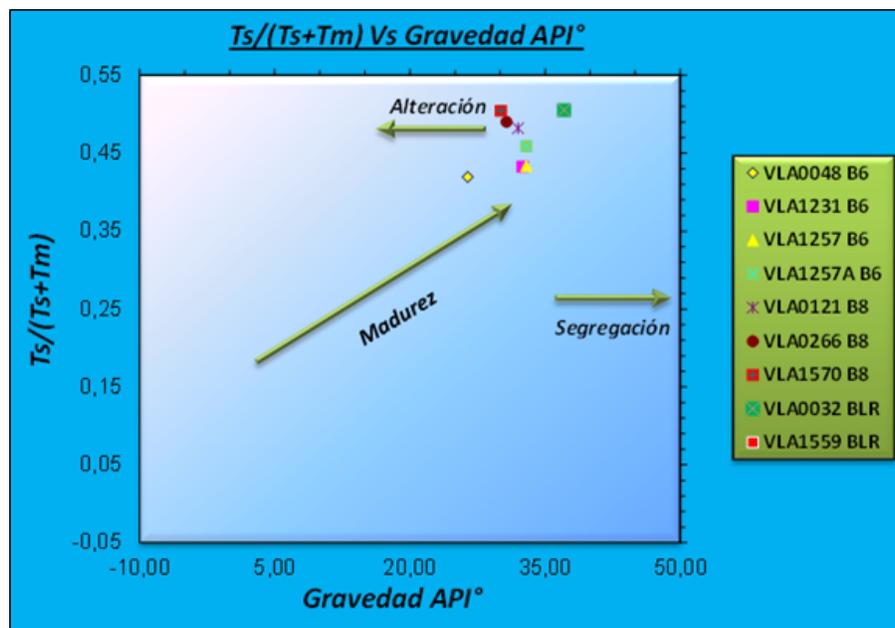


Ilustración 10. Relación de los Hópanos con la diagénesis de los crudos en el área de estudio.

Integrando la información de los crudos relacionados, puede observarse que los crudos presentan buena de madurez inducidos por el sepultamiento gradual de las rocas generadoras de la Formación La Luna, Gómez y Urdaneta (2013).

De esta manera, una importante cantidad de crudos livianos en la Cuenca de Maracaibo, han sido generados en una etapa relativamente tardía de generación. Sin embargo, puede observarse que la biodegradación ha afectado también algunos crudos livianos específicamente a los de las Arenas B del área de estudio.

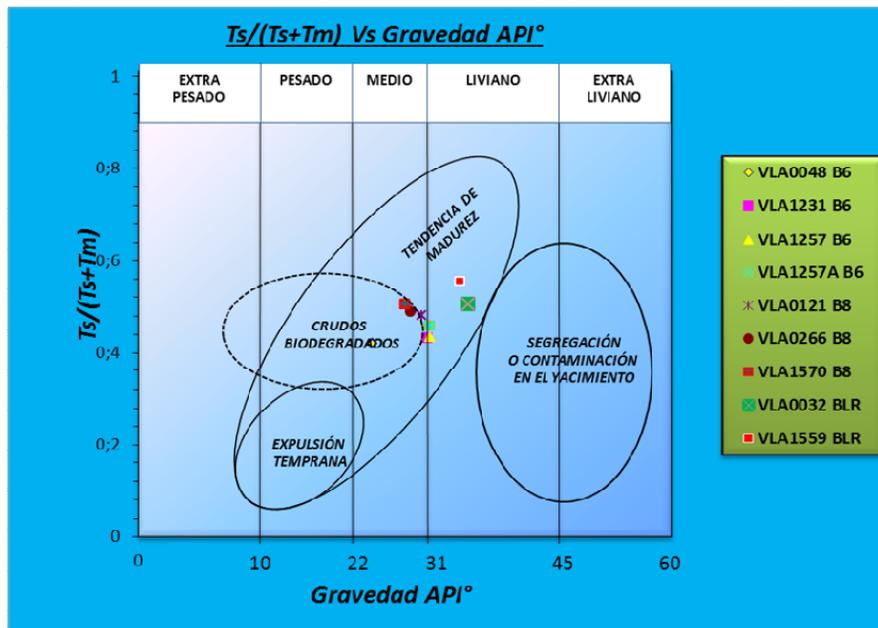


Ilustración 11. Relación generalizada entre la Gravedad API y la madurez de los crudos del área de estudio, utilizando el parámetro $Ts / (Ts + Tm)$.

Otro parámetro utilizado para determinar el nivel de madurez es el índice de metilfenantreno (MPI-1). Este índice se basa en la distribución del metilfenantreno y sus homólogos metilados. Éstos pueden derivar de esteroides y triterpenoides originalmente presentes en el material biológico de partida; o bien pueden originarse a partir de reacciones de metilación del fenantreno. Los isómeros que son más estables desde el punto de vista termodinámico son, los 2, 3 metilfenantreno, frente a 1, 9 metilfenantreno, según Peters et al., (2005). También sirven para estimar el porcentaje de reflectancia de vitrinita calculado, ya que se ha observado que guardan una relación lineal, según Peters et al., (2005). Tal y como muestran la siguiente ilustración, todas las muestras estudiadas tienen un valor de vitrinita de aproximadamente igual 1, con lo cual son muestras maduras y que todas ellas están dentro de la ventana de generación de petróleo.

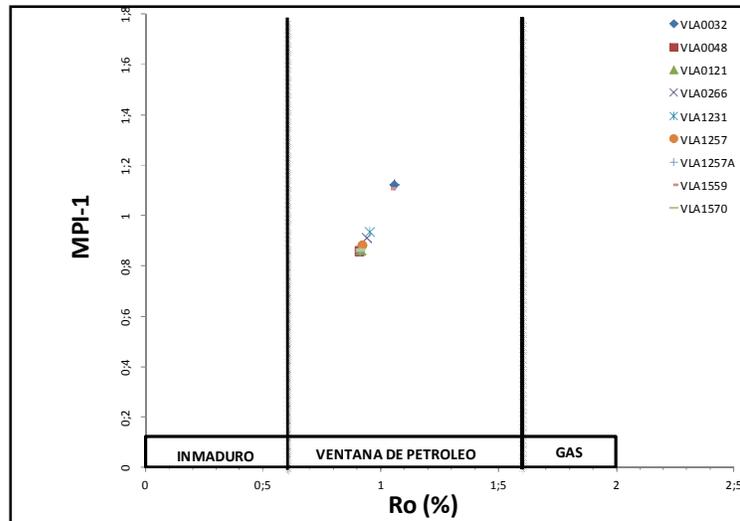


Ilustración 12. Relación entre el índice de metil-fenantreno y el valor de vitrinita.

Conclusiones y Recomendaciones

- A través del C₇OCSD, se logró diferenciar la huella digital del crudo en cada una de las muestras provenientes del área de interés, encontrándose diferencias moleculares entre ellas.
- A través de C₇OTSD, se muestra un alto porcentaje de tolueno, lo que indica que los crudos no han sido alterados por lavado por aguas, indicando una biodegradación progresiva.
- Los crudos de interés muestran una buena maduración, acotando también que éstos tienen aporte de materia orgánica terrestre.
- El compuesto MDBT muestra una forma escalonada hacia la derecha, indicando origen de crudo siliciclásticos.
- El valor serosidad vs. Pristano/ Fitano es >1 lo cual indica origen marino.
- El análisis de los hopanoides indican abundancia precursora de origen marino.
- La relación Tolueno/n-Heptano evidencia que nuestros crudos fueron afectados por fraccionamiento evaporativo.
- La aplicación de la geoquímica orgánica como una herramienta alterna a las tradicionales PLT y SPT, permite una aproximación efectiva y de bajo costo en el seguimiento de producción conjunta de pozos del área, eliminando la intervención mecánica del pozo. Se debe revisar el estudio geológico para validar si existen fallas que impidan la mezclas de crudos en los Yacimientos.
- Se debería extender el estudio geoquímica a otras áreas con el propósito de tener un mayor desarrollo del campo.
- Tomar muestras puras de los Yacimientos para caracterizar y determinar posibles áreas de coalescencias.
- Se recomienda calibrar con los resultados obtenidos en el estudio y confirmar el modelo geológico de la zona.
- Es recomendable realizar estudio isotópico de gases para complementar y tener una mayor caracterización de los Yacimientos.

- Se recomienda realizar estudios Quimioestratigraficos para dar mayor robustez a este estudio.

Referencias Bibliográficas

1. Boesi T. (1978). Resumen sobre el origen de las acumulaciones de hidrocarburos en la Formación Misoa, Área del Lago de Maracaibo. Caracas, MARAVEN, Informe Interno MAR000534. Venezuela.
2. Gallango O., Chin-A-Lien M. y Talukdar S. (1984). Estudio Geoquímico Regional de la Cuenca de Maracaibo. Los Teques, INTEVEP, INT-00907, 84. Venezuela.
- S.A. Consultores CSC (1994). Estudio Geoquímico de los crudos de las areniscas del Eoceno C y de la Formación La Rosa (Mioceno) de la Cuenca de Maracaibo. Venezuela.
3. Nakasone L. Miriam O. (1999). Aplicación de la geoquímica orgánica de producción sobre el bloque I, segregación Lagomar, Lago de Maracaibo. Tesis de grado magister Scientiarum (LUZ). Maracaibo - Venezuela.
4. Romero, M. (2007). Caracterización Geoquímica de los Yacimientos C-4 VLA-031 y C-5 VLA-031 mediante geoquímica de producción. Bloque I, U.E Lagomar. Tesis-1033, Venezuela.
5. Krauskopt, K.B., (1982). Introduction to geochemistry. International Student Edition, McGraw-Hill, Singapore, 617 pp.
- Albarède, F., (1995). Introduction to geochemical Modeling. Cambridge University Press., Cambridge, 543 pp.
6. Quiroga, A., Rodrigo, L., (1990). Curso Sinóptico de Geoquímica del Petróleo, Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. Santa Cruz – Bolivia.
7. Talukdar, S. y Marcano, F. (1994). Petroleum Systems of the Maracaibo Basin, Venezuela. En: Magoon, L. y Dow, W.: "The Petroleum System- From Source to Trap". AAPG Memoir 60; 1st. Ed. (Tulsa): 463-482.
8. Briceño, G. (1999). Comparación e interpretación de dos levantamientos sísmicos 3D, bloque I Lago de Maracaibo Tesis. UCV. Caracas. 99p.
9. Kaufman, R.L.; Ahmed, A.S. and Hempkins W.B. (1987). A new technique for the analysis of commingled oil and its application to production allocation calculations. Proceedings Indonesian Petroleum Association, sixteenth anual convention, October 1987.
10. PETERS, K. and MOLDOWAN, J. (1993). The biomarker guide: Interpreting molecular fossil in petroleum and ancient sediments. Prentice Hall, London. p. 363.
- Waples DW (1985). Geochemistry in petroleum exploration. International Human Resources Development Corporation. Boston, p. 232.
11. Hunt, J.M. (1995). Petroleum Geochemistry and Geology. W.H. Freeman and Company. New York. p. 743.
12. Bello-Montoya, R., Rosales, E., Sánchez-Martín, V., (1986). Estudio geoquímico en muestras de aceite y roca de los campos del área Comalcalco-Villahermosa, etapa I: México D.F., Mexico, Instituto Mexicano del Petróleo, unpublished report, 70 p.

Artificial neural networks for modeling an Adsorption Processes for Gasoline Octane Number Improvement

R. A. Conde-Gutierrez¹, A. Bassam², G. Laredo³, J. A. Hernandez²

¹Posgrado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas - Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Av. Universidad No.1001 Col. Chamilpa, C. P. 62209, Cuernavaca, Morelos, México; ²Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas - Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa 62209, Cuernavaca, Morelos, México; ³Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Lázaro Cárdenas 152, México D.F. 07730, México.

Abstract

An artificial neural network (ANN) approach was used to develop a new predictive model for calculation of the experimental parameters in the separation of linear and branched paraffins by an adsorption process. A three-layer ANN architecture was explored using a database inferred from the experimental process. For the ANN optimization process, the Levenberg-Marquardt (LM) learning algorithm, the hyperbolic tangent sigmoid transfer-function and the linear transfer-function were used. The best ANN architecture developed in this study made possible to predict the experimental parameters of the process with a satisfactory efficiency. The new ANN model were statistically analyzed and compared with experimental analysis. With all these results, we suggest that the new ANN model could be used as a practical and cheap tool for the reliable prediction of experimental parameters in the separation of linear and branched paraffins by adsorption processes for Gasoline Octane Number improvement purposes.

SESIÓN VI

MINERALOGÍA

Caracterización Mineralógica (DRX, IR, SEM) de los sulfatos superficiales de dos jales históricos del Distrito de Taxco.

Adriana Gómez-Cruz ^{a,*}, Teresa Pi-Puig ^b

^a Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México D.F., 04510, México

^b Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, Universidad Autónoma de México Universitaria, Delegación Coyoacán, México D.F., 04510, México

adry.qc.6116@hotmail.com

RESUMEN

La formación por evaporación de eflorescencias de sulfatos hidratados de metales en zonas con residuos mineros es un fenómeno descrito desde la antigüedad y los efectos tóxicos de estas sales en los animales ya se describe en la obra de Agrícola (1546) evidenciando tempranamente la presencia de arsénico en dichos minerales.

En la actualidad conocemos que la formación y disolución de estos minerales juega un papel importante en el almacenamiento y transporte de diferentes metales tóxicos. En este sentido la caracterización detallada de los mismos utilizando diferentes herramientas nos ayudará a proponer un modelo genético de su formación.

Se presentan los resultados de un estudio mineralógico detallado de la capa más superficial de dos jales mineros históricos del Distrito de Taxco, denominados Jales Xochula y Jales Remedios. Dicha caracterización se realizó utilizando principalmente tres métodos: Espectroscopia Infrarroja de onda corta (SWIR), Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de barrido (SEM). En total se procesaron 90 muestras en las que se identificaron principalmente sulfatos de hierro con diferentes grados de hidratación, asociados a la alteración de sulfuros, además de algunos otros sulfatos menos solubles.

Se logró diferenciar dos zonas para cada uno de los jales: 1) Zona Superficial y 2) Zona lateral. En relación a la génesis se establecieron tres etapas de formación de los sulfatos identificados: 1) Primera Etapa: dominada por la formación de rozenita, szomolnokita, hexahidrita y halotriquitita; 2) Segunda Etapa: caracterizada

por la formación de copiapita y coquimbita y 3) Tercera etapa: se forman schwermannita y ferrihidrita.

Considerando la relación entre las etapas se generó un modelo genético de formación de los minerales, basado en un modelo previo establecido por Nordstrom, 1982.

CONCLUSIONES

Se comprobó que los sulfatos de hierro hidratados en ambos depósitos han sido formados en una primera etapa por procesos de oxidación de materiales ricos en pirita seguido por procesos de disolución y precipitación, combinando reacciones de oxidación, deshidratación y neutralización (segunda y tercera etapa).

REFERENCIAS

Nordstrom, D.K., Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals. (1982). – En: Thomas, B.P., Fitzpatrick, R.W., Hincks, M., Hincks, W.S., *Coastal Acid Sulfate Soil Management Guidelines, Barker Inlet, SA*. Queensland, Australia: CSIRO, (2003)

MINERALOGÍA Y GEOCROLOGÍA DE FILOSILICATOS ASOCIADOS A LA FALLA CHUPADERO Y SU RELACIÓN CON EL CPCM Y LA ACRECIÓN DEL TERRENO GUERRERO

Diana E. Garduño-Martínez^a, Teresa Pi-Puig^b, Jesús Solé-Viñas^b, Michelangelo Martini^c, Jorge R. Alcalá-Martínez^d

^a *Posgrado de Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad No. 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., C.P. 04510*

^b *Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad No. 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., C.P. 04510*

^c *Departamento de Geología Regional, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad No. 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., C.P. 04510*

^d *Departamento de Edafología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad No. 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., C.P. 04510*

dianel_31@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo, se presentan los resultados preliminares de la caracterización mineralógica y geocronológica de los filosilicatos (principalmente illita) de la Falla Chupadero, la cual se considera una de las estructuras más representativas del sistema de cabalgaduras de la Sierra de los Cuarzos (estados de Querétaro y Guanajuato). Este sistema consta de cabalgaduras frágiles-dúctiles con orientación NNW-SSE y vergencia hacia el SW, cercano a la frontera entre el Terreno Guerrero (TG) y el Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano (CPCM). El origen y significado de dichas cabalgaduras es todavía desconocido. En efecto, debido a su ubicación, estas estructuras podrían representar tanto parte de la zona de sutura del TG, así como la exposición más occidental del CPCM. Por esta razón, el acotamiento temporal de la actividad de estas fallas representa una contribución fundamental, que permitirá comprender con más detalle la evolución estructural y los mecanismos de deformación de uno de los eventos orogénicos del Cretácico del centro de México.

Para llevar a cabo dicho estudio se colectaron un total de 18 muestras, transversalmente a la zona de falla Chupadero, con el fin de: 1) caracterizar la mineralogía total y de la fracción arcilla, 2) comparar la mineralogía de la roca de falla con la del protolito y 3) datar

la actividad de falla mediante la datación K-Ar de la illita. De cada muestra se separaron mediante centrifugación tres fracciones granulométricas (G: 2 a 0.5 μm , M: 0.5 a 0.05 μm y F: <0.05 μm). La mineralogía total y de las subfracciones se determinó mediante DRX en muestras no orientadas y orientadas. La mineralogía total consiste en cuarzo, calcita, feldespato plagioclasa, hematita y filosilicatos. La mineralogía arcillosa consiste principalmente de illita, caolinita, clorita y esmectita. Para cada una de las subfracciones se determinó la cristalinidad de la illita (IC); el tamaño del cristalito (CS) y se cuantificaron los politipos 2M1(detrítico) y 1M (neoformado) de la illita utilizando diferentes métodos. Finalmente se dataron las diferentes subfracciones mediante el sistema K-Ar mediante láser.

CONCLUSIONES

Se presentaran los datos mineralógicos y geocronológicos de la falla Chupadero intentando establecer la relación de dicha estructura con el CPCM y con la acreción del Terreno Guerrero.

EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA Y GEOFÍSICA DE LA MINERALIZACIÓN DE Fe-Cu (Au) ASOCIADA AL SKARN DE LA MINA "EL REFUGIO", JACALA, HIDALGO (MÉXICO)

Kinardo Flores^{a*}, María Elena Balderas^b, Francisco A. Paz^c, José Luis Cadena^a,
Màrius Ramírez^a, Noé Piedad^d, Eleazar Salinas^a, Carlos Esquivel^a

^a Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Laboratorio de Geoquímica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. CP. 42184

^b Servicio Geológico Mexicano. Blvd. Felipe Ángeles km 93.5-4. Col. Venta Prieta. Pachuca, Hidalgo. CP. 42080

^c Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Apdo. Postal 847, Hermosillo, Sonora. CP. 83000

^d Facultad de Metalurgia. Universidad Autónoma de Coahuila, Carretera 57 km 5 Norte. Monclova, Coahuila de Zaragoza. CP. 25710

*E-mail: kinardo_flores@hotmail.com

RESUMEN

El área de estudio se localiza en el municipio de Jacala de Ledesma, al NW del estado de Hidalgo; está caracterizada por la presencia de varios cuerpos mineralizados asociados a eventos de intrusión ígnea hipabisal de composición cuarzomonzodiorítica a cuarzodiorítica con tendencia calcoalcalina rica en potasio (Flores-Castro, 2001; Flores-Castro *et al.*, 2003) y firma geoquímica e isotópica que presentan los magmas adakíticos: $\text{SiO}_2 \geq 56\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$, $\text{MgO} < 3\%$, $\text{Sr} > 300$ ppm, $\text{Sr/Y} > 20$, $\text{La/Yb} > 20$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0.704$ y nula anomalía de Eu (Castillo, 2006).

El *stock* de edad terciaria que interacciona metasomáticamente con rocas carbonatadas cretácicas, forma a su contacto *skarn* con aureolas de morfología irregular a las que se asocian fluidos mineralizantes y que depositan paragénesis de hematita – magnetita – pirita – calcopirita – bornita – azurita – crisocola, identificados megascópica y petrográficamente. Es pertinente mencionar que la microscopía electrónica de barrido (MEB) con EDS, permitió identificar soluciones sólidas de Au, Te-Au, Au-Ag, Te-Ag, Te-Ag-Bi-Au incluidas en la calcopirita (Flores-Castro, 2006; Zamorano *et al.*, 2009), mineral que resultó guía de exploración por Au en esta zona.

La prospección geofísica realizada en el área de estudio con el método magnetométrico, reveló claras e intensas anomalías relacionadas al cuerpo ferromagnético en particular, que definieron su morfología y otras dos áreas de oportunidad cercanas a éste, de las que no se tenía conocimiento por no manifestarse en superficie (Balderas-Espinosa, 2013).

CONCLUSIONES

Por lo anterior se infiere que la geoquímica de estos magmas, de afinidad calcoalcalina rica en potasio con tendencia shoshonítica y la firma adakítica que presentan, son características afines a la génesis de las mineralizaciones de Au-Cu en yacimientos tipo *skarn* (González-Partida *et al.*, 2003; Pinto-Linares, *et al.*, 2008).

REFERENCIAS

1. Balderas-Espinosa, M.E., 2013. Exploración magnetométrica de la zona de influencia a la mina El Refugio, municipio de Jacala de Ledesma, Hidalgo (México). Tesis de licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 85 p. Inédita.
2. Castillo, P.R. 2006. An overview of adakite petrogenesis. Chinese Science Bulletin, v. 51, n. 3, p. 257-268.
3. Flores-Castro, K., 2001. Geoquímica y petrología de los granitoides de la región noroccidental del Estado de Hidalgo, México: Implicaciones petrogenéticas y su relación con el encajante metamórfico. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 400 p.
4. Flores-Castro, K., Vaquer-Navarro, R., Ortiz-Hernández, L.R., Esquivel-Macías, C., Ramírez-Cardona, M., Acevedo-Sandoval, O.A., and Canet-Miquel, C., 2003. Petrologic and Geochemical constraints from La Encarnacion granitoids, Hidalgo state (México). The Geological Society of America, Abstracts with Programs. v. 35, n. 4. p. 19.
5. Flores-Castro, K., Ramírez-Cardona, M., Ortiz-Hernández, L.E., Canet-Miquel, C., Roy, P.D., Cadena Zamudio, J.L., 2006. Paragénesis de minerales de Te-Ag-Bi-Au en la mina Nuevo Encino Prieto, Jacala de Ledesma, Hidalgo, México". Boletín de Mineralogía, v. 17, n. 1, p. 3-9.
6. González-Partida, E., Levresse, G., Carrillo-Chávez, A., Cheilletz, A., Gasquet, D., Jones, D., 2003., Paleocene adakite Au-Fe bearing rocks, Mezcala, Mexico: evidence from geochemical characteristics. Journal of Geochemical Exploration, v. 80, p. 25-40.
7. Pinto-Linares, P.J., Levresse, G., Tritlla, J., Valencia, V.A., Torres-Aguilera, J.M., González, M., Estrada, D., 2008. Transitional adakite-like to calc-alkaline magmas in a continental extensional setting at La Paz Au-Cu skarn deposits, Mesa Central, Mexico: metallogenetic implications. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 25, n. 1, p. 39-58.
8. Zamorano, J.A., Flores, K., Cadena, J.L., Hernández, J., Ramírez, M., Magos, E., Mendoza, M., 2009. Prospección geoquímica por oro en el área de influencia del intrusivo El Calvario, Jacala de Ledesma, Hidalgo, México. Actas INAGEQ, v. 15, n. 1, p. 67-68.

SESIÓN VII

MÉTODOS ANALÍTICOS

INITIAL RESULTS OF THE NEW 1MV MULTIELEMENT AMS SYSTEM AT THE IFUNAM.

Corina Solís^a, Alejandro Guízar Méndez^a, Javier Aragón Navarro^a, Miguel Angel Martínez^b

^aInstituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 20-364. 01000 México D. F., México.

^b Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 20-364. 01000 México D. F., México.

RESUMEN

The creation of the accelerator mass spectrometry laboratory (LEMA) at the Institute of Physics, UNAM was approved in 2009 as a result of a national call from CONACyT for the establishment of new research laboratories and technological developments. With additional support of the UNAM, the AMS system, based on a Tandetron accelerator of 1 MV was purchased from High Voltage Engineering Europe B.V. Amersfoort, The Netherlands. In LEMA, the first of its kind in Mexico and Latin America, mass spectrometry experiments will be possible to analyze C-14 as well as other isotopes such as Be-10, Al-26, I-129 and Pu in fields of interdisciplinary research in physics, geochemistry, oceanography, hydrology, etc.

AMS is the most sensitive technique to investigate the isotopic content of a material. A useful characteristic is the possibility to analyze samples lower than 1 mg. In this technique, the atoms are extracted from the sample, ionized and accelerated. In the spectrometer of high energy, the isotopes are separated with base to its mass. The relative isotopic abundance is determined from the relative intensities of each beam and normalized to a reference material. The first research lines to undertake will be oriented towards radiocarbon analysis. Two sample preparation laboratories have been installed for C-14. A commercial automatic graphitization equipment (AGEIII) was purchased from the Ion Beam Physics Institute (ETH Zurich). In this system, the carbon is converted first to CO₂ and then to graphite via reduction with H₂ using Iron as a catalyst. With this technique, it is possible to extract carbon from a variety of material such as soil, wood, leather, bone, paper, water with dissolved carbon, pollen, ceramic, coral, seeds, charcoal, etc.

The following table shows the initial results from installation and acceptance tests for C-14.

Test results Solid Graphite: at 1 MV terminal voltage

Accuracy isotope ratio $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$

(date: 30-04-2013)

Sample #	^{14}C (counts)	$^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$	$^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$
1	142977	0.009481803	1.28446e-12
2	147245	0.009461683	1.28106e-12
3	141426	0.009467225	1.28128e-12
4	144809	0.009490448	1.28730e-12
Average statistical error (%)			2,63
Mean		0.00947529	1.28353e-12
Relative standard deviation (%)		1.39	2.30

Background isotope ratio $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$: 1.40e-15

(date: 23-05-2013)

CONCLUSIONS

The LEMA has been recently installed, and after optimizing some parameters, regarding the Cs temperature, the gas stripping pressure, the charge state, the gas pressure of the ionization chamber, as well as the improvement of the background for Carbon measurement, it is already under routine operation.

OPTIMIZACIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO (EGP), UTILIZANDO EL MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO BCR-723 (ROAD DUST) ADICIONADO A UN FILTRO.

Elizabeth Hernández Álvarez ^a, Ofelia Morton Bermea ^a, Lida Martínez Trejo ^b, Omar Amador Muñoz ^c.

^a Laboratorio ICP-MS, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, C.P. 04510. Del. Coyoacán, México, D.F.

^b Licenciatura en Química, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, C.P. 04510. Del. Coyoacán, México, D.F.

^c Laboratorio de Mutagénesis Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, C.P. 04510. Del. Coyoacán, México, D.F.

aeliza@geofisica.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Los catalizadores automovilísticos fueron introducidos con el propósito de reducir las emisiones de contaminantes tales como CO, HC y NO_x provenientes de los gases del escape de los vehículos motorizados y transformar a gases menos tóxicos tales como, CO₂, H₂O y N₂. Su uso ha sido de enorme beneficio al medio ambiente; sin embargo, la abrasión y deterioro del catalizador, ha provocado un incremento en las emisiones de partículas que contienen altas concentraciones de Elementos del Grupo del Platino (EGP), platino (Pt), paladio (Pd) y rodio (Rh), contenidos en los catalizadores [1].

En los últimos años, ha aumentado el interés en el estudio de material particulado, en la clasificación del tamaño y composición de las partículas y su interacción con la salud humana en las zonas afectadas. El impacto del material particulado en la salud humana depende de la cantidad de su fracción respirable. Se ha relacionado el incremento de la mortalidad, en material particulado con el diámetro aerodinámico menor de 10µm, especialmente la fracción ≤2.5 µm (PM_{2.5}) [2, 3].

Durante la última década, el reconocimiento de los catalizadores automovilísticos como principal fuente de contaminación de EGP en el medio ambiente, ha contribuido a que estos elementos sean incluidos en el análisis elemental de material particulado.

Una importante consideración para la comparación de datos obtenidos del monitoreo de la calidad del aire, es la certeza de los criterios de calidad de muestro, preparación de muestra y análisis del material particulado con los cuales se obtuvieron. Para establecer y optimizar un método analítico es importante, además de la evaluación de las técnicas instrumentales disponibles, considerar un método factible con respecto a tiempo y costos de preparación y análisis de las muestras. La evaluación del desempeño de un procedimiento analítico se determina generalmente en términos de los valores de blancos, y los porcentajes de recobro de los elementos analizados, usando materiales de referencia certificados. Debido a las pequeñas cantidades del material colectado esto representa un reto significativo.

