

BOLETIN DEL INSTITUTO DE GEOLOGIA

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA**

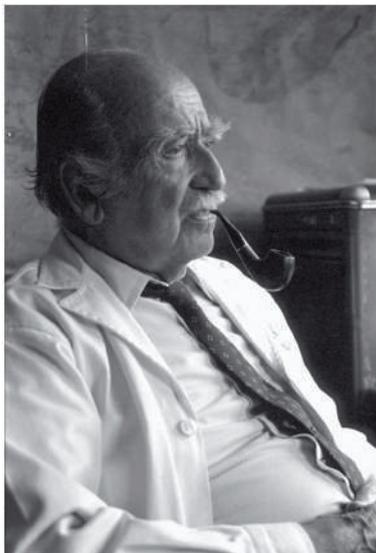
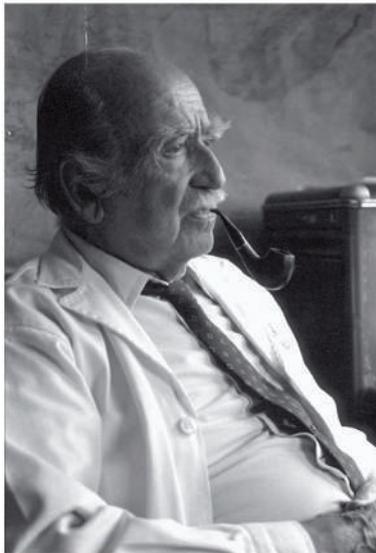


DIRECTORA: Elena Centeno García



Boletín del Instituto de Geología No. 120

**Homenaje al Dr. Zoltan de Cserna De Gömbös
1928-2014**



Instituto de Geología 2011

**EDITOR EN JEFE Dra. Ana Bertha Villaseñor
EDICION TECNICA Y MAQUETACION Denise V. Hernández**

CONTENIDO

AUTOR	TITULO
JOSÉ JORGE ARANDA-GÓMEZ, EDGAR OVIEDO PADRÓN, GA- BRIEL CHÁVEZ CABELLO, JAIME CARRERA HERNÁNDEZ	ALTERNANCIA DE VALLES Y SIERRAS PARALELAS EN EL NORTE Y CENTRO DE MÉXICO; LA DISYUNTIVA ENTRE MONTAÑAS DE BLOQUE O SIERRA COINCIDENTES CON ANTICLINALES 3-28
GILBERTO HERNÁNDEZ-SILVA PÉTER SCHAREK, KÁROLY BREZSNYÁNSZKY ANDRÁS BARTHA SERGIO MARTÍNEZ- TRINIDAD	MERCURY IN THE ENVIRONMENT OF THE MINERALIZED ZONE IN SAN JOAQUÍN, QUERÉTARO, MEXICO.....29-51
SAMUEL EGUILUZ Y DE ANTUÑANO	ESTRATIGRAFÍA Y AMBIENTES DE DEPÓSITO DE CAPAS CONTINENTALES DEL JURÁSICO EN LA SIERRA DE ATOTONILCO, DURANGO, MÉXICO52-70
LUZ FERNANDA AZUELA BER- NAL	ZOLTAN DE CSERNA Y LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA. UNA INTER- PRETACIÓN HISTORIOGRÁFICA.....71-80
LUCERO MORELOS-RODRÍGUEZ JOSÉ OMAR MONCADA-MAYA	ANTONIO DEL CASTILLO (1820-1895): EL PRIMER GEÓLOGO DE MÉXICO.....81-96
KÁROLY BREZSNYÁNSZKY PÉTER SCHAREK, GILBERTO HERNÁN- DEZ SILVA	UN EJEMPLO DE COLABORACIÓN CIENTÍFICA FRUCTÍFERA 97-102

ALTERNANCIA DE VALLES Y SIERRAS PARALELAS EN EL NORTE Y CENTRO DE MÉXICO; LA DISYUNTIVA ENTRE MONTAÑAS DE BLOQUE O SIERRA COINCIDENTES CON ANTICLINALES

José Jorge Aranda-Gómez¹,
Edgar Oviedo Padrón²,
Gabriel Chávez Cabello³,
Jaime Carrera Hernández¹

RESUMEN

En grandes extensiones de la porción meridional de la provincia de Cuencas y Sierras en México, especialmente hacia su borde oriental en donde dominan rocas sedimentarias mesozoicas plegadas de la Sierra Madre Oriental, no siempre es fácil determinar si los frentes de montaña están controlados por fallas normales. Esto se debe a que en muchos sitios los rumbos generales de los pliegues laramídicos y fallas normales son aproximadamente paralelos, por lo que grupos de sierras anticlinales separadas por valles parcialmente rellenos de aluvión, pueden asemejarse a montañas de bloque. En aquellos sitios en donde aún existen vestigios de erosión de una cubierta de rocas volcánicas del Cenozoico, la presencia de fallas normales o de pliegues asociados a extensión puede apoyar la hipótesis de que las sierras anticlinales cercanas tienen bordes controlados por fallas normales. Criterios geomorfológicos como la sinuosidad baja de los frentes de montaña, la presencia de facetas triangulares, cañones con forma de copa de vino, evidencias de levantamiento, reportes de terremotos históricos y de micro-sismicidad indican que en algunos sitios existe extensión intra-placa activa en la transición entre las provincias de Cuencas y Sierras de México y la Sierra Madre Oriental.

Palabras clave: Cuencas y Sierras, Sierra Madre Oriental, montañas

¹ Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, Qro, 76230,

jjag@geociencias.unam.mx

² Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, Qro, 76230

³ Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L., 67700

de bloque, sinuosidad de frente de montaña, cañones con forma de copa de vino, falla activa

ABSTRACT

In large portions of the Mexican Basin and Range province, especially in those regions located toward the east, where folded Mesozoic strata of the Sierra Madre Oriental dominate the outcrops, it is not always easy to determine if the mountain fronts are controlled by normal faults. The reason is that in many places the general trends of the fold axes and normal faults are nearly parallel. Thus, in some regions there are groups of anticlinal ranges separated valleys partially filled by alluvium, which resemble block mountains. The existence of range-front normal faults near anticlinal ranges is easier to infer in those areas where there are still nearby remnants of a younger Cenozoic volcanic successions cut by normal faults and/or by extension-related folds. Geomorphological criteria such as mountain-front sinuosity, triangular facets, wineglass canyons, evidence of uplift, reports of historic earthquakes, and of micro-seismicity indicate that in some places there is still intra-plate-type extension in the transitional zone between the Mexican Basin and Range province and the Sierra Madre Oriental.

Key words: Basin and Range, Sierra Madre Oriental, block mountains, mountain-front sinuosity, wineglass canyon, active fault

INTRODUCCIÓN

Hace más de cuatro décadas de Cserna (1969) publicó un artículo breve con el enigmático título "THE 'ALPINE BASIN AND RANGE PROVINCE' OF NORTH CENTRAL CHIHUAHUA". de Cserna resaltó en esa contribución un problema importante, que en aquel entonces parecía estar limitado al área correspondiente al Cinturón tectónico de Chihuahua (*Chihuahua tectonic belt*: Cohee, 1962), ya que de Cserna (op. cit.) siguiendo a Raisz (1964) consideraba que el *Basin and Ranges* solo abarcaba las partes central y oriental de Chihuahua y occidental de Coahuila (Fig. 1a). Sin embargo, Henry y Aranda-Gómez (1992) propusieron que la provincia de Cuencas y Sierras en realidad abarca una gran parte del norte y centro de México, prolongándose de manera continua cuando menos hasta el Cinturón Volcánico Mexicano (Fig. 1b). El problema que identificó de Cserna aún permanece parcialmente sin resolver y, como se verá en este artículo, puede hacerse extensivo a otras regiones del centro y noreste de México, especialmente en las regiones en donde los afloramientos en las sierras están dominados por rocas mesozoicas plegadas.

En aquellas áreas en donde los pliegues de la Sierra Madre Oriental están parcialmente cubiertos por rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental, este problema es menor o no existe, ya que en los pseudoestratos de las ignimbritas cenozoicas es más fácil distinguir a las fallas normales.

El problema planteado por de Cserna puede resumirse de la siguiente manera: la expresión fisiográfica característica de sierras alargadas separadas por valles amplios y dispuestas en forma casi paralela puede reflejar: (1) la presencia de "montañas de bloque" (*block mountains*) limitadas por fallas normales cenozoicas, pertenecientes a la provincia tectónica de Cuencas y Sierras (Gilbert, 1928) o (2) puede ser producto de la presencia de pliegues laramídicos parcialmente sepultados por sedimentos clásticos continentales, correspondiendo a las sierras los anticlinales y a los valles los sinclinales, o (3) a una combinación de las dos primeras opciones, ya que en muchas regiones del centro y norte de México en donde el cinturón de pliegues y cabalgaduras fue modificado por extensión del Cenozoico tardío, las fallas normales tienen rumbos similares a la tendencia general de los

pliegues laramídicos.

La distinción entre montañas de bloque limitadas por fallas normales y aquellas originadas por pliegues tiene importancia tectónica a nivel regional, para poder establecer el tamaño real de la región afectada por extensión post-laramídica (i.e. el límite de la provincia de Cuencas y Sierras), así como para cuantificar la extensión (e.g. Henry y Aranda-Gómez, 2000). Cabe señalar que la frontera occidental de la provincia de Cuencas y Sierras está bien definida a lo largo de la península de Baja California en donde se le conoce como el “escarpe principal del Golfo” (Gastil et al., 1975), mientras que el borde oriental de la provincia es más bien difuso, por la naturaleza misma del terreno que es dominado por rocas mesozoicas plegadas o por la edad de las fallas normales que tiende a ser mayor que en la cuenca del Golfo de California o por falta de cartografía geológica de detalle en muchas regiones. Por los motivos señalados, se ha inferido que el límite oriente de Cuencas y Sierras “coincide aproximadamente con el cinturón de pliegues laramídicos de la Sierra Madre Oriental” (Henry y Aranda-Gómez, 1992). Sin embargo, éste orógeno dista mucho de ser una franja discreta con límites precisos. Basta señalar que en el

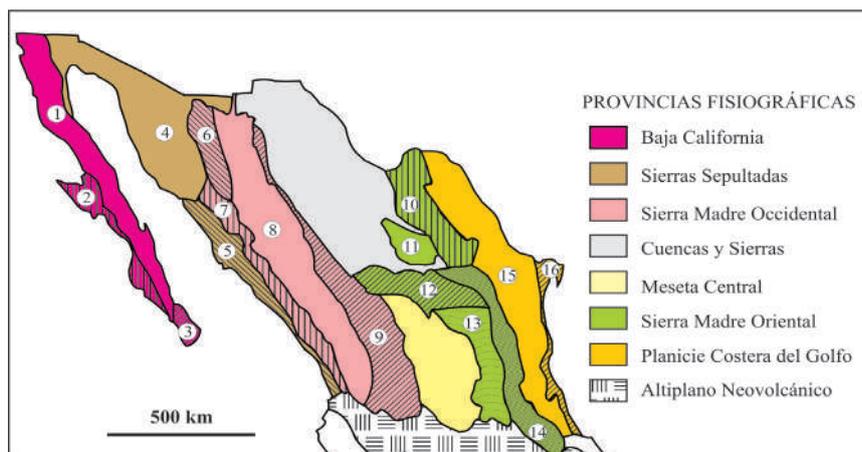
oriente de Chihuahua y occidente de Coahuila el orógeno abarca a las rocas sedimentarias del Chihuahua Trough y del Coahuila Fold Belt, por lo que los pliegues laramídicos se presentan a lo largo de una franja de casi 500 km de anchura. Algo similar sucede en la Mesa Central en donde existe topografía de cuencas y valles paralelos que corresponde a lo que Raisz (1964) llamó las “sierras bajas” de la Sierra Madre Oriental y en el borde occidental del orógeno de la Sierra Madre Oriental, donde está parcialmente cubierta por rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental. Por tanto, el problema señalado por de Cserna es relevante en una gran parte del centro y norte de México.

A nivel local, el conocer si en una región dada se está tratando con montañas de bloque o montañas formadas por un conjunto de pliegues parcialmente sepultados por aluvión puede ser de relevancia en la prospección de yacimientos minerales, en la interpretación de la evolución geológica y en la ubicación de fallas normales cuaternarias, potencialmente activas.

En el transcurso de nuestra investigación en el centro y norte de México hemos tenido que resolver el problema a escala local en las

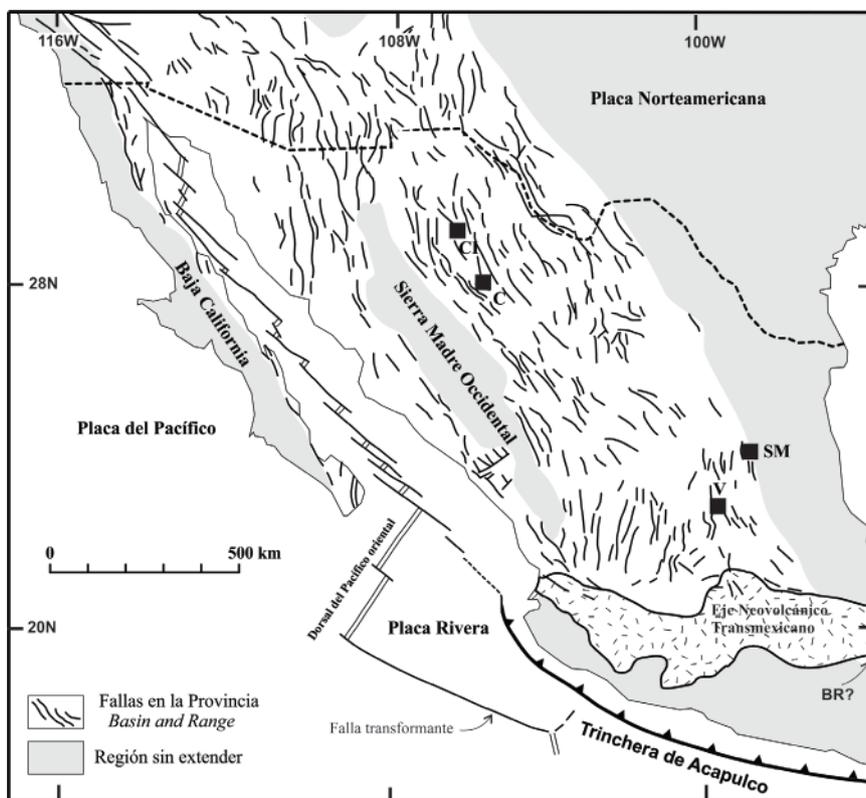
Figura 1.

(a) Provincias fisiográficas del centro y norte de México (Raisz, 1964). Nótese que en esta interpretación la provincia "Basins and Ranges" [sic] solo abarcaba partes de Chihuahua y Coahuila. La mayoría de las provincias están divididas en subprovincias. Clave de subprovincias: 1 = Baja California, 2 = Tierra baja y colinas de Vizcaíno, 3 = Tierra alta del sur, 4 = Desierto de Sonora, 5 = Los deltas y costa de Sinaloa y Nayarit, 6 = Sierras alargadas, 7 = Crestas de piedemonte, 8 = Planicie de riolita, 9 = Tierra alta con cuencas, 10 = Sierras del norte, 11 = Tierra alta de Coahuila, 12 = Sierras atravesadas, 13 = Sierras bajas, 14 = Sierra alta, 15 = Planicie costera del Golfo y 16 = Costa baja.



(b) La porción en México de la provincia Basin and Range de acuerdo a Henry y Aranda-Gómez (1992). Nótese que al sur del Eje Neovolcánico se señala un área pequeña (BR?) en donde hay una falla normal cenozoica bien documentada y que se ha especulado que es una posible parte de Basin and Range.

Ejemplos discutidos en este artículo: CI = Sierra Cuesta El Infierno, C = Campo volcánico de Camargo, V = Campo volcánico Ventura y SM = Sierra Mocha.



cercanías de campos volcánicos intra-placa plio-cuaternarios o de pliegues asociados a extensión (e.g. Janecke et al., 1998) desarrollados en rocas volcánicas cenozoicas de la Sierra Madre Occidental. Los frentes de montaña abruptos y casi rectos, desarrollados en rocas plegadas del Mesozoico o en rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno en las cercanías de campos de lava extensos, en sitios cortados por fallas normales, contemporáneas o ligeramente posteriores a la actividad volcánica intra-placa, sugieren la posibilidad de que son controlados por fallas normales. Ejemplos relevantes que discutiremos son los de las sierras Cuesta El Infierno y Los Palmares (Chihuahua) y los campos volcánicos de Camargo (Chihuahua) y Ventura (San Luis Potosí). En estas tres áreas (Fig.1b) queda clara la disyuntiva planteada por de Cserna (1969). Nuestras conclusiones de que en todas esas áreas existen fallas normales que limitan a las “sierras anticlinales” solo pudieron alcanzarse a partir de extrapolar información derivada de rocas volcánicas – cercanas o sobreyaciendo en parte a los estratos marinos deformados – o de datos indirectos como la magnetometría aérea. Con relación a la ubicación del borde oriental de la provincia de Cuencas y Sierras

y a la existencia de fallas activas en algunos sitios, discutiremos brevemente un frente de montaña ubicado justo en el límite entre las sierras bajas y la sierra alta de la Sierra Madre Oriental (Fig. 1) cerca de Tula (Tamaulipas).

PLIEGUES ASOCIADOS A EXTENSIÓN DESARROLLADOS EN SUCESIONES VOLCÁNICAS

Las sierras Cuesta El Infierno y Los Palmares (Fig. 2) forman un solo rasgo orográfico compuesto por rocas volcánicas del Eoceno medio y Oligoceno temprano (45 – 33 Ma, Oviedo-Padrón et al., 2010). Como un todo, este rasgo orográfico tiene un rumbo N20W en el norte y cambia abruptamente a una dirección N60W en el sur, imitando a lo que sucede en rocas mesozoicas plegadas y cabalgadas en otro conjunto orográfico paralelo, ubicado a poca distancia (≈ 6 km) hacia el oriente. Ese conjunto está formado por las sierras El Morrión (N20W) y La Gloria (N70W), que rodean la porción sudoccidental del Levantamiento de Plomosas (Hennings, 1994) en el estado de Chihuahua. El extremo septentrional de la Sierra Cuesta el Infierno es un sinclinal abierto con inmersión

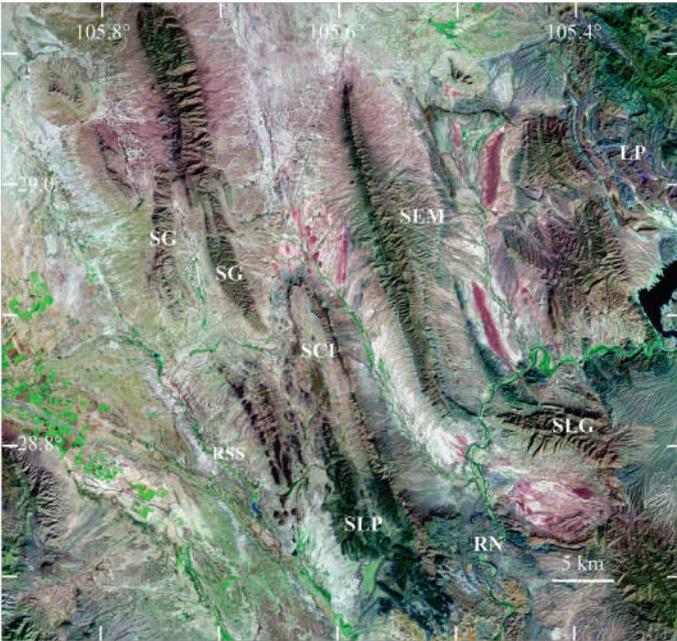


Figura 2. Imagen de satélite *Geocover TM, Landsat thematic mapper* de falso color (bandas 7, 4, 2) de la región de la Sierra Cuesta El Infierno (SCI) - Sierra Los Palmares (SLP) - Rincón del Nieto (RN) y sus alrededores. Nótese que el conjunto Sierra El Morrión (SEM) - Sierra La Gloria (SLG), que es el borde occidental del Levantamiento de Plomosas (LP), es burdamente paralelo al conjunto que incluye a la Cuesta El Infierno. Otras localidades mencionadas en el texto: RSS = Rancho San Sebastián y SG = Sierra de Gómez.

al S20E y que cambia a un monoclin con rumbo N20W, con capas inclinadas hasta 23° al SW en su extremo meridional (Fig. 3). La Sierra Los Palmares está compuesta por una sucesión dominada por derrames de lavas andesíticas subhorizontales (5° al S) que yacen discordantemente sobre el monoclin. Al SE de la Sierra Los Palmares, en un área conocida como Cuesta el Rincón del Nieto, las rocas volcánicas cenozoicas definen una antifoma con rumbo N60W. Esa estructura es producto de basculamientos diferenciales asociados a un arreglo de dos fallas normales lítricas, con vergencias opuestas, hacia el NE y al SW.