A la fecha han sido reportados muchos estudios relacionados a las condiciones de preparación y análisis de metales y metaloides en material particulado. Estos

varían con respecto al número de elementos, reactivos utilizados, procedimientos instrumentales, así como materiales y tamaño de los filtros colectores (teflón, politetrafluor-etileno, celulosa, cuarzo, etc.). La descomposición ácida de las muestras de material particulado puede considerarse como el paso crucial de este tipo de análisis. Sin embargo, la mayoría de los trabajos reportados incluyen procedimientos usando hornos de microondas. Muchos de ellos involucran mezclas de ácido fluorhídrico (HF), ácido nítrico (HNO_3) y ácido clorhídrico (HCl). La técnica analítica más empleada para este tipo de determinaciones es ICP-MS debido a su alta sensibilidad, amplio rango lineal así como capacidad multielemental de análisis simultáneo en niveles traza y ultratrazo.

Existe muy poca información referente a la validación de procedimientos analíticos para la determinación de EGP en el medio ambiente. Sus bajas concentraciones requieren de la aplicación de procedimientos instrumentales altamente sensibles. A pesar de que el análisis por ICP-MS es capaz de analizar concentraciones muy bajas, el análisis por este procedimiento presenta el gran inconveniente de producir interferencias espectrales en las masas de ^{195}Pt , ^{105}Pd y ^{103}Rh producidas por otros elementos coexistentes tales como Hf, Cu, Pb, Sr, Rb, Y, etc.

Trabajos previos presentan un procedimiento para contrarrestar estas interferencias espectrales en la determinación de Pt, Pd y Rh por ICP-MS, el cual considera la cuantificación de las señales que traslapan la señal del analito a cuantificar y su substracción usando ecuaciones matemáticas [4].

Desde la aparición en el mercado del material de referencia certificado BCR-723 en el año 2002, ha aumentado significativamente el desarrollo de procedimientos analíticos para la determinación de EGP [5]. En trabajos de Sutherland [6], se desarrollaron métodos para la determinación de Pt y Rh en polvos y plantas usando BCR-723. En este caso las interferencias espectrales son corregidas usando ecuaciones matemáticas basadas en la determinación de las relaciones de los interferentes.

Con el propósito de contar con un procedimiento robusto de análisis rutinario de EGP en material particulado, se experimentaron y evaluaron diferentes condiciones de análisis previamente reportadas. Este trabajo reporta los resultados obtenidos de la optimización de un procedimiento de digestión utilizando horno de microondas, y la optimización de los parámetros instrumentales de análisis por ICP-MS en un material de referencia certificado BCR-73, el cual fue adicionado a un filtro de fibra de vidrio. Las aportaciones de las interferencias espectrales fueron evaluadas y corregidas matemáticamente.

PARTE EXPERIMENTAL

Material de Referencia Certificado

El material de referencia certificado (BCR-723-Road Dust, del Instituto de mediciones y materiales de referencia (IRMM) de la Comisión Europea), se utilizó para evaluar la calidad del procedimiento analítico implementado. El material BCR-723 se adicionó a un “filtro de fibra de vidrio recubierto de teflón (TIGF)”, Pallflex T60 A20.

Reactivos

Para minimizar el riesgo de contaminación, todas las muestras y soluciones estándar se prepararon con ácidos purificados previamente en un destilador DST-1000. Se destilaron ácidos HF, HNO₃ y HCl. Las soluciones para las curvas de calibración de Pt, Pd y Rh, así como para los interferentes Hf, Cu, Zn, Sr, Rb, Pb, Y y Ga, se realizaron con los estándares High Purity Standards, Charleston, Sc, USA (10 mg L⁻¹). Para todas las soluciones se utilizó agua de alta pureza con 18.3 MΩ de resistividad de un sistema Milli-Q (Millipore). Todo el material utilizado (vasos de teflón del horno de microondas, botellas de polietileno para almacenar las muestras y matraces volumétricos), se lavaron exhaustivamente con HNO₃ al 50% previamente destilado.

Procedimientos de digestión en Horno de Microondas

Se evaluaron tres procedimientos de digestión, utilizando aproximadamente 10 mg del material BCR-723 adicionado al filtro con un peso de 0.1g con diferentes mezclas ácidas. Los tres procedimientos utilizados se realizaron en un Horno de Microondas modelo Ethos One de la marca Milestone, con un rotor de 24 vasos de teflón. Los parámetros operacionales fueron: Potencia máxima de 1500W, temperatura de 190°C para los dos primeros procedimientos y 220°C para el tercer procedimiento. Los procedimientos se llevaron a cabo en dos etapas: Una primera etapa de “rampeo” durante 20 min y una segunda etapa de mantenimiento durante 20 min. Los vasos de teflón se dejaron enfriar durante 60 -90 minutos, se ventean y después se abren para continuar la digestión.

1) **Procedimiento 1:** El material del filtro adicionado con el material de referencia se calcinó en crisoles de porcelana a 550°C durante dos horas. Las cenizas se colocaron en los vasos de teflón del horno de microondas y se adicionó 8 ml de agua regia (AR)-(HCl/HNO₃, 3:1, bidestilados) y 2 ml de HF a cada vaso, la solución resultante se transfirió a vasos de teflón y se evaporó a sequedad total. La solución final se aforó a 10 ml con agua desionizada al 2% de HNO₃.

2) **Procedimiento 2:** Al material del filtro adicionado con el material de referencia se adicionó 8 ml de agua regia (HCl/HNO₃, 3:1) y 2 ml de HF a cada vaso, la solución resultante se transfirió a vasos de teflón y se evaporó a sequedad. Se añadió 2 ml de HCl y se calentó hasta sequedad. Este último paso se repitió al menos tres veces para asegurar la eliminación total de HF. La muestra se aforó a 10 ml con desionizada al 2% de HNO₃.

3) **Procedimiento 3.** Al material del filtro adicionado con el material de referencia se le adicionó 8 ml de agua regia (HCl/HNO₃, 3:1) y 2 ml de HF a cada vaso. Se repiten los mismos pasos que el procedimiento 2, la diferencia de este procedimiento es el incremento en la temperatura del horno de microondas.

ICP-MS

Los análisis de Elementos del grupo Platino (Pt, Pd y Rh) se realizaron en un ICP-MS (X Series II, Thermo Electron Corporation). Los parámetros instrumentales y químicos que afectan el desempeño del método fueron cuidadosamente evaluados y optimizados. Para identificar las interferencias, se utilizaron soluciones estándar monoelementales (High Purity Standards) de Hf, Cu, Zn, Sr, Rb, Pb, Y y Ga. Se realizó la substracción de la contribución de la señal interferente por medio de ecuaciones matemáticas. Se utilizó el estándar interno ^{115}In para correcciones analíticas con una concentración de 10 mg/L.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se mencionó en la introducción, el objetivo principal de este trabajo fue la optimización de un método robusto, simple y rápido utilizando una digestión ácida por Horno de Microondas, para el análisis rutinario de Elementos del Grupo del Platino por ICP-MS. Se evaluaron tres procedimientos de digestión con diferentes parámetros operacionales. Las muestras se analizaron a través de dos metodologías analíticas, en una se emplearon correcciones matemáticas para eliminar las interferencias espectrales y en la otra se evaluaron los resultados sin emplear correcciones matemáticas, solo se utilizó la metodología rutinaria (substracción de blancos, corrección del “drift” instrumental con estándar interno, etc.).

Para el análisis de EGP se eligieron los isótopos ^{195}Pt , ^{105}Pd y ^{103}Rh , los cuales presentan la mayor abundancia y el menor número de interferencias. En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados del método analítico evaluados con parámetros de control de calidad como, precisión, exactitud y porcentajes de recobro en el material de referencia certificado BCR-723. En la Tabla 1 se presentan los resultados sin emplear correcciones matemáticas, se observa que el Pt y Rh son los elementos que presentan los porcentajes de recobro más altos (>87.6%), precisión (<16.3%) y exactitud (<27.14%). El Pd es el elemento que presenta los valores menos aceptables debido a que los porcentajes de recobro son muy elevados (<3709.7), precisión (<3.5%) y exactitud (<3608.7%) para los tres procedimientos empleados. Es importante mencionar que este elemento fue medido en el isótopo ^{105}Pd , el cual presenta una abundancia del 22.33% y tiene múltiples interferentes espectrales (Cu, Ga, Y, Sr y Rb).

En la Tabla 2 se presentan los resultados evaluados con correcciones matemáticas, los porcentajes de recobro para Pt y Rh (>67%), precisión (<16.3%) y exactitud (<33%) para los tres procedimientos aplicados. Los resultados para Pd mejoran notablemente, sin embargo aún presentan porcentajes de recobro elevados (<1158.5%), valores poco precisos (<83.2%) e inexactos (<1058.5%). Aunque se observa una disminución significativa de los valores promedio (20.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$) al emplear las correcciones matemáticas con el procedimiento 1, respecto a los valores promedio (143 $\mu\text{g}/\text{kg}$) de la Tabla 1, no se logran obtener valores aceptables de precisión, exactitud y porcentajes de recobro para este elemento. Esto se puede deber a la fuerte influencia de la interferencia de YO^+ sobre la señal

de Pd ya que presenta una alta abundancia isotópica de la molécula en el plasma [4].

Tabla 1. Resultados de EGP en el material de referencia certificado BCR-723 por ICP-MS sin corrección matemática.									
	Procedimiento 1			Procedimiento 2			Procedimiento 3		
	¹⁹⁵ Pt	¹⁰⁵ Pd	¹⁰³ Rh	¹⁹⁵ Pt	¹⁰⁵ Pd	¹⁰³ Rh	¹⁹⁵ Pt	¹⁰⁵ Pd	¹⁰³ Rh
Valor certificado (µg/kg)	81.3	6.1	12.8	81.3	6.1	12.8	81.3	6.1	12.8
Promedio (µg/kg) n=10	75.1	143	12.7	73.7	209.6	16.3	71.2	226.3	12.8
Precisión (%RSD)	6.8	3.5	0.8	7.05	2.3	-1.2	16.3	0.48	3.9
Exactitud (%error)	-7.6	2244.3	-0.5	-9.3	3336.6	27.14	-12.4	3608.7	0
% Recobro	92.4	2344.3	99.5	90.65	3436.6	127.1	87.6	3709.7	100

Tabla 2. Resultados de EGP en el material de referencia certificado BCR-723 por ICP-MS con corrección matemática.									
	Procedimiento 1			Procedimiento 2			Procedimiento 3		
	¹⁹⁵ Pt	¹⁰⁵ Pd	¹⁰³ Rh	¹⁹⁵ Pt	¹⁰⁵ Pd	¹⁰³ Rh	¹⁹⁵ Pt	¹⁰⁵ Pd	¹⁰³ Rh
Valor certificado (µg/kg)	81.3	6.1	12.8	81.3	6.1	12.8	81.3	6.1	12.8
Promedio (µg/kg) n=10	75.1	20.7	10.2	73.7	49.4	8.6	71.2	70.7	9.8
Precisión (%RSD)	3.2	83.2	-5.9	7.1	-8.5	10.5	16.3	9.9	2.0
Exactitud (%error)	-7.6	238.8	-20.7	-9.3	709.0	-33.0	-12.4	1058.5	-23.7
% Recobro	92.4	338.8	79.3	90.7	809.0	67.0	87.6	1158.5	76.3

Corrección matemática para ¹⁹⁵Pt (interferente ¹⁷⁹Hf¹⁶O⁺)

Corrección matemática para ¹⁰⁵Pd (interferentes ⁴⁰Ar⁶⁵Cu⁺, ³⁶Ar⁶⁹Ga⁺, ⁸⁹Y¹⁶O⁺, ⁸⁸Sr¹⁷O⁺ y ⁸⁷Rb¹⁸O⁺)

Corrección matemática para ¹⁰³Rh (interferentes ⁴⁰Ar⁶³Cu⁺, ³⁶Ar⁶⁷Zn⁺, ⁸⁷Sr¹⁶O⁺, ⁸⁷Rb¹⁶O⁺ y ²⁰⁶Pb²⁺)

CONCLUSIONES

Los tres procedimientos de preparación de muestra evaluados, no presentan diferencias significativas en cuanto a los parámetros estadísticos evaluados (precisión, exactitud y porcentajes de recobro). Las mezclas ácidas AR-HF-HCl son efectivas para recuperar eficientemente Pt y Rh (porcentajes de recobro > 67%).

Aunque en trabajos previos fue necesaria la aplicación de correcciones matemáticas para eliminar las interferencias espectrales, en la presente evaluación no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones obtenidas al aplicar la corrección matemática para Pt y Rh. La contribución de la

interferencia espectral de HfO^+ es de aproximadamente el 10% y los efectos de las interferencias en la determinación de Rh es mínima.

Aunque los resultados de Pd mejoran considerablemente al aplicar la corrección matemática, (hasta un orden de magnitud) para algunos procedimientos, el resultado obtenido no es aceptable (porcentajes de recobro $>388.8\%$), esto se debe a la enorme contribución de interferencias de YO^+ y ArCu^+ , además del contenido muy bajo de Pd en las muestras analizadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección General de Asuntos al Personal Académico (DGAPA), proyecto IN101612-3 y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), proyecto 166295, el apoyo financiero para poder realizar este estudio.

REFERENCIAS

1. Palacios, M. A., Gómez, M., Moldovan, M., Gómez, B., 2000. Assessment of Environmental Contamination Risk by Pt, Rh y Pd from Automobile Catalyst, *Microchemical Journal* 67, p. 105.
2. Falciani, R., Novaro, E., Marchesini, M., Gucciardi, M. Multielement analysis of soil and sediment by ICP-MS after a microwave assisted digestion method. *J. Anal. At. Spectrom.*, 2000, 15, 561.
3. US EPA Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy assessment of scientific and technical information. Office of Air Quality Planning and Standards: Research Triangle Park, North Carolina, USA, 2005, p. 525.
4. Gomez, B.M., Gomez, M.M., Palacios, M.A. 2000. Control of interferences in the determination of Pt, Pd and Rh in airborne particulate matter by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 404, 285-294.
5. Sutherland, Ross A. 2007. Platinum-group element concentrations in BCR-723: A quantitative review of published analyses. *Analytica Chimica Acta* 582, 201-207.
6. Niemelä, M., Perämäki, P., Piispanen, J., Poikolainen, J., 2004. Determination of Platinum and Rhodium in Dust and Plant Samples Using Microwave-assisted Sample Digestion and ICP-MS, *Analytica Chimica Acta* 521, p. 137.

ADSORBENTES NATURALES APLICADOS AL TRATAMIENTO DE AGUA CONTAMINADA CON Pb Y Cr

Pamela Sierra-Trejo^{a,b*}, Yolanda Marmolejo-Santillán^a, Fidel Pérez-Moreno^a, Kinardo Flores-Castro^{a,b} Francisco Prieto-García^a, Claudia Romo-Gómez^a, José Luis Cadena-Zamudio^{a,b}

^a*Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. CP 42184.*

^b*Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales. Laboratorio de Geoquímica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. CP 42184.*

*E-mail: pamela1392@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diversos procesos de tratamiento para potabilizar agua; aquellos procesos que utilizan minerales naturales para remover contaminantes han resultado ser eficientes y ofrecen la ventaja de ser de bajo costo^[1]. Entre los materiales que pueden ser utilizados destacan las zeolitas, que son minerales pertenecientes al grupo de los tectosilicatos, cuya estructura se caracteriza por ser de una red de tetraedros ligados, cada uno de los cuales está conformado por cuatro átomos de oxígeno rodeando un catión; esta red contiene cavidades abiertas en forma de canales y “jaulas”, que por lo regular son ocupadas por moléculas de agua y cationes alcalinos o alcalinotérreos adicionales a la red que son comúnmente intercambiables^[2,3]. Otros materiales que han sido probados con buenos resultados en la remoción de Cr (VI) son las esmectitas y clinoptilolitas^[4,5]. Varias zeolitas han sido utilizadas como intercambiadores iónicos en la remoción de metales pesados en aguas residuales; se ha estudiado el intercambio iónico de Pb (II) en solución acuosa sobre clinoptilolita sin modificar y modificada por intercambio catiónico con soluciones de NaCl y NH₄Cl^[6], se ha aplicado también la filtración terciaria y el intercambio iónico en el tratamiento de efluentes aprovechando algunos tipos de zeolitas locales por su abundancia y bajo costo^[7].

El objetivo de este estudio es evaluar tres materiales naturales en la disminución de la concentración de Pb y Cr del agua de la presa *La Esperanza* (Guanajuato, Méx.). Dichos materiales son obtenidos de los municipios de Calderones y Dolores Hidalgo en el estado de Guanajuato y del municipio de Tezoantla en el estado de Hidalgo.

SECCIÓN EXPERIMENTAL

Para la caracterización fisicoquímica de los materiales seleccionados se realizaron análisis de difracción de rayos X (equipo marca Rigaku, modelo Dmax 2100) y microscopía electrónica de barrido (equipo marca Jeol, modelo JSM 6300).

Para la obtención de la química de roca total de los materiales geológicos (motivo de estudio), se prepararon las muestras Dolores, Calderones y Tezoantla, las cuales fueron pulverizadas en mortero y pistilo de ágata. Posteriormente se pesaron 50 g de cada una y enviadas a los Laboratorios de Activación Neutrónica (ActLabs) en Canadá, para ser caracterizadas por elementos mayores y traza.

Para realizar las pruebas adsorción, se prepararon soluciones estándar de plomo y cromo a una concentración de $25 \mu\text{g mL}^{-1}$ cada una, se colocaron 50 mL de cada una de las soluciones con 1g de cada material y se mantuvieron en contacto por 24 h; se tomaron alícuotas de 2 mL de las muestras a las 2 h y 24 h, las cuales fueron analizadas por EAA para conocer la concentración del elemento remanente en solución, previa curva de calibración con solución estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Muestra Calderones

Descripción megascópica: Material de origen geológico de color verdoso claro en parte blanquecino, opaco, compacto de aspecto pulverulento, constituido por partículas de grano fino equigranulares y que a simple vista no observan arreglo geométrico o preferencial. Exhibe microcristales opacos a semi-transparentes que corresponden con cuarzo y feldspatos alterados en matriz criptocristalina de caolinita y clorita principalmente.

Descripción microscópica: La fotomicrografía electrónica (MEB) que se observa en la Figura 1, muestra una estructura microcristalina compacta con tendencia equigranular cuyos cristales subhedrales a anhedrales, de hábito tabular - planar a hojoso, tienen un rango de tamaños entre 1 y $12 \mu\text{m}$. Los cristales forman agregados y cúmulos con espacios intersticiales de forma irregular que posiblemente se deben a la forma en que se depositaron, cristalizaron, disolvieron y recristalizaron.

La difracción de rayos X (DRX) realizada a la muestra Calderones permite identificar las principales fases minerales presentes: cuarzo, albita, dióxido y muscovita.

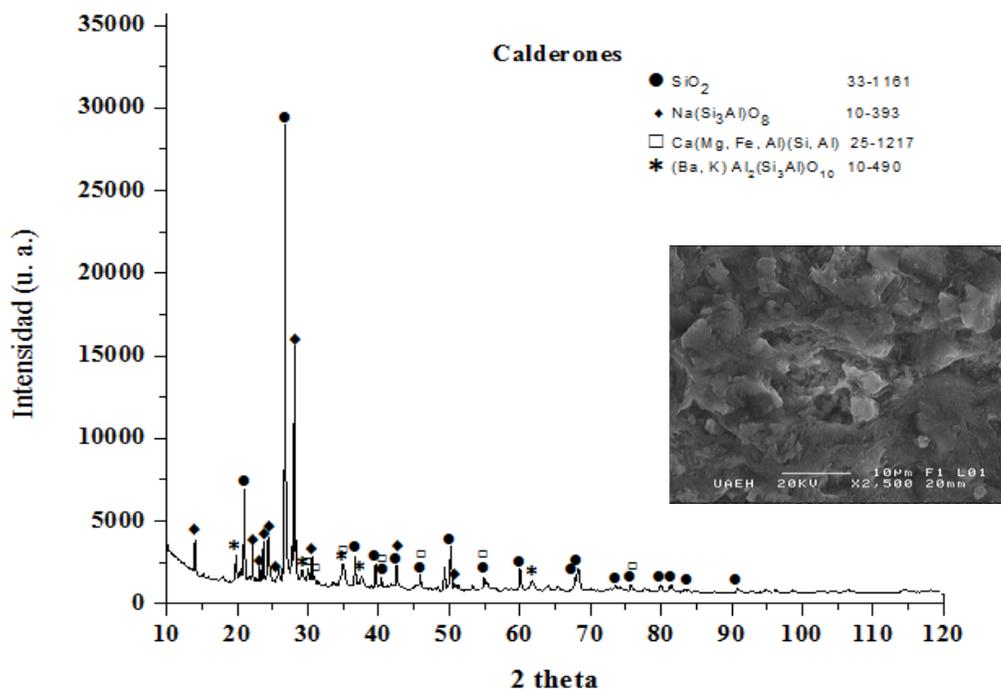


Figura 1. Difractograma de rayos X y fotomicrografía electrónica MEB de la muestra Calderones (muestra polvo consolidada en resina epóxica con pulido metalográfico).

Muestra Dolores

Descripción megascópica: Roca ígnea extrusiva (toba piroclástica de caída) de color rosado – rojizo, en parte blanquecina que presenta alteración caolinítica avanzada. Tiene aspecto granular, terroso, que a simple vista muestra cristales de cuarzo, feldespatos alterados, depósitos intergranulares de hematita y clorita.

Descripción microscópica: La fotomicrografía electrónica obtenida en el MEB de la muestra Dolores, muestra un mosaico holocristalino, porfídico, inequigranular de minerales tabulares, laminares y prismáticos con tendencia subhedral a euhedral de 1 a 60 μm , sin arreglo geométrico o lineamiento específico.

El difractograma obtenido por DRX para este material muestra que los principales minerales presentes son: caolinita, cristobalita y diópsido.

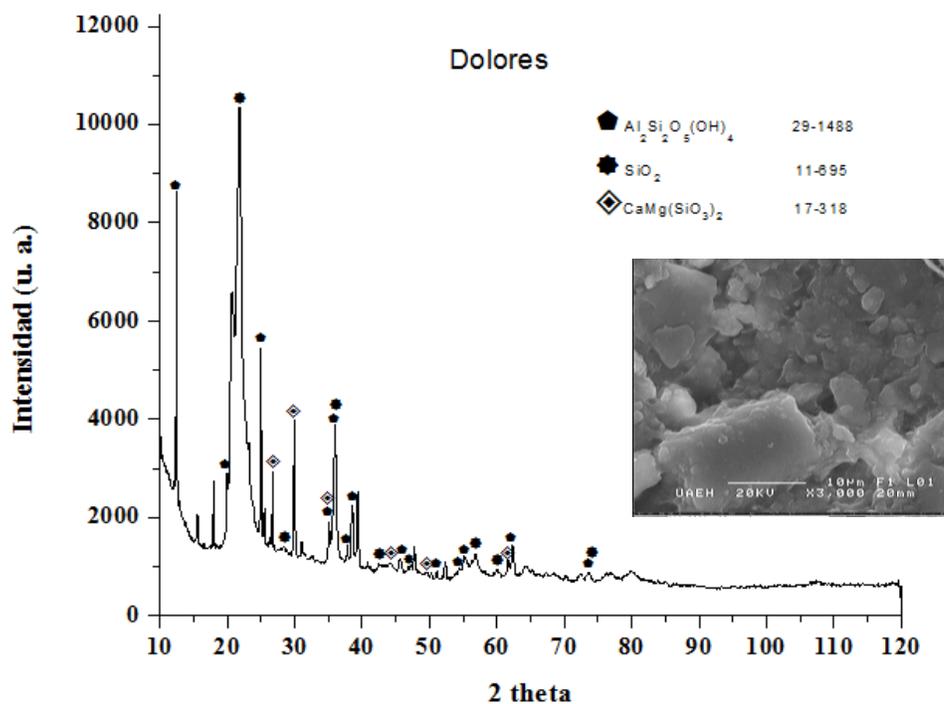


Figura 2. Difractograma de rayos X y fotomicrografía electrónica MEB de la muestra Dolores (muestra polvo consolidada en resina epóxica y pulido metalográfico).

Muestra Tezoantla

Descripción megascópica: Roca ígnea extrusiva piroclástica de caída (*ash fall*) de aspecto terroso, granular fino, ligeramente laminar, compacta, de color blanco lechoso opaco, que a simple vista exhibe cristales subhedrales de cuarzo y feldespatos, algunos minerales ferromagnesianos y óxidos de hierro espaciados de color oscuro a verdoso inferiores a 1mm que posiblemente fueron depositados en medio acuoso.

Descripción microscópica: La imagen electrónica revela masas compactas irregulares a botroidales de cristales esqueléticos subhedrales a anhedrales de morfología hojosa y

globular con tamaño de partícula muy variable (0.5 a 50 μm) que aparentemente no tienen una disposición geométrica.

El difractograma obtenido por DRX para este material muestra que los principales minerales presentes son: cuarzo y mordenita.

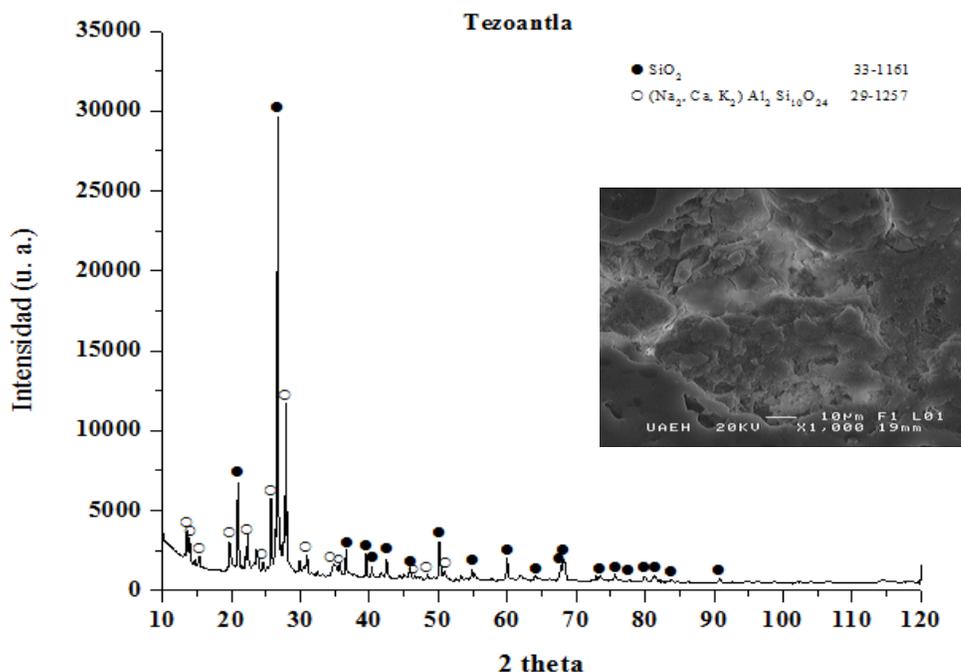


Figura 3. Difractograma de rayos X y fotomicrografía electrónica MEB de la muestra Tezoantla (muestra polvo consolidada con resina epóxica y pulido metalográfico).

Los resultados obtenidos del análisis de roca total se muestran en la Tabla 1. Se observa que el óxido con un mayor porcentaje de abundancia para los tres materiales es el de silicio, lo cual coincide con lo obtenido mediante DRX, a éste le sigue el óxido de aluminio con porcentajes superiores al 10% y otros óxidos con menor abundancia.

Tabla 1.

Elemento	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total
Unidad	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Límite de detección	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.005	0.01		0.01
Método de análisis	FUS- ICP	FUS- ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP
CALDERONES	70.71	14.96	3.04	0.11	0.34	0.34	3.12	4.08	0.213	0.03	2.77	99.71
TEZOANTLA	70.81	11.88	1.29	0.03	0.14	1.48	2.72	2.01	0.115	< 0.01	8.66	99.14
DOLORES	73.9	13.06	1.75	< 0.01	0.02	0.23	0.04	0.8	0.106	0.06	9.28	99.25

El análisis de retención de Pb y Cr de las pruebas realizadas en *batch*, indican que la muestra de Tezoantla presenta la mejor capacidad de retención para ambos elementos, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Retención de Pb y Cr en materiales naturales en pruebas de *batch* por EAA ($C_0 = 25 \mu\text{g mL}^{-1}$).

Material	Tiempo (h)	Conc. leída Pb ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	% retenido Pb	Conc. leída Cr ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	% retenido Cr
Calderones	2	9.26 ± 1.1	62.94	19.94 ± 2.2	20.21
	24	13.03 ± 1.7	47.87	21.46 ± 3.7	14.15
Dolores	2	24.61 ± 2.34	1.52	25 ± 2.14	0.0
	24	24.02 ± 1.97	3.90	25 ± 2.78	0.0
Tezoantla	2	1.94 ± 0.19	92.23	7.45 ± 1.22	70.18
	24	2.46 ± 0.65	90.14	9.62 ± 2.39	61.5

C_0 = Conc. inicial

CONCLUSIONES

El material de Tezoantla presenta elevados porcentajes de remoción de Pb y Cr en las pruebas *batch* (superiores al 90% para Pb y entre 60 y 70% para Cr) en consecuencia con este material se están realizando actualmente pruebas en flujo continuo en columna para determinar su capacidad real.

Solo en la muestra de Tezoantla se pudo identificar la presencia de la zeolita mordenita, a la que se atribuyen los mejores porcentajes de remoción de Pb y Cr y consideramos que éstos se pueden incrementar al concentrar la mordenita en la muestra adsorbente.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada para la realización de este proyecto de tesis de Maestría en Ciencias Químicas.

REFERENCIAS

1. Guangqun, T. & D. Xiao., Journal of Hazardous Materials., 164,1359 (2009).
2. López, C. M. del S.; et al., Interciencia, 37: 8, 614 (2012).
3. Coombs, S. D.; et al., The Canadian Mineralogist, 35, 1571 (1997).
4. Guerra, D.L., Oliveira, H.C.P., Correa da Costa, P.C., Viana, R.R. & Airoidi, C., Catena, 82, 35 (2010).
5. Pandey, P.K., Sharma, S.K., & Sambhi, S.S., Int. J. Environ. Sci. Tech., 7, 295 (2010).
6. Leyva-Ramos, R.; et al., Rev. Soc. Quím. Méx., 48:130-136 (2004).
7. Gupta, V.K., Rastogi, A., & Nayak, A. J. Colloid. Interf. Sci., 342, 135 (2010).

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

Leticia Torres^a, Damaris Arévalo^a, Juan F. Cárdenas^a, María de Guadalupe Moctezuma^a, Víctor Manuel Martínez^b, Ismael Acosta^{a*}

^aLaboratorio de Micología Experimental. CIEP. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Dr. Manuel Nava No. 6. Zona Universitaria. C.P. 78320. San Luis Potosí, S.L.P. México.

^bÁrea Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

*iacosta@uaslp.mx

INTRODUCCIÓN

Debido a las actividades industriales, como la producción de acero, minería, cemento y curtido de pieles, ciertas zonas de la República Mexicana, tienen altos niveles de cromo en suelo y agua [1]. El uso de lodos de aguas negras o de fertilizantes con diferentes concentraciones del catión, en algunas prácticas agronómicas, son otros de los factores contribuyentes a la contaminación ambiental por el metal. Pese a que este metal es un elemento esencial para hombres y animales, niveles elevados del mismo (15 µg en agua de ríos y 0.10 mg /L en agua potable) resultan tóxicos en los seres vivos. Particularmente, el Cr (VI) tiene efectos carcinogénicos y mutagénicos en humanos, animales y bacterias [1]. En las aguas residuales, el Cr (VI), se encuentra en solución como CrO_4^{2-} [2], puede removerse por reducción, por precipitación química, por adsorción y por intercambio iónico [3]. Actualmente, el proceso más utilizado es la adición de un agente reductor que convierta el Cr (VI) a Cr (III) y posteriormente se le precipita con soluciones básicas a $\text{Cr}(\text{OH})_3$ [3].

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

SECCIÓN EXPERIMENTAL Y/O FUNDAMENTO TEÓRICO

Se utilizó la biomasa celular de cáscara de toronja obtenida de diferentes mercados sobre ruedas de la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, en el período mayo-junio de 2013. Ésta, se lavó con agua tridesionizada durante 72 h, y se calentó a ebullición 60 min, para remover el polvo y los componentes orgánicos adheridos, se volvió a lavar con agua tridesionizada 24 h, se secó (60°C, 24 h) en estufa bacteriológica, se molió hasta la obtención de un polvo fino, y se guardó hasta su uso, en frascos de vidrio ámbar a temperatura ambiente.

Se trabajó con 100 mL de una solución de 50 mg/L de concentración de Cr (VI) obtenida por dilución de una solución patrón de 71.86 mg/L preparada en agua tridesionizada a partir de

K_2CrO_4 . Se ajustó el pH de la dilución a analizar con H_2SO_4 1 M y/o NaOH 1 M, antes de adicionarla a la biomasa celular.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo, se encontró que la biomasa de la cáscara de Toronja remueve eficientemente, y a tiempos cortos, 50 mg/L de Cromo (VI) en solución, pues a los 70 min, 1g de biomasa remueve el 100% del metal como se observa en la Figura 1. La literatura, Pérez y cols., [6] reportan un tiempo óptimo de remoción de plomo de 60 min utilizando cáscara de naranja, y de 2 h para la remoción de Cromo (VI) por la corteza de eucalipto [7]. Cabe mencionar que el tiempo de remoción óptimo encontrado en este trabajo es menor a lo reportado por Agarwal y cols., [8], y Popuri y cols., [9] quienes establecen tiempos de 180 y 120 min para las semillas y la cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico, respectivamente. Cambios en la permeabilidad, de origen desconocido, podrían explicar en parte las diferencias encontradas en el tiempo de incubación, proporcionando mayor o menor exposición de los grupos funcionales de la pared celular de la biomasa [10].

Con respecto a la influencia del pH inicial sobre la eficiencia de remoción, se encontró que la mayor actividad se evidenció a pH 1.0 +/-0.2, pues a los 70 min se remueve el 100% del metal (Figura 1), lo cual coincide con algunos reportes de la literatura [11, 12]. Para las biomásas naturales, la mayoría de los autores reportan un pH óptimo de 2.0 como: semillas de tamarindo [8], la corteza de eucalipto [6]; bagazo y pulpa de caña de azúcar [13], fibras de coco [14] y lana [15], y un pH de 3.0 para la cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico [9]. El Cromo (VI) se encuentra como $HCrO_4^-$, $Cr_2O_7^{2-}$, CrO_4^{2-} , $Cr_4O_{13}^{2-}$, $Cr_3O_{10}^{2-}$, [16]. Una baja en el pH causa la protonación de la superficie del adsorbente, lo que induce una fuerte atracción por los iones Cromo (VI) de la solución cargados negativamente, por lo que la bioadsorción incrementa al aumentar la acidez de la solución. Sin embargo, cuando el pH aumenta, se incrementa la concentración de iones OH^- , induciendo cambios en la superficie del adsorbente, impidiendo la bioadsorción de los iones Cromo (VI) cargados negativamente, lo cual disminuye la adsorción del metal a esos valores de pH [17].

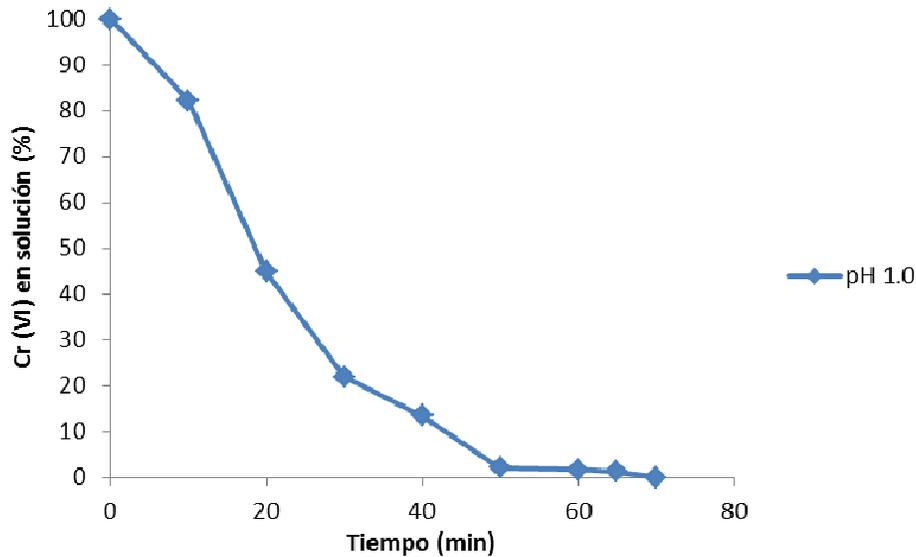


Figura 1a.- Remoción de 50 mg/L de Cr (VI) en solución. 1g de biomasa, 28°C, 100 rpm de agitación constante.

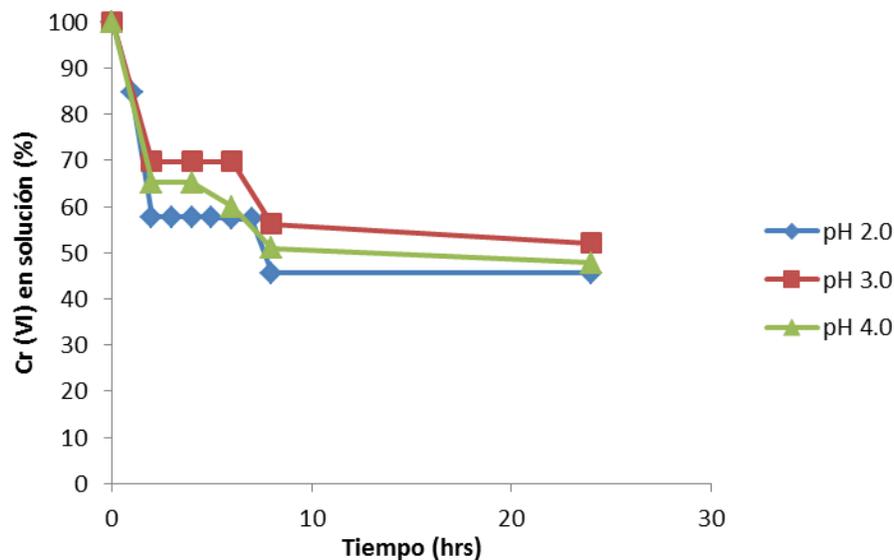


Figura 1b.- Efecto de diferentes pH's sobre la remoción de 50 mg/L de Cr (VI) en solución. 1g de biomasa, 28°C, 100 rpm de agitación constante.

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

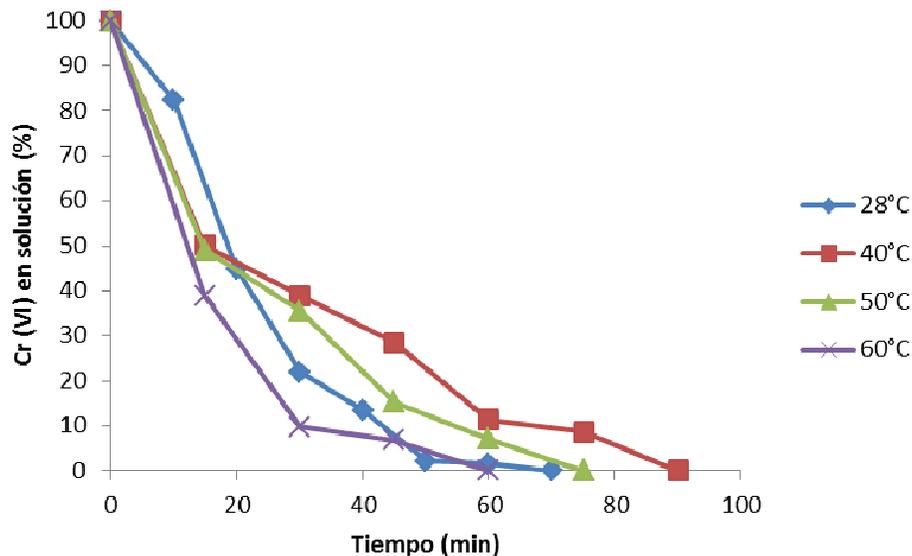


Figura 2.- Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de 50 mg/L de Cr (VI) en solución. 1 g de biomasa, 100 rpm de agitación constante, pH= 1.0.

También se encontró que la concentración del metal influye en la remoción del mismo, pues 200 mg/L de Cr (VI) se eliminan a los 60 min a 60°C, mientras que 1 g/L del metal se elimina a los 180 min., como se observa en la Figura 3, y esto es muy similar a otros reportes de la literatura [12]. Algunos autores [20], sostienen que la cantidad de metal eliminado por las biomasa de diferentes microorganismos, tales como *Mucorhiemalis* y *Rhizopusnigricans* aumenta en proporción directa con el incremento de la concentración del ión metálico en solución. Con respecto a las otras biomasa utilizadas, la mayoría de los autores reportan menores eficiencias de remoción del metal, por ejemplo: 45 mg/L por la corteza de eucalipto [7]; 13.4 y 17.2 mg/L por bagazo y pulpa de caña de azúcar [13], 29 mg/L por fibra de coco [14], 8.66 mg/L por la lana [15]. Al aumentar la cantidad de biomasa, también se incrementa la remoción de Cromo (VI) en solución como se observa en la Figura 4, pues 5 g de la cáscara remueven el 100% del metal a los 30 segundos, a 28°C, debido a que hay más sitios de bioadsorción del metal, ya que la cantidad de bioadsorbente añadido determina el número de sitios de unión disponibles para la bioadsorción del metal [3]. Resultados similares se han reportado para la cáscaras de litchi y naranja [11, 12], *R.nigricans*, aunque éste último con 10 g de biomasa [20], pero son diferentes a lo reportado por Zubair y cols., [21], para la biomasa de los desechos de la mandarina (gabazo), quienes reportan una concentración óptima de biomasa de 100 mg/L.

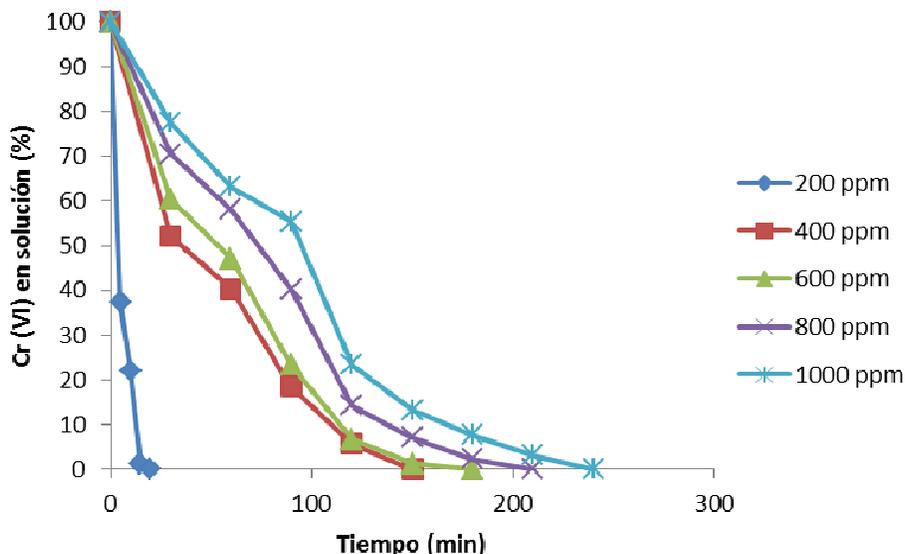


Figura 3.- Efecto de las diferentes concentraciones de Cr (VI) sobre la remoción del mismo en solución. 28°C, 100 rpm de agitación constante, pH=1.0.

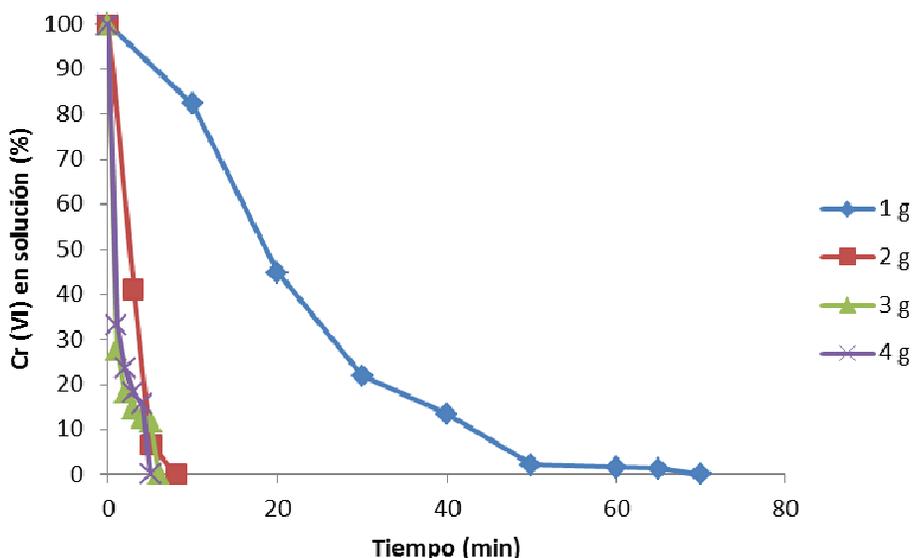


Figura 4.- Efecto de la concentración de la biomasa sobre la remoción de 50 mg/L de Cr (VI) en solución. 28°C, 100 rpm de agitación constante, pH=1.0.

CONCLUSIONES

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

REFERENCIAS

- [1] Viti, C., Pace A. y Giovenneti, L. (2003). Characterization of Cr(VI)-resistant bacteria isolated from Chromium-contaminated soil by tannery activity. *Current Microbiology*.46, 1-5.
- [2] Cotton, F.A. y Wilkinson, G. 1990. *Advanced Inorganic Chemistry*.4a. ed.; Chichester: U.K., p. 121.
- [3] Cervantes, C., Campos-García, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, J.F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzmán, J.C. y Moreno-Sánchez, R. (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiology Review*.25, 333-347,
- [4] Verma, A., Chakraborty, S. y Basu, J.K. (2006). Adsorption study of hexavalent chromium using tamarind hull-based adsorbents. *Separation and Purification Technology*. 50, 336-341.
- [5] Greenberg, A.; Clesceri, L.; Eaton, A. 2002. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18a. ed.; American Public Health Association, Washington, D.C., p. 3.58-3.60.
- [6] Pérez, A.B., Meseguer Zapata, V., Ortuño, J.F., Aguilar, M., Sáez, J. y Lloréns, M. J. (2007). Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption onto orange waste. *Journal of Hazardous Materials*. 139(1), 122-131.
- [7] Sarin, V. y Pant, K.K. (2006). Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. *Biores. Technol.* 97, 15-20.
- [8] Agarwal, G.S., Kumar, H., y Chaudar, S. (2006). Biosorption of aqueous chromium(VI) by *Tamarindus indica* seeds. *Bioresource Technology*.949-956.
- [9] Popuri, R.S., Jammala, A., NagaSuresh, K. y Abuburi, K. (2008). Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study. *Journal of Biotechnology*.10(3), 358-367.
- [10] Kratochvil, D. y Volesky, B. (1998). Advances in the biosorption of Heavy metals. *TIBTECH*. 16, 291-300.
- [11] Acosta-Rodríguez, I., Martínez-Pérez, R., Cardenas-Gonzalez, J.F., Moctezuma-Zarate, M.G. y Martínez-Juarez, V.M. (2012). Hexavalent Chromium Removal by *Litchi chinensis* Sonn Peel. *Journal of Biochemistry and Biotechnology*.8, (1), 7-13.
- [12] Acosta-Rodríguez, I., González Sánchez, H.M., Moctezuma-Zarate, M.G., Cárdenas González, J.F. y Martínez Juárez, V.M. (2012). Remoción de Cromo (VI) en solución por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* Osbeck). *Tlatemoani*.9, 1-17.
- [13] Sharma, D.C. y Forster, C.F. (1994). A preliminary examination into the adsorption of hexavalent chromium using low-cost adsorbents. *Bioresource Technology*. 47, 257-264.
- [14] Huang, C.P. y Wu, M.H. (1977). The removal chromium (VI) from dilute aqueous solution by activated carbon. *Water Research*.11, 673-679.
- [15] Dakiki, M., Khamis, M., Manassra, A. y Mereb, M. (2002). Selective adsorption of chromium(VI) in industrial wastewater using low-cost abundantly available adsorbents. *Advances in Environmental Research*.6, 533-540.
- [16] Rollinson, C.L. (1973). Chromium, molybdenum and tungsten, in: T. Dickson (ed), *Comprehensive Organic Chemistry*, 3a. ed. Pergamon Press, Oxford, UK. p. 691-694.
- [17] Gadd, G.M. y Griffiths, A.J. (1980). Effect of copper on morphology of *Aureobasidium pullulans*. *Transactions of the British Mycological Society*.74(2), 387-392.
- [18] Leyva, R., Bernal, L.A. y Acosta, I. (2005). Adsorption of cadmium (II) from aqueous solution on natural and oxidized corncob. *Separation and Purification Technology*. 45, 41-49.
- [19] Wittbrodt, P.R. y Palmer, C.D. (1996). *Environmental Science and Technology*.30(8), 2470-2477.

- [20] Bai, R.S. y Abraham, T.E. (2001). Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by *Rhizopusnigricans*. *BioresourceTechnology*. 79, 73-81.
- [21] Zubair, A., Bhatti, H.N., Hanif, M.A. y Shafqat, F. (2008). Kinetic and equilibrium modeling for Cr (III) and Cr (VI) removal from aqueous solutions by *Citrus reticulata* waste biomass. *Water Air and Soil Pollution*. 191, 305-318.

IMPPLICACIONES BIOGEOQUÍMICAS DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESERVADOS EN MADERA FÓSIL DE CONÍFERA DEL CRETÁCICO SUPERIOR DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE

Minerva Lugo^{1*}, Kinardo Flores^{1**}, Emilio Estrada², Jesús Martín Torres³
Juan Carlos Durán⁴, Carlos Esquivel⁵, Delia Mendoza¹

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

Mineral de la Reforma, Hidalgo.

²Laboratorio de Ecología, Departamento de Zoología. ENCB – Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas. Prolongación de Carpio y Plan de Ayala. s/n. Col. Santo Tomás.

Delegación Miguel Hidalgo. DF. CP. 11340.

³Área Académica de Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad Universitaria s/n, CP 42184, Pachuca, Hidalgo, México

⁴Posgrado de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México,

Ciudad Universitaria s/n, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

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

e-mail's: *minejuli@hotmail.com, **kinardo_flores@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo se implementan técnicas de geoquímica orgánica y analítica que permitieron recuperar compuestos orgánicos preservados en maderas fósiles correspondientes a coníferas. El material fosilífero está preservado en areniscas de grano grueso a conglomeráticas del Cretácico Superior (Coniaciano-Maastrichtiano) de la Sierra Cuesta El Infierno en el Desierto Chihuahuense.

La caracterización e interpretación de los compuestos orgánicos que conforman el bitumen (fracción soluble de la materia orgánica), permitieron hacer inferencias sobre las condiciones fisicoquímicas y biológicas paleoambientales prevalecientes. Con esto en mente y tomando como base el estudio preliminar realizado a una muestra de madera fósil de conífera por Flores–Castro (2012), se decide continuar la investigación a detalle, considerando una mayor cantidad de muestra y además realizando cortes y submuestreo de las estructuras internas del tronco (núcleo y anillos) y corteza, que se encuentran bien definidos y preservados; esto con el fin de incrementar la concentración de los compuestos traza, además de aplicar técnicas analíticas de purificación de los extractos de bitumen para incrementar la resolución de los cromatogramas.

Los compuestos orgánicos identificados mediante Cromatografía de Gases – Masa (CG-Ms) en una muestra representativa de madera fósil de conífera fueron: a) *Mayoritarios*: Isoprenoides y alcanos alifáticos que muestran una tendencia bimodal, característico de los ambientes transicionales donde la contribución de vegetación continental es mezclada con aporte marino. b) *Trazas*: se identifican los biomarcadores Cadaleno (sesquiterpeno aromático) y Reteno (diterpeno aromático), este último más abundante, lo cual se interpreta como un reflejo en la contribución de plantas que producen el reteno en las coníferas y esto trae consigo un significativo cambio en el clima (Van Aarssen *et al.*, 2000).

REFERENCIAS

Flores, K., Torres, J. M., Estrada, E., Durán, J.C., Piedad, N., Paz, F. y Monreal, R. 2012. Composición del bitumen extraído de conífera preservada en sedimentos del Cretácico Superior del Desierto Chihuahuense: Reporte preliminar. Actas INAGEQ, v. 18, n. 1, pp. 84-89.

Mendoza, D., Flores, K., Estrada, E., Durán, J.C., Torres, J.M. y Esquivel, C. 2012. Caracterización de compuestos orgánicos preservados en madera fósil del género *Javelinoxylon deca* (Malvaceae s.l.) del afloramiento DECA-Parque Cretácico, municipio de Aldama, Chihuahua (México). Actas INAGEQ, v. 18, n. 1, pp. 77-81.

Van Aarssen, B.G.K., Alexander, R. and Kagi, R.I., 2000. Higher plant biomarkers reflect palaeovegetation changes during Jurassic times. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. v. 64, p. 1417–1424.

SESIÓN VIII

GEOTERMIA

CHEMICAL GEOTHERMOMETRY IN EVALUATION OF GEOTHERMAL RESERVOIR CHARACTERISTICS: A THERMODYNAMIC POINT OF VIEW

Mahendra P. Verma¹ and Klaus Betzler²

¹Geotermia, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Reforma 113, Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos, 62490, México. e-mail: mahendra@iie.org.mx.

²Fachbereich Physik, Universität Osnabrück, Germany. e-mail: Klaus.Betzler@UOS.DE.

ABSTRACT

According to thermodynamics, any two state variables are necessary and sufficient in defining completely a given mass homogeneous system in a phase. For example, in the steam tables of pure water, temperature and pressure define all the thermodynamic properties in its phase (i.e. liquid, liquid I or vapor). The first thermometer (thermoscope) based on the variation of water density with temperature was invented by Galileo Galilei in 1603 or before. He himself observed that there was an error in the temperature readings due to the variation of atmospheric pressure. Thus any state function of a system may be used as thermometer and/or barometer. Quartz solubility geothermometer provides an estimate of temperature and vapor fraction in the geothermal reservoir. In this work the polynomial fit of solubility data is improved with implementing the constraint of exact functions

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_S \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_P \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -1, \text{ where } S = \log SiO_2 \text{ (ppm)}.$$

Similarly, the cation exchange geothermometers (e.g. Na⁺/K⁺ ratio) are empirical relations, used to estimate the deep geothermal reservoir temperature. The word “empirical” has certain meaning in the development of natural sciences. It implies that the reason of certain behavior (e.g. Na⁺/K⁺ ratio is a function of temperature in hydrothermal systems) is unknown; however, the empirical relation is not violating any existing theory or law of natural sciences. A chemical reaction in any system is governed by the laws of chemical thermodynamics. Thus there is need to justify that the observed empirical relations of cation exchange geothermometers are not against the laws of chemical thermodynamics. This work presents the merits and demerits of these two chemical geothermometers from the thermodynamic points of view.

INTRODUCTION

A long back it was well recognized that our basic necessity for survival is “energy”. We eat food to be alive. In this process the chemical energy is converted to mechanical energy. With this energy we can talk, walk, work, and so on. In this world of energy demand, the revolution came with the invention of “steam engine”. A steam engine is a heat engine that performs mechanical work using steam as its working fluid. Initially, the steam was produced by burning of woods or coal (i.e. converting chemical energy to heat). Now, many different types of energy resources like woods, coal, petroleum oil, natural gas, nuclear fuel, solar heat, geothermal heat, etc. are in use. Human being has invented various types of machines to convert different types of energies into work for making life more comfortable. In these energy conversion processes, the mankind has learnt the existence of some rules of nature which are known as the laws of thermodynamics: *0th law: definition of temperature, 1st law: conservation of energy and 2nd law: direction of spontaneous process.* Thermodynamic laws were well established by the end of

nineteenth century and various excellent textbooks were written in the twentieth century to describe these laws from different points of view (Verma, 2006).

In the geothermal industry, the estimation of deep reservoir temperature is essential for proper mining and utilization of geothermal heat. Consequently, various geothermometers were proposed: *quartz solubility geothermometers*, *cation exchange geothermometers*, *gas geothermometers*, and *stable isotope geothermometers*. This article is devoted to the thermodynamic aspects of first two types of geothermometers: *quartz solubility* and *cation exchange geothermometers*.

AN OVERVIEW ON THERMODYNAMICS

The intensive parameters (i.e. molar quantity in the case of extensive parameters) are here used to avoid the consideration of mass factor.