Al oeste de la parte central de la sierra Cuesta el Infierno, inmediatamente al sur de la Sierra de Gómez, cerca del Rancho San Sebastián (Figs. 2 y 3), hay una región cubierta por rocas volcánicas cenozoicas, que fue afectada por tres fallas normales lítricas que produjeron un arreglo de dominó con cuevas basculadas al SW. Esas fallas normales lítricas, así como el conjunto estructural integrado por el sinclinal y el monoclin, son paralelas a los frentes de montaña de las sierras de Gómez y El Morrión (Figs. 2 y 3), que son rectos, bien definidos y paralelos a las estructuras laramídicas en los carbonatos cretácicos, por lo que es lógico

plantear la hipótesis de que la morfología de la Sierra de Gómez puede ser producto de fallamiento normal paralelo a las estructuras laramídicas.

La asociación cercana en el tiempo y espacio entre las rocas volcánicas y elementos estructurales como pliegues abiertos, fallas normales y fallas oblicuas (componente normal > componente lateral) nos hacen suponer que el sinclinal de la Sierra Cuesta El Infierno se originó por plegamiento asociado a procesos de extensión (e.g. Janecke et al., 1998). Tomando en cuenta que en la vecindad inmediata del sinclinal con inmersión no es evidente una falla normal mayor, creemos que la estructura es un pliegue por doblez de falla (*fault-bend fold*) asociado a la re-activación e inversión del sentido de desplazamiento de la cabalgadura Solís propuesta por Hennings (1994), fenómeno que sucedió durante un pulso de extensión en el Paleógeno (Oviedo-Padrón et al., op. cit.). Las fallas lítricas en el Rincón del Nieto y aquellas cercanas al Rancho San Sebastián, al sur de la Sierra de Gómez, son estructuras que se propagaron hasta la superficie.

Las sierras El Morrión y Gómez, en donde

solo afloran rocas sedimentarias mesozoicas plegadas, tienen frentes de montaña notablemente rectos y paralelos al rumbo de las capas sedimentarias. Estas sierras están ubicadas al oriente y noroccidente, respectivamente, de la Sierra Cuesta El Infierno y algunos autores han cartografiado fallas normales paralelas a los frentes de montaña (e.g. Hennings, 1994; Hernández-Noriega et al., 2000; Oviedo-Padrón et al., op. cit) y otros no (Mitchell, 1980; Mitchell et al., 1981; Hernández-Noriega y García-Peralta, 2005), hecho que, posiblemente es debido a que los rumbos de los pliegues, cabalgaduras laramídicas y fallas normales son paralelos, que es el fenómeno al que hizo alusión de Cserna en 1969.

En el contexto regional, es notable que las estructuras en las sierras Gómez y El Morrión - La Gloria y en las sierras Cuesta El Infierno - Los Palmares - Rincón del Nieto sean paralelas entre sí, a pesar de responder, en parte, a dos eventos tectónicos distintos. Los pliegues y cabalgaduras fueron formados junto con el levantamiento de Plomosas durante la orogenia Laramide (Hennings, 1994) y las fallas normales y el pliegue por doblez de falla durante una fase muy temprana de la extensión de Cuencas y Sierras (Oviedo-Padrón et al., 2010).

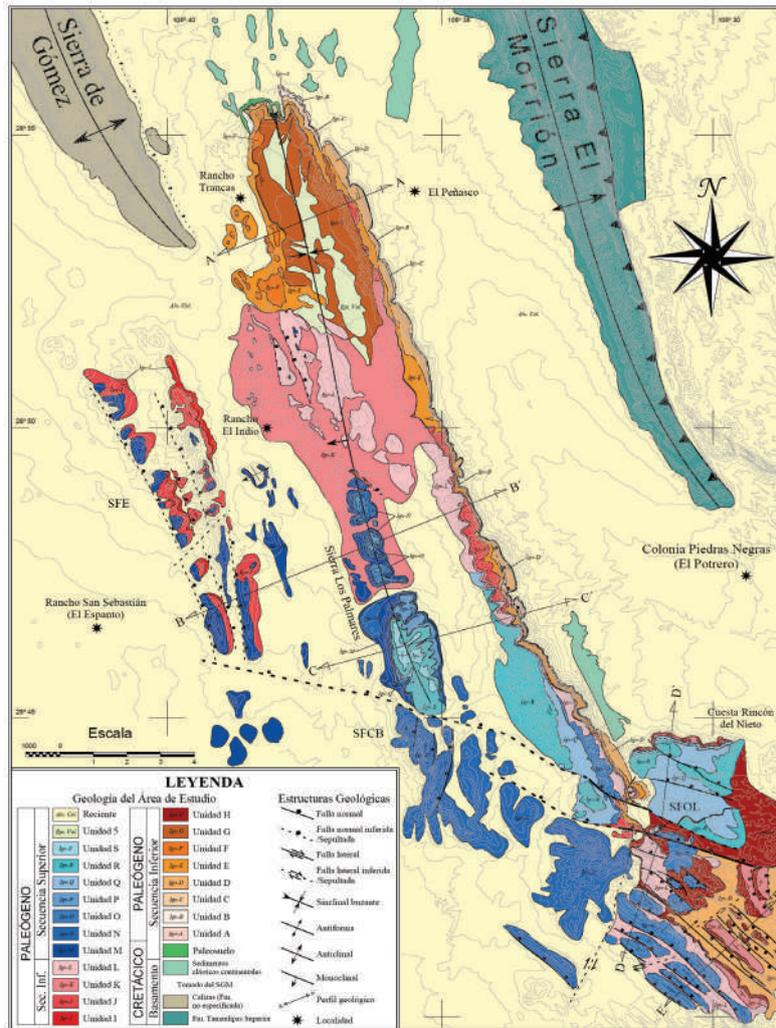


Figura 3. Mapa geológico de las sierras Cuesta El Infierno - Los Palmares - Rincón del Nieto (Oviedo Padrón, 2008). Se puede observar que el autor del mapa consideró que el borde oriental de la Sierra de Gómez es una falla normal, la cual él infiere que está sepultada por el aluvión.

Esto permite especular acerca de la posibilidad de que otras estructuras en el levantamiento de Plomosas y en la región cercana a Ojinaga hayan podido ser re-activadas durante la extensión. La interpretación acerca del origen del conjunto estructural en la Cuesta El Infierno

– La Gloria ejemplifica el papel que jugaron estructuras más antiguas durante los pulsos de extensión, cuando algunas de ellas fueron re-activadas.

FALLAMIENTO PLIO-CUATERNARIO EN EL CAMPO VOLCÁNICO DE CAMARGO Y ÁREAS ADYACENTES (?)

El Campo Volcánico de Camargo (Fig. 4) está ubicado en la parte sudoriental de Chihuahua, cerca del límite con Coahuila. A diferencia de la mayoría de los campos volcánicos intra-placa en el centro y norte de México, que tienden a ser de volumen bajo, en Camargo existe un área extensa ($\approx 3000 \text{ km}^2$) cubierta de manera continua por derrames de lavas máficas alcalinas del Plio-Cuaternario (4.9 – 0.09 Ma, Aranda-Gómez et al., 2003) y más de 300 conos cineríticos o de escoria. En la región en donde se ubica el campo existen afloramientos extensos de caliza mesozoica, así como vestigios erosionales de sucesiones volcánicas, intermedias a félsicas, del Eoceno tardío (46 Ma: Aranda-Gómez et al., 2003) al Oligoceno temprano (31.3 Ma: Smith, 1993) que han sido fechadas en las sierras Aguachile y Agua de Mayo por Smith (Op. Cit.) y en la sierra de La Herradura (33.5 Ma: Aranda-Gómez et al., 2005). Algunas de las sierras calcáreas, como Las Pampas, son franjas paralelas parcialmente rodeadas por sucesiones gruesas

(> 1 km de espesor) de grava intensamente basculada (40-70°) que han sido interpretadas (Aranda-Gómez et al., 2001) como depósitos de crecimiento, contemporáneos a fallas normales activas durante el Eoceno medio ($\approx 46 \text{ Ma}$). Otras sierras calcáreas, formadas por caliza arrecifal suavemente plegada, como las del Diablo y Mojada (Fig. 4) forman plataformas relativamente extensas que en algunos sitios terminan en frentes de montaña rectos y abruptos con rumbo NNW, que bordean a los dos ramales del Bolsón de Mapimí (Fig. 4)

Un rasgo estructural notable en Camargo es que el campo de lavas es cruzado por un graben complejo con dirección N30W. El graben como tal, solo es evidente adentro del campo de lavas, mientras que en las inmediaciones (sierras Agua de Mayo y San Francisco, Fig. 4) solo se observan fallas normales aisladas que bordean las sierras (*range front faults*). Se ha propuesto (Aranda-Gómez et al., 2003) que el graben es una zona de acomodo entre dos fallas normales con rumbos NW y vergencias opuestas. En la parte septentrional del campo volcánico, en la sierra Agua de Mayo, la falla maestra oriental del graben tiene un rumbo N20W y se inclina al SW, mientras que el extremo meridional del campo, en donde éste

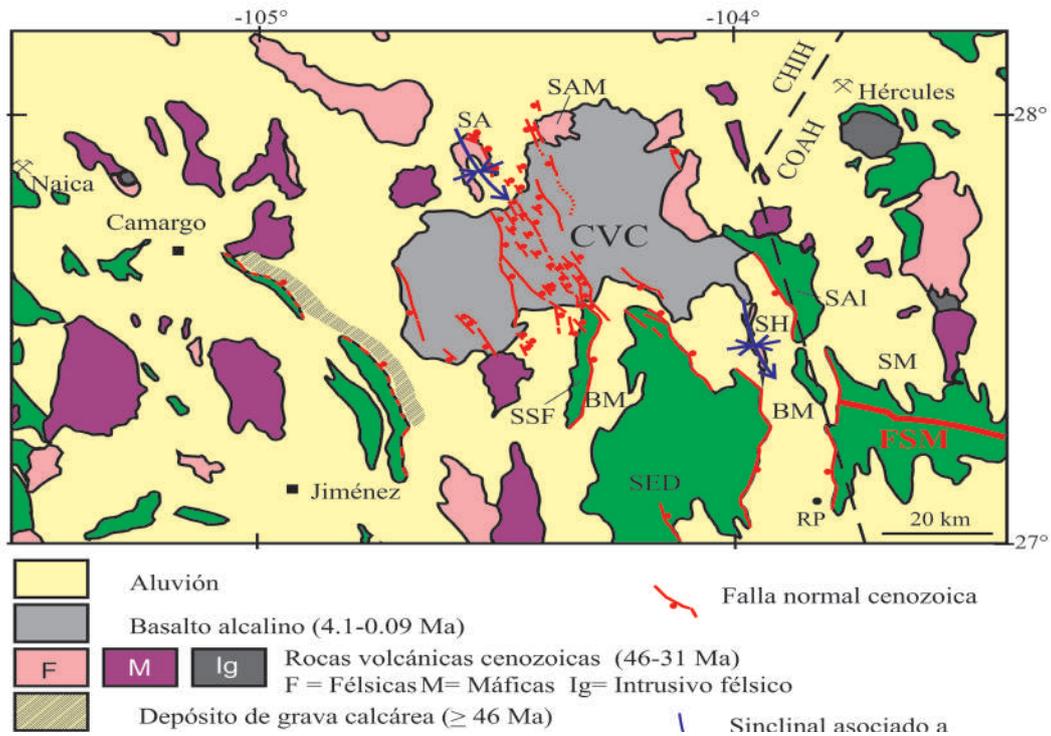


Figura 4. Mapa geológico generalizado del Campo Volcánico de Camargo y sus alrededores (Aranda-G3mez et al., 2003). La extensi3n y ubicaci3n aproximada de los dep3sitos de grava del Eoceno (≈ 46 Ma) reportados por Aranda-G3mez et al. (2001) se muestran con achurado. Clave de abreviaciones de los nombres de las sierras empleadas en las figuras 4 a 6: SA = Aguachile, SAI= Almagre, SAM = Agua de Mayo, SED = El Diablo, SH = La Herradura, SM = Mojada, SSF = San Francisco. Otras abreviaciones: CVC = Campo Volcánico de Camargo, BM = Bols3n de Mapim3, FSM = Falla San Marcos y RP = Rancho Peñoles.

se une a la sierra San Francisco, la falla maestra del lado occidental tiene un rumbo N30W y se inclina al NE.

La edad de las fallas normales (4.7 – 2.1 Ma) en el graben de Camargo pudo establecerse con gran precisi3n, gracias a que vulcanismo y actividad en las fallas coincidieron en tiempo y espacio, por lo que hay trazas de falla que en algunos sitios cortan a conos anteriores a la falla y, a corta distancia, hay conos m3s j3venes que sepultan a la misma falla (Aranda-

G3mez et al., 2003). Las diferencias observadas en la cantidad de rechazo vertical (*throw*) m3nimo en las fallas maestras del graben puede estimarse con base en la altura de los escarpes topogr3ficos. Los escarpes de las fallas de frente de montaña de las sierras El Diablo y San Francisco alcanzan alturas hasta de 400 m con relaci3n a la superficie del valle y se prolongan adentro del campo volcánico, pero ah3 los rechazos verticales en las mismas estructuras son notablemente menores (\leq

75 m) que en las rocas mesozoicas o en los sitios en donde afectan a las rocas volcánicas del Paleógeno. Por tanto, se concluye que la extensión y actividad en las fallas normales en la región posiblemente ha tenido una historia prolongada desde el Eoceno y que el último pulso significativo de deformación sucedió en el Plio-Pleistoceno, posiblemente reactivando las fallas de frente de montaña de las sierras Agua de Mayo y San Francisco y causando localmente la formación de pliegues asociados a extensión en las sierras Aguachile y La Herradura (Aranda-Gómez et al., 2005).

A una escala regional, el campo volcánico de Camargo se ubica muy cerca del Bolsón de Mapimí, una cuenca amplia rodeada por las sierras Mojada, El Diablo, El Almagre y San Francisco, todas ellas formadas por rocas calcáreas del Mesozoico (Fig. 5). En la parte norte de la Sierra Mojada termina abruptamente un rasgo morfo-estructural notable que se ha asociado con la traza de la Falla San Marcos, una estructura que puede seguirse en las imágenes de satélite a través de Coahuila y parte de Nuevo León (Chávez-Cabello et al., 2007). Esto sugiere que las fallas normales que limitan al Bolsón de Mapimí tienen desplazamientos importantes. Los

frentes de montaña de estas sierras calcáreas son poco sinuosos, lo que sugiere que pueden estar controlados por *range-front faults* relativamente jóvenes (e.g. Keller y Pinter, 2002) y tienen asociados abanicos aluviales activos, lo que sugiere que hubo desplazamiento reciente en sus fallas (Bartolino, 1992), posiblemente contemporáneo al movimiento de las fallas en el Campo Volcánico de Camargo. Cabe señalar que, en la parte oriental del campo volcánico, en donde los volcanes son más jóvenes (0.09 Ma; Aranda-Gómez et al., 2003) hay al menos una falla normal que corta a un abanico aluvial activo y otra que afecta a uno de los derrames de lava más jóvenes en el campo. Por tanto, es razonable asumir que en la región hay fallas normales cuaternarias. Se considera que la edad del último pulso de extensión en la región, así como su desplazamiento relativo y la tasa de deformación correspondiente al Plio-Pleistoceno, serían más difíciles de precisar si las fallas no afectaran a las rocas volcánicas alcalinas del Campo Volcánico de Camargo.

El escarpe de falla en el extremo sudoccidental de la Sierra Mojada es muy abrupto y en las cercanías del rancho Peñoles hay una cicatriz y un depósito pequeño de avalancha de rocas adyacente al escarpe (Fig. 6). Esto, junto

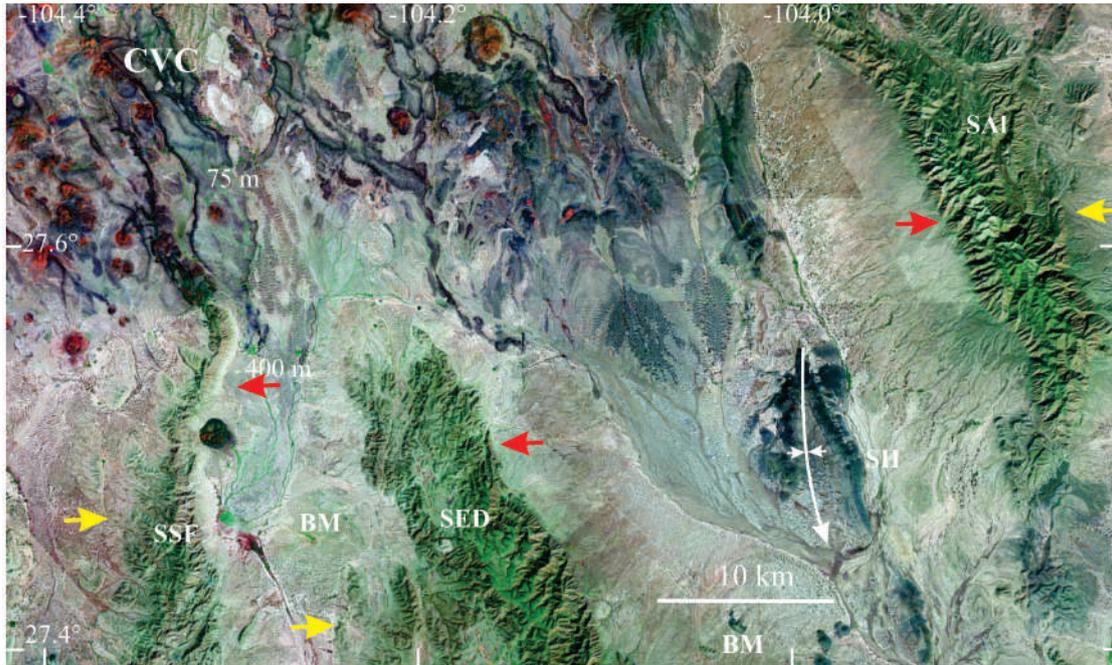


Figura 5. Imagen de satélite Geocover TM, *Landsat thematic mapper* de falso color (bandas 7, 4, 2) de la porción sudoriental del CVC y sus alrededores (Aranda-Gómez et al., 2003). Las fallas normales plio-cuaternarias obvias en esta región se concentran en el graben central del campo volcánico. En la región existen sierras compuestas por caliza mesozoica y algunas de ellas son notablemente alargadas y alternan con valles amplios parcialmente rellenos por aluvión. Algunos de los frentes de montaña tienen sinuosidades bajas (flechas rojas), lo que sugiere que pueden estar controlados por fallas normales jóvenes (*range-front faults*). En contraste, los bordes señalados por flechas amarillas son sinuosos que pueden ser fallas normales antiguas en donde ha existido erosión considerable. En el frente oriental de la SSF se señala la diferencia de altura del escarpe de falla, que en las rocas sedimentarias mesozoicas llega a tener una altura de 400 m, mientras que la continuación del mismo escarpe en el CVC tiene una altura de 75 m. El sinclinal buzante de la SH es un pliegue causado por extensión en rocas volcánicas del Oligoceno (Aranda-Gómez et al., 2005).

con la sinuosidad baja del frente de montaña (i.e. cuando la longitud de un sector del frente de montaña, medida a lo largo de una línea ondulante que sigue al borde inferior de la sierra, dividida entre la longitud de una línea recta dibujado a lo largo del mismo sector, se aproxima a uno; Keller y Pinter, 2002), sugieren

la existencia de una falla cuaternaria activa, lo que es congruente con la presencia de fallas cortando a derrames de lava cuaternarios y abanicos aluviales en el extremo centro-oriental del Campo Volcánico de Camargo (Fig. 4). Fallas normales ocultas (¿Cenozoico?) cerca de Ventura, SLP.



Figura 6. Falla activa en el borde sudoccidental de la Sierra Mojada. (a) Imagen de satélite (Google Earth, 2015) mostrando al frente de montaña ubicado a corta distancia del Rancho Peñoles. En la imagen es notable la presencia de la cicatriz de un desplome (CD) de rocas y su depósito de avalancha de rocas (AR) asociado. Cerca de AR hay un abanico aluvial (AA) pequeño. Note que en AR hay alineamientos que son continuación de la falla de frente de montaña, lo que indica que ha habido eventos sísmicos más jóvenes que el desplome. Las flechas negras señalan la traza de la falla. En la parte alta de la sierra es notable la estratificación de la caliza arrecifal suavemente inclinada al oriente. (b) Fotografía panorámica del frente de montaña tomada desde el Rancho Peñoles, viendo en dirección N50E. Es evidente la cicatriz del desplome y depósito de avalancha de rocas, así como un abanico aluvial activo que bordea al depósito de avalancha. Nótese la estratificación sub-horizontal expuesta en el frente de montaña.

El Campo Volcánico de Ventura está en la Mesa Central, a unas decenas de kilómetros al noreste de la ciudad de San Luis Potosí. A diferencia del área de Camargo, éste campo volcánico está formado por un número relativamente pequeño (≈ 20) de volcanes monogenéticos, conos de escoria, maares (4), y derrames de lava poco extensos. Las manifestaciones volcánicas del Cuaternario están distribuidas

adentro de un área de aproximadamente 800 km^2 y se estima que sus productos solo cubren un área considerablemente menor al 5 % del total de la misma (Fig. 7). En el Campo Volcánico de Ventura los rasgos estructurales dominantes son los anticlinorios de las sierras de Villa Arista, El Coro, San Pedro y Álvarez. En esa región la relación entre la ubicación del campo volcánico o los volcanes con fallas

normales regionales dista mucho de ser evidente, como lo es en Camargo, aunque a nivel regional es aparente que los volcanes forman tres alineamientos separados (Figs. 7 y 8), todos con dirección \approx N20W (López-Loera y Aranda-Gómez, 2006), que es paralela al rumbo de los planos axiales (N17W a N19W) en las estructuras laramídicas del área (Aranda-Gómez et al., 2000). Por su cercanía relativa con los grábenes de Villa de Reyes (N32E) y San Luis Potosí (Tristán-González, 1986), y la intersección de estas estructuras con el sistema de fallas normales (\approx N50W) San Luis - Tepehuanes (Nieto-Samaniego et al., 2006) y por la composición marcadamente alcalina de sus productos (Lühr et al., 1989), de una manera general se ha asociado al Campo Volcánico de Ventura con una o más de estas estructuras extensionales (e.g. Aranda-Gómez et al., 1993; López-Loera y Aranda-Gómez, 2006).

Los frentes occidentales de las sierras San Pedro, El Coro - Villa Arista, formadas por estratos marinos mesozoicos plegados durante la orogenia Laramide, son notablemente sinuosos y en su cartografía original no fueron considerados como controlados por fallas normales (e.g. Labarthe-Hernández et al., 1982). Posteriormente, Tristán-González (1986) infirió

la presencia de fallas normales que varían en rumbo de NNW a NNE y se ha hecho referencia al valle ubicado al occidente de ellas como graben de San Luis Potosí, de Arista (Nieto-Samaniego et al., 2006) o la prolongación de Villa de Reyes (Tristán-González et al., 2008).

La magnetometría aérea muestra que en la región en donde se encuentra el principal alineamiento de volcanes de Ventura existen dos dominios aeromagnéticos contrastantes (López-Loera y Aranda-Gómez, 2006). Uno, ubicado al occidente de los volcanes cuaternarios, corresponde a un área en donde afloran principalmente rocas volcánicas cenozoicas y áreas extensas cubiertas por aluvi3n. El otro, situado al oriente, coincide con afloramientos de secuencias marinas mesozoicas y aluvi3n. El contacto entre los dominios aeromagnéticos es notablemente recto (Fig. 9), aunque presenta un cambio de rumbo abrupto de N20E a N20W. Justo en esa inflexi3n hay un conjunto alargado de volcanes cuaternarios y un cambio de rumbo en el frente sinuoso de las sierras calcáreas. López-Loera y Aranda-Gómez (2006) interpretaron ese límite entre los dos dominios aeromagnéticos como reflejo de la presencia de fallas normales post-

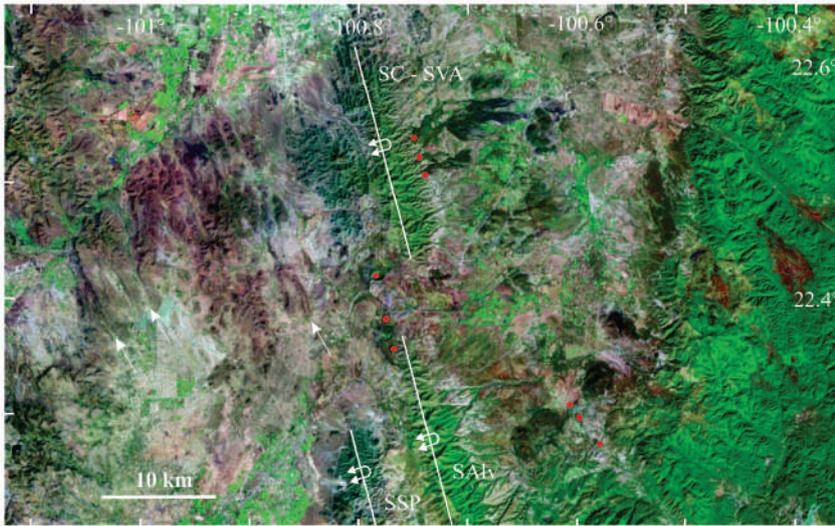


Figura 7. Imagen de satélite Geocover TM, *Landsat thematic mapper* de falso color (bandas 7, 4, 2) del Campo Volcánico de Ventura y sus alrededores. Algunos de los volcanes más importantes son señalados con círculos rojos; nótese que en la región existen al menos tres alineamientos que son burdamente paralelos al rumbo general de las estructuras laramídicas simbolizadas por los ejes de los anticlinorios de las sierras El Coro – Villa de Arista (SC – SVA), Álvarez (SALv) y San Pedro (SSP). Al occidente de los anticlinorios los afloramientos están dominados por rocas volcánicas del Oligoceno (Labarthe-Hernández et al., 1982). Nótese que en el área señalada por flechas blancas las rocas volcánicas forman cuestas inclinadas al NE, lo que indica la presencia de fallas normales listricas con rumbos casi paralelos a los de los anticlinorios y bloques hundidos al SW.

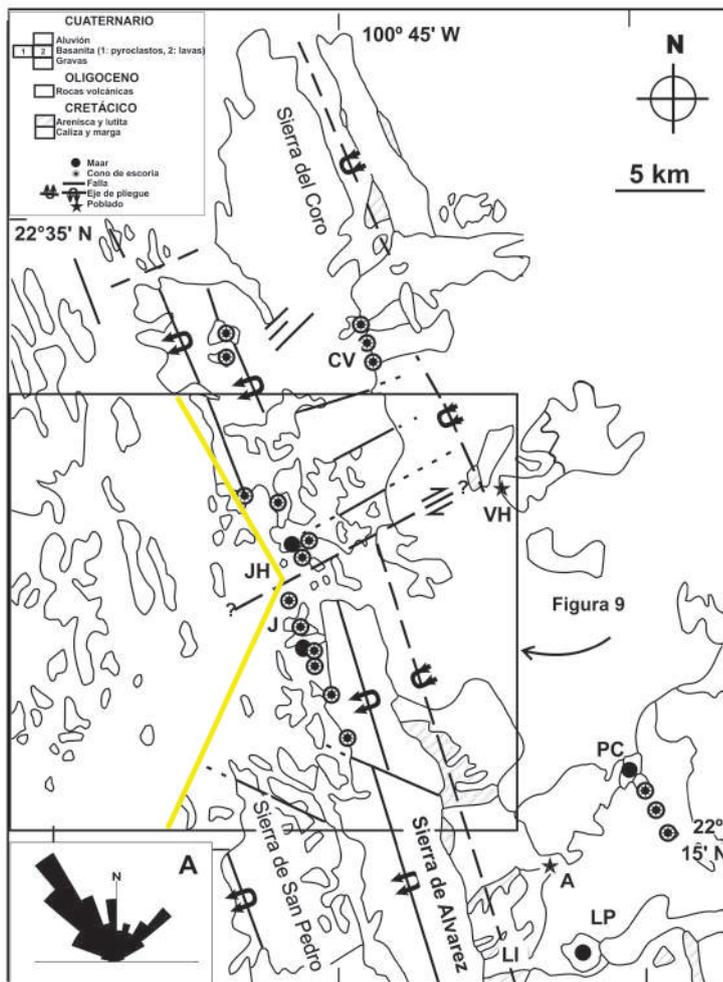


Figura 8. Mapa geológico generalizado de la región en donde se ubica el Campo Volcánico de Ventura; en él se muestra la ubicación de la figura 9 y el límite entre los dominios aeromagnéticos identificados en el área, los cuales se extienden más allá de los bordes de la figura 9. En el recuadro A se muestra un diagrama de rosa que representa la orientación y abundancia relativa de las fallas normales cartografiadas en la parte meridional de la Mesa Central (principalmente en rocas volcánicas del Oligoceno). Abreviaciones: A = Armadillo de los Infante, CV = Cerro Verde, JH = Joya Honda, J = Joyuela, LI = Llanos de Saldaña, LP = Laguna de los Palau, PC = Pozo del Carmen, VH = Villa Hidalgo. Modificado de López-Loera y Aranda-Gómez (2006).

oligocénicas, que al parecer no han tenido actividad reciente, a juzgar por la sinuosidad marcada de los frentes de montaña. Aranda-Gómez y Dávila-Harris (2014) han señalado que en la Sierra de San Pedro y cerca de su base existen algunos vestigios erosionales de rocas volcánicas del Oligoceno que descansan horizontalmente sobre la caliza plegada. La diferencia de altura entre los afloramientos volcánicos sobre la sierra y aquellos al pie de las mismas es del orden de 350 a 400 m, que puede indicar el desplazamiento mínimo en las fallas normales post-oligocénicas con rumbo N20W. Cabe señalar que, a diferencia de lo que sucede en otras regiones de Cuencas y Sierras, en donde los pilares y fosas tectónicas son subparalelos, en esta porción de la Mesa Central existen conjuntos de fallas normales que en algunos sitios definen arreglos ortogonales, lo que ha sido interpretado como evidencia de extensión triaxial (Nieto-Samaniego et al., 1997; Dávalos-Elizondo, 2011) o de varios pulsos de extensión consecutivos en que la orientación del esfuerzo principal mínimo ha cambiado (e.g. Aranda-Gómez et al., 1989, 1992).

FALLA NORMAL ACTIVA EN EL LÍMITE ENTRE CUENCAS Y SIERRAS Y LA SIERRA MADRE ORIENTAL EN TULA, TAMAULIPAS

Un ejemplo espectacular de un frente de montaña controlado por una falla normal activa puede observarse en la Sierra Mocha, cerca de la ciudad de Tula, Tamps. (Fig. 1b). Este sitio se encuentra justo en el límite entre la sierra alta y las sierras bajas de la Sierra Madre Oriental (Figs. 1a y 10) y sirve para ilustrar que en algunos sitios el borde oriental de la provincia de Cuencas y Sierras es una estructura importante con actividad cuaternaria.

El mapa geológico escala 1:250,000 del Servicio Geológico Mexicano (Barbosa-Luna et al., 2008) muestra que el anticlinal de la Sierra Mocha es una estructura recumbente que está bordeada en el lado occidental por una falla normal y en el flanco oriental por la cabalgadura San Vicente. Todas estas estructuras, de acuerdo al mapa, son paralelas entre sí y tienen un rumbo N10W. El frente occidental de la Sierra Mocha, visto desde la carretera federal 101 a la altura del poblado de Francisco Medina (La Higuera), es muy abrupto, tiene una

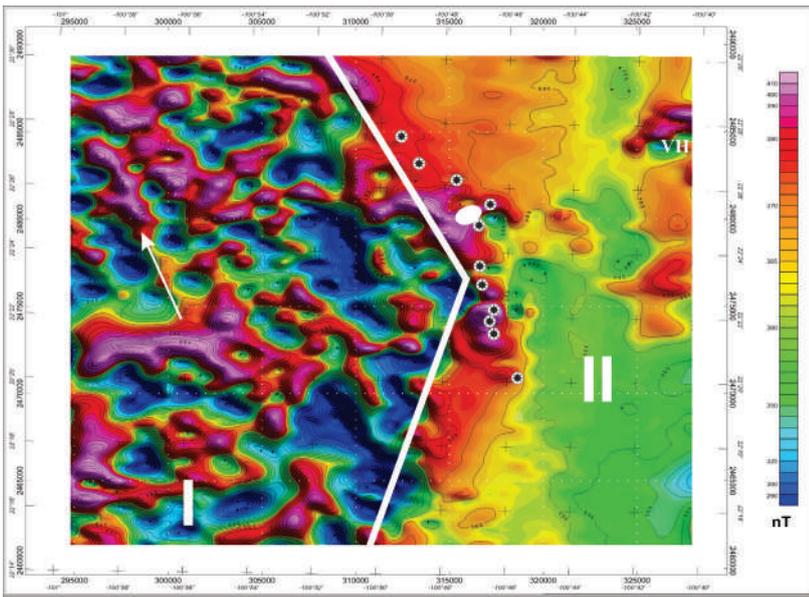
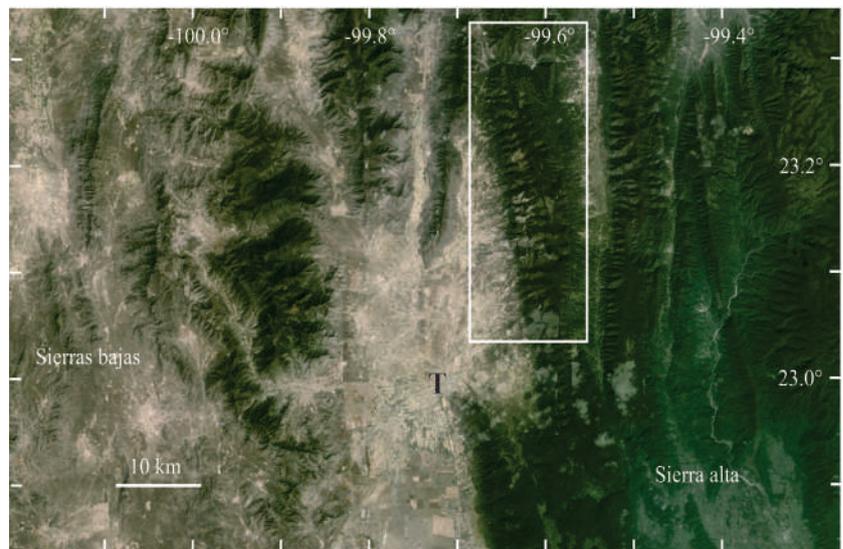


Figura 9. Mapa aeromagnético de la parte occidental del Campo Volcánico de Ventura. En él se muestra la ubicación de los volcanes cuaternarios (asteriscos) cercanos al maar Joya Honda (elipse blanca). A los datos aeromagnéticos se les substrajo los valores IGRF para 2000 y se les redujo al polo. Las líneas blancas continuas separan dos dominios aeromagnéticos contrastantes. En los afloramientos del dominio I predominan rocas volcánicas del Oligoceno cortadas por fallas normales con rumbo N20W. En el dominio II los afloramientos son principalmente de rocas sedimentarias marinas, excepto en la esquina NE del mapa en donde hay vestigios de rocas volcánicas cerca de Villa Hidalgo (VH) y en las cercanías de los volcanes cuaternarios. Nótese que los 11 volcanes monogenéticos definen un alineamiento subparalelo al rumbo de las fallas normales N20W (inferidas) en la región. La flecha blanca muestra la ubicación y rumbo general de las cuestas de rocas volcánicas del Cenozoico medio a las que se hace mención en la figura 8. Modificado de López-Loera y Aranda-Gómez, 2006.

Figura 10. Imagen de satélite tomada de Google Earth (2015) en donde se muestra con un rectángulo blanco la ubicación y el entorno regional de la Sierra Mocha. Nótese que la Sierra Mocha está en la transición entre la Sierra alta y las Sierras bajas de la Sierra Madre Oriental (Raisz, 1964). "T" la representa ubicación del poblado de Tula, Tamps.



sinuosidad muy baja cercana a 1.0, presenta facetas triangulares impresionantemente bien desarrolladas (Fig. 11c) y los cañones de sus arroyos despliegan un perfil en forma de "copa de vino" (*wineglass canyons*). Los cañones de copa de vino tienen una sección que en la parte baja es muy estrecha y casi vertical y que hacia arriba y hacia su parte posterior se ensanchan, de tal manera que la parte estrecha se asemeja a la columna que sostiene al recipiente que contiene al vino en una copa. Todos estos rasgos geomorfológicos sugieren que ese frente de montaña puede ser una falla normal joven (e.g. Keller y Pinter, 2002). En la figura 11 se presentan dos mapas de la Sierra Mocha que ilustran claramente la sinuosidad baja del frente de montaña occidental (Fig. 11a) y las pendientes notablemente pronunciadas en sus bordes (Fig. 11b). Así mismo, en el extremo septentrional de la sierra se observa cómo el Arroyo Las Difuntas corta a través de las mesas del Cura y del Sótano a través de un cañón relativamente estrecho con una profundidad de 400 m, que es un "desfiladero de agua" (*water gap*). Tanto los cañones de copa de vino como los desfiladeros de agua son indicativos de un levantamiento reciente (Keller y Pinter, 2002).