1. Temperature (T), pressure (P), volume (V), internal energy (U), enthalpy (H), entropy (S), Gibbs free energy (G), Helmholtz energy (A) including conductivity, solubility, equilibrium constant of a chemical reaction, etc. are state functions.
2. Any two state functions are sufficient and necessary to define completely a pure homogeneous system in a phase. The number of independent state variables of multi-component and multi-phase systems can be determined by the Gibbs phase rule.
3. The variation of a state function between two points is independent of trajectory (path) and the past history of the substance.
4. If Z is a dependent state function of two state variables X and Y, it should fulfill the following relations of a mathematical exact function.

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial Y \partial X} = \frac{\partial^2 Z}{\partial X \partial Y} \quad (1)$$

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)_Y \left(\frac{\partial X}{\partial Y}\right)_Z \left(\frac{\partial Y}{\partial Z}\right)_X = -1 \quad (2)$$

If one independent variable (say Y) is constant, we are looking for the behavior of X with Z and vice versa. In this case the equation 2 reduces to

$$\left(\frac{\partial X}{\partial Z}\right) \left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right) = 1 \quad (3)$$

The derivation of Maxwell's equations is based on these characteristics of exact functions. These properties of exact functions (i.e. equations 1 to 3) clearly show that there cannot be maximum-minimum (i.e. multi-valued functions) in the behavior state functions. If the same value of Z exists for two values of X (say X_1 and X_2) at constant Y, there should be at least one minimum or maximum in the behavior of Z or the same value of Z for any value of X between X_1 and X_2 . Various possible behaviors are shown in Figure 1. At the minimum or maximum (say at the maximum point M), one can write $\Delta X = \pm ve$, $\Delta Z = 0$, $\left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right) = 0$ and $\left(\frac{\partial X}{\partial Z}\right) = \infty$. Thus $\left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right) \left(\frac{\partial X}{\partial Z}\right) = 0 \times \infty \Rightarrow$ indeterminate, but not = 1.

Figure 2 presents the impermissible behavior of a state function Z in a pure phase with respect to the independent state variable X when other independent state variable Y is constant. This is valid for any three state functions. In Figure 2a there are multiple-values of Z or X. The crossing of tendencies implies that the constant variable (Y) has multiple values and is not a state function (Figure 2b). In Figure 2c there is a point of inflexion in the tendencies between X and Z while Y is constant. There should not be any crossing on either side of the point of inflexion and the plots for different values of Y should be approximately parallel (i.e. independent of Y). Otherwise, if these tendencies are re-plotted between X (or Z) and Y at constant Z (or X), there will be a crossing, an extreme point at

the point of inflexion or merge to a point. It means that Y must be multiple-valued point and cannot be a state function.

The minimum specific volume of water at $\sim 277\text{K}$ (4°C) was a big challenge at the time of Gibbs to explain with the laws of thermodynamics; so, it was called as anomalous to the laws of thermodynamics. Now, it is clear that water has two liquid phases and the anomalous behavior problem is resolved.

Thermodynamics does not impose any restriction on the behavior of a state function (say Z) with respect to independent state variables (say X and Y) for a system. However, if we know the behavior of X with Y and behavior of Z with X (or Y), we can predict the behavior of Z with Y (or X) according to equation 2. For example, in the case of an ideal gas system of constant V, T increases with increasing P and vice versa. It means if V increases with T, it should decrease with P. On considering T and P and vice versa. It means if V increases with T, it should decrease with P. On considering T and P as independent variables and V is uniquely defined.

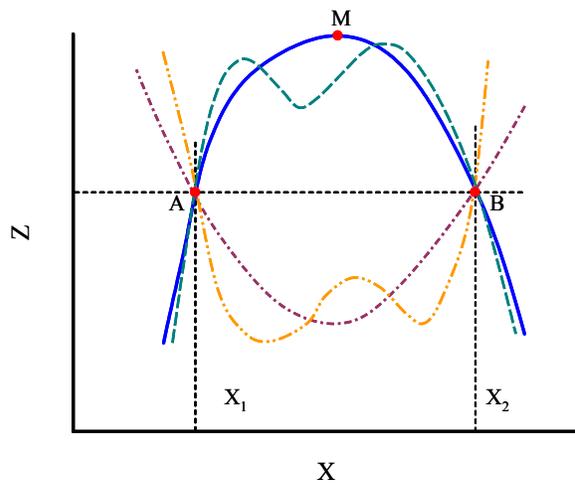


Figure 1: Possible behaviors of a state function Z as a function of independent state variable X, when it has same value for two values of X at points A and B. There will be at least one maximum or minimum in the behavior of Z. For example, a maximum in the solid curve, is marked by a point M (Verma, 2006).

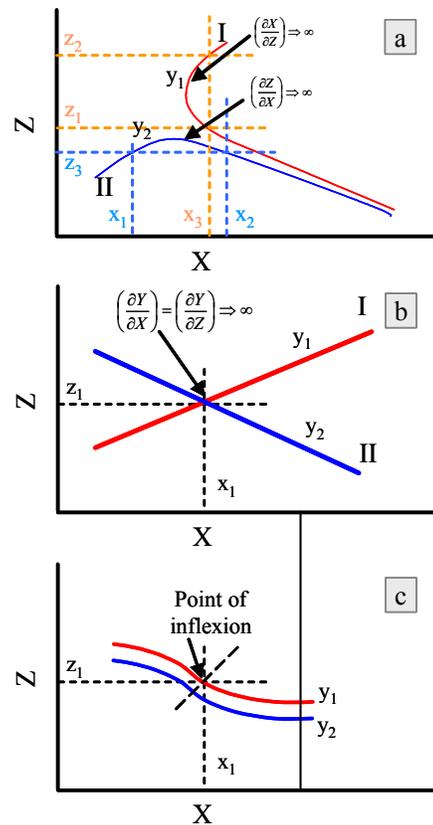


Figure 2: Impermissible of a state function in a pure phase: a) multiple values b) crossing of tendency and c) point of inflexion (Verma, 2006).

Similarly, all the other state functions should have fixed values (i.e. uniquely defined) under the situation. Thus, the P and T behavior should be similar for all the other state functions as that for V. In summary there should be similar and systematic behaviors of other state functions.

In order to understand the behavior of a state function X with P and T, let us rewrite the equation 2 as

$$\left(\frac{\partial X}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_X \quad (4)$$

If T increases with increasing P at constant X in a system, then $(\partial T/\partial P)_X = +ve$. If X increases with T, it should decrease with P in order to fulfill the equation 4. Contrarily, if T decreases with increasing P at constant X, then $(\partial T/\partial P)_X = -ve$. In this case if X increases (or decreases) with T, it should also increase (or decrease) with P. For example, the density of water in the liquid phase increases with P, while decreases with T. Its behavior is contrary in the liquid I phase (Verma, 2011).

There are two concepts which need to be recapitulated:

1. *Increase in the entropy of universe*: it is written in most of the thermodynamic books that the entropy of the universe is increasing. In thermodynamics the studied part is considered as system and the rest of the universe as its surroundings and an amount of energy (heat or work) is given to the system. If this energy is obtained from outside of the universe, the entropy of universe may increase. But the energy is also part of the universe. In other words the universe is an isolated system and its entropy is constant. If the entropy of universe is increasing, the process of its expansion-contraction cannot be explained on the basis of thermodynamics.
2. *Internal energy of ideal gas as function of T*: It is considered that the equation of state(EOS) of an ideal gas is $PV = RT$ and its internal energy is only the function of temperature. According to the Gibbs phase rule, a state function of a pure substance in a phase (ideal gas) should be a function of two thermodynamic variables (e.g. T and P). The EOS is in agreement with it. However, if we consider U as a function of T only, then U is not an independent state function due to the following reasons:
 - *The characteristics of ideal gas cannot be defined considering T and U as independent state variables.*
 - *U can be expressed as a polynomial of T. A polynomial of a state function is not another independent state function. For example, T^2 is not another state function.*

Thus the concept of ideal gas is an extreme case and none of the real gases has internal energy as function of T only and cannot be an ideal gas in the conditions of most of the studied systems in the laboratory and in nature.

CHEMICAL GEOTHERMOMETERS:

1. **Quartz Solubility Geothermometers**: All quartz solubility geothermometers are based on the experimental quartz solubility data along the saturation curve. The application of these geothermometers to the higher temperature (say above 330°C)

geothermal brines has limitations since the brines are generally highly saline. The experimental quartz solubility data in pure water along the liquid–vapor saturation curve have been fitted to four different types of equations (Verma, 2012a): (i) temperature as a polynomial of SiO₂ including logarithmic terms, (ii) a polynomial of absolute temperature including logarithmic terms, (iii) a linear equation relating log SiO₂ to the inverse of absolute temperature and (iv) a quadratic equation of 1/T and P.

Betzler (2003) wrote the excellent lecture notes on the curve fittings in Matlab. He emphasized, “Never mistake fitting for Physics”. One has to look for the principles of physics behind the curve fitting. Verma (2012a) advocated the fitting the quartz solubility data in a quadratic equation of 1/T and P

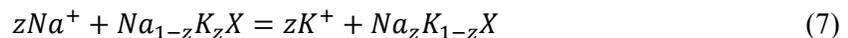
$$\log SiO_2(ppm) = a + b \frac{1}{T(in K)} + c P(MPa) + d \frac{1}{T^2} + e \frac{P}{T} + f P^2 \quad (5)$$

The equation 1 was internally fulfilled in the polynomial. However, this work improves the polynomial fitting with implementing the second constraint (i.e. equation 2) of exact functions

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_S \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_P \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -1, \text{ where } S = \log SiO_2(ppm) \quad (6)$$

Table 1 shows the equations of polynomial fittings with and without implementing of the constraint and the equations are shown in Figure 3. It can be observed that the extrapolation of polynomial of solubility data up to 300°C with implementing the constraint is very close to the polynomial for the all the data. Contrary, the polynomial of solubility data up to 300°C without implementing the constraint is very different. In other words, the implementation of constraint is necessary for the physical data curve fitting.

2. **Cation exchange geothermometers:** These are empirical relation among the proportion of cation concentrations (e.g. Na⁺/K⁺), used to estimate deep geothermal reservoir temperature (Verma, 2012b). Various cation exchange geothermometers have been developed with varying the values of the coefficients of regression equations and/or involving different types of cations.



where the capital X represents an anion and z denotes the stoichiometric coefficient. The equilibrium constant of this reaction is given by

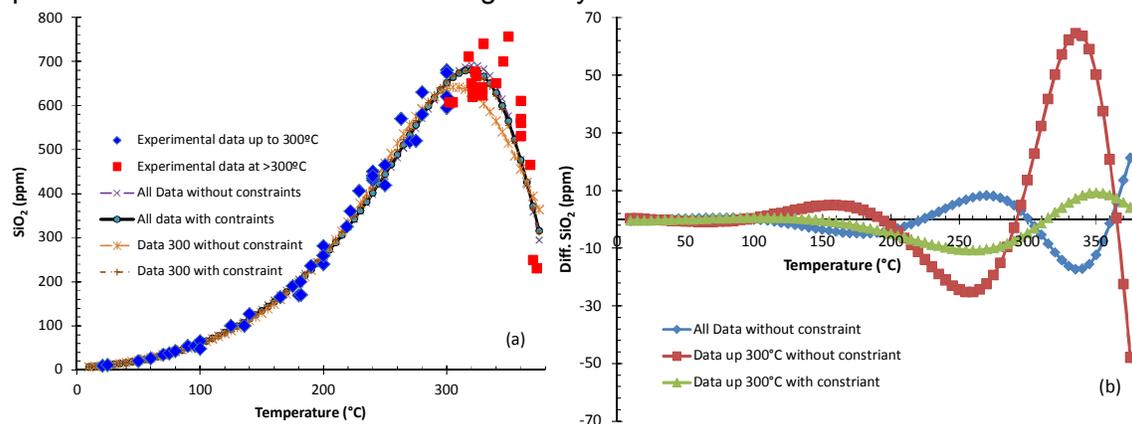


Figure 3: (a) Quartz solubility equations with experimental data along liquid-vapor saturation curve. The constraint is $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_S \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_P \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -1$, where $S = \log SiO_2$. (b) Difference in SiO₂ concentration with respect to that of the polynomial for all data with implementing the constraint (i.e. equation 2).

Table 1: Quadratic polynomial of 1/T and P for quartzsolubility

Equation	Type
1. $\log SiO_2(ppm) = 4.6970 - 1080.13/T(in K) + 0.06808 P(MPa) - 3295.02/T^2 - 27.44 P/T - 2.200 \times 10^{-3} P^2$	All data with constraint
2. $\log SiO_2(ppm) = 6.1393 - 2031.11/T(in K) - 0.33262 P(MPa) - 1.5305 \times 10^5/T^2 - 189.44 P/T - 3.6102 \times 10^{-3} P^2$	All data without constraint
3. $\log SiO_2(ppm) = 5.0175 - 1315.88/T(in K) - 0.05036 P(MPa) - 3.941 \times 10^4/T^2 - 20.67 P/T - 2.003 \times 10^{-3} P^2$	Data up to 300°C with constraint
4. $\log SiO_2(ppm) = 2.5296 - 311.18/T(in K) - 0.4800 P(MPa) - 2.1564/T^2 - 297.64 P/T - 1.1091 \times 10^{-4} P^2$	Data up to 300°C without constraint

$$K_{eq} = \exp\left(-\frac{\Delta G_F^{T,P}}{RT}\right) = \frac{(a_{K^+})^z (a_{Na_z K_{1-z} X})}{(a_{Na^+})^z (a_{Na_{1-z} K_z X})} \quad (8)$$

where $\Delta G_F^{T,P}$ is the difference in the Gibbs' free energy of formation of the products and reactants at any temperature (T) and pressure (P), subscript F stands for formation, R is the gas constant, "a" is the activity of respective species.

The activity coefficient is considered to unity in case of dilute solution. Similarly, the activity of solid phases is also considered as unity in developing the geothermometers. The equilibrium constant (eq. 8) is reduced to

$$K_{eq} = \left(\frac{[K^+]}{[Na^+]}\right)^z \quad (9)$$

where the square brackets [] represent the molal concentration of the species.

Let us analyze the above treatment for the development of cation exchange geothermometers on the basis of the laws of chemistry and chemical thermodynamics

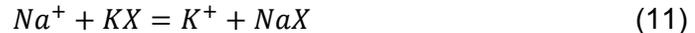
- There are some materials which have affinity to capture some cation (say Na^+) and liberate other (say K^+) under certain environmental conditions. These types of reactions are unidirectional for the given environment. Writing a chemical reaction like equation 7 with "=" sign means that the reaction is in equilibrium (i.e. some reactants form products and the equal amount products form reactants). Thus there is equilibrium between reactants (Na^+ , $Na_{1-z} K_z X$) and products (K^+ , $Na_z K_{1-z} X$). Clearly, the minerals $Na_{1-z} K_z X$ and $Na_z K_{1-z} X$ cannot be the same.
- The mixed-minerals like $Na_{1-z} K_z X$ are not pure phase, so their activity cannot be considered as unity.
- On substituting $z = 0.5$, the equation 7 reduces to



It is quite clear that it is not possible even if $Na_{0.5} K_{0.5} X$ and $Na_{0.5} K_{0.5} X$ are different minerals.

- It is well established in chemistry that a molecule cannot have a fraction of an atom. For example, we cannot write the water molecule as $HO_{0.5}$. It

means that one atom of hydrogen reacts with half atom of oxygen to form water. An atom is the smallest entity in chemical reactions. So, a mineral molecule cannot be written as $Na_{1-z}K_zX$ unless z is an integer. The second thing is to know the structural formula of the molecule or specie. Thus z can be “0” or “1” in this case and the equation 7 reduces to



- e. According to equation 11 the reactants (Na^+ , KX) form products (K^+ , NaX). We cannot have free ions. It means that equation 11 (or 7) is a partial chemical reaction. Thus there is need to understand first the full chemical reaction instead of developing a geothermometer on the basis of partial chemical reaction.
- f. Similarly, there are Na^+ and K^+ in the solution according to equation 11 (or 7). A solution should be electrically neutral. It means that the concentrations of Na^+ and K^+ are controlled by some anions in the solution. We have to know the effect of controlling anions on the equilibrium constant of the “cation exchange” reaction.

In summary the derivation of cation exchange geothermometers is against the basic laws of chemistry and chemical thermodynamics.

CONCLUSIONES

The quartz solubility geothermometer is thermodynamically valid tool for estimating geothermal reservoir temperature and vapor fraction. The quadratic polynomial of $1/T$ and P of SiO_2 solubility with the constraints of exact function is essential.

The cation exchange geothermometers are against the basic laws of chemistry and thermodynamics and must be abandoned.

REFERENCIAS

1. Betzler K. (2003). Fitting in Matlab. <http://betzler.physik.uni-osnabrueck.de/Skripten/short/fitp.pdf>.
2. Verma M.P. (2006). Thermodynamics, equations of state and experimental data: a review, Journal of Engineering and Applied Sciences, 1:1, 35-43.
3. Verma M.P. (2011). SteamTablesGrid: an ActiveX control for thermodynamic properties of pure water, Computers & Geosciences, 36, 582-587.
4. Verma M.P. (2012a). QtzGeotherm: arevised algorithm for quartz solubility geothermometry to estimate geothermal reservoir temperature and vapor fraction with multivariate analytical uncertainty propagation, Computers & Geosciences, 48, 316-322.
5. Verma M.P. (2012b). Cation exchange geothermometry: a critique, Geothermia, 25, 53-56.

ROCK MAGNETIC PARAMETERS OF VOLCANIC ROCKS IN GEOTHERMAL AREAS: APPLICATION POTENTIAL IN IDENTIFICATION OF ZONES OF HYDROTHERMAL ALTERATION

Kailasa Pandarinath^{*1}, Rajasekhariah Shankar² and Eduardo González-Partida³

¹*Departamento de Sistemas Energéticos, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, 62580 Temixco, Morelos, México. *E-mail:*

pk@ier.unam.mx

²*Department of Marine Geology, Mangalore University, Mangalagangothri, 574199 Karnataka, India.*

³*Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus UNAM-Juriquilla, C.P. 76230, Querétaro, México.*

ABSTRACT

In geothermal areas, hydrothermal fluids reach the Earth's surface through faults, fractures, gaps and cracks. These fluids react with the sub-surface and surface rocks. Some minerals (primary) present in the rocks become unstable as a result of interaction with the geothermal fluids. Due to this instability, a new equilibrium is attained between the minerals and geothermal fluids through dissolution of primary minerals and precipitation of new mineral phases known as hydrothermal (secondary) minerals. The distribution of a zone of hydrothermal minerals provides information on the size of a geothermal system, the nature of fluid-rock interaction processes and thermal conditions prevailing at depths (reservoir). These aspects are of great importance during the initial phase of geothermal exploration.

Upon interaction with fluids in a hydrothermal environment, many minerals (including ferrimagnetic minerals) in volcanic rocks get altered to new minerals, which are more stable in the newer hydrothermal conditions. In general, it is expected that the magnetic susceptibility values of the altered volcanic rocks are much lower compared with the values of fresh (unaltered) volcanic rocks. Therefore, an anomaly of low magnetic susceptibility values of rocks in a homogenous litho unit that is characterized by high magnetic susceptibility, in a geothermal area, may be an indicator of hydrothermal alteration. With this context, we have measured the rock magnetic parameters of the volcanic rocks obtained from the wells of two important geothermal fields (Los Azufres and Las Tres Vírgenes) of Mexico. The results indicated a decrease in magnetic susceptibility values with increase in grade of hydrothermal alteration of the rocks. The data of other rock magnetic parameters like anhysteretic remanent magnetization (ARM), isothermal remanent magnetization (IRM) and saturation isothermal remanent magnetization (SIRM)

is interpreted to understand the concentration of magnetic minerals and the proportion of altered to fresh minerals in the volcanic rocks.

CONCLUSIONS

Rock magnetic properties can be valuable tools in identification of hydrothermally altered rocks and zones of hydrothermal alteration.

AN EVALUATION OF SOLUTE MULTICOMPONENT GEOTHERMOMETRY USING ADVANCED GEOCHEMICAL MODELING: APPLICATION TO LOS AZUFRES GEOTHERMAL FIELD, MICHOACÁN (MÉXICO)

L. Peiffer, E. Santoyo, M. Guevara

Instituto de Energías Renovables, UNAM. Privada Xochicalco s/n, Centro Temixco, Morelos 62580,
México; lpeiffer@ier.unam.mx

Solute geothermometers have been recognized as powerful and costless exploration tools allowing the estimation of deep equilibrium temperatures in geothermal reservoirs. Geothermometers rely on the basic assumption that the deep reservoir fluid has not re-equilibrated on its way to the surface, and its chemical composition sampled at the surface reflects chemical equilibrium (or near-equilibrium) with reservoir minerals. The most widely used geothermometers are based either on the absolute concentration of SiO_2 or the ratio of several cations like Na/K, Na/Li, and Na/K/Ca/(Mg). They usually provide satisfactory temperature predictions, especially if the reservoir fluid is equilibrated with silica polymorphs and Na-K feldspars. Nevertheless, it has been shown that the temperature estimates are usually unreliable at lower temperatures ($<150^\circ\text{C}$). In this study, advanced geochemical modeling under equilibrium-kinetic conditions and static (batch)-dynamic (reactive transport) settings were performed at low and high temperatures with different mineral assemblages for assessing the results of solute geothermometers. Extensive data sets of water-gas-rock-mineral analyses from Los Azufres geothermal field were used to constrain our model. We believe that the spatial heterogeneous distribution of minerals within a geothermal field is

responsible for some errors associated with the use of geothermometers. In fact, with decreasing temperature primary minerals like feldspars become unstable, and are usually altered into clay minerals. Taking into account these minerals, and not only the ones considered by the SiO_2 and Na-K geothermometers, the multicomponent approach greatly improves the reservoir temperature estimation, especially for low enthalpy geothermal reservoirs. Finally, we also show that under dynamic conditions (water flow), full equilibrium conditions can not be reached within a certain distance from the recharge area, and therefore solute geothermometry assumption of equilibrium is not respected. Several keys for indentifying such conditions and how to avoid wrong temperature estimates are therefore proposed.

IMPORTANCE OF THE SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF POWER GENERATION TECHNOLOGIES: A PRELIMINAR PROPOSAL FOR THE GEOTHERMAL ENERGY

E. Santoyo-Castelazo^{1,2}, E. Santoyo³

¹Consultor Independiente en Desarrollo Sustentable y Planeación Energética, México, DF (Adscripción actual).

²University of Manchester, School of Chemical Engineering and Analytical Science, U.K. (Former address)

*Corresponding author: edgar.santoyocastelazo@gmail.com

³Departamento de Sistemas Energéticos, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/no., Centro, Temixco 62580, México.

ABSTRACT

Mitigation of Greenhouse Gas (GHG) emissions it is currently a priority activity within the international agenda, to limit the global temperature increase to 2 °C, and thus avoid major catastrophes (affecting mainly humans and the environment, and consequently the economy). Mexico is joining these efforts by aiming for a 50% reduction of its GHG emissions from 2000 levels by 2050. The power sector has been identified as very promising sector to cut emissions, thus low-carbon technologies as well reduction of energy demand are needed¹. Also, there is a strong concern in security of energy supply as oil reserves are fast depleting². Even though it has been reported that Mexico has potentially large reserves of shale gas, these are not an immediate solution due high Research & Development (R&D) investments required for exploration and extraction. On the other hand, it's well-known that Mexico's renewable energy potential is vast, and if developed, it can meet the country's energy demand in the future. Geothermal energy is being already for many years (together with hydro power), the most developed renewable energy in Mexico due to its high reliability (to provide 24 h base load electricity supply), and vast resources (both for heat and power supply). High geothermal energy resources have been estimated as ~12,000 MW of which only 958 MW have been exploited (through dry steam, flash and binary technologies)³. Mexico's current geothermal installed capacity ranks 4th in the world, just after USA, Philippines, and Indonesia. Geothermal power is also a low-carbon energy sources which could potentially contribute in meeting the country's 50% reduction target; where the power sector alone would need to cut its GHG emissions by 85% from today's emissions. Moreover, enhanced geothermal systems (EGS) are gaining more attention worldwide, especially in USA where R&D is more advanced. Although Mexico has also a large EGS potential, it has not been fully estimated yet. It is therefore essential for the Mexican Government to work in strategies (policy

making and R&D investment) to support the development of geothermal power in Mexico, as this would bring both economic and environmental benefits for the country.

LCA is a novel environmental tool currently used for evaluating a wide variety of power generation technologies and industrial processes¹. In the case of the geothermal energy systems, LCA has been previously applied for the evaluation of: (i) the environmental impacts of some geothermal power systems⁴; (ii) the drilling and completion processes of geothermal wells⁵; (iii) the geothermal binary power plants using enhanced low-temperature reservoirs⁶; (iv) the environmental analysis of practical design options for enhanced geothermal systems (EGS)⁷; among other applications. A more comprehensive use of other sustainability tools have also been applied for the evaluation of environmental optimal configurations of geothermal energy conversion systems⁸. Most of these studies have been focused only on environmental indicators, however an integrated framework of sustainability covers a set of environmental impacts (i.e. global warming, acidification), economic and social indicators (quantitative and qualitative). This novel study enables the sustainability evaluation of geothermal power against conventional technologies and other renewable energies. This work presents a research plan for evaluating the sustainability of geothermal power generation in Mexico based on a life cycle assessment (LCA). A set of sustainability indicators will be also used as an integrated framework for this study to involve environmental, techno-economic and social indicators.

CONCLUSIONS

A preliminary proposal will be presented, for the first time, for evaluating the sustainability of geothermal power plants of Mexico. The identification of suitable sustainability indicators (environmental, techno-economic and social) will be also proposed.

REFERENCES

1. Santoyo-Castelazo E., Sustainability assessment of electricity options for Mexico: Current situation and future Scenarios, *Ph.D Thesis, University of Manchester*, School of Chemical Engineering and Analytical Science, U.K. (2011).
2. Santoyo-Castelazo E., Gujba H., Azapagic A., Life cycle assessment of electricity generation in Mexico, *Energy* 36, 1488-1499 (2011).
3. Santoyo E., Barragán-Reyes R.M., Energía geotérmica, Volumen Especial sobre Energías Alternativas, *Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias* 61(2), 40-51 (2010).

4. Clark C., Sullivan J., Harto C., Han J., Wang M., Life cycle environmental impacts of geothermal systems, **Proc. 37th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering**, Stanford University, CA, USA, 8 p. (2012)
5. Jaimes-Maldonado J.G., Gutiérrez-Negrín L.C.A., Díez León, H.D., Life cycle of geothermal wells – experience in Mexico, **Short Course on Geothermal Development and Geothermal Wells**, United Nations, Geothermal Training Programme, El Salvador, 11 p. (2012).
6. Frick S., Kaltschmitt M., Schröder G., Life cycle assessment of geothermal binary power plants using enhanced low-temperature reservoirs, **Energy** 35, 2281-2294 (2010).
7. Lacirignola M., Blanc I., Environmental analysis of practical design options for enhanced geothermal systems (EGS) through life-cycle assessment, **Renewable Energy** 50, 901-914 (2013).
8. Gerber L., Maréchal F., Environomic optimal configurations of geothermal energy conversion systems: Application to the future construction of enhanced geothermal systems in Switzerland, **Energy** 45, 908-923 (2012).

SESIÓN ESPECIAL

CIEN AÑOS

DE GEOCRONOLOGÍA

EN EL MUNDO – MÉXICO

¿DÓNDE ESTAMOS?

LA GEOQUÍMICA ISOTÓPICA Y LA GEOCRONOLOGÍA EN MÉXICO: HISTORIA Y AVANCES RECIENTES.