Un rasgo importante del frente occidental de la Sierra Mocha es que la actitud estructural de las capas de caliza está fuertemente inclinada hacia el valle aledaño. Este es un factor que favorece la formación de deslizamiento de bloques de roca a lo largo de los planos de estratificación y a la formación de depósitos de talud en la base del escarpe topográfico. Este fenómeno es evidente en la Fig. 11c en donde se observan áreas desprovistas de vegetación en las facetas triangulares. Se considera que estos deslizamientos de rocas (Alcántara-Ayala, 2000), controlados de manera pasiva por la estructura laramídica, posiblemente juegan un papel importante en la formación o preservación de las facetas triangulares. Sin embargo, por la presencia de rasgos geomorfológicos consistentes con levantamiento tectónico reciente y por el reporte de un sismo histórico que sucedió en Tula (Tamps.) el 24 de septiembre de 1896 (García-Acosta y Suárez-Reynoso, 1996), en este caso no se interpreta que las facetas triangulares se deban únicamente a procesos de ladera. En las cercanías del Campo Volcánico de Ventura también existen reportes de sismos históricos (García-Acosta y Suárez-Reynoso, 1996; Gómez-González y Barboza-Gudiño,

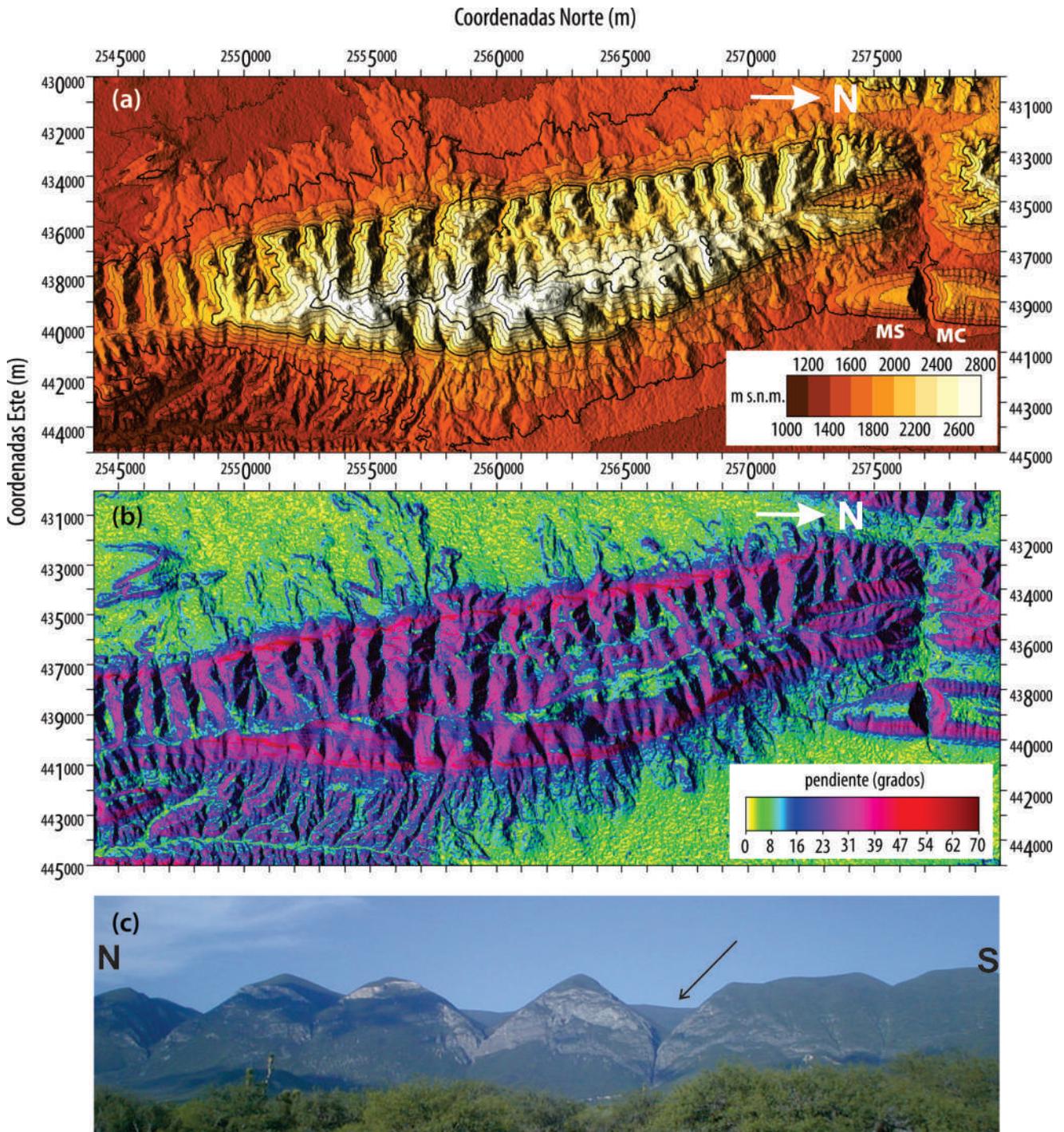


Figura 11. Geomorfología de la Sierra Mocha. (a) Modelo Digital de Elevación con relieve sombreado, creado a partir de datos SRTM con resolución de 30 metros; las curvas de nivel muestran incrementos en la elevación de 20 metros. (b) Pendiente del terreno con relieve sombreado. MC y MS corresponden a las mesas El Cura y El Sótano. El desfiladero de agua es evidenciado por una sombra negra en el lado norte del arroyo Las Difuntas. (c) Fotografía panorámica del flanco occidental de la Sierra Mocha tomada desde el oeste. Note las facetas triangulares, parcialmente desprovistas de vegetación por los deslizamientos de bloques de roca y los cañones con forma de copa de vino (flecha). El mapa de relieve sombreado para (a) y (b) se generó considerando que el sol se encontraba con un azimuth de 180° y una elevación de 30° sobre el horizonte.

2005), solo que ahí aún no se ha ubicado la posible falla activa. Investigaciones recientes muestran que a lo largo de la Sierra Madre Oriental existe sismicidad intra-placa que reactiva a estructuras laramídicas formando fallas normales con rumbos NNW a NW (e.g. López-Valdivia, 2014; León-Loya, 2014)

DISCUSIÓN

La disyuntiva resaltada por de Cserna (1969) sigue siendo válida, así como la solución que sugiere para resolverla: se requiere de trabajo de campo intenso, especialmente en aquellos frentes de montaña en donde: (1) la actitud estructural de las capas y los procesos de ladera controlan el rumbo de los mismos o (2) en donde la falla normal ha estado inactiva por un tiempo prolongado y la degradación del escarpe de falla, así como el retroceso de esta geoforma, causado por la erosión, pueden enmascarar a la estructura.

Aquí señalamos que la presencia de fallas normales o pliegues asociados a extensión en rocas volcánicas expuestas en la cercanía de sierras formadas por rocas sedimentarias plegadas, pueden alertar acerca de la existencia de fallas bordeando a las que aparentemente son sierras anticlinales. En el caso de la Sierra

de Gómez, la cartografía detallada hecha por Mitchell et al. (1981) no logró demostrar la existencia de fallas normales bordeando a la sierra, pero si mostró la existencia de fallas normales secundarias con desplazamientos pequeños a moderados en su interior, lo que puede sugerir que las fallas de frente de montaña pueden estar sepultadas debajo de sedimentos producto de la degradación de los escarpes (Figs. 3-4, Mitchell et al., 1981) como lo sugiere el mapa de Oviedo-Padrón (2008) en la figura 3.

Los ejemplos de los escarpes de las sierras Mojada y Mocha indican que en aquellos sitios en donde las fallas son jóvenes o posiblemente activas, su reconocimiento es más sencillo, aún en la ausencia de rocas volcánicas. Dependiendo de la actitud estructural de los estratos plegados, existirá mayor certeza de la presencia de una falla normal en el borde de la sierra cuando las capas no se inclinen en la misma dirección que el borde, como lo hacen en la Sierra Mojada.

Una ventaja adicional que brinda la presencia de cuerpos de roca volcánica afectados por fallas normales, como en el Campo Volcánico de Camargo, es que facilita el establecer si hubo más de un pulso de deformación en

el área, o inferir si la falla tiene una historia prolongada de actividad, así como determinar la edad numérica de las fallas e inferir una tasa de desplazamiento a largo plazo en las estructuras (e.g. Aranda-Gómez et al., 2003).

Finalmente, los ejemplos en Chihuahua sirven para ilustrar otro punto importante: es muy frecuente que las ubicaciones de las fallas normales regionales y de los campos volcánicos intra-placa, estén controlados por estructuras mayores en el basamento subyacente, las cuales tienden a ser reactivadas en cada uno de los episodios subsecuentes a su creación (e.g. Aranda-Gómez et al., 2005; Chávez-Cabello et al., 2007). Así mismo, es común que fallas normales creadas durante el Triásico-Jurásico hayan influido la sedimentación cretácica, actuando como límites de cuencas sedimentarias (e.g. Haenggi, 2001, 2002). Esos mismos "bordes de cuencas" fueron reactivados durante el acortamiento laramídico como fallas inversas mayores al inicio del Cenozoico (Hennings, 1994) y, posteriormente, su movimiento fue invertido durante uno o más pulsos de extensión durante el Cenozoico medio o tardío (e.g. Oviedo-Padrón et al., 2010). Esto determina que en el campo se encuentre una

complejidad estructural considerable asociada a estas zonas de mayor deformación. Así mismo, las propiedades mecánicas de algunas unidades litoestratigráficas acumuladas en algunas de las cuencas de rift del Triásico-Jurásico, como el Chihuahua Trough, también han jugado un papel importante en la formación de estructuras durante la extensión y magmatismo intra-placa, como lo ejemplifica el extremo meridional de rift del Río Grande, que termina (Gries, 1979) o cambia de rumbo de manera súbita al llegar al borde del *Chihuahua Trough*, siguiendo su rumbo y ubicación (Seager y Morgan, 1979).

CONCLUSIONES

El problema identificado por Zoltán de Cserna en el *Chihuahua Trough*, que consiste en la dificultad en identificar si una montaña compuesta por estratos plegados está o no bordeada por fallas normales cenozoicas, es extrapolable a otras regiones de la porción mexicana de Cuencas y Sierras.

En el borde transicional entre las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental, la presencia de vestigios de una cubierta de rocas volcánicas cenozoicas, en donde las fallas normales son más fáciles de

identificar, es razonable plantear la hipótesis de que las sierras anticlinales pueden estar limitadas por fallas normales paralelas a las fallas normales cercanas desarrolladas en las rocas volcánicas.

En varios sitios, como en el CVC, se ha documentado que los escarpes de fallas normales que limitan a sierras anticlinales y que cortan a través de zonas cubiertas por derrames de lava posteriores, plio-cuaternarios en el CVC, tienen desplazamientos mayores en las rocas sedimentarias mesozoicas que aquellos observados en las lavas, por lo que se infiere que son estructuras con una historia prolongada que se extiende hasta el Plio-Cuaternario.

En algunos sitios los datos geofísicos pueden auxiliar en la interpretación de frentes de montaña controlados por fallas que han permanecido inactivos por un tiempo relativamente largo.

El borde oriental de la porción mexicana de Cuencas y Sierras no está bien establecido por colindar con la Sierra Madre Oriental y porque la orientación de las fallas normales en muchos sitios es paralela a los ejes de los pliegues. La actividad sísmica poco frecuente, posiblemente por tiempos de recurrencia

prolongados, así como la presencia de rasgos geomorfológicos característicos de fallas activas, sugieren que la extensión intra-placa cuaternaria documentada en algunos sitios cercanos a la Sierra Madre Occidental, puede estar también presente hacia el oriente.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue construido a partir una ponencia presentada en el Simposio organizado por el Instituto de Geología de la UNAM en honor a Zoltán de Cserna (Aranda-Gómez, 2011). La investigación relacionada con los ejemplos discutidos en este trabajo fue financiadas por CONACYT a través del proyecto 129550 a J. Aranda. Gustavo Tolson revisó de manera crítica este artículo e hizo sugerencias que ayudaron a mejorar su presentación y contenido por lo que agradecemos su ayuda.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcántara-Ayala, I., 2000, Landslides: ¿deslizamientos o movimientos de terreno? Definición, clasificaciones y terminología: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 41, 1-25.
- Aranda-Gómez, J.J., 2011, Alternancia de valles y sierras paralelas; la disyuntiva entre montañas de bloque o sierras coincidentes con anticlinorios

- en el norte y centro de México. Simposio Dr. Zoltan de Cserna: sesenta años geologizando en México: México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 23-27.
- Aranda-Gómez, J.J., Aranda-Gómez, J.M., Nieto-Samaniego, A.F., 1989, Consideraciones acerca de la evolución tectónica durante el Cenozoico de la Sierra de Guanajuato y la parte meridional de la Mesa Central: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 8(1), 33-46.
- Aranda-Gómez, J. J., Luhr, J. F., Pier, J. G., 1993, Geología de los volcanes cuaternarios portadores de xenolitos del manto y de la base de la corteza en el Estado de San Luis Potosí, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín, 106(1), 1-22.
- Aranda-Gómez, J. J., Torres-Hernández, R., Carrasco-Nuñez, G., Aguillón-Robles, A., 2000, Contrasting styles of laramide folding across the west-central margin of the Cretaceous Valles-San Luis Potosí carbonate platform, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 17(2), 97-111.
- Aranda-Gómez, J. J., Luhr, J. F., Housh, T. B., Connor, C. B., Becker, T., Henry, C. D., 2003, Synextensional, Plio-Pleistocene eruptive activity in the Camargo volcanic field, Chihuahua, México: Geological Society of America Bulletin, 115(3), 298-313.
- Aranda-Gómez, J.J., Housh, T.B., Luhr, J.F., Henry, C.D., Becker, T., Chávez-Cabello, G., 2005, Reactivation of the San Marcos fault during mid-to late-Tertiary extension, Chihuahua, México: Geological Society of America, Special Paper, 393, 509-520.
- Aranda-Gómez, J.J., Molina-Garza, R.S., McDowell, F.W., Vassallo-Morales, L.F., Ortega-Rivera, M.A., Solorio-Munguía, J.G., Aguillón-Robles, A., 2007, The relationships between volcanism and extension in the Mesa Central: The case of Pinos, Zacatecas, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 24(2), 216-233.
- Aranda-Gómez, J.J., Dávila-Harris, P., 2014, Maars associated with fracture- and/or conduit-controlled aquifers in folded limestone in San Luis Potosí, México, in 5th International Maar Conference, Field trip guidebook, Querétaro, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 40p.
- Barbosa-Luna, D., Bucio-Espinoza, J.L., Montiel-Escobar, J.E., Bustos-Moreno, M.A., 2008, Carta geológico-minera Ciudad Victoria F-14-2, Tamaulipas., Nuevo León y San Luis Potosí, 2 ed., 1:250,000, Servicio Geológico Mexicano.
- Bartolino, J. R., 1992, Modified Basin and Range topography in the Bolson de Mapimi, Durango and Chihuahua, Mexico: The Texas Journal of Science, 44(3), 295-300.
- Chávez-Cabello, G., Aranda-Gómez, J.J., Molina-Garza, R.S., Cossío-Torres, T., Arvizu-Gutiérrez, I.R., González-Naranjo, G.A., 2007, The San Marcos fault: A Jurassic multi-reactivated basement structure in northeastern Mexico. Geological Society of America Special Paper 422, p.261-286.
- Cohee, G.V.C., 1962, Tectonic map of the United States exclusive of Hawaii and Alaska, 1:2,500,000, United States Geological Survey and American Association of Petroleum Geologists.
- de Cserna, Z., 1969, The "Alpine Basin and Range Province" of north-central Chihuahua, in Cordoba, D. A., Wenegerd, S.A., Shoemaker, J., ed., Guidebook of the Border region; New Mexico Geological Society, 20th Field Conference, p. 66-67.
- Dávalos-Elizondo, E., 2011, Análisis estructural del complejo tectónico de Pinos, Zacatecas, México, Tesis para obtener el título en Ingeniero en Geología, Linares, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, 161 pp.
- Hennings, P. H., 1994, Structural transect of the southern Chihuahua Fold Belt between Ojinaga and Aldama, Chihuahua, Mexico: Tectonics, 13(6), 1445-1460.
- Hernández-Noriega, L., Ramírez-Tello, E., Ávila-Lugo, F., Carrizales-Aguilar, A., 2000, Carta geológico-minera Ciudad Delicias H13-11, Chihuahua: Servicio Geológico Mexicano, escala 1:250,000.
- Hernández-Noriega, L., García-Peralta, A. A., 2005, Carta geológico-minera Placer de Guadalupe H13-C48, Chihuahua: Servicio Geológico Mexicano, escala 1:50,000.
- Gastil, R.G., Phillips, R.P., Allison, E.C., 1975, Reconnaissance geology of the state of Baja California: Geological Society of America, Memoir 140, 170p.
- Gilbert, G.K., 1928, Studies of Basin-Range structure,

- Washington, U.S. Geological Survey Professional Paper, 153, 92p.
- Gómez-González, J.M., Barboza-Gudiño, J.R., 2005, Sismicidad en el estado de San Luis Potosí: Folleto técnico 129, Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 42p.
- Gries, J.C., 1979, Problems of delineation of the Rio Grande Rift into the Chihuahua Tectonic Belt of northeastern Mexico. in R. E. Rieckers (ed.). The Rio Grande Rift -tectonics and magmatism: Washington, D.C. American Geophysical Union, p. 107-113.
- Henry, C.D., Aranda-Gómez, J.J., 1992, The real southern Basin and Range: Mid-to late Cenozoic extension in Mexico: *Geology*, 20(8), 701-704.
- Henry, C.D., Aranda-Gómez, J.J., 2000, Plate interactions control middle-late Miocene, proto-Gulf and Basin and Range extension in the southern Basin and Range: *Tectonophysics*, 318(1-4), 1-26.
- Janecke, S. U., Vandenburg, C. J., Blankenau, J. J., 1998, Geometry, mechanisms and significance of extensional folds from examples in the Rocky Mountain Basin and Range province, U.S.A.: *Journal of Structural Geology*, 20(7), 841-856.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002, Active tectonics, earthquakes, uplift, and landscape: Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 362.
- Labarthe-Hernández, G., Tristán, M., Aranda-Gómez, J. J., 1982, Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del Estado de San Luis Potosí: Folleto Técnico, Instituto de Geología y Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 85, 208.
- León-Loya, R.A., 2014, Estado y clasificación de la microsismicidad en la parte central de la Sierra Madre Oriental, Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Geociencias, 98 .
- López-Loera, H., y Aranda-Gómez, J. J., 2006, Ground and aerial magnetic surveys around the Joya Honda maar (México): Tectonic and volcanic implications: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 170(3), 135-152.
- López-Valdivia, E.N., 2014, Aplicación de métodos geofísicos en el estudio de la estructura cortical superficial en el municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Geociencias, 128 .
- Luhr, J.F., Aranda-Gómez, J.J., Pier, J.G., 1989, Spinel-lherzolite-bearing, Quaternary volcanic centers in San Luis Potosí, Mexico. I. *Geology, mineralogy, and petrology: Journal of Geophysical Research*, 94(B6), 7916-7940.
- Mitchell, S.M., 1980, Geology of Sierra Gomez, Chihuahua, Mexico, MSc thesis, University of Texas at El Paso, Graduate School, 140 .
- Mitchell, S.M., Goodell, P.C., Le Mone, D.V., Pingitore, N.E., 1981, Uranium mineralization of Sierra de Gomez, Chihuahua, Mexico. in P. C. a. W. Goodell, Aaron C.s (ed.). Uranium in volcanic and volcanoclastic rocks: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, 293-310.
- Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Alvarez, S.A., Labarthe-Hernández, G., 1997, La deformación post-laramídica en la parte sur de la Mesa Central, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14(1), 13-25.
- Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Alvarez, S. A., Camprubí Cano, A., 2005, La Mesa Central: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 285-318.
- Oviedo-Padrón, E., 2008, Geología de la sierra la Cuesta del Infierno, Chihuahua, México (Tesis de maestría), Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, 100 .
- 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-Munguía, J. G., 2010, Tectónica de la Sierra Cuesta El Infierno y su posible relación con fallas reactivadas cerca del Levantamiento de Plomosas, Chihuahua, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27(3), 389-411.
- Raisz, E., 1964, Landforms of Mexico, 1:3,000,000: Cambridge, Masschusetts.
- Seager, W.R., Morgan, P., 1979, Rio Grande Rift in southern New Mexico, West Texas, and northern Chihuahua. in R. E. Rieckers (ed.). The Rio Grande Rift -tectonics and magmatism: Washington, D.C. American Geophysical Union pp. 87-106.
- Tristán-González, M., 1986, Estratigrafía y tectónica del graben de Villa de Reyes, en los estados de San

Luis Potosí y Guanajuato: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto Geología, Folleto Técnico, v. 107, 91.

Tristán-González, M., Labarthe-Hernández, G., Aguirre-Díaz, G. J. y Aguillón-Robles, A., 2008, Tectono-volcanic control of fissure vents for the 28 Ma Panalillo ignimbrite in the Villa de Reyes Graben, San Luis Potosí, México, in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 6.

MERCURY IN THE ENVIRONMENT OF THE MINERALIZED ZONE IN SAN JOAQUÍN, QUERÉTARO, MEXICO

Gilberto Hernández-Silva¹
Péter Scharek²
Károly Brezsnayánszky²
András Bartha³
Sergio Martínez-Trinidad⁴

RESUMEN

La explotación minera del cinabrio (HgS) durante más de dos mil años al sur de la Sierra Gorda, México, ha liberado grandes cantidades de mercurio a los ecosistemas, dando lugar a una contaminación generalizada de su paisaje. Esta actividad minera es la principal fuente de emisiones contaminantes al aire, transportando y depositando el elemento en la región. Su uso extenso durante el último siglo, ha incrementado el potencial de exposición en la población general y en el medio ambiente. Por lo tanto, la zona sur de la Sierra Gorda ofrece la oportunidad de estudiar al mercurio desde varios puntos de vista. Durante seis años, un grupo de investigadores de México y Hungría ha estado trabajando en el área de San Joaquín, Estado de Querétaro. Como parte de esta vinculación y la conjunción de varias disciplinas, se presentan algunos resultados obtenidos entre 2008 y 2013. El mercurio es el eje central del proyecto, iniciando su estudio con el antecedente geológico general de la Sierra Gorda; la actividad minera del Hg a través de muchos siglos, ha afectado a los sistemas terrestres (agua, suelo, aire y biota); el secuestro de carbono en el suelo ha sido alterado por las actividades mineras y el cambio de uso de la tierra; también se presenta un enfoque de flujo de las interacciones totales de Hg en estos sistemas terrestres. Estos resultados constituyen la base para la implementación de un monitoreo permanente del mercurio en la zona y que sirvan de referencia para llamar la atención a las autoridades correspondientes,

¹Centro de Geociencias,
Campus UNAM-Juriquilla, Qro
ghsilva@geociencias.unam.
mx

²Geological Institute of
Hungary

³University of Saint Stephen,
Hungary

⁴Instituto de Geografía, UNAM

sobre este problema del medio ambiente y de salud pública.

Palabras clave: mercurio, sistemas terrestres, medio ambiente, Sierra Gorda, Querétaro, México.

ABSTRACT

The continuous cinnabar (HgS) mining exploitation for over two thousand years in Southern Sierra Gorda, Mexico, have released large amounts of mercury (Hg) into the ecosystem and also resulted in a widespread contamination. The HgS mining activity is the main source of airborne emissions, transportation and deposition in the region. The extensive use of Hg in the last century has increased its potential for exposure in the general population and in the environment. Therefore, the southern area of the Sierra Gorda offers the opportunity to study Hg from several points of view. For six years, a mercury research group from Mexico and Hungary worked in San Joaquin area of Queretaro, Mexico, involving several disciplines. Some of the research results from 2008 to 2013 are presented in this study. Hg is the main focus in this study and it starts from the geological background of Sierra Gorda. For centuries, Hg mining activities has affected terrestrial systems (water, soil, air and biota); soil carbon sequestration has been altered by mining activities and land use changes. An approach of flow of total Hg interactions within the terrestrial systems was presented as well. These efforts constituted the basis for constructing permanent Hg monitoring in the area and pay attention to the authorities because of environment and public health problems.

Key words: Mercury, terrestrial systems, environment, Sierra Gorda, Querétaro, México.

INTRODUCTION

Mercury (Hg) is found naturally as cinnabar (HgS), but human activities such as mining increases its presence within the atmospheric, terrestrial, biotic and aquatic systems (Mason and Sheu, 2002; Selin, 2009). The effect of the HgS mining represents an environmental concern since abandoned and enriched open air mining tailings are considered permanent sources of atmospheric Hg emissions. The mine drainage could contain high levels of Hg that affects the water and biota quality; therefore, HgS tailings increase the Hg content of soils and sediments of hydrographic watershed (Rytuba, 2000; Kocman and Horvat, 2011). The effect on the environment through diverse processes such as rock weathering, erosion, leaching, oxidation and transportation is very important. Hg can be transported across great distances, thus becoming a legacy associated to soil, sediments and plants. Even after many years of mining inactivity, high amounts of Hg can be found in the environment (Parsons and Percival, 2005; García-Sánchez et al., 2009). On the other hand, man can be a receptor of Hg through

air particles inhalation, direct contact or ingestion through the accumulation of this element in the trophic chain. These mechanisms have operated in past and present times (Wasserman et al., 2003; Pyatt et al., 2005).

Throughout history, San Joaquin has been converted to a highly sensitive area to Hg inputs, where the ecosystem characteristics play a significant role in determining the Hg sensitivity of any potential monitoring location. In addition to monitoring changes in Hg concentrations, an additional and permanent measure such as atmosphere, climate, soil chemistry parameters, etc., are necessary to interpret trends and dynamics of Hg. On the other hand, spatial distribution and long-term trends in Hg concentrations in each ecosystem compartments including concepts such as watersheds and wildlife are necessary to be implemented. The process by which Hg deposits in the watersheds, transforms to methylmercury (MeHg) and magnifies in food webs is complex, thus requiring monitoring of all components of the Hg cycle to assess how changing emissions and deposition affect fish, wildlife,

and people (Parsons and Percival, 2005). It is proven by archaeological findings that people of the Chichimecas culture exploited HgS in the surroundings of Ranas and Toluquilla archaeological sites, from the 3rd Century BC (Herrera-Muñoz, 1994). Mining ceased before the Spanish conquest, and was hidden during the colonial period, but it became significant again in the XX century. The exploited material was deposited in spoils that were altered through oxidation, and was partially dissolved and accumulated in the soil and young sediments of the surrounding landscape and was transported by streams. Due to the complex geological setting, direct dissolution of near- surface rocks bearing Hg cannot be excluded either. The present Hg distribution can thus be the result of Prehispanic, colonial and modern mining activities as well as the specific natural geological processes of the area.

The framework of this study exhibits a certain structure and sequential linkage of diverse subjects. The draft interpretation starts from the geological background of the Sierra Gorda and ores that are the sources of pollution. Mining activities altered the natural quality of soils and sediments in the area; changing

many of their initial natural properties and transforming the soils and their sediments which contains different levels of Hg, hence altering some of the soil characteristics (Scharek et al., 2010; Martínez-Trinidad et al., 2013). The Hg mining activities through many centuries affected terrestrial systems. Vegetation cover reduced as a result of these past and present activities. Also, forest conversion into agriculture practices is a common practice and they are the main causes of changing land use system in the region (Hernández-Silva et al., 2013).

The ancient and modern population of the region has been affected in their health as well (Hernández-Silva et al., 2009). An investigation on the flow of Hg interactions in the landscape is presented in a bid to define the extent of Hg translocations in the different compartments of the terrestrial systems that affect man and the environment (Martínez-Trinidad et al., 2013). On the other hand, personnel from the Geological Institute of Hungary through Geochemical Laboratory (Bartha and Varga-Berna, 2002; Bartha et al., 2009) and Environmental Geology (Scharek et al., 2010) supported this project with specific

topics. The aim of this study was to determine the total Hg contents in the terrestrial systems, derived from HgS mining activities in an area with over 2000 years of HgS mining exploitation.

METHODOLOGY

The study area is 172 km² and is localized between longitude 99°40' and 99°30' W, and latitude 21°10' and 20°50' N . As a study unit, the hydrological micro basin concept was used. Its limit takes into consideration the ecosystems and the interdependence with hydrological cycle since it allows detection of multiple functions and alterations that take place on them (Sarukhan and Maas, 1990). The region is composed of several Mesozoic marine formations deformed and folded during the Laramid orogen cycle. Mineralization of Hg is associated with magmatic rocks that take place in the area and the types of mineralization are hydrothermal Hg deposits and skarn Zn-Cu-Pb-Ag deposits (Vassallo and Solorio, 2009). The predomination of limestone, marlstone and lutites rocks from the Upper Jurassic (Suter, 1987) have been eroded and the region has been shaped with the physiographic and morphological features that characterize it.

These characteristics are marked by the stark contrast between high peaks whose summits exceed 3000 m altitude and deep depressions where the main streams are at an altitude of 900 m. It has a climate ranging from sub-humid to semi-dry temperate and sub-humid semi-warm. The mean annual temperature is 14°C with a mean annual rainfall of 800 mm. The predominant soil types are chromic Luvisol, chromic Cambisol, calcareous Regosol, and Leptosol. The vegetation is mesophyll woods, deciduous woods, and pine-oak, as well as sub-montane shrubs and xerophytes. Area delimitation for the study was done by criterion of the hydrological basin, considering it as a reference framework for the selection of sampling sites (Hernandez-Silva et al., 2009) (Fig. 1).

METHOD ANALYSIS

SOILS, SEDIMENT AND TAILINGS

A systematic random sampling scheme was used to select the material sampling site, using soils and sediment as strata (Gilbert, 1987). Soils were collected in control plots with 5 sub-samples at distances of 50 m each and at depths of 25 cm. Sediment samples were randomly collected from sections of approximately 100 m along the stretch,

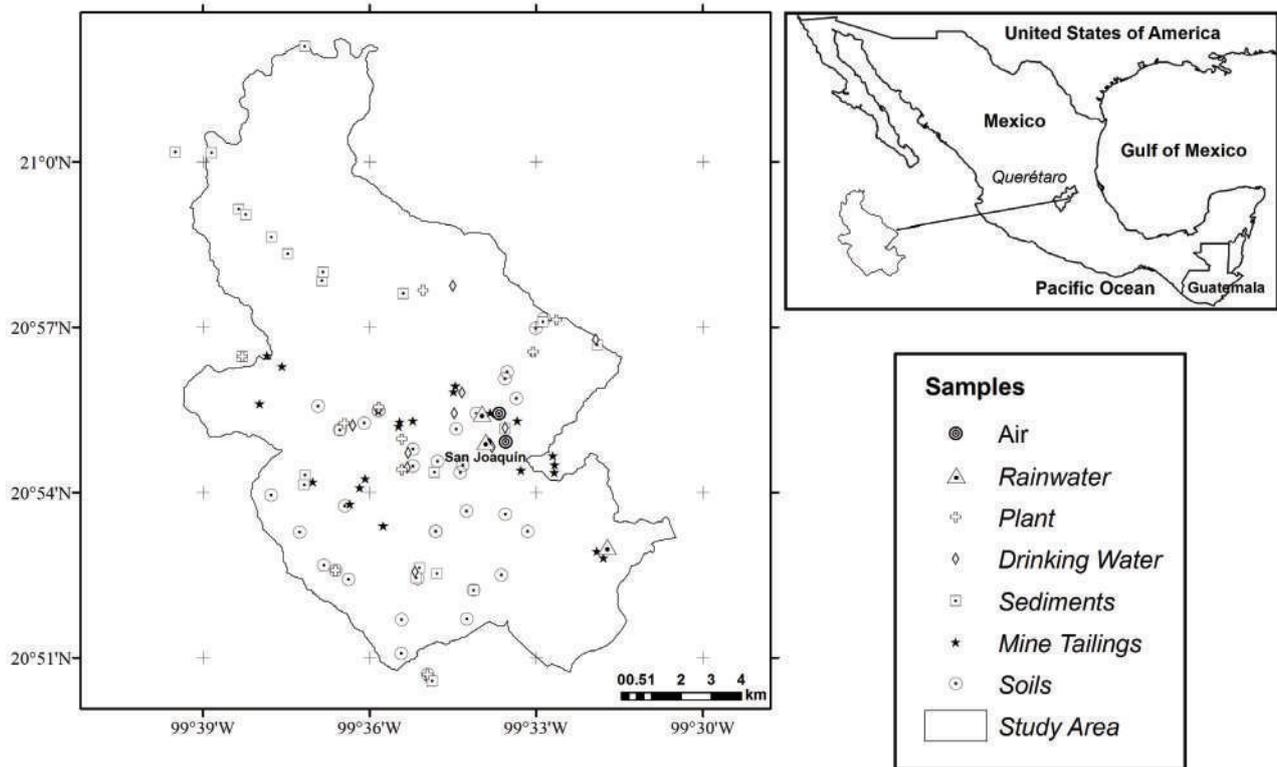


Figure 1. Sampling sites for air, rainwater, drinking water and soils in the San Joaquin region.

streams, rivers, bottom sediments, flood plains and small alluvial terraces. Each site represents a compound sample with an average of 5 sub-samples, with a maximum depth of 25 cm. In the tailing materials, 5 sub samples were taken on a distance of 10 to 50 m (depending on the tailing size) between them and at three exposed depths of 5 m each. The samples were perfectly mixed and a portion of 2 kg was kept at 4°C. The end result was a set of 103 georeferenced sites (Fig. 1). For the Hg analysis of soil, the sediments and tailing samples

were not digested. The total Hg content was analyzed by a direct AAS mercury analyzer (AMA 254 Advanced Mercury Analyzer) with detection limit of 0.01 ng Hg. For checking the solution calibration of the AMA 254, the standard used were MOSTAR Hungarian stream sediment standard (recommended value: 0.2245 ppm); Slovakian reference material (ISE 982) (recommended value: 0.020 ppm); WEPAL monitor sample (ISE 921) and a recommended value of 1.210 ppm. Accuracy was verified by analyzing two repetitions for

each sample. More than 98% recovery was reached for Hg analysis.

MAIZE PLANTS

The sampling was made at the time of harvesting in three different years at the same sampling site in October 2006, November 2007 and 2010. Maize plants were collected from agricultural lands, and separated by structures into root, stalk, leaf, and grain, obtaining 15 samples from the roots, 17 from stems, 11 from leaves, and 18 from grains (Fig. 1). Each structure was washed with HNO₃ diluted to 10%, rinsed with deionized water, and dried at room temperature (22° to 25°C). The plant material was ground and sifted until achieving particle size under 0.13 mm. Then, 0.1 g was weighed and 5 ml concentrated HNO₃ was added for digestion through a MARSPRESS microwave oven. Some drops of concentrated HCl were added to the digestion and the volume was taken to 200 ml with 18.2 µS/cm deionized water. They were kept at 4°C until measurement was taken. Total Hg quantification was made through induction coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) equipment Thermos Series.

RAINWATER

At the micro-watershed of Agua de Venado, Agua de León and Pondejhe of the study zone, rainwater collectors were installed for total Hg quantification (Fig. 1). Information was also collected from a nearby meteorological station in order to determine the predominance of the wind directions. Sample collection of rainwater was compound; each sample includes water from all the events in a month. 24 samples were collected from December 2009 to June 2010. The rainwater samples were filtered through a polycarbonate membrane with 0.4 µm pores, using a magnetic filtration system (Gelman 47-mm). The filtrate was acidified to pH 1.8 with 0.016N HNO₃, and 60 ml from the sample was transferred to high density polyethylene bottles thus, the soluble fraction was obtained. The insoluble fraction is the part that remained on the filters used for the filtration process of the soluble fraction. These filters were subjected to acid digestion using 15 ml of 3M HNO₃ with a digestion time of 45 min in a MARSPRESS microwave oven. The digested samples were filtered and the volume was adjusted to 25 ml with deionized water, obtaining a final HNO₃ acidity of 0.45N. Both fractions (soluble and insoluble) were refrigerated and kept at 4°C

until quantification. Total Hg concentration was determined through inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) equipment 710-ES Axial.

DRINKING WATER

Drinking water was sampled from nine settlements in the San Joaquin's municipality in the month of March and November, 2007, obtaining a total of 18 samples (Fig. 1). The samples were collected in decontaminated Nalgene bottles. Preservation of the samples was done with INSTRA nitric acid and refrigerated at 4°C until measurement. Total Hg quantification was done through induction coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) equipment Thermo Series X2.

AIR

The atmospheric Hg concentrations (elemental mercury in vapor phase) were measured in two sampling sites (Fig. 1); the first one was established within the San Joaquin community and the samples were taken in a continuous manner through 17 days (March 2011); while the second type which was measured for 21 days was located at the Agua de Venado area (April-May 2011). TEKRAN 2537A model was

the equipment used to determine the ultra-trace Hg vapor facilitated by CENICA, INE.

CARBON SEQUESTRATION

Organic matter is the most important soil component controlling Hg²⁺ absorption and desorption processes, affecting its retention and release in the environment (Zhang et al., 2009). In organic matter properties, colloidal characteristics of humic substances (HS), permits their interaction with diverse cations, helping or restricting their mobilization through soils. As a result, HS forms stable compounds with Hg, and reduces its mobility and availability for other systems (García-Calderón et al., 2012). The methodology used includes the available data in the study area: % SOC, pH, % base saturation, and diagnostic horizons (ISRIC, 2002). Hence, a parametric approach method was used, allowing a methodical arrangement in the CS classification. Consequently, each sampling site was classified in three categories of CS (low, medium and high). Finally, a CS distribution map was constructed with a software R, v. 2.11.1 (R Development Core Team, 2010) and finale edition with software ArcGIS version 10 (Fig.5).

MAPPING

Mapping provides the means to characterize and quantify spatial variability to use this information for rational interpolation, and to estimate the variance of the interpolated values (White et al., 1997). Knowledge of the spatial distribution of a contaminant is essential for site assessment and any subsequent risk assessment (Markus and McBratney, 2001). Although it is time consuming and expensive to obtain enough samples for this kind of studies, the use of an interpolated map can be useful. Such a map of the element in the studied area was constructed and was used to describe dispersion patterns. This map synthesizes a great amount of field data, as well as laboratory and statistical analyses. Map processing was made by Micro Station 95 SE used in the Geological Institute of Hungary. Polygons were compiled by the software family MGE of Integraph Co. The map was converted into ArcView 32 shapes for publication (Fig. 2).

STATISTICAL ANALYSIS

Descriptive statistical analyses for total Hg content in the database coming from mining tailings, soils, sediments, maize plants, rainwater and air samples were taken into

consideration. This analysis allows determining the extent of contamination by Hg within each environmental component, as well as the detection of its maximum and minimum threshold. For a better understanding of Hg distribution in each component, box and whiskers diagrams were used through STATISTICA Version 10 software.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Hg in soils and sediments

The boundaries on the map (Fig. 2) represent the different levels of Hg content and the extent under the entire superficial area studied. The site sequence farther from the mines could be assigned the domain between 2.5 to 25.0 mg/kg, showing the background value of the territory (Bartha et al., 2009) (Fig. 3). The Hg content of the soil samples overlying the Soyatal Formation remains commonly under 2.5 mg/kg similar to the sediments of the river Gatos upstream of Bucareli. The domain between 25.0 and 250.0 mg/kg of t-Hg content is covered by the geological formations of Las Trancas and Tamaulipas and occurs in zones affected by hydrothermal processes (Bartha et al., 2009; Scharek et al., 2010). The areas with the highest levels of total Hg content (>250

TOTAL MERCURY CONTENTS IN SOILS, SEDIMENTS AND TAILINGS (mg/kg)

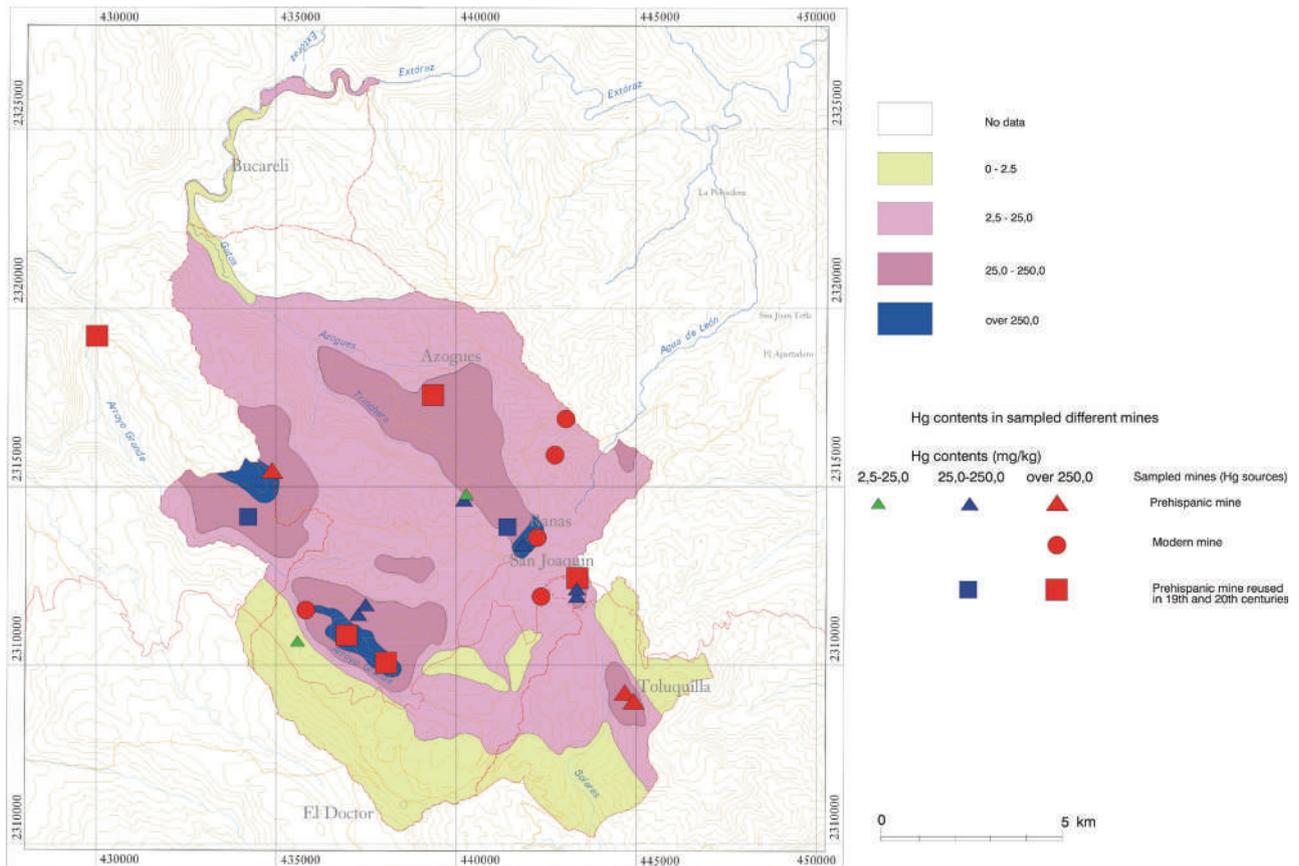


Figure 2. Dispersion map showing four levels of total mercury and the highest areas in blue color (mg/kg).

mg/kg) were found in three areas that include groups of several Hg mines from different sizes, period and types of exploitation:

- an area of Arroyo Grande micro basin.
- Calabacillas area, in both cases predominating present and mixed origin mining.
- the surroundings of Ranas archaeological site are mostly with ancient mining (blue color in Fig. 2). By means of association of the three areas, we see the results of HgS exploitation

and its accumulation in the landscape for over 2000 years (Hernández-Silva et al., 2009).