Peter Schaaf

*Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), Instituto de Geofísica
Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 México, D.F.
pschaaf@geofisica.unam.mx*

Recientemente (junio 2013) se celebró en Londres el primer siglo de la Geocronología y en México (febrero 2013) se organizó un simposio con el título “50 años $\pm 1\sigma$ años de Geocronología en México”. Las primeras aplicaciones geocronológicas en el país se realizaron a finales de los años 40 del siglo pasado y se publicaron en 1951 con fechamientos por radiocarbono en material orgánico encontrado en el flujo de lava del volcán Xitle. En 1961 se formó el Laboratorio de Geocronometría en el Instituto de Geología, UNAM, donde se aplicó el método Pb- α . Poco después se construyeron los primeros espectrómetros de masas con fuente iónica térmica por físicos de la UNAM (Fernando Alba y Pedro Morales). A continuación se instalaron laboratorios de Geoquímica Isotópica y de Geocronología en la UNAM (LUGIS, D.F.; LEI, Juriquilla) y en el CICESE. Estos tres laboratorios ahora cuentan con espectrómetros muy modernos (NEPTUNE Plus, TRITON Plus y VG5400) y ofrecen hoy fechamientos de zircons individuales por U-Pb utilizando diferentes técnicas y de minerales por K-Ar y $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$, parcialmente usando láseres para el micro-muestreo. Conforme al avance en los aspectos electrónicos y la computarización, el manejo de de la mayoría de estos equipos se ha cambiado de físicos y matemáticos a geólogos, lo cual ha funcionado bien en general, quizás con la excepción de los cálculos y presentaciones de los errores analíticos. El más fácil acceso a laboratorios de geoquímica isotópica en el país por parte de los investigadores y estudiantes ha revolucionado el conocimiento y la publicación de procesos geológicos en México durante las últimas dos décadas. Sin embargo, lo que aparentemente todavía hace falta es mejorar el conocimiento de los geólogos en los siguientes puntos: cuáles son las ventajas y desventajas de las diferentes técnicas isotópicas (la más nueva no necesariamente es la más adecuada), cuáles son los materiales más susceptibles a fechar (zircons, pero hay mucho más!) y sobre todo como se presentan estadísticamente correctos los errores analíticos de los datos isotópicos y los fechamientos.

Protolitos del Mesoproterozoico temprano en granulitas del SE de México y sus implicaciones al concepto de Oaxaquia – Evidencias con isótopos de U-Pb y Lu-Hf en zircón

Bodo Weber ^{*a}, Carlos Schulze ^b

^a Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada B.C., Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada B.C., México.

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510 Coyoacán DF, México

- bweber@cicese.mx

RESUMEN

En el E y SE de México se encuentran expuestos cuatro complejos de corteza inferior que definen “Oaxaquia” [1]. Estas granulitas han sido estudiados geocronológicamente desde principio de los años sesentas y su edad mesoproterozoica tardía (grenvilliana) ha sido aceptada ampliamente. Sin embargo, los intentos para desenredar el origen y la evolución tectónica de la corteza inferior se complican por el metamorfismo en facies de granulita, que oculta las características petrogenéticas y resetea sistemas isotópicos. Después de estudios geológicos más detallados que iniciaron en los noventas, se interpretó el origen de Oaxaquia en términos de un arco magmático, seguido por extensión tras-arco y migmatización previa a la intrusión de rocas AMCG y metamorfismo en facies de granulita; todos estos eventos se supuso que pasaron dentro de un intervalo de tiempo desde 1.25 a 0.97 Ga [2-5]. Recientemente, en zircón proveniente de un ortogneis del Huiznopala, Estado de Hidalgo, se detectó una evolución diferente indicando influencia de basamento continental del Mesoproterozoico temprano [6]. Para esclarecer estas diferencias se reexaminó el gneis Huiznopala y algunos afloramientos claves de los complejos Oaxaqueño y Guichicovi. Se aplicó fechamiento por U-Pb en zircón por ablación láser con MC-ICPMS y análisis de isótopos de Lu-Hf en granos individuales de zircón en solución por MC-ICPMS de muestras de orto- y paragneis.

Dos muestras de ortogneis del Huiznopala arrojó edades de un protolito ígneo en 1411 ± 27 Ma y 1412 ± 59 Ma, respectivamente. Una edad similar de 1444 ± 16 Ma se obtuvo de la migmatita “El Catrín” del complejo Oaxaqueño. Composiciones isotópicas de Hf indican que zircón cristalizó de una fuente en el manto empobrecido con cantidades variadas de corteza reciclada. La corteza del Mesoproterozoico temprano se fundió nuevamente durante un magmatismo de arco entre 1.25 y 1.2 Ga. Paragneis contiene esencialmente zircón detrítico proveniente de estas rocas ígneas con edades de entre 1.25 y 1.2 Ga. La sedimentación ocurrió probablemente en cuencas intra-arco después de 1.04 Ga, como

lo sugieren edades de zircón detrítico más joven. Ninguna de las muestras de paragneis del complejo Oaxaqueño y Huiznopala contiene zircón del Mesoproterozoico temprano o más antiguo, lo que implica ausencia de protolitos más antiguos durante la sedimentación. Sin embargo, diferencias en la composición isotópica de algunos zircones detríticos indican proveniencias de dos fuentes, un Oaxaquia típico y un precursor cortical más evolucionado de la misma edad. Paragneis del complejo Guichicovi, a cambio, también contiene zircón del Mesoproterozoico temprano y del Paleoproterozoico, lo que indica fuentes cratónicas.

CONCLUSIONES

Los nuevos resultados junto con evidencias reportadas previamente se interpretan en terminos de un sistema de arco oceánico llamado “proto-Oaxaquia”, que fue activo desde el Mesoproterozoico temprano (1.5-1.4 Ga) durante la desintegración del supercontinente Columbia [6]. Además de esto, los datos sugieren que este sistema de arco fue agregado a Amazonia contemporáneamente al magmatismo de arco entre 1.25 a 1.2 Ga, reportado dondequiera en Oaxaquia y en el Noroeste de los Andes. Apilamiento de estas rocas de arco a lo largo del margen continental pueda haber causado una migmatización alrededor de 1.1 Ga. Cuencas extensionales rellenas de sedimentos con fuentes locales se formaron simultáneamente a intrusiones de series AMCG en la corteza inferior entre ca. 1.04 y 1.01 Ga previo a la colisión entre Amazonia y Báltica durante el estado final del ensamblaje de Rodinia.

REFERENCIAS

1. Ortega-Gutierrez, F., Ruiz, J., Centeno-Garcia, E., 1995. *Geology* 23, 1127–1130.
2. Lawlor, P.J., Ortega-Gutiérrez, F., Cameron, K.L., Ochoa-Camarillo, H., Lopez, R., Sampson, D.E., 1999. *Precambrian Res.* 94, 73–99.
3. Solari, L.A., Keppie, J.D., Ortega-Gutierrez, F., Cameron, K., Lopez, R., Hames, W., 2003. *Tectonophysics* 365, 257–282.
4. Weber, B., Köhler, H., 1999. *Precambrian Res.* 96, 245–262.
5. Weber, B., Scherer, E.E., Schulze, C., Valencia, V.A., Montecinos, P., Mezger, K., Ruiz, J., 2010. *Precambrian Res.* 182, 149–162.
6. Rogers, J.J.W., Santosh, M., 2002. *Gondwana Res.* 5, 5–22.

GEOCRONOLOGÍAS DE RADIOCARBONO RELEVANTES PARA EL CUATERNARIO TARDÍO EN MÉXICO

Laura E. Beramendi OroSCO ^a, Galia González Hernández ^b

^a Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México D.F. 04510, México.

^b Departamento de Geomagnetismo y Exploración, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México D.F. 04510, México.

* laurab@geologia.unam.mx

RESUMEN

El método de datación por radiocarbono (^{14}C), propuesto por Libby y colaboradores en la década de 1940, es una de las herramientas más utilizadas para generar cronologías del Cuaternario tardío, para contextos tanto arqueológicos como del ámbito de las Ciencias de la Tierra. La versatilidad del método en cuanto a la posibilidad de datar diversos tipos de muestra ha permitido explorar algunas preguntas geocronológicas relevantes; como por ejemplo, el poblamiento de América, el inicio de la agricultura y la domesticación de especies vegetales, las cronologías eruptivas de varios volcanes, la temporalidad de diversas culturas, la variabilidad climática, entre otros. Además, recientemente se ha incursionado en la generación de cronologías para sitios contaminados.

A pesar de la relevancia de las cronologías de ^{14}C que se han generado para contextos mexicanos, la infraestructura analítica en el país sigue siendo insuficiente, con muy pocos laboratorios dedicados a la determinación de este radioisótopo, y no se alcanza a cubrir la demanda académica.

En esta ponencia se hará una reseña histórica sobre algunas de las cronologías de ^{14}C más relevantes para México, los intentos y logros de establecer infraestructura analítica, así como las perspectivas a futuro; enmarcadas en el desarrollo del método a nivel mundial y las nuevas tecnologías de análisis.

Fechamiento U/Pb in-situ de mineralización de Uranio en el distrito de Placer de Guadalupe Chihuahua

Villareal J.¹, Levresse, G.^{1*}, Alexandre P.³, Nieto-Samaniego A.¹, Corona-Esquivel, R.²,

¹ *Geofluidos, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla No. 3001, Querétaro, 76230, México.*

² *Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, Mexico*

³ *Isotope Resarch, Queen's University, Canada*

**glevresse@geociencias.unam.mx*

INTRODUCCIÓN

La edad de la mineralización es un factor importante para la generación de modelos genéticos y la definición de guías de exploración. Los principales yacimientos uraníferos de Chihuahua (Peña Blanca, Sierra de Gómez, La Virgen, San Blas, Puerto del Aire) no presentan una relación genética clara con las rocas que los hospedan y la mineralización puede ser mucho mas joven que ellas. Los yacimientos de uranio de Placer de Guadalupe son de tipo epitermal con fluidos de pH neutral y están caracterizados por la ausencia de alteración y una paragénesis muy sencilla que se limita a calcita, uraninita, oro, y hematita/magnetita. La presencia de minerales de uranio es un oportunidad única para poder fechar directamente la mineralización, y así tener un control genético directo sobre la misma. El desarrollo técnico de los últimos años nos permite tener acceso un nivel de detección confiable de concentraciones isotópicas muy baja para poder fechar de forma in-situ (con poco materiales) minerales de uranio muy joven (con muy poco plomo producto de la desintegración del Uranio).

MARCO TECTONICO REGIONAL

El norte de México está conformado por una serie de sierras elongadas conformadas por anticlinales y sinclinales de los denominados Cinturón Plegado de Chihuahua y Cinturón Plegado de Coahuila. Las paleoestructuras reconocidas en la región son La cuenca Tobosa (Paleozoico inferior) donde se depositaron rocas carbonatadas. La Cuenca de Pedregosa (Permo-Pensilvánico) que recibió sedimentos clásticos y carbonatados. La extensión de ésta cuenca posiblemente abarcó desde el SE de Arizona y Nuevo México prolongándose a Chihuahua y Sonora (Kottowski, 1965). Para principios del Jurásico comienza a desarrollarse la Cuenca de Chihuahua la cual recibió los sedimentos de plataforma y mar abierto hacia el sur, durante el Jurásico tardío-Cretácico. Haenggi (2001), propone que la Cuenca de Chihuahua tiene un origen tipo pull-apart donde interactuaron fuerzas con dirección E-W (como el Lineamiento Alamitos) y estructuras perpendiculares de dirección N-S, ligados a la apertura del Golfo de México. La Cuenca de Chihuahua se encontraba delimitada al SW por la Plataforma de Aldama y al NE por la Plataforma del Diablo (Córdoba, 1970; Gries y Haenggi, 1970). Existe incertidumbre de si la Cuenca de Chihuahua estuvo ligada al norte a la cuenca de Bisbee (sur de Arizona y NE de Sonora) y hacia el sureste a la cuenca de Sabinas (Coahuila). Los esfuerzos ejercidos durante la Orogenía Laramíde en la paleocuenca de Chihuahua dieron como resultado el cinturón Plegado de Chihuahua (Fig.1) en el cual se ubica el levantamiento Plomosas. Hennings (1994) describe el Levantamiento de Plomosas como un anticlinal por propagación de un falla Laramídica con transporte tectónico hacia el oeste, mientras que por otro lado, Goodell (2008) infiere que éste cabalgamiento se formó durante las fases de deformación de la orogenía Apalachiana en el Permo-Triásico. El plegamiento y cabalgamiento según éste último autor indican que el evento de deformación fue un

evento con vergencia al NE, mientras que la deformación ocasionada por el la orogenía Laramide tienen estructuras con vergencia al SW. La extensión Eoceno-Oligocena (Basin and Range) se ilustra por la formación de sierras, diques y cuellos volcánicos de edades entre los 45 y 33 Ma (Oviedo, 2010; Iriondo, 2004). En es estado de Nuevo México, un evento volcánico comparable conocido como Transpecos presenta una duración un poco mas larga entre 48-17 Ma (Nelson, 1987, Gilmer, 2003)

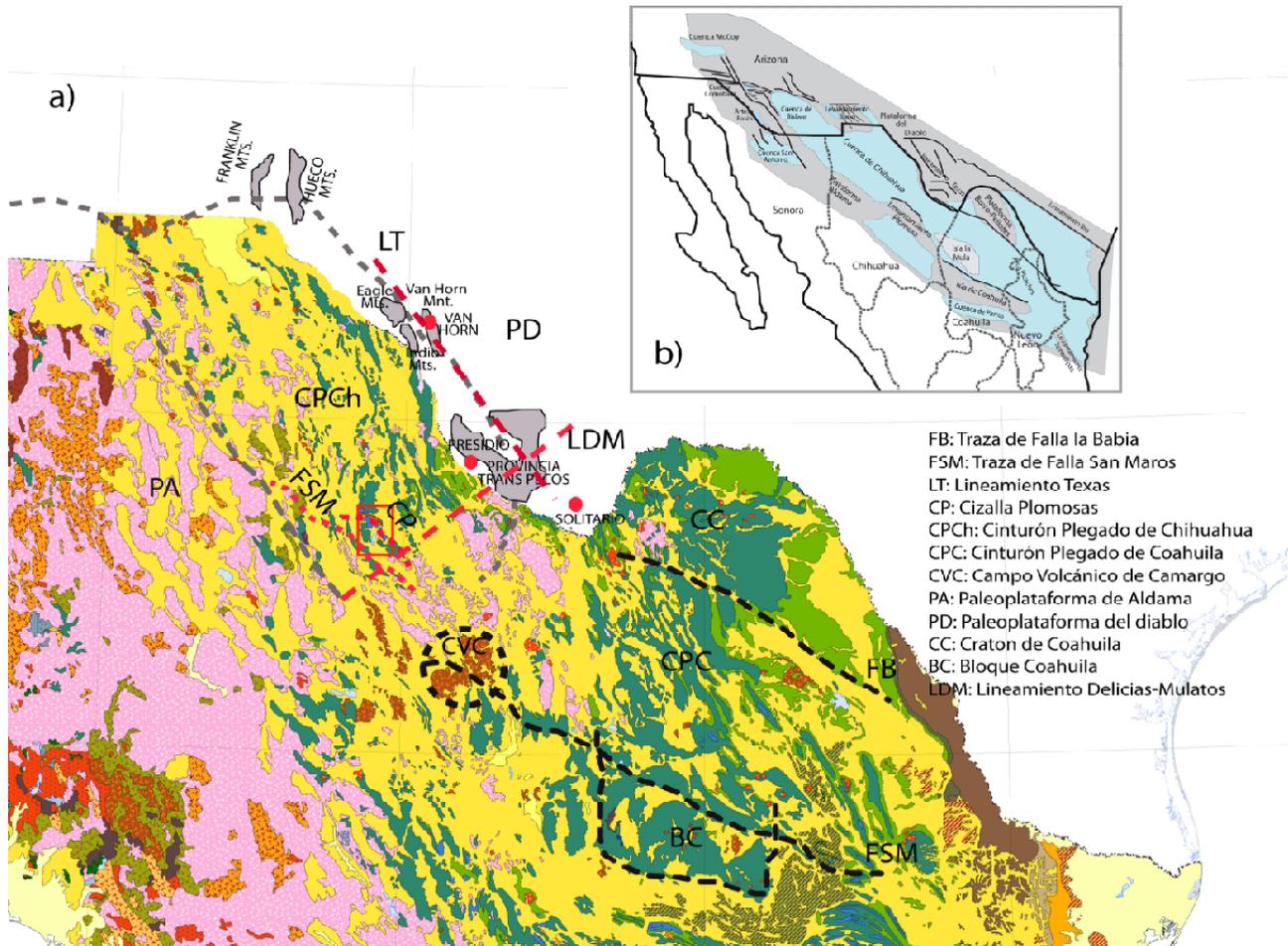


Figura 1. Elementos regionales del noreste de México, con el área de estudio en el recuadro rojo. Los paleoelementos predominantes durante el Jurásico-Cretácico se muestran en recuadro superior derecho (Figura modificada de la Carta Geológica de la República Mexicana, Esc 1: 2,000,000, SGM. Figura de paleoestructuras tomada de Anderson, 2005).

GEOLOGIA LOCAL

La Sierra Plomosa está situada aproximadamente 95 km al este de la ciudad de Chihuahua. El levantamiento Plomos es una estructura con rumbo general NW-SE, delimitados por un sistema de fallas inversas y de despegue. El levantamiento de Plomosa esta conformado del Norte al Sur por El cerro Placer de Guadalupe-La Monilla-Cerro Plomos-Cerro Carrizalillo-Cerro de Enmedio-Cerro la Sofía (Fig. 2).

En el Cerro Placer de Guadalupe afloran rocas del Paleozoico inferior (Fm. El Paso, Fm. Cable Canyon, Fm. Montoya) y del Paleozoico superior (Fm. Percha, Fm. Escabrosa, Fm.

Paradise, Fm. Horquilla). Los contactos entre las diferentes formaciones son estructurales (cabalgamientos). La Formación Plomosas es una secuencia de rocas que consisten de areniscas, caliza y lutitas las cuales afloraban en el área de Mina Plomosas (Burrows R.H., 1909). Bridges (1962), la redefine y señala que es una formación con grandes cambios laterales y la separa en varias unidades desde limolita, parches arrecifales, un derrame riolítico, conglomerado, arenisca, y lutita, le asigna una edad Pérmica a toda la secuencia. Datos recientes indican que la parte inferior de la Fm. Plomosas pertenece al Pérmico por la presencia de fusilínidos del Wolfcampiano-Leonardiano Bridges (1962), mientras que la parte superior tiene una edad de Jurásico medio (Iriando, 2010). Toda la secuencia Paleozoica-Jurásica se encuentra cabalgando a las lutitas-areniscas con intercalaciones de horizontes de evaporitas de la Formación la Casita del Jurásico superior (Titoniano; Bridges, 1962).

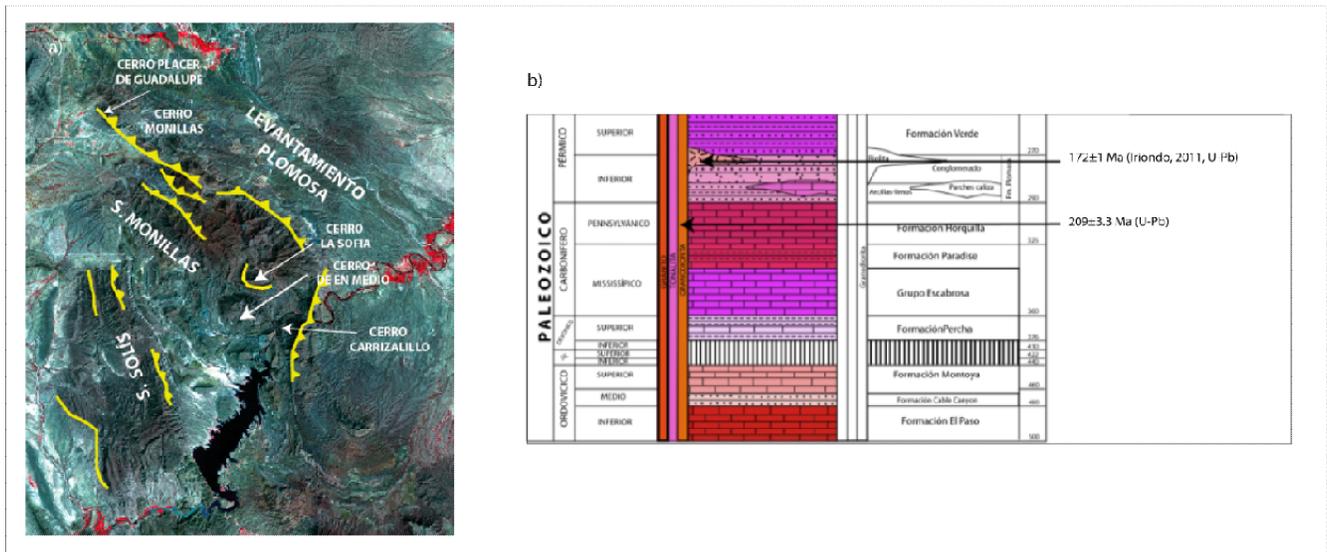


Figura 2. Mapa con los principales cerros que conforman el Levantamiento Plomosas con afloramiento de rocas del Precámbrico-Paleozoico-Jurásico medio. A la derecha parte de la columna estratigráfica con la denominación de las Formaciones aflorantes. (Imagen de satélite por bandas, tomada de la página de INEGI, columna estratigráfica de la carta 1:50, 000 H13-C48).

La mineralización de uranio y oro se encuentra distribuida a lo largo de la sierra de Placer de Guadalupe desde las minas de La Virgen y San Blas al Norte hasta la mina El Puerto del Aire al Sur. En el área que agrupa las minas La Virgen y San Blas la mineralización de uranio y oro se encuentra en vetas de calcita de 2 metros de espesor en el contacto por falla horizontal entre la base de una roca volcánica porfírica triásica de color violeta oscura y el techo de la formación Horquilla de esquistos localmente ricos en materia orgánica. El contacto entre los esquistos y el volcánico es cortado por numerosas fracturas verticales de calcita generalmente ricas en oro. En el área Sur, mina Puerto del Aire, la mineralización se hospeda en la formación Plomosas de edad Jurásico medio (Iriando, 2011). La litología para la Fm. Plomosas superior consiste, hacia la base, de calizas arcillosas de color gris con algunos crinoides, criptocristalinas con algo de pirita diseminada, en estratos que varían de los 3 cm. a los 30 cm, cambiando a una lutita laminar de color gris-verde, a negro de grano fino con abundante pirita diseminada (Héctor-González, 2005). El contacto con el miembro inferior no se conoce. El rumbo es de la estratificación es de N30°E/64°NW, con fracturamiento paralelo a la estratificación y diaclasas con rumbo N64°W/vert y N10°E/62°SE.

En El Puerto del Aire la uraninita se encuentra en vetas de calcita de 1 metro de ancho en promedio (entre las cuales predomina la veta de la Reina N55°E/80NW) en una lutita de color gris claro a rosa de intemperismo (fm Plomosa), y a fractura fresca de color gris claro con rumbo N75°W/90°.

Las vetas son cementadas por dos generaciones de calcita, una primera de color marrón rica en óxido de hierro y la segunda en el centro de la veta de color blanco asociada a la mineralización. En ambas áreas la calcita ha sido minada por oro que está íntimamente asociada con la uraninita. El oro precipita en un evento posterior cementado fracturas de los cristales de la uraninita (ver foto 1) o de forma libre en la calcita blanca. Wells (1930) estima una primera edad U/Pb de la mineralización uranífera a 36 Ma por dilución elemental.



Foto 1. Veta de calcita asociado a la uraninita-oro.

TÉCNICA ANALÍTICA

El fechamiento de las uraninitas fue realizada en la Universidad de Queen's, Canada. Los análisis puntuales fueron realizadas sobre una lámina delgada pulida, por un sistema de ablación láser acoplado a un espectrómetro de masa (LA-MC-ICP-MS). El Láser utilizado es de marca Mercantek LUV213 Laser Ablation System Nd-YAG (213 nm) en modo raster. Las condiciones de ablación incluyen una potencia del láser de 40-45% ($<1\text{mJ/cm}^2$) pulsos de 50 msec con repeticiones de 2 Hz y un tamaño de spot de 25 to 35 μm . El espectrómetro utilizado es un ThermoFinnigan Neptune, equipado con 9 detectores tipo Faraday y un amplificador de 1011 Ω en cada uno. Antes de su análisis las uraninitas fueron observadas en SEM para comprobar ausencia de indicios de alteración.

EDAD DE LA MINERALIZACION

Se realizaron 20 análisis sobre el mineral de uraninita proveniente de la mina "El Puerto del Aire". Los resultados obtenidos indican edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ y $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$ entre $19,7 \pm 0.6$ Ma y $25,1 \pm 1.5$ Ma, y entre $20,0 \pm 1$ Ma y $25,0 \pm 1.9$ Ma. Todas las edades determinadas son concordantes. La edad promedio ponderada del error fue calculada sobre 19 análisis e indica una edad de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de 21.5 ± 0.5 Ma ($n=19$; MSWD of 11; Figura 3; Isoplot software; Ludwig, 2008).

DISCUSION Y CONCLUSION

La nueva edad determinada para la mineralización uranífera de placer de Guadalupe (ca. 21.5 Ma) es aproximadamente 10 Ma mas joven que las edades determinadas por Fayek (2006) para la mineralización primaria de Uranio en el distrito de Peña Blanca. Por lo cual existe por lo menos dos pulsos distintos de mineralización de Uranio a nivel regional. A nivel regional no se conoce episodios de mineralización entre los 28 Ma (Ocampo; Clark et al, 1979) y los 10 Ma (Santa Eulalia; Casey, 2011)

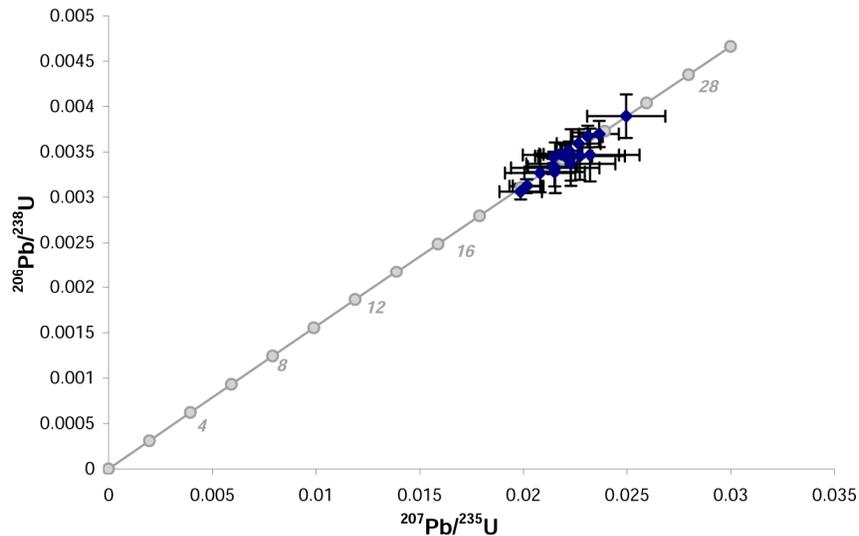


Figura 3. Diagrama $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ de las análisis de LA-ICPMS de las uraninitas de Placer de Guadalupe. (Isoplot program; Ludwig, 2008). Las errores son reportadas en 2σ .

A nivel regional el evento volcánico Eoceno/Oligoceno (y/o Transpecos) presenta una duración desde los 48 Ma hasta los 17 Ma (Oviedo, 2010; Gilmer, 2003). A nivel local, el evento volcánico Eoceno/oligoceno es mas reducido (de 45Ma a 33Ma; Oviedo, 2010). La ausencia de relación de campo directa entre un evento magmático y la mineralización uranífera así como la diferencias de edades no permite asumir una relación genética directa.

La mineralización de uranio en la región de Placer de Guadalupe presenta un fuerte control estructural, y está sincrónica a un evento mayor de extensión cortical. Una de la expresión geológica de esta extensión es un abundante volcanismo y magmatismo (Oviedo, 2010; Gilmer, 2003). A pesar de que no se puede relacionar directamente la mineralización con un pulso volcánico en particular, la existencia al NE y al SW del área de dos centros volcánicos muy importantes (Transpecos y el volcanismo existente en la Fosa de Chihuahua) así que el sistema de falla nos proporcionan el gradiente térmico y los conductos necesarios a la movilización y transporte de fluidos. Su precipitación parece controlado por la presencia de nivel ricos en materia orgánica en la formación Plomosa.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Ing. Sánchez Ramírez, Gerente de exploración por Uranio del Servicio Geológico Mexicano, por el soporte logístico brindado. Agradecemos a la Dra. Marina Vega y el Ing Bernardino Rodriguez por su apoyo técnico en el Centro de Geociencias-UNAM. Este estudio es parte del trabajo de tesis doctoral de la MsC Janet Villarreal, que fue financiado por los proyectos UNAM-PAPIIT proyecto IN110912, IN109410-3, y CONACyT proyecto 81584.