Total Hg concentration in agricultural soils is distributed in a wide range of 0.5 to 314 mg/kg (Table 1), where the highest registered value clearly indicates a great Hg incorporation into the landscape soils. According to the NOM 2004, 46% of the soil samples analyzed showed that Hg concentrations are greater than the maximum limit established for agricultural use (23 mg/kg). The results show that the median

values of total Hg content decreases as follows: agricultural soils (16 mg/kg) > sediments (14 mg/kg) > forest soils (2.8 mg/kg) (Table 1). Since time immemorial, agricultural soils are associated to mining activities; sediments permanently collect the HgS remainders from the surroundings tailings in forest soils. The soil organic carbon content is higher than the other materials; this SOC plays a very important role through the colloidal character of the humic substances that reduce the mobility and availability of Hg (Hernandez-Silva et al., 2013).

The land relief of the study region could be an important factor in Hg distribution, given that the forest areas are in a slope $>15^\circ$, which makes them more susceptible to erosion processes, while agricultural areas are next to forest areas, and therefore are receptors of the Hg eroded by surface runoff. Almeida (2005) mentions that hydric erosion favors re-mobilization of Hg in the surface soil layer. Sediments are a natural means of transportation of Hg loads, causing its dispersion into the drainage network. Several authors (Hines et al., 2000; Feng and Qiu et al., 2008; Lin et al., 2010) point out that mercury concentrations in sediments tend to decrease as they are farther away from

the source of contamination.

MERCURY IN MINING TAILING

Hydrothermal tailings show total Hg contents ranging from 2.4 to 4164 mg/kg. It can be seen that the range is quite extended. However, most concentrations are somewhere around the median (233 mg/kg), being the upper limit an extreme value in the region. As it was expected, the tailings skarn type presented a lower Hg concentration than the hydrothermal, since they present concentrations from 3.7 to 25.6 mg/kg. Over time, the tailings get mixed with the soil and showed high content of total Hg from 14.6 to 1448 mg kg⁻¹ (Table 2). These amounts of Hg could be due to the inefficient and incomplete HgS processing, possible re-absorption of Hg, and direct exposure of the chimney in several years (Biester et al., 1999; Navarro et al., 2009).

Nevertheless, considering the NOM (2004) with regard to concentration levels to be considered as contaminated soil (> 23.0 mg/kg), it is observed that 37% of the tailing samples analyzed showed Hg concentrations greater than the limit allowed for industrial use (310 mg/kg). Hg concentration in tailings gives to the San Joaquin region a high level

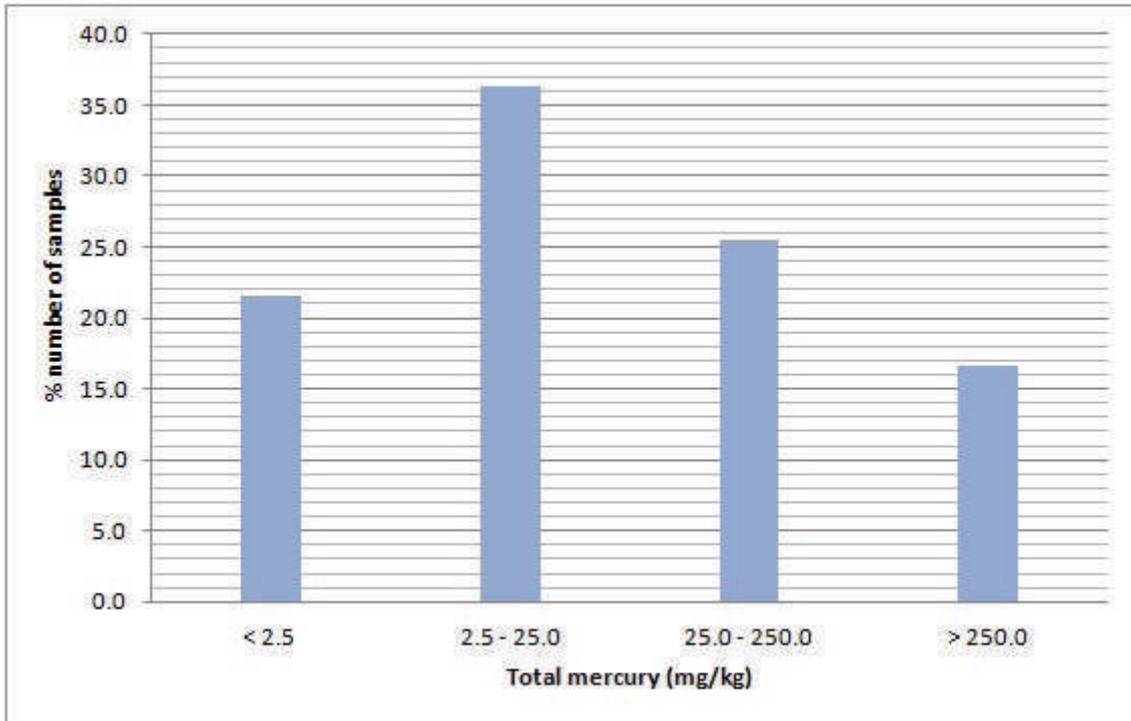


Figure 3. Percentage of the number of samples taken with its levels in total mercury.

of contamination, which is one reason why its exploitation and use is currently forbidden. In this region, there exists great amounts of open air mine tailings located in the surrounding areas of the abandoned mines, thus becoming a serious risk to the underground water (Gray et al., 2004; Li et al., 2008). The highest total Hg concentration (4164 mg/kg) was similar to that reported by Qiu et al., (2005, 2006) in the mining district of Guizhou, China (4400 mg/kg), but lower than that of Almadén, Spain (34,000 mg/kg), considered as the most contaminated

place by Hg on Earth (Higuera et al., 2003).

MERCURY IN MAIZE PLANTS

The concentrations of total Hg in the different structures of the maize plants are shown in Table 3. The structures (root, stalk and leaves) showed the highest Hg concentration in maize plants. Nevertheless, plants close to the mines presented a higher concentration of total Hg than those located farther away, while in the maize grain, maximum and median values showed small differences

between near and far away from mines (maximum of 0.8 and 0.9 mg/kg and median of 0.1 and 0.2 mg/kg, respectively). This was because different soil types, plant species, and growing conditions contributed to divergent influences of soil contamination on trace elements status in plants (Trudgill, 1988). The fate and phytoavailability of Hg depend on soil chemical and physical properties that may influence the transportation of Hg to the plants (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). A direct relationship between Hg content in the soils and the concentration in the plants does not always exist (Molina et al., 2006).

On the other hand, plants assimilate organic and inorganic Hg through their radicle system and transport it to the foliage (Hanson et al., 1995). Temmerman et al., (2009) indicated that Hg absorption through the plant roots is proportional to the exposition concentration in the soil. Stamenkovic and Gustin (2009) suggested that Hg absorption in foliage occurs through the stomas, and the accumulation is positively correlated to Hg atmospheric concentration. Hg dissolved in water and incorporated into foliar tissue, is another other absorption mechanism of Hg (Rea et

al., 2004). Atmospheric contamination could be the cause for Hg accumulation in most plants (Patra and Sharma, 2000; Temmerman et al., 2009). The concentrations of Hg in the maize grain were of 0.04 to 0.9 mg/kg, which was a higher value than that reported (0.5 mg/kg) by the World Health Organization (2004) of, which is the maximum limit for Hg contaminated food and cannot be sold for human consumption. In the study region, the maize plant stalk and leaf are used as cattle forage. Sierra et al., (2009) mentioned that the European legislation establishes a limit of 0.1 mg/kg of Hg for animal feed. In this work, higher concentrations than this limit were found; e.g., for the stalk a 2.0 mg/kg and for leaf, an 8.2 mg/kg was discovered. Bioaccumulation of Hg in maize crops is an entrance source of Hg into the food chain, through foliage consumption by cattle or grains by humans (Rothenberg et al., 2007).

MERCURY IN RAINWATER

Total Hg concentrations in rainwater ranged from 1.5 to 339 $\mu\text{g l}^{-1}$, with a mean of 96 $\mu\text{g l}^{-1}$; corresponding to the insoluble fraction of 60 and 36 $\mu\text{g l}^{-1}$ to the soluble fraction (Patiño, 2011), (Table 4). The removal of a contaminant

from the atmosphere can happen through precipitation (wet deposition) or by dry deposition (Duce et al., 1983). This agrees with Kocman et al. (2011) since Hg combined with atmospheric particles represents over 50% of the total Hg in the deposition, and the remaining part is dissolved in rainwater. Duce and Hoffman (1976) concluded that particle removal by rain is approximately twice that of dry deposition. Guo et al. (2008) and Kocman et al. (2011) reported concentrations from 0.19 to 36 ng l⁻¹ and 3.15 to 24.4 ng l⁻¹ total Hg in the rainfall of mining zones, being lower those found in this study. This behavior is because samples were collected in 3 to 17 rain events, involving a higher accumulation of particulate material coming from the wind erosion. The sampling sites close to the mines and the wind regressive trajectories at 500 m of elevation, indicate that the air masses can drag the particles from the mine tailings, transporting and depositing them, thereby enriching the soils with this pollutant (Table 4). Kocman et al. (2011) observed an increase in Hg concentration in the rainfall samples due to the presence of HgS particles as result of eolian erosion of the surfaces that containing HgS in the area. Nevertheless, the particles (aerosols)

are not uniformly distributed in the atmosphere neither spatially nor temporally. This results in differences in Hg deposition, which could explain the variations in the Hg concentration in each rain event. The results in this study are in agreement with those reported by Guo et al. (2008) who found a positive correlation between precipitation and Hg concentration, establishing that in the rainy season, there is a greater wet deposition of Hg. The climatic and orographic conditions of the region favor changes in humidity, temperature, and solar radiation, causing high Hg volatilization in land systems (Gustin et al., 2003; Johnson et al., 2003), which could be contributing to the concentrations of atmospheric Hg.

MERCURY IN DRINKING WATER

The total Hg concentrations in drinking water ranged from 10 to 170 ng l⁻¹ (Table 4). These contents are below the maximum limit (0.001 mg l⁻¹) established by the NOM (1994) and WHO (2005) guideline value of 6 µg l⁻¹. This indicates that there is no problem in its use for human consumption in the studied area. Grandjean (2008) mentioned that in drinking water, the Hg concentrations are usually 5 to 100 ng l⁻¹, resulting to a minor public health

concern. But the presence of Hg in the water phase in the environment can lead to serious problems, e.g., the intoxication occurred at the Minamata Bay, Japan in 1953 as a result of the ingestion of fish containing MeHg coming from polluted waters (Harada, 1995; UNEP, 2002). Cabrera-Vique et al., (2007) suggested a strict vigilance of Hg content in drinking water given the alimentary habits of human beings, since they could be drinking great amounts of water.

The MeHg is the result of the methylation of the inorganic Hg by the microorganisms that are present in the freshwater and saltwater bodies; this MeHg produced is capable to enter the aquatic feeding chain and can be bio-accumulated within the fish muscular tissues (Mason et al., 2005).

MERCURY IN AIR

Measurements of total gaseous mercury (TGM) in the air ranges between 40 and 100 ng/m³ and the daily average during the 38 days of measuring was of 67 ng/m³ (Table 4). When comparing these concentrations with those reported by Grandjean (2008) in remote areas, 2 to 3 ng/m³ in winter allows observing the amount of volatilization that exists within the

study area. The WHO (2002) indicated that the Hg levels in air are in a range of 2 to 10 ng/m³. The Hg values of 40 to 100 ng/m³ obtained in this study indicates that the San Joaquin population is exposed to a high concentration of Hg in air, which may be a health hazard.

The gaseous elemental Hg is the main chemical Hg species released to the atmosphere. It is characterized for being very stable and having low water solubility; it volatilizes at room temperature and is relatively inert to chemical reactions with other atmospheric components. Its residence time is about one year. Therefore, once it is released to the atmosphere, it can be dispersed or transported to greater distances before being re-deposited in the terrestrial and aquatic ecosystems (Schroeder and Munthe, 1998).

The chemical reactions and the partitioning of Hg in gas and aqueous phases appear to determine Hg residence in the atmosphere and its deposition at various latitudes (Grandjean, 2008). Kocman et al. (2011) mentioned that the Hg space distribution depends on the wind conditions (direction, velocity). On the other hand, the emissions of Hg of the contaminated surfaces depend on the temperature. Boening (2000) mentioned that the environmental

variables such as pH, redox potential, water chemicals composition, soil type and geology affect Hg absorption.

AN APPROACH OF FLOW OF TOTAL MERCURY INTERACTIONS WITHIN THE TERRESTRIAL SYSTEMS

Fig. 4 shows a total Hg cycle of the four interconnected compartments: atmospheric, terrestrial, aquatic and biotic in the studied area of San Joaquin (Martinez-Trinidad et al., 2013). Each compartment is linked to others through series of biogeochemical cycles that control the speciation and flux of Hg and ultimately its toxicity (Krabbenhoft et al., 2005). This figure establishes the insertion dynamics of Hg in the different components. Hg concentrations in each component change substantially, and it can be seen that the greatest contamination source of Hg is found in the open air mining tailings, adding a deficient processing of HgS. These tailings are exposed to climatic conditions as well as air and water erosion, which transports Hg particles to the atmospheric and terrestrial landscape. This has repercussions on the concentration levels of Hg present in air, rainwater, forest soils, agricultural soils and sediments. The presence

of crops, especially maize, near the entrance of the mines is very common, and in some cases on the tailings. Thus the plant is exposed to Hg accumulating in the different structures (roots, stems, leaves, and grains).

CARBON SEQUESTRATION MAP

Table 5 shows the soil organic carbon (%) and total Hg content (mg/kg). The mean of agricultural soil was 2.5, sediments, 1.2; while in forest soils was 2.8. The highest Hg sequestration (2 to 10) is shown in the less altered areas with land use of forest soils (beige color in Fig 5). The lowest Hg sequestration (24 to 48) are located in the punctual tailing areas, surrounding a group of mines at Calabacillas, Santa Rita and La Lana areas (brown color in Fig. 5). Nevertheless, most of the studied area corresponds to a medium immobilization of Hg, ranging from 11 to 23 (pine nut color in Fig. 5). This area suggests that most of the regions' carbon sequestration potential decreased mainly due to land use changes and introduction of agricultural and mining activities in a region of forest natural vocation.

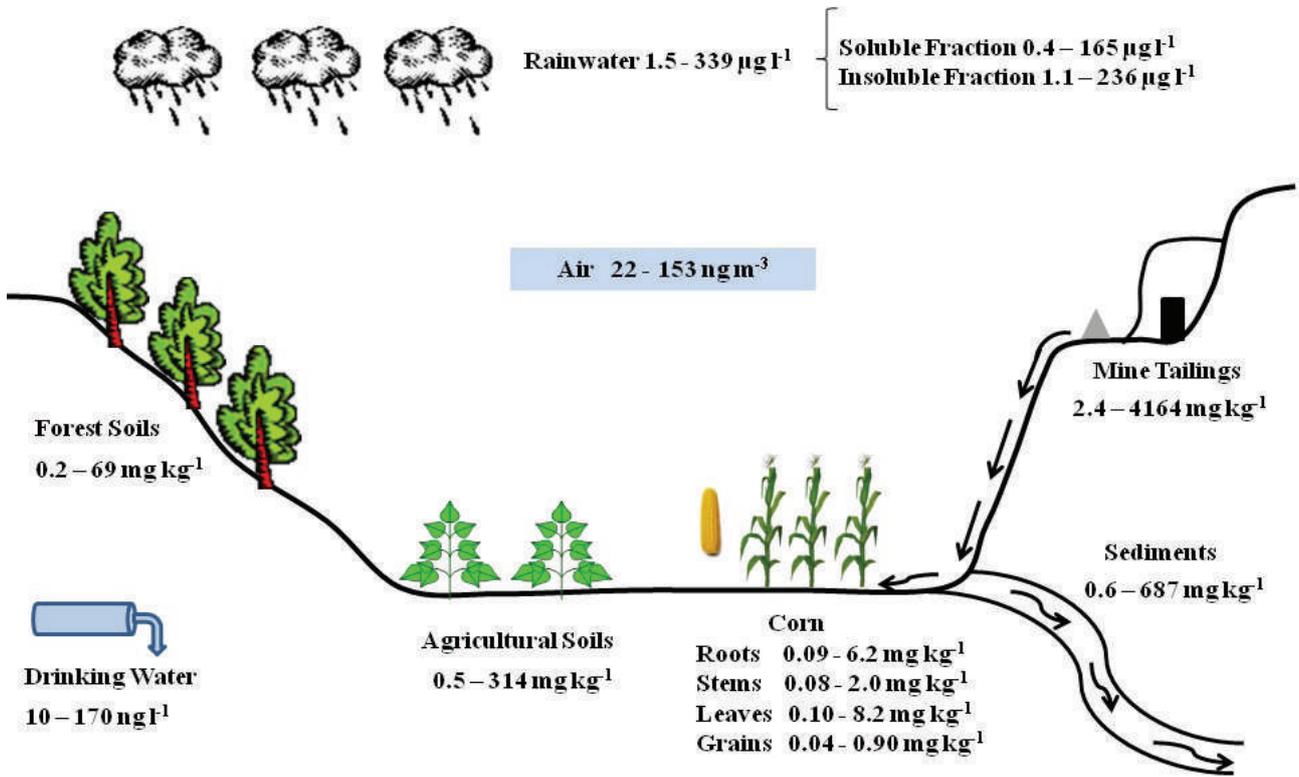


Figure 4. Distribution of total mercury content in the different compartments of the San Joaquin's mining region.

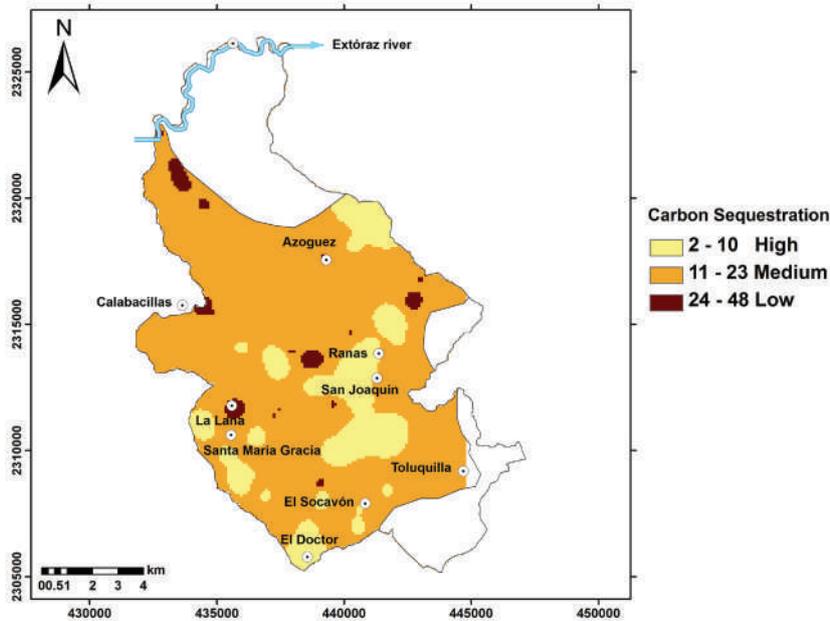


Figure 5. Carbon sequestration map.

CONCLUSIONS

The HgS mining exploitation in different periods for over 2000 years, have resulted in large amounts of Hg that have been released into the environment in Southern Sierra Gorda. The dispersion map of total Hg content shows that the highest Hg content in soils and sediments are associated to three groups of mining tailings in the study area (>250 mg/kg): At the center of Arroyo Grande micro-basin, the Calabacillas area, and in the surroundings of Ranas archaeological site. They represent three groups of several HgS mines with a mixture of Pre-Hispanic HgS mines and mines reused in the last century associated with a long period of exploitation.

A wide range of total Hg in agricultural soils is present, from 0.5 to 314 mg/kg; in addition, 46% of the soil samples showed Hg concentrations greater than the maximum limit established for agricultural use (23 mg/kg, according to NOM-2004). Hg in sediments presented a wide range as well, the highest content (687.0 mg/kg) corresponding to the maximum concentration in mining tailings (4164.0 mg/kg) where the management and a deficient processing of the HgS have been a constant situation. The results obtained suggest that, Hg in soils and

atmosphere are the origin of Hg accumulation in maize plants. The concentrations of Hg in the maize grain (0.04 to 0.9 mg/kg) were higher than the values reported by the WHO (2004) which establishes a limit of 0.1 and 0.5 mg/kg, respectively of Hg for animal feed. In this study higher concentrations were found than these limits: for the stalk a 2.0 mg/kg and for leaf an 8.2 mg/kg. Bioaccumulation of Hg in maize crops is an entrance source of Hg into the food chain, through foliage consumption by cattle or grains by humans. The maize plants close to the mines presented a higher concentration of total Hg than those located farther from them, while in the maize grain there was no a significant difference.

Total Hg concentrations found in San Joaquin rainwater ranged from 1.5 to 339 $\mu\text{g l}^{-1}$, with a 96 $\mu\text{g l}^{-1}$ mean. The atmospheric particles represented over 50% of the total Hg in the deposition, and the remaining part is dissolved in rainwater. The Hg levels were higher compared with rainwater concentrations in a pristine area of 1-2 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Grandjean, 2008) or from 3 to 40 $\mu\text{g l}^{-1}$ in the Upper Midwest, USA (Glass and Sorensen, 1999). Only 17 drinking water samples were analyzed coming from different seasons and years, resulting in

a value below the accepted limit allowed by NOM-1994.

The levels of total Hg found in air showed an extremely high content, from 5.3 to 415.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, taking into consideration the reference values of 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2002) and 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (UNEP, 2002). Due to continuous volatilization of Hg-enriched soils and HgS tailings, the inhabitants of the region keep a constant direct contact with Hg^o through inhalation. These emissions favor the metal accumulation within the structures as maize crops.

The land use changes, mostly from introduction of agricultural and mining activities, resulting to a decrease in the Hg immobilization through carbon sequestration. The previous results demonstrated a major public health concern for San Joaquín's population. The environment exhibits a constant exposure to the pollution of Hg coming from the open HgS tailings. A high percentage of agricultural soils are above the permitted limit. Therefore, a constant monitoring of Hg emissions is necessary in a long term to determine the scope and to detect trends that might be attributable to mining remains and accounting for baseline conditions that vary in space and time.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by grants of the project PAPIIT-UNAM No. 116806-3 and No. IN114910. It was carried out during the Bilateral Agreement in the frame of Mexico (CONACYT) and Hungary (NKTH), 2006-2012. The authors are grateful to the Geological Institute of Hungary (MAFI) for the Hg analysis performed with the AMA-254 equipment and the Hg mapping. To the laboratory of soils of the Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Querétaro. To Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) del Instituto Nacional de Ecología (INE) for the analysis performed with the TEKTRAN-2537A equipment.

REFERENCES

- Almeida, M.D., Lacerda, L.D., Bastos, W.R., Herrmann, J.C., 2005, Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondonia, Western Amazon, Brazil: *Environmental Pollution*, 137, 179-186.
- Bartha, A., Ballók, M., Bertalan, E., Scharek, P, 2009, Analytical methods of the determination of total Hg and toxic metal contents and their application on samples of San Joaquín's región, en Hernández-Silva, G. (ed.), *Mercurio — Impacto en el Hombre y la Naturaleza, al sur de la Sierra Gorda de Qro. México: Querétaro, México, campus UNAM-Juriquilla, Centro de Geociencias*, 34-40.
- Bartha, A., and Varga-Berna, Z., 2002, FOREGS Geochemical Baseline Programme: Mercury determination from solid samples. *Geological*

- Institute of Hungary, Budapest, 1-8 p.
- Förstner, U., and Wittman, G.T.W., 1981, Metal pollution in the aquatic environment. Ed. Springer-Verlag, 496p.
- Boening, D.W., 2000, Ecological effects, transport, and fate of mercury — a general review: *Chemosphere*, 40, 1335-1351.
- Biester, H., Gozar, M., Müller, G., 1999. Mercury speciation in tailings of the Idrija mercury mine: *Journal of Geochemical Exploration*, 65, 195-204.
- Cabrera-Vique, C., Ruíz-López, M.D., Javier, F., 2007, Mercurio en aguas del sureste de España — posibles fuentes de contaminación: *Ars Pharmaceutica*, 48, 37-53.
- Duce, A.R., Hoffman, G.L., 1976, Atmospheric vanadium transport to the ocean: *Atmospheric Environment*, 10, 989-996.
- Duce, A.R., Mohnen, V.A., Zimmerman, P.R., Grosjean, D., Cautreels, W., Chatfield, R., Jaenicke, R., Ogree, J.A., Pellizari, E.D., Wallace, G.T., 1983, Organic material in the global troposphere: *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 21, 921-952.
- Feng, X., Qiu, G., 2008, Mercury pollution in Guizhou, Southwestern China — An overview: *Science of The Total Environment*, 400, 227-237.
- García-Calderón, N. E., Solís-Valdez, S., Hernández-Silva, G., 2012, Soil organic matter role in Hg stability in ancient mining site. Environmental influences of mercury ore processing: Case studies selected at Slovenian, Mexican, Hungarian group meeting in Idrija. Editors: Mateja Gosar, Tatjana Dizdarevič, Miloš Miler. July, p. 51-54.
- García-Sánchez, A., Murciago, A., Álvarez-Ayuso, E., Santa Regina, I., Rodríguez-González, M.A., 2009, Mercury in soils and plants in an abandoned cinnabar mining area (SW Spain): *Journal of Hazardous Materials*, 168, 1319-1324.
- Gilbert, R.O., 1987, *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York, 319 p.
- Grandjean, P., 2008, *Mercury: Boston, MA, USA*, Institute of Public Health, University of Southern Denmark, Odense, Denmark — Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health.
- Glass, G.E., Sorensen, J.A., 1999, Six-Year Trend (1990 - 1995) of Wet Mercury Deposition in the Upper Midwest, U.S.A: *Environmental Science & Technology*, 33, 3303-3312.
- Gray, J.E., Hines, M.E., Higuera, P.L., Adatto, I., Lasorsa, B.K., 2004, Mercury speciation and microbial transformations in mine wastes, stream sediments, and surface waters at the almadén mining district, Spain: *Environmental Science & Technology*, 38, 4285-4292.
- Guo, Y., Feng, X., Li, Z., He, T., Yan, H., Meng, B., Zhang, J., Qiu, G., 2008, Distribution and wet deposition fluxes of total and methyl mercury in Wujiang River Basin, Guizhou, China: *Atmospheric Environment*, 42, 7096-7103.
- Gustin, M.S., Coolbaugh, M.F., Engle, M.A., Fitzgerald, B.C., Keislar, R.E., Lindberg, S.E., Nacht, D.M., Quashnick, J., Rytuba, J.J., Sladek, C., Zhang, H., Zehner, R.E., 2003, Atmospheric mercury emission from mine wastes and surrounding geologically enriched terrains: *Environmental Geology*, 43, 339-351.
- Hanson, P.J., Lindberg, S.E., Tabberer, T.A., Owens, J.G., Kim, K-H., 1995, Foliar exchange of mercury vapor — evidence for a compensation point: *Water, Air and Soil Pollution*, 80, 373-382.
- Harada, M., 1995, Minamata disease — Methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution: *Critical Reviews in Toxicology*, 25 (1), 1-24.
- Hernández-Silva, G., Scharek, P., Bartha, A., Solorio-Munguía, G., Vasallo-Morales, L., Lugo-de la Fuente, J., Tullner, T., Centeri, C., Martínez-Reyes, J., 2009, Mercurio en suelos, sedimentos y terreros al sur de la Sierra Gorda de Querétaro, México, en Hernández-Silva, G. (ed.), *Mercurio — Impacto en el Hombre y la Naturaleza*, al sur de la Sierra Gorda de Qro. México: Querétaro, México, campus UNAM-Juriquilla, Centro de Geociencias, 41-48.
- Hernández-Silva, G., García-Calderón, N. E., Martínez-Trinidad, S., 2013, Relationship between carbon sequestration and the mercury immobilization in soils of San Joaquín, Querétaro, México. Carbon Sequestration Conference, Reykjavík, Iceland, 26-29 may.
- Herrera-Muñoz, A., 1994, *Minería del cinabrio en la región de El Doctor, Querétaro: México, D.F.*, Escuela Nacional de Antropología e Historia, tesis de licenciatura, 159 p.
- Higuera, P., Oyarzun, R., Biester, H., Lillo, J., Lorenzo, S., 2003, A first insight into mercury distribution and speciation in soils from the Almadén

- mining district, Spain: *Journal of Geochemical Exploration*, 80, 95-104.
- Hines, M.E., Horvat, M., Faganeli, J., Bonzongo, J-C J., Barkay, T., Major, E.B., Scott, K.J., Bailey, E.A., Warwick, J.J., Berry Lyons, W., 2000, Mercury biogeochemistry in the Idrija river, Slovenia, from above the mine into the Gulf of Trieste: *Environmental Research*, 83, 129-139.
- International Soil Reference and Information Center (ISRIC), 2002, Procedures for soil analysis: Sixth edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Technical Paper.
- Johnson, D.W., Benesch, J.A., Gustin, M.S., Schorran, D.S., Lindberg, S.E., Coleman, J.S., 2003, Experimental evidence against diffusion control of Hg evasion from soils: *Science of the Total Environment*, 304, 175-184.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1992, Trace elements in soils and plants: 2d ed. CRC Press, London.
- Kocman, D., Horvat, M., 2011, Non-point source mercury emission from the Idrija Hg-mine region — GIS mercury emission model: *Journal of Environmental Management*, 92, 2038-2046.
- Kocman, D., Vreča, P., Fajon, V., Horvat, M., 2011, Atmospheric distribution and deposition of mercury in the Idrija Hg mine region, Slovenia: *Environmental Research*, 111, 1-9.
- Krabbenhoft, D.P., Branfireun, B.A., Heyes, A., 2005, Biogeochemical cycles affecting the speciation, fate and transport of mercury in the environment, In: Parsons, M.B., and Percival, J.B. (eds.). *Mercury: sources, measurements, cycles and effects*. Mineralogical Association of Canada. Halifax, Nova Scotia, 139-156.
- Li, P., Feng, X., Shang, L., Qiu, G., Meng, B., Liang, P., Zhang, H., 2008, Mercury pollution from artisanal mercury mining in Tongren, Guizhou, China: *Applied Geochemistry*, 23, 2055-2064.
- Lin, Y., Larssen, T., Vogt, R.D., Feng, X., 2010., Identification of fractions of mercury in water, soil and sediment from a typical Hg mining area in Wanshan, Guizhou province, China: *Applied Geochemistry*, 25, 60-68.
- Markus, J., McBratney, A.B., 2001, A review of the contamination of soil with lead II. Spatial distribution and risk assessment of soil lead: *Environment International*, 27, 399-411.
- Martínez-Trinidad, S., Hernández-Silva, G., Ramírez-Islas, M.E., Martínez-Reyes, J., Solorio-Munguía, G., Solís-Valdez, S., García-Martínez, R., 2013, Total mercury in terrestrial systems (air-soil-plant-water) at the mining region of San Joaquin, Queretaro, Mexico: *Geofísica Internacional*, 52 (1), 43-58.
- Mason, R.P., Sheu, G-R., 2002, The role of the ocean in the global mercury cycle: *Global Biogeochemical Cycles*, 16 (4), 1093.
- Mason, R.P., Kim, E-H., Cornwell, J., Heyes, D., 2005, An examination of the factors influencing the flux of mercury, methylmercury and other constituents from estuarine sediment: *Marine Chemistry*, 102, 96-110.
- Molina, J.A., Oyarzun, R., Esbrí, J.M., Higuera, P., 2006, Mercury accumulation in soils and plants in the Almadén mining district Spain — one of the most contaminated sites on Earth: *Environmental Geochemistry and Health*, 28, 487-498.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1), 1994, Modificación a la Norma Oficial Mexicana — 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., Diario Oficial de la Federación.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-147-SEMARNAT/SSA1), 2004, Proyecto de Norma Oficial Mexicana — Establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio: México, D.F., Diario Oficial de la Federación.
- Navarro, A., Cardellach, E., Corbella, M., 2009, Mercury mobility in mine waste from Hg-mining areas in Almería, Andalusia (SE Spain): *Journal of Geochemical Exploration*, 101, 236-246.
- Parsons, M.B., Percival, J.B., 2005, Mercury — sources, measurements, cycles and effects: Halifax, Nova Scotia, Mineralogical Association of Canada, 298 p.
- Patiño-Martínez, P., 2011, Distribución y deposición de Hg(total) en agua de lluvia en la zona de San Joaquín, Qro, en el período de secas frías y secas calientes: Tesis de Maestría, Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, 119 p.
- Patra, M., Sharma, A., 2000, Mercury toxicity in plants: *The Botanical Review*, 66, 379-422.
- Pyatt, F.B., Pyatt, A.J., Walter, C., Sheen, T., Grattan,

- J.P., 2005, The heavy metal of skeletons from an ancient metalliferous polluted area in southern Jordan with particular reference to bioaccumulation and human health: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 295-300.
- Qiu, G., Feng, X.B., Wang, S.F., Shang, L.H., 2005, Mercury and methylmercury in riparian soil, sediments, mine-waste calcines, and moss from abandoned Hg mines in east Guizhou province, southwestern China: *Applied Geochemistry*, 20, 627-638.
- Qiu, G., Feng, X., Wang, S., Shang, L., 2006, Environmental contamination of mercury from Hg-mining areas in Wuchuan northeastern Guizhou, China: *Environmental Pollution*, 142, 549-558.
- R Development Core Team, 2010, R: A language and environment for statistical computing: R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL HYPERLINK "<http://www.R-project.org>" <http://www.R-project.org>.
- Rea, A.W., Lindberg, S.E., Scherbatskoy, T., Keeler, G.J., 2004, Mercury accumulation in foliage over time in two Northern mixed-hardwood forests: *Water, Air, and Soil Pollution*, 133, 49-67.
- Rothenberg, S.E., Du, X., Zhu, Y-G., Jay, A., 2007, The impact of sewage irrigation on the uptake of mercury in corn plants (*Zea mays*) from suburban Beijing: *Environmental Pollution*, 149, 246-51.
- Rytuba, J.J., 2000, Mercury mine drainage and processes that control its environmental impact: *Science of The Total Environment*, 260, 57-71.
- Sarukhán, J., Maas, J.M., 1990, Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas — el sistema de cuencas hidrológicas, en Leff, E. (ed.), *Medio ambiente y desarrollo en México: UNAM (CIIH)-Porrúa*, 81-114.
- Schroeder, W., Munthe, J., 1998, Atmospheric Mercury — an overview: *Atmospheric Environmental*, 32, 809-822.
- Scharek, P., Hernández-Silva, G., Bartha, A., Solorio-Munguía, G., Solís-Valdez, S., 2010, Total Mercury content in soils, sediments and tailings in San Joaquin, Querétaro, México: *Special Papers of the Geological Institute of Hungary. A. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése*, 2010. Vol. 1, 125-130 p.
- Selin, N.E., 2009, Global biogeochemical cycling of mercury — a review: *Annual Review of Environment Resources*, 34, 43-63.
- Sierra, M.J., Millán, R., Esteban, E., 2009, Mercury uptake and distribution in *Lavandula stoechas* plants grown in soil from Almadén mining district (Spain): *Food and Chemical Toxicology*, 47, 2761-2767.
- Stamenkovic, J., Gustin, M.S., 2009, Nonstomatal and stomatal uptake of atmospheric mercury: *Environmental Science and Technology*, 43, 1367-1372.
- Suter, M., 1987. Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 98, 249-264.
- Temmerman, L., Waegeneers, N., Claeys, N., Roekens, E., 2009, Comparison of concentrations of mercury in ambient air to its accumulation by leafy vegetables — An important step in terrestrial food chain analysis: *Environmental Pollution*, 157, 1337-1341.
- Trudgill, S.T., 1988, *Soil and vegetation systems: 2nd ed.* Oxford University Press, New York, 211 p.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2002, Report of the Global Mercury Assessment Working Group on the Work of its First Meeting: Geneva, Switzerland, 258 p.
- Vassallo, L.F., Solorio-Munguía, J.G., 2009, The ore deposits of the southeastern part of the Sierra Gorda of Querétaro, México, en Hernández-Silva, G. (ed.), *Mercurio — Impacto en el Hombre y la Naturaleza, al sur de la Sierra Gorda de Qro. México: Querétaro, México, campus UNAM-Juriquilla, Centro de Geociencias*, 41-48.
- Wasserman, J.C., Hacon, S., Wasserman, M.A., 2003, Biogeochemistry of mercury in the Amazonian environment: *Ambio — A Journal of the Human Environment*, 32 (5), 336-342.
- White, J.G., Welch, R.M., Norvell, W.A., 1997, Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems: *Soil Science Society of America Journal*, 61, 185-194.
- World Health Organization (WHO), 2002. Elemental mercury and inorganic mercury compounds: Concise International Chemical Assessment Document No 50. World Health Organisation and International Programme on Chemical Safety.

Geneva, Switzerland, in preparation.

World Health Organization (WHO), 2004, Safety evaluation of certain food additives and contaminants: Geneva, Switzerland, WHO Food Additives Series, 52.

World Health Organization (WHO), 2005, Mercury in Drinking Water: Rolling revision to guidelines for drinking-water quality. 3rd Edition, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Zhang, J., Dai, J., Wang, R., Li, F., Wang, W., 2009, Adsorption and desorption of divalent mercury (Hg^{2+}) on humic acids and fulvic acids extracted from typical soils in China: Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 335, 194-201.

ESTRATIGRAFÍA Y AMBIENTES DE DEPÓSITO DE CAPAS CONTINENTALES DEL JURÁSICO EN LA SIERRA DE ATOTONILCO, DURANGO, MÉXICO.