REFERENCIAS

1. Anderson, H.T., Nourse, J.A., 2005, Pull-apart basins at releasing bends of the sinistral Late Jurassic Mojave-Sonora Fault system, Geological Society of America, Special Paper 393,, p. 97-122.
2. Bridges, L.W., 1962, Geology of Mina Plomosa area, Chihuahua, Mexico: Austin, Texas., PhD thesis, University of Texas at Austin,1962.
3. Carta Geológico-Minera de Placer de Guadalupe Esc. 1:50, 000 H13-C48, Chihuahua, SGM.
4. Carta Geológica de la República Mexicana Esc. 1: 2, 000, 000, SGM.
5. Casey, H., Geochemistry of manganese oxides and age of mineralization at the Santa Eulalia Mining district, Mexico, Tesis maestría. Institute of Mining and Technology.
6. Córdoba, Rodríguez-Torres D.A., Guerrero-García J., 1970, Mesozoic stratigraphy of the northern portion of the Chihuahua trough, in The Geologic Framework of the Chihuahua Tectonic Belt; Sym- posium in honor of Professor Ronald K.
7. DeFord. West Texas Geological Society and The University of Texas at Austin, pages 83–97.
8. Fayek M, Ren M, Goodell P, Dobson P, Saucedo AL, Kelts A, Utsunomina, S., Ewing, R.C., Riciputi, L.R., Reyes I, 2006, Paragenesis and geochronology of the Nopal I uranium deposit, Mexico. 11 International High Level Radioactive Waste Management Conference, Las Vegas, N.V. pp. 55-62,
9. Franco-Rubio, M., 2007, Geología y paleomagnetismo de la porción centro-oriental del estado de Chihuahua, México: Definición del lineamiento Delicias-Mulato, PhD, Universidad Nacional Autónoma de México.
10. Gilmer, A.K., Kyle, J.R., Connelly, J.N., Mathur, R.D., Henry, C.D., 2003, Extension of Laramide magmatism in southwestern North America into Trans-Pecos Texas, Geological Society of America, v.31, No. 5, p. 447-450.
10. Goodell, P.C., Feinstein, N.M., 2008, A simulated 43-101 document of the Plomosa Property: Chihuahua, Mexico, Reporte para Compañía Retec Guarú, S.A. de C.V., p. 36.
11. Gries, J.F., Haenggi, W.T., 1970, Structural evolution of the eastern Chihuahua Tectonic Belt, in The Geologic Framework of the Chihuahua Tectonic Belt: Symposium in honor Professor Ronald K. DeFord,.West Texas Geological Society and The university of Texas Austin, pages 119–137.
12. Haenggi, W.T., 2001, Tectonic history of the Chihuahua trough, Mexico and adjacent USA, Part I: the pre-Mesozoic setting. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, LIV:28–66.
13. Hennings, P.H., 1994, Structural transect of the southern Chihuahua fold belt Between Ojinaga and Aldama, Chihuahua, Mexico. Tectonics, 13:1445–1460.
14. Iriondo, A., Kunt, M., Winick, J.A., y CRM, 2004, 40 Ar/ 39 Ar Dating Studies of Minerals and Rocks in various areas in Mexico: USGS/CRM Scientific Collaboration (Part II). Technical report, USGS, open file report.
15. Kottowski, F.E., 1965, sedimentary basins of south-central and south-western New Mexico: American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 49, p. 2120-2139.
16. Ludwing, K.R., 2008, User's manual for Isoplot 3.6, a Geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Publicación especial No. 4.
17. Nelson D.O., Nelson, K.L., Reeves, K.D., Mattison G.D., 1987, Geochemistry of Tertiary alkaline rocks of the Eastern Trans-Pecos Magmatic Province, Texas, Contribution to mineralogy and Petrology, v. 97, p. 72-92.
18. Oviedo-Padrón, E.G., Aranda-Gómez, J.J., Chávez-Cabello, G., Molina-Garza, R.S., Iriondo, A., González-Becerra, P.C., Cervantes-Corona, J.A., Solorio-Mubnguía, J.G.,

2010, Tectónica de la Sierra Cuesta El Infierno y su posible relación con fallas reactivadas cerca del levantamiento de Plomosas, Chihuahua, México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 27, núm. 3, p. 389-411.

19. Pascale Delpretti, Demant, A., 1987, Contribution à l'étude de la Sierra Madre occidental, Mexique: la secuencia volcanique tertiaire de la transversale Tepoca-Yepachic, Tesis de maestría. Universidad de Aix-Marsella.

20. Swanson, E.R., McDowell, F.W., 1985, Geology and geochronology of the Tomochic Caldera, Chihuahua, Mexico, *Geological Society of America, Bulletin*, v. 96, p. 1477-1482.

21. Wells RC, 1930, Uraninite from Placer de Guadalupe Chihuahua. *Journal of Mineralogical Society of America*, 15, 470-473

New Re/Os ages in antimonite for the Wadley Sb deposits, Mexico

Levresse, G.¹, Mascañano, E.¹, Reisberg, L.², Tritlla, J.¹, Cardellach, E.³, Corona-Esquivel, R.⁴,

¹ *Geofluidos, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla No. 3001, Querétaro, 76230, México.*

² *Centre de Recherches Petrographique et Geochemique,*

³ *Departament de Geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona*

⁴ *Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, Mexico*

[*glevresse@geociencias.unam.mx](mailto:glevresse@geociencias.unam.mx)

INTRODUCTION

Mineralization timing is a key factor in developing deposit genetic models to guide exploration. Epigenetic deposits, including simple-antimony deposits, present a particular challenge, for they may have no genetic link to their host rocks and may be much younger. Furthermore simple-antimony deposits type is characterized by the absence of alteration events and suitable common dating minerals [1]. The common gangue minerals associated with stibnite are quartz and carbonates, which are not amenable to conventional geochronological methods. Peng [2] present the first attempted to date the Hunan antimony deposit with Sm/Nd on calcite. In the specific case of Wadley antimony deposit antimony mineralization is supported by siliceous gangue. Re–Os studies of several common sulphides deposits have yielded relatively precise ages, indicating that the technique has reach its expectation [3, 4, 5, 6, 7, 8].

This work documents the application of Re–Os pyrite geochronology to date the wadley Sb-deposits. They represent the first Re–Os analysis reported in antimonite.

GEOLOGY OF THE SIERRA DE CATORCE HORST AND SURROUND

The Sierra de Catorce (SDCR) is located in the eastern border of the Mesa Central, in central Mexico. The Mesa Central is an elevated plateau partly covered by Cenozoic volcanic sequences, affected by the Eocene and Oligocene east-west extension [9]. Eocene and Oligocene extension create a series of deep continental basins and horst system (as the Sierra de Catorce). The basins are filled with Eocene to actual alluvial and lacustrine sediments. The Mesa Central is delimited by major structural trends, the Tepehuane at the south, the Transversal de Paras at the north and the Taxco-San Miguel de Allende Fault System at the East [10].

The detailed stratigraphic column of the SDCR was fully described by [11]. Briefly, the oldest outcrops are siliciclastic sediments of the Triassic Zacatecas Formation. The Jurassic sequence is represented by the volcanoclastic Nazas and La Joya formations. The stratigraphic succession is continuous from Oxfordian to Maastrichtian. From base to top, the sequence is composed by the Zuloaga, La Caja, Taraises, Lower Tamaulipas, Upper Tamaulipas, Cuesta del Cura, El Abra, Indidura, and Caracol formations. The SDCR is a double plunging, N-S trending anticlinorium, recumbent to the east (Figure 1 and 3). White and Gonzalez [12] assumed that NW-SE strike-slip faults systems observed in the SDCR are formed during the Laramide compression that produced the anticlinorium and associated thrust faults. The same authors suggest that the NW-SE strike-slip faults drove the mineralizing fluids flow to the FB's. At ca. 45Ma and ca. 37Ma, granodiorite bodies are emplaced within the axial plan of the anticlinorium. They are genetically related to skarn and vein Cu-Au-Ag-Pb-Zn mineralizations [13]. In a more regional scale, at 32–31

Ma, dacitic and trachytic lava domes were emplaced following the high-angle normal faults formed during the Eocene and Oligocene. At 31–28 Ma, high-angle extension and Oligocene synextensional volcanism episodes of rhyolitic lava emissions and pyroclastic rocks occurred along the SW margin of the Matehuala-San Luis lineament [14]. At 28–26 Ma, there was another intense extensional episode that affected only the narrow zone along the Matehuala-San Luis lineament, producing low angle listric faulting that tilted the affected blocks up to 50° to the NE. At 28–25 Ma, syn-extensional pyroclastic volcanism occurred along some of the faults of the Matehuala-San Luis Maximum Extension Zone [14]. The youngest magmatic event in the region corresponds to relatively small volumes of basaltic flows, which crop out on the vicinity of Real de Catorce Range. These rocks are also to the west (Los Encinos, and Sierra del Fraile) and to the north (San Juan de Vanegas), where numerous volcanic necks and lava flow remnants of Miocene hawaiites dated at 10-13 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ in plagioclase, [15]) are exposed. A Pleistocene to Recent alluvial cover fills up the basins developed immediately E and W of the SDCR.

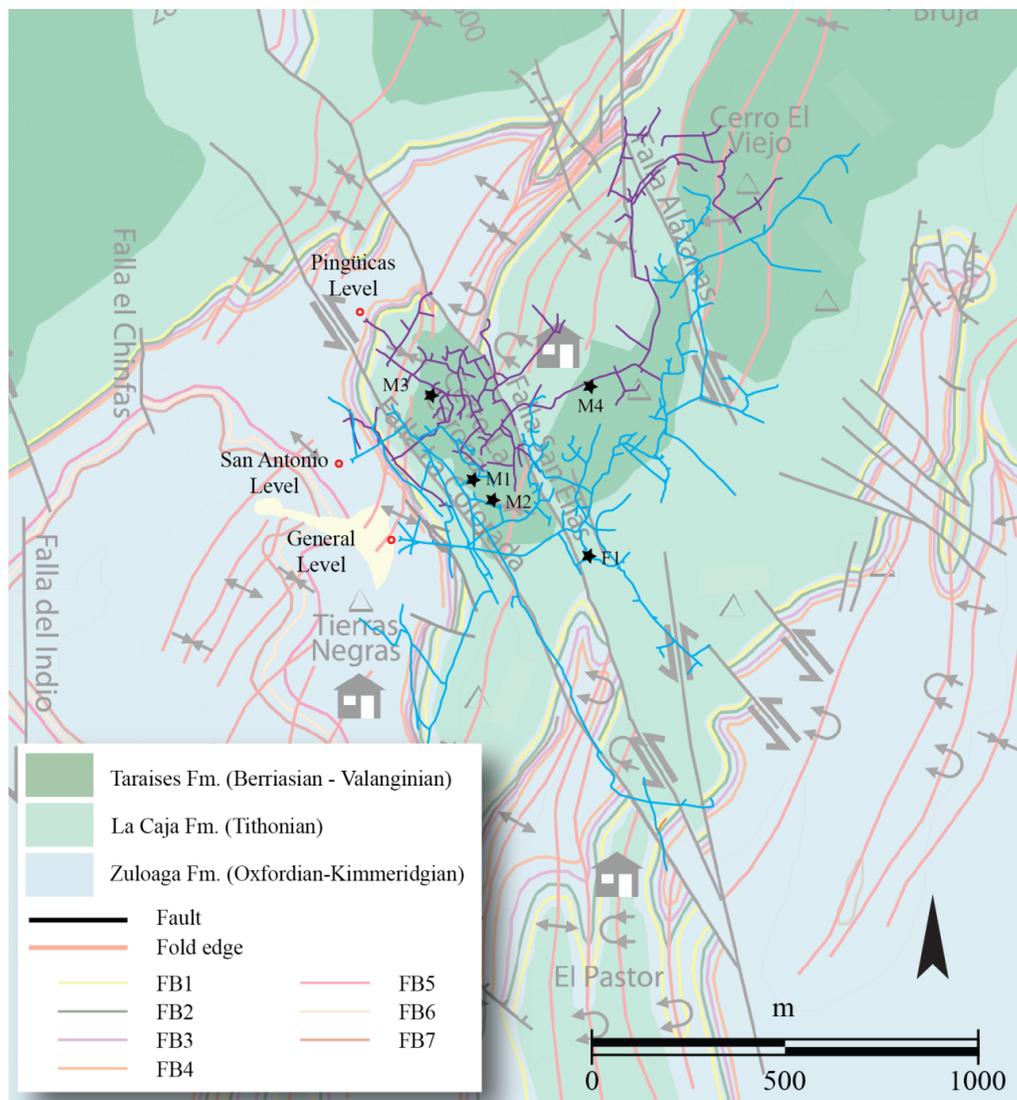


Figura 1. Geologic map of the most mineralized area of Wadley Sb-deposit, showing the location of the samples collected (stars). Blue highlighted lines are the main galleries of the San Antonio and General levels, where the F1, M1, M2 and M3 were collected. Pingüicas level is represented by highlighted purple lines where M4 was collected.

CHARACTERISTICS OF THE WADLEY DEPOSITS AND SAMPLING

The actual known lateral extension of the main mineralized zone represent an area of about 2 kilometer long by 1 kilometer wide. Ore-bearing sequences occurs in veins and in 7 favorable beds (FB) within the Kimmeridgian Zuluaga Formation and in a siliceous manto, located at the contact with the upperlying Tithonian La Caja Formation. The FB's are divided in two main sets. The first set, including FB's 1 to 4, occur in the first 45 meters below the contact between the Zuluaga and La Caja sedimentary formation (Figure 3). The second set of FB's, including FB's 5 to 7, is located 160 meters below the fourth FB.

The antimony ore is present as open-space fillings along the veins and FB's. Antimonite is present within all the FB's from this first set. In the second FB's set the mineralization is only represented by antimonite oxide (Figure 3). The FB's of both sets, present a thickness range from few centimeters to 5 meters. FB's are not always mineralized. Antimony mineralization is mainly observed in fold axes and intersection with strike-slip faults and has associated calcite and quartz as gangue minerals.

All the FB's present an stylolitic contact at the base and the top of the bed, and could be formed by two main types of calcite (1) banded (rhythmic) calcite with vugs and cavities and (2) milky white calcite showing "chicken wire" texture (only observed in the first FB's set). Often it's difficult to differentiate the calcite gangue because there are many speleothemic calcites overgrowing the original mineralization phases.

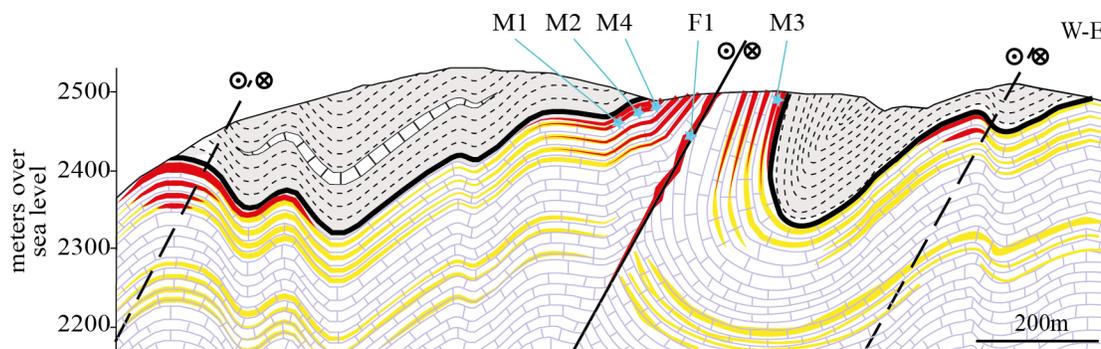


Figura 2. Schematic geological cross section (E-W) of the Wadley Sb-deposit showing the samples ubication.

SAMPLING, PROCESSING AND ANALYSIS

Analyses were carried out at the CRPG-CNRS (France). About 0.5 g of purified samples of antimonite were spiked with ^{190}Os and ^{185}Re and digested in Carius tubes at 230°C overnight in 9 ml (12 g) of 1:2 solutions of HCl (11 mol/l): HNO_3 (15 mol/l). This procedure is based on the one developed by Shirey and Walker (1995) for silicate samples, but uses a more oxidizing solution (enriched in HNO_3 relative to aqua regia) and somewhat more reagent (9 ml instead of 6 ml) to promote a more complete oxidation. For Os extraction, the procedure of Birkley [16] was used. Osmium analyses were performed by negative thermal ionization mass spectrometry (NTIMS) on a Finnigan MAT 262 instrument at CRPG equipped with an electron multiplier and ion counting electronics and an oxygen leak valve.

The Re analyses were performed by MC-ICP-MS (Micromass Isoprobe). Total procedural blanks were variable, but lower than 12 pg for Re. The variation of the Re blank is taken into account in the error determination of $[\text{Re}]$, $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ and $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ initial. Additional details of the Re analytical procedures are available in Pierson-Wickmann [17].

GEOCHRONOLOGY OF MINERALIZATION

The four antimonite crystals from the FB2 and one from a fault in the Wadley Sb deposit were analyzed. Antimonite from Wadley deposit are low-level highly radiogenic sulfide (LLHR) sulfide ($^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os} > 6,400$ and $> 94\%$ of $^{187}\text{Os}^{\text{R}}$; [3]). In this circumstance, the weighted average of the Re-Os model ages is considered as the best age estimation [3, 7]. Due to the very low concentration of common Os (less than 6% of Os_{tot} ; Table 1), the uncertainties reported represent the blank uncertainties propagation. Given the very low Os common concentration the most favorable age method will be the model age [3, 7].

The Re-Os model ages calculated for the antimonite crystal from the FB2, range from 23 ± 0.6 to 27 ± 0.6 Ma (Table 1). The F1 sample from a fault mineralization precise a Re-Os model ages of 8.5 ± 1.9 Ma. The weighted average models ages for the four FB samples is 25 ± 1.5 Ma (Figure 4), with a MSWD of 10.

The more recent model age obtain from (F1) sample should be interpreted within its particular geological setting. The fault hosting F1 has a complex history of reactivations and present locally large amount of antimony oxide.

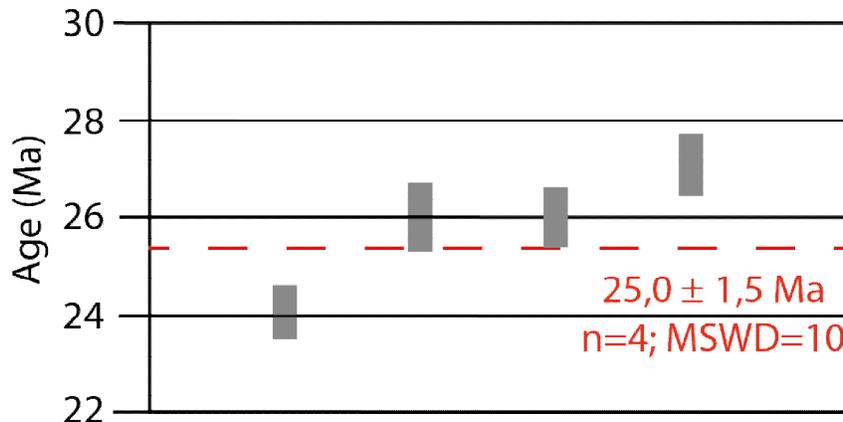


Figura 3. Re-Os model ages, showing 2 sigma uncertainties and solutions. See text for discussion and additional information; ISOPLOT software of Ludwig (1999) was used to calculate the isochron ages.

LOCAL AND REGIONAL IMPLICATIONS

Several previous studies investigated the geology and regional structure of the Wadley deposit but did not reach a consensus regarding the timing or origin of the mineralization, due mainly to the lack of geochronological data and/or mistaken geological relationship [18, 19, 12].

The new Late Oligocene age of the Sb-Wadley deposit eliminate any possible genetic implications with the Real de Catorce and La Paz magmatic mineralizing events, dated from ca. 42 and ca 37 Ma respectively [13, 20]. No magmatic events younger than ca. 37 Ma are known within the SDCR horst [12]. Tristan [14] describe 50 kilometer south from SDCR an Oligocene volcanic column dated from 31-28 Ma (Ahualulco Riolitic domes) to 25 Ma (Panalillo ignimbrite). Both Oligocene volcanic events are fed from NW-SE strike-slip faults as the Sb mineralizacion in Wadley. At 26–25 Ma, Basin and Range extension reaches its peak in intensity in this area [14] and favor the mineralizing fluids rising. Lavas are high-silica, peraluminous rhyolites, with strong enrichment in some incompatible

lithophile elements [21] as antimony and mercury. The Panalillo volcanic event is a strong contender as a potential source of the antimony and hydrothermal heat.

The Re/Os antimonite age represent only the mineralized pulse and do not hide the complex history of the deposit formation and specifically the shallow and thermobaric diagenesis process who prepared the FB's as chemical traps for the antimony epithermal mineralization event.

CONCLUSIONES

Re and Os isotope compositions from Wadley antimonite yield a weighted average age of 25 ± 1.5 Ma, and the single-mineral model ages of five highly radiogenic samples are 24 ± 0.6 , 26 ± 0.5 , 26 ± 0.6 , 27 ± 0.6 , 9 ± 1.8 Ma, respectively.

These data set a new mineralizing event in the complex metallogenetic history of the Sierra de Catorce area. These data will be important in developing a new epithermal genetic model of the Wadley antimony deposit and give new targets for the Mesa Central mining exploration.

AGRADECIMIENTOS

Our deep thankfulness to Lic. José Cerrillo Chowell, General Director of Negociación Minera Santa María de La Paz y Anexas, S.A. de C.V. for their support to develop and publish the Mascuñano PhD thesis. Special thanks to Marina Vega and Bernardino Rodríguez for their work in the CGEO laboratory. This study was financially supported by UNAM-PAPIIT projects IN110912, IN109410-3, and CONACyT project 81584.

REFERENCIAS

1. Dill, H.G., 2010. The "chessboard" classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth Science Reviews*, 100, 1-420.
2. Peng, J.T., Hu, R.Z., Burnar, P.G., 2003. Samarium–neodymium isotope systematics of hydrothermal calcites from the Xikuangshan antimony deposit (Hunan, China): the potential of calcite as a geochronometer. *Chemical Geology*, 200, 129-136.
3. Stein, H.J., Morgan, J.W., Schersten, A., 2000): Re–Os dating of low-level highly radiogenic (LLHR) sulfides; the Harnas gold deposit, southwest Sweden, records continental-scale tectonic events. *Economic Geology*, 95, 1657–1671
4. Mathur, R., Ruiz, J., Herb, P., Hahn, L., Burgath, K.P., 2003. Re–Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia. *Journal of South American Earth Science*, 16, 815-821
5. Morelli, R.M., Creaser, R.A., Selby, D., Kontak, D.J., Horne, R.J., 2005. Rhenium–osmium geochronology of arsenopyrite in Meguma Group gold deposits, Meguma Terrane, Nova Scotia, Canada: evidence for multiple gold-mineralizing events. *Economic Geology*, 100, 1229-1242
6. Zang, L., Xia, W., Qin, K., Qu, W., Du, A., 2005. Re–Os isotopic dating of molybdenite and pyrite in the Baishan Mo–Re deposit, eastern Tianshan, NW China, and its geological significance. *Mineralium Deposita*, 39, 960-969.
7. Selby, D., Kelley, K.D., Hitzman, M.W., Zieg, J., 2009. Re–Os sulfide (bornite, chalcopyrite and pyrite) systematics at Ruby Creek, southern Brooks Range, Alaska. *Economic Geology*, 104, 437–444

8. Kerr, A., Shelby, D., 2012, The timing of epigenetic gold mineralization on the Baie Verte Peninsula, Newfoundland, Canada: new evidence from Re–Os pyrite geochronology. *Mineralium Deposita*, 47, 325-337
9. Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Camprubí, A., 2005. La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57, 285-318.
10. Demant A. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 1978, 2, 172-187 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, 299-319.
11. White, D.E., Gonzáles, R.J., 1946, San José Antimony Mines Near Wadley, State of San Luis Potosí México: United States Geological Survey, Geological Investigations in the American Republics, Bulletin 946-E, 131-153.
12. Mascuñano, E., Levresse, G., Cardellach, E., Tritlla, J., Corona-Esquivel, R., Meyzen, C., 2013, Post-Laramide, Eocene magmatic activity in Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30, 299-311
13. stán-González, M., Aguirre-Díaz, G., Labarthe-Hernández, G., Torres-Hernández, J.R., Bellon, H., 2009. Post-Laramide and pre-Basin and Range deformation and implications for Paleogene (55–25 Ma) volcanism in central Mexico: A geological basis for a volcano-tectonic stress model. *Tectonophysics*, 471, 136–152
14. Luhr, J.F., Aranda-Gomez, J.J., 1997, Mexican peridotite xenoliths and tectonic terranes: correlations among vent, location, texture, temperature, pressure, and oxygen fugacity. *Journal of Petrology*, 38, 1075.
15. Birk, J.L., Roy-Barman, M., Campas, F., 1997. Re-Os isotopic measurements at the femtomole level in natural samples. *Geostandards Newsletter*, 20, 139-148.
16. Pierson-Wickmann, A.C., Reisberg, L., France Lanord, C., 1999. The isotopic composition of Himalayan river bedloads and bedrocks: Importance of Black Shales. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 176, 201-216.
17. Archibald, J.C. Jr., 1950. Estudio de los depósitos de antimonio y su extracción en las minas de San José, Wadley, San Luis Potosí, México. *Memorias de la Primera Convención Interamericana de Recursos Minerales*, Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales, México, D.F., 264-269.
18. Tuta, Z.H., Sutter, J.F., Kesler, S.E., Ruiz, J., 1988, Geochronology of mercury, tin, and fluorine mineralization in Northern Mexico: *Economic Geology*, 83, 1931-1942.
19. Pinto-Linares, P. J., Levresse, G., Tritlla, J., Valencia, V., Torres-Aguilera, M., J., González, M., Estrada, D., 2008, Transitional adakite-like to calc-alkaline magmas in a continental extensional setting at La Paz Au-Cu skarn deposits, Mesa Central, Mexico: metallogenic implications. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25, 39-58.
20. Orozco-Esquivel, M., Nieto-Samaniego, A., Alaniz-Álvarez, S.A., 2002. Origin of rhyolitic lavas in the Mesa Central, Mexico, by crustal melting related to extension: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 118, 37-56.

Nueva evidencia geocronológica de la parte sur del Complejo del Macizo de Chiapas – Implicaciones para el origen y la evolución tectónica del Bloque Maya

Bodo Weber^a, Román Manjarrez-Juárez^a, Reneé González-Guzmán^a

^a Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada B.C., Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada B.C., México.

- bweber@cicese.mx

RESUMEN

Desde hace varios años existe una controversia sobre la posición paleogeográfica de los terrenos del Sur de México durante el Paleozoico, particularmente con respecto a su posible papel en la apertura y el cierre de los océanos Iapetus y Rhéico [1,2]. Esta controversia se basa casi exclusivamente en trabajos sobre la geología del Complejo Acatlán, Terreno Mixteco, con su historia polimetamórfica que consta en eventos magmáticos y metamórficos tanto del Ordovícico-Silúrico, como del Devónico-Misisipico y del Pérmico. Por un lado, el magmatismo Ordovícico-Silúrico con carácter calcialcalino se ha asociado a la apertura del océano Rhéico, mientras que otros asocian este mismo evento tectonotermal con la orogénesis Taconiana, consecuencia del cierre del océano Iapetus. En la parte sur del Bloque Maya, en Chiapas, Guatemala y Belice, afloran rocas ígneas y metamórficas del Paleozoico temprano y tardío, intrusionados por plutones permo-triásicos de arco [3-5]. A pesar de que las características químicas de las rocas ígneas ordovícicas-silúricas son ambiguas, se ha sugerido un origen en apego al modelo de apertura del océano Rheico. En el Terreno Mérida (entre otros), en los Andes venezolanas, existen secuencias metasedimentarias del Paleozoico temprano, intrusiones cambro-ordovícicos y permo-triásicas, que sugieren una posible evolución conjunta entre el Bloque Maya y el Terreno Mérida para el Paleozoico [6]. No obstante, el Terreno Mérida se supone que fue acrecionado al escudo de Guyana no antes del Pensilvánico y la historia del Paleozoico temprano por lo general se ha relacionado con un margen convergente y el cierre del océano Iapetus.

En la parte sur del Complejo del Macizo de Chiapas (CMC) una secuencia de anfibolitas, ortogneises y calcisiliactos, intensamente deformados, denominado como Unidad Candelaria [3], está intrusionado por diques y cuerpos ordovícicos. Nuevos análisis de U-Pb en zircón de ortogneis intercalado con anfibolita arrojan edades de entre ~980 y ~1015 Ma mientras que los pocos cristales de zircón separados de las anfibolitas en su mayoría

tienen edades de ~440-450 Ma, similar a la edad de migmatitas diatécticas de la misma zona.

CONCLUSIONES

Los nuevos resultados indican (a) basamento Grenvilliano aflora en el CMC, (b) el origen del magmatismo ordovícico es por fusión parcial de una corteza continental metamorfozada y deformada y (c) zircón ordovícico en anfibolitas intercaladas con ortogneis grenvilliano probablemente tiene su origen en inyecciones del mismo magma anatéctico, posteriormente deformado. Esto implica que las anfibolitas son contemporáneas con el ortogneis. Migmatitas en un ambiente de metamorfismo regional por lo general se forman por apilamiento de corteza en un arco maduro o una zona de colisión, por lo que se sugiere que en la geológico del sur del CMC se encuentra registrado el cierre del océano Iapetus en el Ordovícico. Si esto es correcto, tiene importantes implicaciones para la integridad y la paleoposición del bloque Maya.

REFERENCIAS

1. Keppie, J. D., Dostal, J., Murphy, J. B. & Nance, R. D., 2008. *Tectonophysics* **461**, 277–290.
2. Talavera-Mendoza, O. *et al.*, 2005. *Earth Planet. Sci. Lett.* **235**, 682–699.
3. Estrada-Carmona, J., Weber, B., Martens, U. & López-Martínez, M., 2012. *Int. Geol. Rev.* **54**, 1918–1943.
4. Weber, B., Valencia, V. A., Schaaf, P., Pompa-Mera, V. & Ruiz, J. (2008). *J. Geol.* **116**, 619–639.
5. Weber, B., Scherer, E. E., Martens, U. K. & Mezger, K. (2012). *Chem. Geol.* **312–313**, 1–17.
6. Aleman, A., & Ramos, V. (2000), in Cordani *et al.* (eds). *Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro, 553–580.

Caracterización geoquímica e isotópica (Lu-Hf y Sm-Nd) del basamento cristalino en el Complejo El Triunfo, Sureste del Macizo de Chiapas

Reneé González-Guzmán ^{a*}, Bodo Weber ^a, Luigi Solari ^b, Peter Schaaf ^c, Mariela Carrera-Muñoz ^a,
Uriel Román Manjarrez-Juárez ^a, Juliana Estrada-Carmona ^b

^a *División de Ciencias de la Tierra, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Zona Playitas Ensenada, Baja California 22860, México.*

^b *Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, Querétaro 76230, México.*

^c *Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, Distrito Federal 04510, México.*

* rguzman@cicese.edu.mx

RESUMEN

La exhumación del basamento cristalino en el Macizo de Chiapas a consecuencia de movimientos laterales parcialmente oblicuos, entre los límites de la placa Norteamericana, la placa del Caribe y la subducción de la placa de Cocos por el lado del Pacífico ([Ratschbacher et al., 2009](#)), exhibe rocas ígneas y metamórficas pre-batolíticas (*e.g.*, gneises, migmatitas, anfibolitas, granitoides, gabros) con una edad aparente del Paleozoico Temprano, en el denominado “Complejo El Triunfo”. Trabajos previos y circunscritos al área de estudio han vinculado estas rocas a una tectónica extensiva y a la apertura del paleo-océano Reico en el margen de Gondwana (*e.g.*, [Estrada-Carmona et al., 2012](#)). Sin embargo, estos estudios han sido muy puntuales y aún no se entiende completamente la evolución tectónica y la relación de Bloque Maya con otros Terrenos peri-Gondwánicos. En esta caracterización, se deduce que las anfibolitas correlativas con la Formación Candelaria ([Estrada-Carmona et al., 2012](#)) que están intercaladas con ortogneis grenvilliano en el área de estudio, probablemente tiene su origen en inyecciones de magma *underplating* debido a su firma geoquímica e isotópica que indica que son poco evolucionadas. La interpretación de las edades obtenidas por medio del método U-Pb en zircón, corroboran un núcleo metamórfico deformado del Precámbrico para el Bloque Maya Sur. Por otro lado, concordante con una tectónica compresiva en el Paleozoico Temprano, que incluye metamorfismo regional,

deformación y anatexis, se originan migmatitas y algunos plutones asociados con intrusiones pegmatíticas menores, con un intervalo composicional de granito a gabro, de grano medio a grueso, localmente foliados, confundiendo con el batolito Pérmico-Triásico del Macizo de Chiapas. Consistentemente, la discriminación del ambiente tectónico basado en diagramas de elementos traza de las rocas intrusivas sugiere un entorno transicional de arco volcánico a postorogénico.

CONCLUSION

A partir de datos geoquímicos, se sugiere que la historia geológica de las rocas de basamento del Bloque Maya Sur se encuentra registrada en un evento tectonothermal de una zona de colisión y arco magmático maduro relacionado con el cierre de los océanos Iapetus o Reico en el Paleozoico Temprano, vinculado con el complejo Acatlán (Talavera-Mendoza *et al.* 2005; Vega-Granillo *et al.*, 2009) y/o Terrenos alóctonos del Norte de Sudamérica (Restrepo-Pace y Cediél, 2010; van der Lelij *et al.*, 2011). Para este estudio preliminar, los resultados obtenidos son auspiciados en el marco del proyecto CONACyT: "Evolución ígnea y metamórfica del Bloque Maya Sur y su relación con otros terrenos perigondwánicos en el Paleozoico".

REFERENCES

1. Estrada-Carmona, J., Weber, B., Martens, U., López-Martínez, M. (2012) Petrogenesis of Ordovician magmatic rocks in the southern Chiapas Massif: relations with the early Paleozoic magmatic belts of northwestern Gondwana. *International Geology Review* 54, pp. 1918-43
2. Ratschbacher, L., Franz, L., Min, M., Bachmann, R., Martens, U., Stanek, K., Stübner, K., Nelson, B. K., Herrmann, U., Weber, B., López-Martínez, M., Sperner, B., Tichomirowa, M., Joraymond, R. McWilliams, M., Gordon, M., Meschede, M., Bock, P.J (2009) The North American-Caribbean Plate boundary in Mexico-Guatemala-Honduras. *Geological Society of London* 328, pp. 219-93
3. Restrepo-Pace, P.A. Cediél, F. (2010) Northern South America basement tectonics and implications for paleocontinental reconstructions of the Americas. *Journal of South American Earth Sciences* 29, pp. 764-71.
4. Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Meza-Figueroa, D.M., Vega-Granillo, R., Campa-Uranga, M.F. (2005) U-Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico. *Earth and Planetary Science Letters* 235, pp. 682-99.
5. van der Lelij, R., Spikings, R., Ulianov, A. (2011) From the Rheic Ocean to the Proto-Caribbean Sea in Venezuela: 300 Ma of Magmatism in the Northern Andes. *Geophysical Research*

Abstracts 13, pp. 2601

6. Vega-Granillo R, Calmus T, Meza-Figueroa D, Ruiz, J., Talavera-Mendoza, O., López-Martínez, M. (2009) Structural and tectonic evolution of the Acatlan Complex, southern Mexico: Its role in the collisional history of Laurentia and Gondwana. *Tectonics* 28, pp. 4008-20.

SESIÓN IX

PETROLOGÍA ÍGNEA

Anortositas Paleozoicas asociadas a depósitos de ilmenita-rutilo en el Complejo Macizo de Chiapas, México

Alejandro Cisneros De León^a, Fernando Ortega-Gutiérrez^a, Bodo Weber^b, Luigi Solari^c, Peter Schaaf^d, Roberto Maldonado^a

^a*Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*

^b*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada*

^c*Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla*

^d*Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México*

El Complejo Macizo de Chiapas al sur del terreno Maya, está compuesto mayormente de rocas ígneas y metaígneas de edades Pérmicas tardías. Dentro de este complejo al sur de la falla Polochic en México y en el adyacente Departamento de San Marcos, Guatemala, se encuentran varios afloramientos (~10 km²) de macizos anortosíticos Paleozoicos, su aparición presenta una tendencia E-W similar al sistema de fallas Polochic-Motagua. Tales anortositas están asociadas a depósitos de ilmenita-rutilo y a bandas de anfibolita-hornblendita (0.5-3 m de espesor). Las anortositas chiapanecas muestran recristalización y retrogresión metamórfica (rutilo con coronas de titanita). En Acacoyagua, Chiapas, las anortositas se encuentran asociadas espacialmente a gneises máficos ricos en apatito e ilmenita y a gneises cuarzo-feldespáticos; en contraste, hacia el este en Motozintla, están asociadas a rocas monzoníticas, las cuales presentan edades U-Pb por LA-MC-ICPMS en zircón de 271.2±1.4 Ma. La mineralogía primaria de estas anortositas incluyen plagioclasa de grano medio a grueso (>90%), con rutilo y apatito como minerales accesorios, ocasionalmente presenta pequeñas cantidades de cuarzo. Los lentes de óxidos de Ti-Fe alcanzan hasta decenas de metros de longitud y algunos metros de ancho, son un constituyente ubicuo en estas anortositas y su mineralogía está constituida por ilmenita (con exsoluciones de titanomagnetita), rutilo, magnetita, clinocloro, ±espinela, ±apatito, ±zircón y srilankita (Ti₂ZrO₆, primer reporte de esta fase en México). El rutilo ocurre dentro de la ilmenita masiva en dos tipos morfológicos: (1) rutilo de grano fino (5-40 μm) a lo largo de fracturas y bordes de ilmenita, y (2) rutilo de grano grueso (1-5 mm) como granos discretos, mientras que la magnetita y srilankita sólo aparecen como pequeños granos a lo largo de los bordes de la ilmenita. El zircón se encuentra presente como pequeños granos alineados discontinuamente (10-40 μm) formando coronas alrededor de granos de ilmenita y rutilo. Un primer intento por fechar estos zircones por U-Pb en LA-MC-ICPMS arrojó valores extremadamente bajos de uranio (<4 ppm) lo cual hace poco confiable la medición. Análisis geoquímicos revelan que las anortositas chiapanecas contienen en promedio ~58% SiO₂, ~25% Al₂O₃, ~7% CaO, ~6% Na₂O, >1000 ppm Sr. Estas anortositas representan probablemente una raíz cortical exhumada de un cuerpo máfico emplazado y diferenciado a gran profundidad de edad Pérmica como parte del batolito de Chiapas.

ESTUDIO GEOQUÍMICO Y TEMPORAL DE LOS EVENTOS MAGMÁTICOS EN LA MINA EL CASTILLO, MPIO. DE SAN JUAN DEL RÍO, DURANGO, MÉXICO: UNA EVIDENCIA DEL PASO DE LA SUBDUCCIÓN A LA DISTENSIÓN DURANTE EL TERCIARIO.

Francisco A. Paz-Moreno ^a, Alberto Orozco-Garza ^b, Alma Valadéz-Espinoza ^{a*}, Alexander Iriondo ^c, Saul Herrera-Urbina ^a

^a Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, Hermosillo, Son. 83000, México.

fpaz@ciencias.uson.mx

* Tesista de licenciatura en Geología

^b Argonaut Gold (Exploración México), Blvd. Carlos Quintero Arce 24 Sur-B Hermosillo, Son. 83247, México.

^c Centro de Geociencias, UNAM-Campus Juriquilla, Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla Qro. 76230, México.

RESUMEN

Se presentan los resultados preliminares de geoquímica y geocronología de las rocas magmáticas del Yacimiento aurífero a cielo abierto de El Castillo, ubicado en el Centro del Estado de Durango y comprendido dentro del Municipio de San Juan del Río, situado a 100 km al norte de la ciudad de Durango.

La actividad magmática en el área de la Mina El Castillo, inicia con un intrusivo hipabisal fechado en 48.5 ± 0.5 Ma (*utilizando zircones y la técnica de U-Pb por LA-ICPMS), de tipo *Monzonita de cuarzo con hornblenda y/o biotita*, [1], presenta textura porfírica-glomeroporfídica de plagioclasa con zoneamiento intenso, \pm cuarzo y hornblenda mal conservada o remplazada por titanita, y/o biotita, y con una matriz de cuarzo, feldespato alcalino y biotita \pm muscovita; estos intrusivos se encuentran fuertemente alterados y mineralizados. Este cuerpo intrusiona a una secuencia detrítico-carbonatada del mesozoico que ocurre en forma de techos colgantes, siendo esta asociación intrusivo-sedimentos los portadores de la mineralización económica en el yacimiento.

El complejo dómico del Cerro Bola de Toro, representa el segundo evento magmático y fechado en 41.3 ± 0.5 Ma*. Se trata de *domos extrusivos riolíticos de biotita* [2], con alta cristalinidad ($>40\%$: FA>Qz>PI con biotita \pm óxidos de Fe-Ti) dentro de una matriz vítrea completamente desvitrificada.

Estos dos eventos magmáticos del Eoceno medio, Son rocas ácidas de potasio medio a alto [2], y sobre saturadas en sílice, se caracterizan por la presencia de *corindón normativo*: (2.6-5.4 Co) elevado para los intrusivos hipabisales, en cambio para el Domo Cerro Bola de Toro apenas se manifiesta: $Co < 1$ (0.37 Co). Le imprimen un carácter hiperaluminoso a estas rocas ácidas de naturaleza calcoalcalina que son atribuibles al Complejo Volcánico Inferior de la Sierra Madre Occidental.

El tercer evento magmático es de tipo piroclástico distal y está constituido por un paquete de tobas de caída libre (aprox. 8m de potencia), que ha sido fechado en $31.2 \pm 0.5 \text{ Ma}^*$, se trata de *Tobas riolíticas* [3], *pumíticas* y *de cristales*, totalmente desvitrificadas y argilizadas. Se caracteriza por la presencia de cantos verdes subredondeados decimétricos de basalto-andesita basáltica [3], porfídicos de $Pl \gg Ol \gg Cpx$ y abundante Pl en la matriz, son ricos en alúmina ($Al_2O_3 > 17\%$) y de naturaleza subalcalino de tipo HAB. Al igual que los dos eventos magmáticos anteriores, estas tobas son también de naturaleza calcoalcalina y de carácter hiperaluminoso con presencia de *corindón normativo* (4.7-8.8 Co), valores equivalentes y superiores a los de los intrusivos de Monzonita de cuarzo con hornblenda y/o biotita. Por su edad oligocénica, son atribuibles al Complejo Volcánico Superior de la Sierra Madre Occidental.

Estos tres eventos magmáticos, son de naturaleza calcoalcalina. La geoquímica de tierras raras (REE, analizadas por ICP-MS) se normalizó con la Condrita de tipo C1 [4]. El intrusivo hipabisal presenta un comportamiento uniforme, con espectros de pendiente regular descendente, que van del La_N (125) - Lu_N (11), ($[La/Lu]_N$ 4.7-8.9), y con una leve anomalía negativa en europio: ($[Eu/Eu^*]$ 0.53-0.84). Las lavas del domo Cerro Bola de Toro son muy similares y quedan dentro del mismo rango composicional del intrusivo hipabisal, en cambio las tobas presentan un comportamiento irregular, con fuertes anomalías negativas en Eu o nulas ($[Eu/Eu^*]$ 1.00). Los diagramas multielementales normalizados con Manto Primitivo [4], confirman el mismo comportamiento descrito para las REE, y ponen en manifiesto las marcadas anomalías negativas en Ta, Nb, Ti y P; y una fuerte anomalía positiva en K., esta última más persistente y acentuada en los intrusivos

hipabisales. Este conjunto de características son consistentes con magmas generados en zonas de subducción.

El cuarto y último evento magmático presente en el área de la Mina El Castillo, está representado por una unidad de enfriamiento ignimbrítico >50m. de potencia, que presenta localmente un vitrófido basal de un metro de potencia que se encuentra totalmente perlitizado y argilizado. Se trata de ignimbritas riomórfas bien soldadas con textura eutaxítica con: abundante sanidino en fenocristales y presencia de fayalita y raros anfíboles tardíos. Son *Ignimbritas riolíticas* [3], cuya asociación mineralógica es típica de las rocas hiperalcalinas muy bien representadas en Chihuahua y en el NW de Sonora. [5]

Estas ignimbritas presentan un *índice de Agpaicidad* $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3 \sim 1$: (0.90-0.96), también característico de la hiperalcalinidad, son *riolitas comendíticas* [6], magmatismo típicamente asociado a procesos de rifting, que para esta área de El Castillo marcarían la presencia de la distensión. Presentan espectros de REE muy enriquecidos y típicos con una pendiente poco acentuada ($[La/Lu]_N$ 8.8-11.8) y muy regulares, se caracterizan por una conspicua anomalía negativa en europio ($[Eu/Eu^*]$ 0.02-0.50) que se explica por el fraccionamiento de la plagioclasa. El diagrama multielemental normalizado con Manto Primitivo [4], pone en evidencia las anomalías positivas en: Cs, K, Rb, Th, U, y Ce; y anomalías negativas en Ba, P, Ti y Sr, con una poco marcada anomalía en Ta-Nb y por lo general menos acentuada que el Ba. Conjunto de características típicas de magmas subsaturados en sílice y característicos de ambientes tectónicos distensivos.

CONCLUSIONES

La caracterización fina del magmatismo y su fechamiento en el área de la mina El Castillo, ponen en evidencia el cambio de régimen tectónico de subducción a distensión en la región. y aportan elementos para constreñir el evento de la mineralización a un período tectonomagmático en transición.

REFERENCIAS

- 1.- Middlemost E. A. K. (1994) Naming materials in the magma/ igneous rock system, *Earth Science Rev.*, v. 37, 215-224 p.
- 2.- Peccerillo A. & Taylor S. R. (1976) Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey, *Contrib. Miner. Petrol.*, v. 58, 63-81 p.
- 3.- Le Maitre R. W. (ed.), (2002) *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms Second Edition*, USGS, 236 p.
- 4.- Sun S. S. & McDonough W. F. (1989) Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: implications for mantle composition and process. In Saunders A. D. and Norry M. J., (eds) *Magmatism in the ocean basins*, Geol. Soc., London, special publication, v. 42, 313-345 p.
- 5.- Vidal-Solano J. R. (2005) *Le volcanisme hyperalkalin d'age Miocene Moyen du Nord-Ouest du Mexique (Sonora): Minéralogie, Géochimie et Cadre Géodynamique.*, Tesis de Doctorado Université Paul Cézanne, Francia 256 p.
- 6.- Macdonald R. (1974) Nomenclature an petrochemistry of the peralkaline oversaturated extrusive rocks, *Bulletin Volcanologie.*, v.38, 498-516 p.

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LA TOBA DE TEZOANTLA COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

Ester M. Magos^{a,b*}, **Kinardo Flores^{a**}**, **Màrius Ramírez^a**, **Francisco J. Olguín^b**,
Armando Ramírez^c, **José Luis Cadena^a**, **Edgar Cardoso^a**, **Juan Hernández^a**

^aCentro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca - Tulancingo Km. 4.5.
Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. CP. 42184.

^bÁrea Académica de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca
- Tulancingo Km. 4.5. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. CP. 42184.

^cDepartamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco DF. CP. 04510.

ester_magos@live.com.mx*, kinardo_flores@hotmail.com**

INTRODUCCIÓN

En la industria de la cerámica y los recubrimientos, se utilizan formulaciones esencialmente con base en cemento gris y blanco, yeso, carbonato de calcio, compuestos celulósicos, wollastonita, polímeros y cloruro de calcio, (entre otros), en distintas proporciones, que constituyen el adhesivo a utilizar para fijar las piezas cerámicas que se comercializan en el ramo de la construcción (ej. recubrimientos, acabados, aislamiento térmico, etc.). El adhesivo comercializado nacional e internacionalmente por distintos fabricantes es muy importante, porque la durabilidad de las piezas cerámicas depende de la calidad de éste. También existen empresas que lo elaboran para extender una garantía de uso y con ella hacerla efectiva respecto al tiempo de vida del cerámico.

En este trabajo se presentan resultados del análisis geoquímico petrogenético y pruebas físicas (compresivas) realizadas a la roca volcánica procedente de la cantera Tezoantla ubicada en el municipio de Mineral del Monte, estado de Hidalgo, México, propuesto como material geológico residual y de reciclaje sustituyente parcial de cemento blanco y gris, con el fin de que resulten formulaciones más económicas con propiedades fisicoquímicas similares, y en el mejor de los casos superiores a las comercializadas actualmente, sin demeritar la calidad y acabado final deseable.

El objetivo de este trabajo es desarrollar nuevas formulaciones de adhesivos utilizando materiales de origen geológico, residuales y de reciclaje que cumplan con las normas de calidad: NMX-C-420-ONCCE-2003, NMX-C-159-ONCCE-2004 y especificaciones requeridas por la industria cerámica, además de ser ecológicamente sustentables.

SECCIÓN EXPERIMENTAL

Se realizó recolección de muestras de polvo y recortes de roca volcánica producto de la actividad de corte y laminado de la cantera de Tezoantla, como material geológico propuesto como sustituyente de cemento blanco y gris en la fabricación de adhesivos para la industria cerámica.

Para la caracterización geoquímica y petrofísica del material geológico, se inició con trituración y molienda de las muestras de polvo y recortes de la roca volcánica utilizando

un pulverizador de la marca *FRICTSCH Pulverisette 2* por espacio de 20 minutos, tiempo suficiente para reducir el material a malla -200. Se seleccionaron 50 g de este polvo para ser enviado a los laboratorios de Activación Neutrónica (*Actlabs*) en Canadá para su caracterización química de roca total (determinación de elementos mayores y traza), resultados analíticos que fueron posteriormente utilizados para la construcción de diagramas de clasificación y discriminación petrogenética.

Con la finalidad de estudiar el tamaño, la morfología y la composición mineralógica del material geológico usado como sustituto del cemento blanco y gris, se realizaron estudios morfológicos y de tamaño de partícula mediante un microscopio electrónico de barrido (MEB) y para la caracterización mineralógica se aplicó técnica de difracción de rayos X de muestra polvo.

A continuación se elaboraron probetas de lámina de 5x5x5 cm no absorbente y rígida con diferentes proporciones de roca volcánica motivo de estudio a la que se adicionó agua potable (1:5, - NMX-C-122-ONNCCE-2004) con los diferentes adhesivos comerciales de diferentes marcas registradas: Bexel-Sanson Blanco®, Crest-Blanco®, adhesivo amarillo antideslizante Premier Interceramic®, que cumplen con la norma de calidad NMX-C-420-ONCCE-2003.

En la Tabla 1 aparecen valores estimados del agua de mezclado, adhesivos y el material geológico en diferentes proporciones para probetas de 5x5x5 cm como se establece en la norma oficial antes mencionada.

Probetas de 5x5x5 cm			
Porcentaje	Adhesivo Comercial	Material geológico	Agua
100%	183g	---	45.75ml
90/10%	164.7g	18.3g	45.75ml
80/20%	146.4g	36.6g	55ml

Para el colado de las probetas se limpiaron previamente y se aplicó una capa de diesel en el interior de las probetas para facilitar el desmolde a las 24 h de fraguado. Se dejaron secar y probaron mecánicamente a 7 días y otras testigo a 28 días, que fue el tiempo final de fraguado según la norma oficial mexicana, para posteriormente realizar las pruebas petrofísicas de compresión.

RESULTADOS

El difractograma de rayos X muestra que la composición mineral del residuo producto de la actividad de laminado de tobas e ignimbritas volcánicas procedentes de la cantera de Tezoantla es principalmente de cuarzo y zeolita del tipo mordenita.

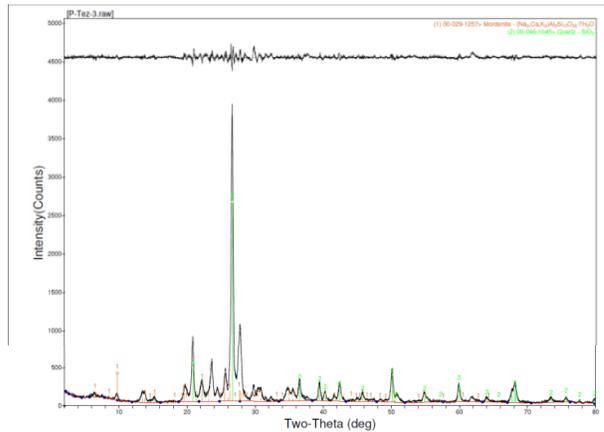


Figura 1.-Difractograma de la toba de Tezoantla, municipio de Mineral del Monte, Hidalgo.

El análisis de ICP-MS de toba del banco de Tezoantla se utilizaron los diagramas de TAS y la Clasificación de rocas volcánicas según Peccerillo y Taylor, 1976 estableciendo como tipo de roca una dacítica de la serie calcoalcalina de arco.

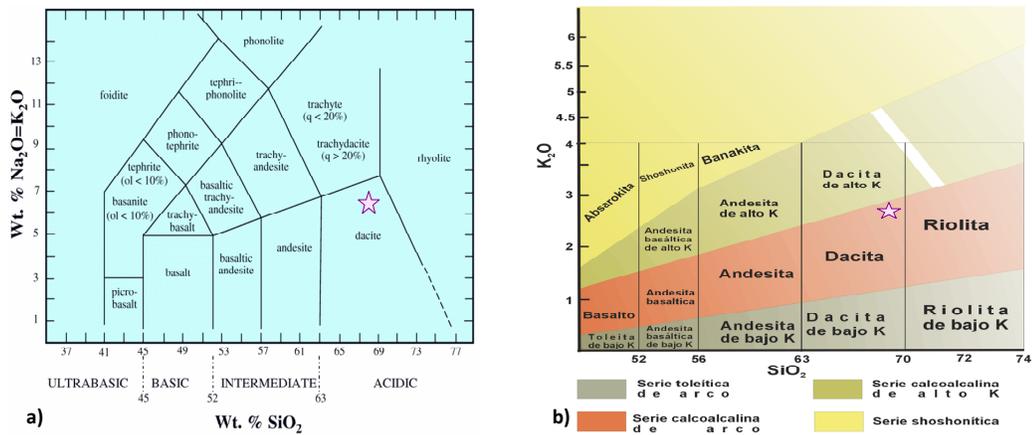


Figura 2.- a) Diagrama Total Álcali Silíce TAS (Le Maitre *et al.*, 1989)
b) Clasificación geoquímica de rocas volcánicas (Peccerillo y Taylor, 1976)

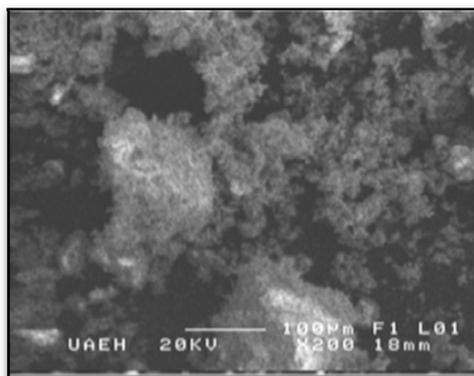


Figura 4.-Fotomicrografía MEB de la toba Tezoantla

28 días del fraguado							7 días del fraguado					
% sustitución	Amarillo Interceramic®		Bexel®		Crest®		Amarillo Interceramic®		Bexel®		Crest®	
	Carga	Kg/cm ²	Carga	Kg/cm ²	Carga	Kg/cm ²	Carga	Kg/cm ²	Carga	Kg/cm ²	Carga	Kg/cm ²
80/20	950	38	767	30.7	897	35.9	475	19	388	15.5	452	18.1
90/10	1310	52.4	899	36	1011	40.4	666	26.6	465	18.6	210	8.4
100	1856	74.24	1342	53.7	1502	60.1	933	37.3	698	27.9	778	31.1

Tabla 2.- Valores de carga y compresión a los que se sometieron los adhesivos con diferentes proporciones de sustitución con polvo de la roca volcánica de la cantera de Tezoantla, Municipio de Mineral del Monte, Hidalgo.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Se estableció la composición mineral cualitativa y cuantitativa de las muestras obtenidas de la operación de corte de rocas volcánicas destinadas a laminado para la industria de la construcción. El difractograma de rayos X reveló que el cuarzo y la mordenita son los principales minerales constituyentes de la roca volcánica.

Utilizando los resultados del análisis geoquímico de roca total y aplicando los diagramas de clasificación química para las rocas volcánicas TAS de LeMaitre (1989) y el de Peccerillo y Taylor (1976), se concluye que el litotipo piroclástico tiene composición dacítica de la serie calcoalcalina de arco.

Las pruebas petrofísicas realizadas a compresión con fraguado a los 7 días resultaron desfavorables debido a la humedad remanente, situación que se contrapone a lo establecido por la norma. A los 28 días el fraguado fue total y las pruebas a compresión fueron favorables a sustituciones parciales de cemento gris – blanco con el polvo de roca volcánica en 70/30% (situación límite con la norma) y 80/20%. Se buscará un aglomerante que coadyuve con la resistencia a proporciones menores, así como también la adición de microesferas de aluminosilicato para que se incremente la resistencia mecánica sin incrementar notablemente el costo de fabricación.

Los resultados de las pruebas preliminares mostraron mejorías en algunas de las mezclas, pero con la existencia de otros parámetros a considerar, sugiriendo la necesidad de mejorar las variables de trabajo.

REFERENCIAS

- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, K., Keller, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. and Zanettin, B., 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. Blackwell, Oxford.
- NMX-C420-ONCCE-2003. *Industria de la construcción-concreto-determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto*. s.l. : Diario Oficial de la Federación. 2003.

- NMX-C-159-ONNCCE-2004. *Industria de la construcción. Elaboración y curado en laboratorio de especímenes de concreto o la norma.* s.l. : Diario Oficial de la Federación. 2004.
- NMX-C-122-ONNCCE-2004. *Industria de la construcción. Agua para concreto.* s.l. : Diario Oficial de la Federación. 2004.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R. 1976. *Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey.* Contributions to Mineralogy and Petrology. v. 58. p. 63-81.

VOLCÁN ÑADÓ: UN COMPLEJO VOLCÁNICO EFUSIVO AL NORTE DEL GRABEN DE ACAMBAY

Castro-Segura Javier¹, Cabrera Román Jesús¹, Valdez-Moreno Gabriel¹ y Arce José Luis²

¹Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, Taxco El Viejo, Guerrero.

Ex Hacienda San Juan Bautista S/N, Taxco El Viejo, Guerrero, México.

²Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México

valdezm@unam.mx

El volcán Ñadó (3,300 m sobre el nivel del mar) localizado en el sector central del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM) representa la estructura volcánica más alta de la región, al norte del Graben de Acambay. En el volcán Ñadó resalta la presencia de una espina de composición dacítica y un domo dacítico que representa la parte más alta del volcán. Mediante descripciones de campo y análisis químicos preliminares se han agrupado a las rocas del volcán en unidades estratigráficas: 1. Secuencia pre-Ñadó constituida por una serie de domos riolíticos que afloran al sureste del volcán. Petrográficamente exhiben una mineralogía de fenocristales de cuarzo+sanidino+plagioclasa+biotita+zircón, inmersos en una matriz microcristalina con abundante vidrio incoloro y evidencias de desvitrificación; 2. Secuencia de lavas y domos dacíticos Ñadó, contemporáneos con una serie de conos de escoria y derrames de lava asociados que se localizan tanto al norte como al sur de la estructura principal. La petrografía de la secuencia Ñadó se puede dividir en andesitas ricas en fenocristales de hiperstena y plagioclasa inmersos en una matriz formada por microlitos de plagioclasa; dentro de esta secuencia resalta la mineralogía del domo cerro Pelón, constituida por fenocristales de plagioclasa+hiperstena+biotita inmersos en una matriz microgranular. Respecto a la secuencia contemporánea de conos de escoria, ésta se caracteriza por una mineralogía constituida por fenocristales de olivino+cromita+clinopiroxeno+minerales opacos, inmersos en una matriz microlítica; por último; 3. Secuencia post-Ñadó constituida por derrames andesíticos al sur del volcán e ignimbritas provenientes de la caldera de Amealco y que rodean parcialmente la estructura principal. Los derrames de lava muestran una mineralogía constituida por escasos fenocristales de hiperstena inmersos en una matriz de arreglo subtraquítico, mientras que las ignimbritas se caracterizan por la presencia de una textura fragmentada, constituida por fiammes, fragmentos líticos y cristales, inmersos en una matriz formada por cenizas. Respecto a la geoquímica, esta muestra una firma asociada a subducción con un enriquecimiento en los

elementos altamente incompatibles (LILE) con respecto a los elementos de alto campo de esfuerzo (HFSE), así como picos negativos en Nb, Ta y Ti.

SESIÓN ESPECIAL

CONTRIBUCIONES PARA EL AVANCE DE LA NUEVA CIENCIA GEOQUIMIOMETRÍA EN MÉXICO

RENOVACIÓN DE LA CIENCIA GEOQUÍMICA COMO GEOQUIMIOMETRÍA: DIAGRAMAS DE DISCRIMINACIÓN TECTONOMAGMÁTICAS MULTIDIMENSIONALES

Surendra P. Verma *

Departamento de Sistemas Energéticos, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/no., Col. Centro, Apdo. 34, Temixco 62580, Mexico.

* spv@ier.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 40 años, los diagramas de discriminación tectonomagmática han constituido una herramienta ampliamente usada en las geociencias. Se puede mencionar algunos diagramas propuestos por: Pearce y Cann [1, 2] (con más de 210 y 1700 citas bibliográficas, respectivamente, de acuerdo con el *Science Citation Index*), Pearce y Norry [3] (con más de 1200 citas), Wood [4] (con más de 500 citas), Pearce [5] (con más de 1000 citas), Shervais [6] (con más de 600 citas), Mullen [7] (con más de 240 citas), Meschede [8] (con más de 500 citas), y Cabanis y Lecolle [9] (con más de 500 citas).

EL funcionamiento de muchos de estos diagramas fue evaluado estadísticamente por Verma [10], quien encontró que casi todos ellos no funcionan adecuadamente para el propósito que fueron propuestos. Las razones del funcionamiento deficiente de estos diagramas son múltiples [11]. En resumen, para superar estas deficiencias se requiere establecer una base de datos representativa de todo la Tierra, abrir el campo cerrado de composiciones mediante la transformación logarítmica de relaciones de las concentraciones de elementos químicos [12, 13], y usar el análisis discriminante lineal [14].

Esta evaluación de los diagramas existentes estableció claramente la necesidad de nuevos diagramas de discriminación que no tuvieran los defectos de los tradicionales. El objetivo de la presente ponencia es comentar sobre este desarrollo geoquimiométrico [15].

NUEVOS DIAGRAMAS MULTI-DIMENSIONALES

Los primeros diagramas multi-dimensionales fueron propuestos en 2004 por Agrawal et al. [16] para la discriminación de magmas básicos y ultrabásicos. Estos diagramas fueron basados en las concentraciones ajustadas de elementos mayores y en el análisis discriminante lineal. Fueron cinco diagramas para discriminar cuatro ambientes tectónicos de arco, rift continental, islas oceánicas y cresta mid-oceánicas. Para usar estos diagramas, es necesario calcular las concentraciones ajustadas mediante el programa computacional de SINCLAS [17] o IgRoCS [18] y asegurar la naturaleza básica o ultrabásica de los magmas correspondientes [19]. Las ecuaciones correspondientes para los diagramas tipo DF1-DF2 fueron reportados en el trabajo original [16].

Poco después en 2006, Verma et al. [20] presentaron cinco nuevos diagramas para discriminar los cuatro ambientes antes mencionados en rocas básicas y ultrabásicas. Estos diagramas multi-dimensionales fueron los primeros en el mundo que se basaron en las relaciones logarítmicas de elementos mayores. Esto es importante ya que este trabajo estableció, por vez primera, en los diagramas de discriminación la manera estadísticamente coherente de manejar las composiciones.

En 2008, Agrawal et al. [21] propusieron cinco nuevos diagramas multi-dimensionales también para discriminar cuatro ambientes tectónicos en rocas básicas y ultrabásicas. Como novedad, estos diagramas se basan en relaciones logarítmicas de cinco elementos inmóviles o poco móviles (La, Sm, Yb, Nb y Th).

Para la discriminación tectonomagmáticas de rocas básicas y ultrabásicas, Verma y Agrawal [22] elaboraron otro grupo de cinco diagramas también basados en relaciones logarítmicas de cinco elementos inmóviles (TiO_2_{adj} , Nb, V, Y, Zr). Es indispensable el uso del programa SINCLAS [17] o IgRoCS [18] para obtener el valor de TiO_2 ajustado.

Todos los diagramas multi-dimensionales, siendo 20 en total, son para la discriminación de cuatro ambientes tectónicos en rocas básicas y ultrabásicas.

Más recientemente en 2012 y 2013, 35 diagramas multi-dimensionales más han sido propuestos para rocas intermedias y ácidas [23-25]. Los cuatro ambientes a discriminar son arco de isla, arco continental, intra-placa (rift continental e isla oceánica) y colisión.

Los últimos 15 diagramas para rocas ácidas incluidos en el artículo [25] publicado en la revista Lithos de alto impacto han tenido la suerte de pertenecer al uno de los trabajos más bajados de la página de internet de la revista Lithos. Elsevier ha declarado la posibilidad de acceso libre a este artículo [25] durante un par de meses, por lo que pensamos que más personas lo van a bajar en forma gratuita.

Estos 55 diagramas, por lo tanto, ya completan la posibilidad de discriminar cuatro ambientes tectónicos para todas rocas básicas y ultrabásicas (arco, rift continental, islas oceánica y cresta mid-oceánica) y cuatro para rocas intermedias y ácidas (arco de isla, arco continental, rift e isla oceánica juntos, y colisión). Los diagramas para rocas básicas y ultrabásicos no incluyen el ambiente de colisión, tampoco son capaces de discriminar los dos tipos de arcos, mientras que los diagramas para rocas intermedias y ácidas no incluyen el ambiente de cresta mid-oceánica y no son capaces de discriminar rift continental de isla oceánica. Sin embargo, sería útil discriminar los seis ambientes tectónicos que son arco de isla, arco continental, rift continental, isla oceánica, cresta mid-oceánica y colisión continental - una tarea sumamente difícil, aún pendiente por realizar.

Por otra parte, para rocas sedimentarias Armstrong-Altrin y Verma [26] habían demostrado que los diagramas existentes proporcionaban relativamente una baja tasa de éxito para la discriminación tectónica, por lo que era necesario aplicar la metodología novedosa para obtener nuevos diagramas multi-dimensionales. Dos nuevos diagramas de discriminación para tres ambientes tectónicos de arco, rift continental y colisión han sido ya desarrollados para rocas silici-clásticas [27]. Estos diagramas abren nuevas posibilidades para la investigación de ambientes tectónicos de rocas sedimentarias.

APLICACIONES

En los trabajos originales de los diagramas de discriminación, los autores han abordado también la evaluación de los diagramas. Además de ellos, otros trabajos reportan la evaluación de los diagramas para rocas alteradas [28, 29].

Los nuevos diagramas multi-dimensionales han sido usados para inferir los ambientes tectónicos en diversas partes del mundo [30-45].

Con el fin de facilitar estas aplicaciones, es importante desarrollar programas de cómputo. Un programa de este tipo es TecD que facilita el uso de los diagramas multi-dimensionales para rocas básicas y ultrabásicas [46]. Otro programa TecDIA para rocas intermedias y ácidos está en el proceso de publicación por Verma y Cruz-Huicochea que pronto será disponible para su uso por la comunidad geocientífica.

CONCLUSIONES

Es grato documentar un gran avance en el manejo estadístico coherente de datos composicionales en el área de diagramas de discriminación tectónica. Ya se cuenta con 55 diagramas multi-dimensionales para rocas ígneas y 2 para rocas sedimentarias. Muchos de los diagramas ya han sido ampliamente usados, mientras que otros aún esperan su aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente apoyado por el proyecto DGAPA-PAPIIT IN104813.

REFERENCIAS

1. Pearce J.A. and Cann J.R., *Earth and Planetary Science Letters*, 12: 339 (1971).
2. Pearce J.A. and Cann J.R., *Earth and Planetary Science Letters*, 19: 290 (1973).
3. Pearce J.A. and Norry M.J., *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69: 33 (1979).
4. Wood D. A., *Earth and Planetary Science Letters*, 50: 11 (1980).
5. Pearce J.A., *Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries*, in: *Andesites* (Thorpe R.S., ed.), 525-548. John Wiley & Sons, Chichester (1982).
6. Shervais J. W., *Earth and Planetary Science Letters*, 59: 101 (1982).
7. Mullen E.D., *Earth and Planetary Science Letters*, 62: 53 (1983).
8. Meschede M., *Chemical Geology*, 56: 207 (1986).
9. Cabanis B., Lecolle M., *Compte Rendu Academy Sciences Paris*, 309: 2023 (1989).
10. Verma S.P., *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19: 185 (2010).
11. Agrawal S., Verma S.P., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71: 3388 (2007).
12. Aitchison J., *The statistical analysis of compositional data*, Chapman and Hall, London, New York (1986).
13. Egozcue J.J., Pawlowsky-Glahn V., Mateu-Figueras G., Barceló-Vidal C., *Mathematical Geology*, 35: 279 (2003).
14. Agrawal S., *Journal of the Geological Society of India*, 54: 335 (1999).
15. Verma S.P., *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29: 276 (2012).
16. Agrawal S., Guevara M., Verma S.P., *International Geology Review*, 46: 575 (2004).

17. Verma S.P., Torres-Alvarado I.S., Sotelo-Rodríguez Z.T., *Computers & Geosciences*, 28: 711 (2002).
18. Verma, S.P., Rivera-Gómez M.A., *Episodes*, 36: 115 (2013).
19. Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., *Journal of Petrology*, 27: 745 (1986).
20. Verma S.P., Guevara M., Agrawal S., *Journal of Earth System Science*, 115: 485 (2006).
21. Agrawal S., Guevara M., Verma S.P., *International Geology Review*, 50: 1057 (2008).
22. Verma S.P., Agrawal S., *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28: 24 (2011).
23. Verma S.P., Verma S.K., *Turkish Journal of Earth Sciences*, in press (2013).
24. Verma S.K., Pandarinath K., Verma S.P., *International Geology Review*, 54: 325 (2012).
25. Verma S.P., Pandarinath K., Verma S.K., Agrawal S., *Lithos* 168-169: 113 (2013).
26. Armstrong-Altrin J.S., Verma S.P., *Sedimentary Geology*, 177: 115 (2005).
27. Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S., *Chemical Geology*, 355: 117 (2013).
28. Sheth H.C., *Terra Nova*, 20: 229 (2008).
29. Pandarinath K., Verma, S.K., *Journal of Iberian Geology*, 39: 181-195 (2013).
30. Rajesh H.M., *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 154: 591 (2007).
31. Srivastava R.K., Sinha A.K., *Nd and Sr isotope systematics and geochemistry of plume-related early Cretaceous alkaline- mafic-ultramafic igneous complex from Jasra, Shillong plateau, northeastern India*, in: *Plates, Plumes, and Planetary Processes* (Foulger G.R., Jurdy D.M., eds.), pp. 815-830, Geological Society of America (2007).
32. Wiszniewska J., Krzeminska E., Dör W., *Gondwana Research*, 12: 268 (2007).
33. Armstrong-Altrin J.S., *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26: 764 (2009).
34. Ramakrishnan M., *Journal of Geological Society of India*, 73: 101 (2009).
35. Bailie R., Gutzmer J., Rajesh H.M., *Lithos*, 119: 345 (2010).
36. Slovenec D., Lugovic B., Vlahovic I., *Geologica Carpathica*, 61: 273 (2010).
37. Polat A., Fryer B.J., Appel P.W.U., Kalvig P., Kerrich R., Dilek Y., Yang Z., *Lithos* 123: 50 (2011).
38. Bailie R., Rajesh H.M., Gutzmer J., *Precambrian Research*, 200: 163 (2012).
39. Siddiqui R.H., Jan M.Q., Khan M.A., *Journal of Asian Earth Sciences*, 59: 24 (2012).
40. Van Kranendonk M.J., Sonntag I., *Australian Journal of Earth Sciences*, 59: 707 (2012).
41. Verma S.P., *Comunicações Geológicas*, 99: 79 (2012).
42. Zhu D.-C., Zhao Z.-D., Niu Y., Dilek Y., Wang Q., Ji W.-H., Dong G.-C., Sui Q.-L., Liu Y.-S., Yuan H.-L., Mo X.-X., *Chemical Geology*, 328: 290 (2012).
43. Velasco-Tapia F., Verma S.P., *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22: 32 (2013).
44. Verma S.K., Oliveira E.P., *Journal of South American Earth Sciences*, 45: 117 (2013).
45. Polat A., *Geology*, 41: 379 (2013).
46. Verma S.P., Rivera-Gómez M.A., *Journal of Iberian Geology*, 39: 167 (2013).

Aplicación de las pruebas estadísticas de discordancia y significancia en la comparación del vulcanismo dacítico de la parte central de Cinturón Volcánico Mexicano

Lorena Díaz-González¹ and Rene Cruz-Huicochea²

¹Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Mor., 62209, México.

²Posgrado en Ingeniería (Energía), Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/n, Centro, 62580 Temixco, Mor., México.

*ldg@uaem.mx

RESUMEN

Nuestro objetivo es presentar una metodología estadística, junto con dos nuevos programas (DODESSYS y UDASYS). Para esta tarea compilamos una base de datos de 249 muestras de rocas dacitas provenientes de cuatro regiones del cinturón volcánico mexicano (MVB): volcanes monogenéticos de la Sierra de Chichinautzin y el Valle de México, estratovolcán Nevado de Toluca, estratovolcán Iztaccíhuatl y estratovolcán Popocatepetl. Las pruebas estadísticas de discordancia y significancia (ANOVA –ANALYSIS OF VARIANCE–, F de Fisher y t de Student) fueron aplicadas al 99% de nivel de confianza. Se calculó la estadística final para 98 parámetros, incluyendo óxidos mayores, elementos de tierras raras, elementos traza y parámetros adicionales, tales como parámetros de relaciones logarítmicas usados en nuevos diagramas de discriminación tectónica. Estos parámetros fueron tratados como muestras estadísticas univariadas y fueron clasificados en cuatro regiones del MVB. Las pruebas estadísticas de discordancia detectaron datos discordantes en 124 (aproximadamente en el 35%) muestras estadísticas univariadas. La prueba ANOVA mostró diferencias significativas entre todos los grupos en 32 parámetros. Las similitudes y diferencias entre los parámetros de relaciones logarítmicas pueden ser útiles en el futuro para proponer diagramas de discriminación tectónica a partir de una base de datos representativa.

Palabras Clave: ANOVA, F de Fisher, t de Student, datos discordantes, datos geoquímicos, manejo estadístico de datos composicionales.

Referencias:

1. Verma S P, Cruz-Huicochea and Díaz-González L, Univariate data analysis system: deciphering mean compositions of island and continental arc magmas and effects of underlying crust, International Geology Review, in press.
2. L. Díaz-González, Rene Cruz-Huicochea. Importance of discordancy and significance statistical tests for the comparison of dacitic volcanism. Revista de Investigación Nova Scientia. ISSN-e: 2007-0705. Artículo en prensa.

Evaluación de las pruebas de discordancia por medio de la simulación tipo Monte Carlo, con contaminación múltiple para datos univariados.

Mauricio Rosales-Rivera^c, Surendra P. Verma^a, Lorena Díaz-González^b

^a *Departamento de Sistemas Energéticos, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/n. Col. Centro, Apdo. 34, Temixco. 62580, México.*

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

^c *Maestría en Modelado Computacional y Cómputo Científico, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001. Col. Chamilpa. Cuernavaca, Morelos. C. P. 62209. México*

RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados de estadística computacional, haciendo uso del poder del cálculo computacional junto con algoritmos para la obtención de valores distribuidos de forma independiente. Se afronta una rama de la estadística dedicada al análisis e interpretación de los datos experimentales con los que se trabaja diariamente en las diversas áreas de ciencia e ingeniería.

El objetivo principal de este trabajo es comparar las 15 pruebas de discordancia para 23 de las 33 variantes (para contaminación $k=1$ y $k=2$, implementando una contaminación tanto para la media, como para la desviación estándar). Estas tienen la función de detectar datos discordantes dentro de una muestra estadística normal. Como parte de la metodología computacional se aplica el método de simulación Monte Carlo, usando algoritmos computacionales para generar números aleatorios, para comprobar la aleatoriedad de estos números y obtener datos normalmente distribuidos. Se está usando una contaminación sencilla (se contaminó un solo dato extremo) por ambos lados de la muestra normal, así como una contaminación múltiple (contaminando dos datos en el extremo). La finalidad de las pruebas de discordancia es identificar los datos contaminados como anómalos. El análisis de resultados fue realizado usando un conjunto de criterios de efectividad previamente definidos. Así como la introducción de un nuevo parámetro para la comparación de las pruebas con la finalidad de llevar estos resultados a la aplicación.

Finamente, mostramos de forma objetiva la comparación las 23 variantes de las pruebas tipo sencillo y tipo múltiple para datos experimentales univariados.

CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra un avance de los resultados para realizar esta tesis, sólo se alcanzaron a simular 10 experimentos. Se espera que una vez que se concluya la estructuración del código, se complete la simulación para los 102 experimentos. Mostrando que las pruebas de Dixon tienen un desempeño menor o igual con respecto a las pruebas de Grubbs, Curtosis y Sesgo. En el caso de las pruebas para contaminación múltiple, se está llevando a cabo el análisis de los resultados para aseverar de la misma forma, que las pruebas de Grubbs son más eficientes con respecto a las otras pruebas.

Finalmente, se considera que la metodología aplicada en esta tesis ha demostrado ser eficiente para la comparación de las 23 variantes de pruebas de discordancia, considerando una contaminación tanto sencilla como múltiple. Con lo cual se espera obtener una comparación completa de pruebas sencillas y múltiples.

REFERENCIAS

1. Barnett V. y Lewis T. Outliers in statistical data. Tercera Edición, John Wiley e Hijos. Chichester, 1994.
2. Hayes K., Kinsella T. (2003). Spurious and non-spurious power in performance criteria for tests of discordancy. *The Statistician* 52(1), 69-82.
3. Dixon, W.J., 1950, Analysis of extreme values: *Annals of Mathematical Statistics*, v. 21, p. 488–506.
4. Dixon, W.J., 1951, Ratios involving extreme values: *Annals of Mathematical Statistics*, v. 22, p. 68–78.
5. Dixon, W.J., 1953, Processing data for outliers: *Biometrics*, v. 9, p. 74–89.
6. González-Ramírez, R., Verma, S.P., and Díaz-González, L., 2009, Relative efficiency of single-outlier discordancy tests for processing geochemical data on reference materials and application to instrumental calibrations by a weighted least-squares linear regression model: *Geostandards and Geoanalytical Research*, v. 33, p. 29–49.
7. Grubbs, F.E., 1969, Procedures for detecting outlying observations in samples: *Technometrics*, v. 11, p. 1–21.
8. Grubbs, F.E., and Beck, G., 1972, Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations: *Technometrics*, v. 14, p. 847–854.

9. K. Kishnamoorthy and X. Lian, (2011 in press). Closed-form approximate tolerance intervals for some general linear models and comparison studies. *J. Stat. Comput. Simul.* Pp.
10. Marsaglia, G., (1968), Random numbers fall mainly in the planes: *National Academy of Science Proceedings*, 61(1), 25–28.
11. Marsaglia, G., Bray, T.A., (1964), A convenient method for generating normal variables: *Society for Industrial and Applied Mathematics, SIAM Review*, 6(3), 260–264.
12. Matsumoto, M., Nishimura, T., (1998), Mersenne Twister; A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator: *Association for Computing Machinery, ACM Transactions of Modelling and Computer Simulations*, 8(1), 3–30.
13. Law, A.M., Kelton, W.D., (2000), *Simulation Modeling and Analysis*: Boston, McGraw Hill, Third edition, 760 p.
14. Verma, S.P., 1997, Sixteen statistical tests for outlier detection and rejection in evaluation of international geochemical reference materials: example of microgabbro PM-S: *Geostandards Newsletter: Journal of Geostandards and Geoanalysis*, v. 21, p. 59–75.
15. Verma, S.P., 1998, Improved concentration data in two international geochemical reference materials (USGS basalt BIR- 1 and GSJ peridotite JP-1) by outlier rejection: *Geofísica Internacional*, v. 37, p. 215–250.
16. Verma, S.P., 2009, Evaluation of polynomial regression models for the Student t and Fisher F critical values, the best interpolation equations from double and triple natural logarithm transformation of degrees of freedom up to 1000, and their applications to quality control in science and engineering: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 26, p. 79–92.
17. Verma, S.P., A. Quiroz Ruiz, 2011, Corrigendum to critical values for 22 discordancy test variants for outliers in normal samples up to sizes 100, and applications in science and engineering, *Rev. Mex. Cienc. Geol.* 28(1)(2001), pp. 202.
18. Verma, S.P., A. Quiroz Ruiz y L. Diaz González (2008), Critical values for 33 discordancy test variants for outliers in normal samples up to sizes 1000, and applications in quality control in earth sciences, *Rev. Mex. Cienc. Geol* 25(1) (2008), pp. 82-96.
19. Verma, S.P. y L. Diaz-González (2011), Application of the discordant outlier detection and separation system in the geosciences. *International Geology Review*. iFirst article, 1-22-
20. Wywiał, J.L., 2010, Testing homogeneity of variance or expected value in sequence of independent normal distributions: *Acta Applicandae Mathematicae*, v. 110, 687–704.

Monte Carlo comparison of mean with median and standard deviation with median absolute deviation for statistically contaminated samples of size 5-20 and application for handling trace element concentrations in international geochemical reference materials

José Raúl García-Giles¹, Lorena Díaz-González^{2*}, Surendra P. Verma³

¹Licenciatura en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Mor., 62209, Mexico

² Departamento de Computación, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Mor., 62209, Mexico.

³ Departamento de Sistemas Energéticos, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco s/no., Col. Centro, Apdo. 34, Temixco 62580, Mexico.

[*raul4@live.com.mx](mailto:raul4@live.com.mx)

RESUMEN

Following our precise and accurate procedure (Verma and Quiroz-Ruiz, 2006), Monte Carlo simulations of 10,000,000 replications for sample sizes of five to twenty were used to objectively compare two outlier-based with two robust statistical parameters.

Our simulations show that both mean and standard deviation must be computed only after the application of discordancy tests (Barnett and Lewis, 1994; Verma, 1997) along with the newly simulated precise and accurate critical values, which is fully consistent with the statistical theory (viz., mean and standard deviation are highly affected by discordant outliers).

However, we also observed for the first time an unexpected result that mean and standard deviation (outlier-based estimators) after proper application of discordancy tests generally provide a better estimate of the population than median and MAD (robust estimators), respectively. A measurable parameter τ (Normalized distance of the outlier from the censored mean) was formulated for interpretations. Complex τ dependent correction factors are required for any given sample size rather than the constant correction factors envisioned thus far in the literature. Therefore, further simulation work to cover more complex asymmetric statistical contamination and larger sample sizes is urgently needed.

We emphasize that this is the first time that any one has carried out precise and accurate simulation work along with the application of discordancy tests to achieve an objective comparison of four frequently used statistical parameters (two robust and two outlier-based). Reasons for the better performance of the outlier-based methods as compared to the robust methods are also suggested.

We then applied these simulation results and recommendations for correctly handling compositional data (Aitchison, 1986; Egozcue et al., 2003) to selected cases of international geochemical reference materials. Finally, an objective comparison of crude compositional data with additive as well as isometric log-ratio transformations is also reported.

CONCLUSIONES

The main conclusions of our Monte Carlo simulations of asymmetrical statistical contamination can be summarised as follows:

- (1) The outlier-based methods require the application of discordancy tests prior to the calculation of mean and standard deviation. The common practice of simply calculating these parameters from a series of data must therefore be avoided.
- (2) For C type events, the probability of detecting an upper outlier (a contaminant observation x^*) as discordant increases very rapidly with increase of τ_C as well as of sample size (5-20); this probability achieves the highest value of one. This is a very interesting inference fully consistent with our wishful thinking of detecting this contaminant outlying observation as discordant.
- (3) The robust parameters median and MAD generally provide biased estimates. This conclusion is contrary to the general belief about an overall good performance of these robust parameters.
- (4) The outlier method based mean and standard deviation, particularly after a successful application of discordancy tests, are generally preferable to the robust estimators median and MAD.
- (5) Additional simulation work is required to cover more complex types of asymmetrical contamination and to propose new ways to interpret laboratory data. This will provide further guidelines for the correct handling of compositional data.

REFERENCIAS

1. Aitchison, J. (1986). The Statistical Analysis of Compositional Data. Monographs on Statistics and Applied Probability. Chapman & Hall Ltd., London (UK), 416 p.
2. Barnett, V. and T. Lewis (1994). Outliers in Statistical Data. Chichester, John Wiley & Sons, 584 p.
3. Egozcue, J. J., V. Pawlowsky-Glahn, G. Mateu-Figueras, and C. Barceló-Vidal (2003). Isometric logratio transformations for compositional data analysis, *Mathematical Geology* 35 (3), 279-300.
4. Verma, S. P. (1997). Sixteen statistical tests for outlier detection and rejection in evaluation of International Geochemical Reference Materials: example of microgabbro PM-S, *Geostandards Newsletter. The Journal of Geostandards and Geoanalysis* 21 (1), 59-75.
5. Verma, S. P. and A. Quiroz-Ruiz (2006). Critical values for six Dixon tests for outliers in normal samples up to sizes 100, and applications in science and engineering. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23 (2), 133-161.