Samuel Eguiluz y de Antuñano

RESUMEN

Este trabajo describe las características litológicas de rocas sedimentarias continentales del Jurásico, con vulcanismo asociado, y ofrece una interpretación de los sub-ambientes de su depósito. Esta sucesión aflora en la Sierra de Atotonilco, Durango, y consiste de más de 400 metros de espesor de rocas sedimentarias con derrames de lava intercalados y el conjunto de capas continentales subyacen a estratos marinos de la Formación La Gloria (Jurásico Superior). Las estructuras primarias en siliciclastos continentales identifican varias litofacies (abanico y llanura aluvial, canales de depósito fluvial, laguna e isla de barrera). Se analizan las relaciones estratigráficas en la sucesión expuesta y se presenta un conflicto nomenclográfico con la nomenclatura estratigráfica empleada tradicionalmente para las capas continentales, que han sido referidas impropriamente como Formación Nazas, ya que en la Sierra de Atotonilco, existe una transición sedimentaria entre la facies continental y la facies marina y no se observa discordancia angular alguna entre ellas, aparte de no tener discordancia angular entre sí. Las capas continentales pueden ser separadas en una unidad superior correlacionable con la Formación La Joya y la parte media e inferior sin nombre asignado aun, pero posiblemente correlacionable en edad con la Formación Cahuascal. Las sucesiones estratigráficas que se describen en este trabajo tienen transporte tectónico total, de cobertura (thin skin), sin

Rinconada Precolombina
Bonampak
103, Coyoacán, CP 04700,
seguiluz662@gmail.com

raíz estructural conocida, lo cual complica hacer reconstrucciones paleogeográficas apropiadas. La deformación de edad Laramide corresponde al extremo noroeste del Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental.

Palabras clave: Formaciones Nazas-Joya, capas rojas jurásicas, Durango, México.

ABSTRACT

This paper describes the lithology and depositional environment of the Jurassic continental sedimentary rocks that crop out in the Atotonilco Range, in the state of Durango, México. The continental succession consists of more than 400 meters thick sedimentary rocks and associated volcanic lava flows. This continental succession underlies marine facies of the La Gloria Formation (Upper Jurassic). Sedimentology and primary structures in the continental siliciclastic succession suggest several lithofacies, that likely correspond to several continental environments (fan and alluvial plain, river channels, lagoon, and barrier island). The stratigraphic section of red beds in the Atotonilco Range do not correspond with the mnemonic correlations established previously in the north of México, and this paper, is discuss the conflict with the stratigraphic nomenclature used traditionally for continental red beds, which have been referred improperly to as Nazas Formation. In the Atotonilco Range there is a transition between the continental and the marine environment, the La Gloria Formation is Upper Jurassic in age, but the red beds are not dated yet. The top of continental facies shows a paraconformity (not angular), that could separate the red beds in two parts, the top assigned to La Joya Formation, but the middle and bottom have not

stratigraphic name, and may be assigned correlative to the Cahuwasas Formation. Stratigraphic succesions described in this paper have full tectonic transport, thin-skinned type, without known structural root, which complicates making appropriate paleogeographic reconstructions. The Atotonilco Range correspond to the northwest edge of the fold and thrust belt of the Sierra Madre Oriental, assigned to the Laramide age deformation.

Key words: Nazas-Joya formations, Jurassic red beds, Durango, Mexico.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo consiste en describir los ambientes de depósito de una sucesión, mayormente sedimentaria de siliciclastos, con intercalación de derrames volcánicos, que no presentan metamorfismo y pasa en transición, sin discordancia angular, hacia otra sucesión de sedimentos de ambiente marino, con fósiles del Jurásico Superior. La relación estratigráfica de esta sucesión es importante para considerar su correlación estratigráfica y nomenclatura apropiada. Adicionalmente se interpreta la deformación en el área de este trabajo, cuya descripción precisa es necesaria para hacer reconstrucciones paleogeográficas objetivas. Las sucesiones estratigráficas que se detallan afloran en la Sierra de Atotonilco, que se ubica

entre las coordenadas geográficas 26°05' a 26°10' norte y 104°35' a 104°40' oeste, en la zona limítrofe entre los estados de Durango y Chihuahua, a 150 km al noroeste de la ciudad de Torreón, Coahuila (Figura 1). La Sierra de Atotonilco forma parte de las estructuras que se localizan en la terminación noroccidental del Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental, en el sector denominado San Pedro del Gallo (Eguiluz et al., 2000) y se encuentra en el límite de los terrenos Oaxaquia y Central o Parral (Centeno et al., 2008).

La estratigrafía regional fue inicialmente descrita por Burckhardt (1930) en el poblado de San Pedro del Gallo, Durango, quien consideró una edad Dogger (Jurásico medio) para las capas rojas continentales más antiguas,

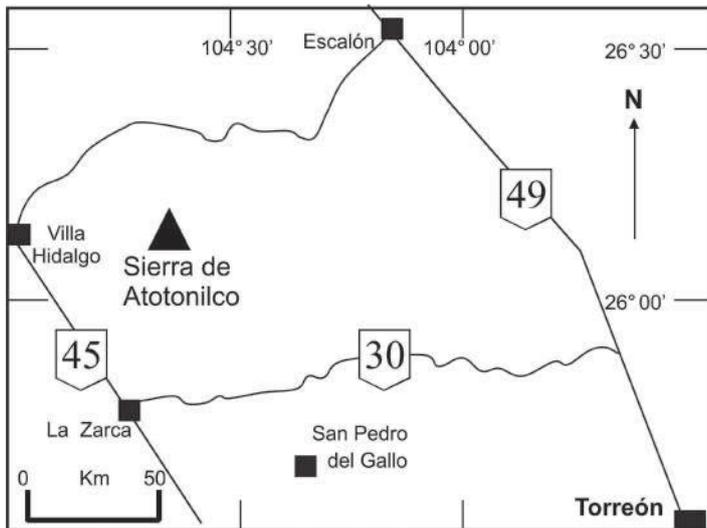


Figura 1. Mapa de localización de la Sierra de Atotonilco.

cubiertas por una sucesión de arenisca de cuarzo y en su cima carbonatos con *Nerinea* sp., asignada al Oxfordiano inferior. Esta última, a su vez, está cubierta por capas de arenisca con *Perisphinctes ellizabetiformis*, entre otros géneros, que dan a los estratos una certidumbre de edad Oxfordiano superior. Imlay et al. (1948) incluyeron a todas las facies continentales pre-oxfordianas como Formación Huizachal. Mixon et al. (1959) definieron a esta formación como Grupo Huizachal. Tanto la definición, como la redefinición de la unidad Huizachal soslayaron el vulcanismo presente en estas rocas. Adicionalmente, Mixon et al. (1959) introdujeron las formaciones La Boca y Joya en ese grupo, pero la posición estratigráfica y correlación de la Formación La Boca fue inapropiada, lo cual ha generado confusión

que ha prevalecido por mucho tiempo (Eguiluz et al. 2014). En San Pedro el Gallo y Villa Juárez, Durango, Pantoja-Alor (1963, 1972) segregó de la redefinición de Huizachal a la sucesión continental con vulcanismo, para darle el nombre de Formación Nazas, con edad isotópica obtenida por el método Larsen de 230 ± 20 Ma (Triásico medio), para una ignimbrita situada en la base de la sección, Durango. Bartolini (1997), por el método $40\text{Ar}/39\text{Ar}$, obtuvo de estas rocas una edad absoluta de 195.3 ± 5.5 . Lawton y Molina (2014) mediante circones detríticos calculan una edad para la Formación Nazas que comprende desde 180 a 168 ± 2 Ma. La presencia de rocas vulcano-sedimentarias de esta edad en otras partes de México apoya la idea del emplazamiento de un arco volcánico

continental Jurásico y no Triásico. La Formación Cahuassas es un depósito de capas rojas continentales, por su posición estratigráfica posiblemente es Jurásico medio y no obstante que presenta vulcanismo asociado, éste puede relacionarse con el inicio de una etapa rift. Lo expuesto en párrafos anteriores se puede sintetizar indicando que hay cuatro sucesiones continentales: Una sucesión del Triásico Superior (Formación Alamar), una secuencia del Jurásico Inferior con vulcanismo (Arco Nazas), con sus contactos estratigráficos, inferior y superior, por discordancias angulares. Una tercera sucesión de capas continentales con vulcanismo poco documentado (Formación Cahuassas) y la cuarta sucesión es una facies transgresiva, formada por clastos derivados de las capas rojas anteriores, lo cual da su aspecto rojizo (Formación La Joya).

La estratigrafía de la Sierra de Atotonilco fue descrita por Eguiluz-de Antuñano (1997), basado en informes inéditos de Petróleos Mexicanos (Eguiluz-de Antuñano, 1976). La evolución estratigráfica y estructural de la región ha sido descrita por Eguiluz-de Antuñano y Campa (1982), Araujo et al. (1986), Eguiluz-de Antuñano (1989) y Aranda-García (1991).

DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA

La sección estratigráfica de la Sierra de Atotonilco (Figura 2) se ubica a 2 km al oeste del rancho Bella Vista, Durango, y consiste de cinco miembros:

La unidad inferior (A) tiene 128 m de espesor, está formada por arcosa feldespática de grano fino a grano medio, de color rojo oscuro producido por óxidos de hierro (hematita), en estratos de espesor rítmico que varía de 5 a 20 cm. La estratificación paralela es la estructura sedimentaria más común, internamente las

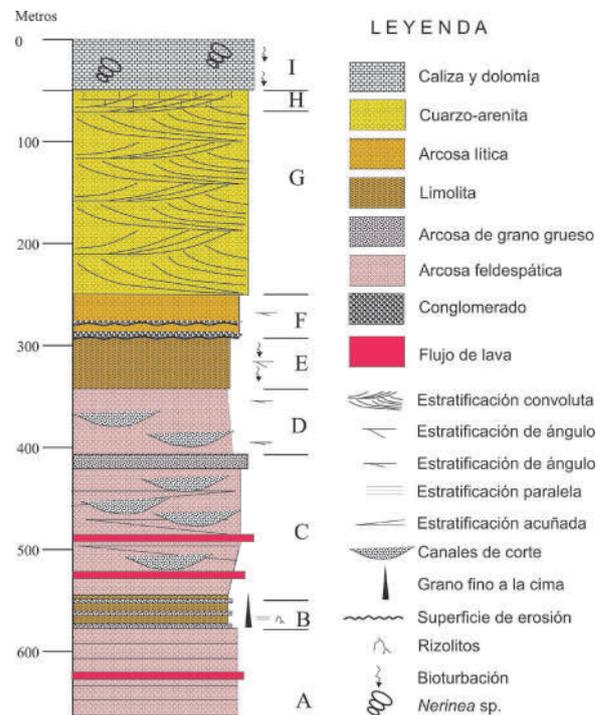


Figura 2. Sección estratigráfica de las capas continentales y la Formación La Gloria en la Sierra de Atotonilco. Descripciones en el texto.

capas tienen laminación fina a muy fina, paralela entre sí. Esta unidad contiene derrames de lava, roca constituida por cuarzo, feldespato y minerales de hierro. La unidad B tiene 43 m de espesor; está compuesta por limolita y arcosa feldespática de grano fino a medio, constituida por cuarzo, plagioclasa sódica, moscovita y fragmentos líticos volcánicos, todo el conjunto cementado por sílice. Los estratos tienen de 5 a 10 cm de espesor, con estratificación laminar, agrupados en cuerpos de 5 a 10 m de espesor que forman ciclos, en los que el grano de mayor tamaño predomina en la base y el grano fino hacia la cima. El característico color rojizo se debe a minerales de hierro. Unas formas cónicas, que son características de esta unidad, se considera que son rizolitos, sin poder confirmarlo. Los límites superior e inferior de la unidad B están en transición rápida y concordante. La unidad C tiene 104 m de espesor, está compuesta de una litología heterogénea formada por arcosa feldespática, de grano medio, en estratos de 30 a 40 cm de espesor, interrumpidos por estructuras de corte y relleno, que alojan conglomerado, éste se compone de clastos volcánicos, esquisto y de arenisca re-trabajada, los clastos son redondeados a sub-redondeados

y están grano-soportados, dispuestos con imbricamiento parcial, con su ángulo de depósito indicativo de la dirección y sentido de la corriente, lo que denota un transporte e hidrodinámica de corriente variable y más intensa respecto a la que presentan las unidades A y B. En el conglomerado el tamaño de grano disminuye hacia la cima y pasa a arenisca y a limolita (Figura 3). Las capas de arenisca de esta unidad C son de grano fino a grano grueso, discontinuas y lateralmente se acuñan. La limolita tiene laminación cruzada de ángulo bajo y se entrecruza con

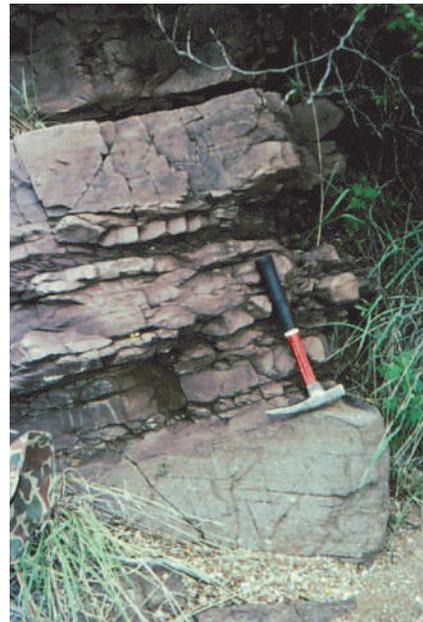


Figura 3. Estratos paralelos de arcosa de grano medio a fino, lateralmente discontinuos con limolita y lutita, en capas delgadas a medias, sobreyacen a conglomerado policimático, con clastos parcialmente imbricados, redondeados, como relleno de canal.

direcciones de acomodo opuestas. Esta unidad se distingue además por tener un contenido mayor de capas volcánicas de andesita o dacita, con fenocristales de plagioclasa en mesostásis con una matriz afanítica de color gris. La unidad D tiene 87 m de espesor, está formada por arcosa feldespática de grano medio a grueso, en estratos de 20 a 35 cm de espesor y se intercalan estructuras lenticulares rellenas por conglomerado, con matriz de arenisca de grano fino. Es común la presencia de diastratificación de ángulo bajo, pero no es obvia a primera vista. Su color rojo oscuro se debe a la oxidación del hierro. El rasgo principal de este miembro son los cambios bruscos de granulometría y el mayor espesor de sus capas. La unidad E tiene 58 m de espesor, está compuesta por limolita con intercalaciones de cuarzo-arenita blanca de grano grueso y arcosa feldespática de grano fino. Los principales componentes son granos de cuarzo, feldespato sódico, moscovita y zircón, los cuales están cementados fuertemente por sílice, que les da dureza. Las capas varían de 15 a 40 cm de espesor y presentan estratificación laminar cruzada convoluta, con ángulo medio a alto, presenta barrenos de organismos bentónicos. La unidad F se integra

en la base por conglomerado con capas de arcosa lítica intercalada, su espesor varía de 0.50 m a 1.5 m y se repiten dos intervalos cíclicos. El conglomerado está formado por fragmentos de arenisca y roca volcánica, bien redondeados, soportado por matriz de arcosa lítica, fuertemente cementado por sílice. Las capas de conglomerado pasan hacia la cima a arenisca de cuarzo, de grano grueso a medio, con estratificación cruzada bidireccional y además convoluta, en estratos de espesor delgado y el conjunto tiene un espesor no mayor a 20 m. El contacto inferior de esta unidad tiene un par de superficies de corte, por erosión, en donde se aloja el conglomerado y este, es concordante con la cima de la unidad E, por lo que no se observa discordancia angular. La unidad G constituye la base de la Formación La Gloria, ésta contiene clastos de conglomerado de cuarcita con 5 cm de diámetro en promedio, intercalados entre estratos de arenisca de cuarzo de grano bien seleccionado y redondeado. Las capas superiores tienen estratificación laminar convoluta, muy constante y fácilmente observable, pero esta característica da la impresión errónea de estar en discordancia angular con la unidad F. La unidad G está compuesta por 225 m de

espesor de una sucesión homogénea de capas de cuarzo-arenita (Q93F5L2), de grano medio bien redondeado, de color blanquecino, con estratificación cruzada convoluta de ángulo alto (Figura 4) y bien cementada por sílice. La cima de la unidad G cambia gradualmente a una arenisca con bioturbación abundante de la unidad H, cementada en su base por sílice, pero paulatinamente hacia la cima está cementada por carbonato de calcio. La unidad I es una sección incompleta de 52 m de espesor, compuesta por caliza y dolomía de color gris. Sus componentes son grainstone oolítico, grapestone y carpetas de algas, fragmentos

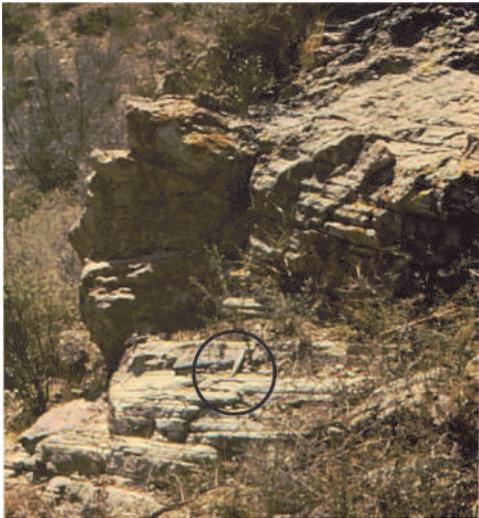


Figura 4. Unidad G de la Formación La Gloria, constituida por capas de cuarzo-arenita de grano medio, bien seleccionada, con estratificación laminar, cruzada convoluta. Escala un martillo de 30 cm en el círculo.

de corales y abundante *Nerinea* sp. Presenta capas de wackestone bioclástico y dolomías con abundante horadación de organismos bentónicos, como estructuras primarias tiene estratificación cruzada en la textura grainstone y capas de espesor grueso lateralmente continuas, lo que indica en su conjunto facies marinas típicas de un ambiente de alta energía. Algunas capas delgadas de arenisca aún están presentes en la base de este miembro, pero desaparecen hacia la parte media y la cima. En general, los estratos varían de 30 a 80 cm de espesor.

La relación estratigráfica inferior de las capas rojas continentales pre-oxfordianas se presenta por falla sub-horizontal, que las coloca en contacto con lutita y arenisca de la Formación Indidura, la que contiene los foraminíferos *Heteroelix* sp., *Hedbergella amabilis*, *H. planispira*, *Rotalipora* sp. y *Calciesphaerula* sp., que confirman una edad del Cenomaniano o más joven, con un espesor delgado y a su vez descansa concordantemente sobre calizas tipo wackestone de bioclastos, miliólidos y rudistas del Cretácico, asignada a la Formación "Aurora", con la que las facies continentales descritas anteriormente también están en contacto tectónico. El contacto superior de las facies

continentales es un cambio transicional hacia un ambiente marino (Formación La Gloria), no se observa discordancia angular entre ambas facies, tampoco se observa metamorfismo de pizarra o filita en estas rocas, por lo que este hecho contrasta con la descripción de la Formación Nazas descrita en trabajos anteriores (Pantoja-Alor, 1963, 1972; Bartolini, 1997).

DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL

Como se detalló en el capítulo anterior, las capas rojas continentales y los sedimentos marinos del Jurásico, descansan sobre rocas sedimentarias pelíticas del Cretácico Superior y carbonatos de ambiente lagunar del Albiano. El mapa geológico (Figura 5), una panorámica de la Sierra de Atotonilco (Figura 6) y un corte estructural (Figura 7), muestran una estructura compleja, angosta y alargada, con su eje estructural orientado noroeste - sureste, donde las capas se inclinan con 20° a 30° al noreste y forman el flanco de una estructura, con recostamiento aparente al suroeste, aunque cabe señalar que la vergencia regional de los pliegues denota un transporte tectónico del suroeste al noreste (Eguiluz y Campa, 1982; Eguiluz-de Antuñano, 1989; Aranda-García,

1991). La sección estructural (Figura 6) muestra la aloctonía total de las capas continentales y marinas del Jurásico de manera irrefutable, por lo tanto, alcanzan un acortamiento de 50% o mayor (Aranda-García, 1991; Eguiluz-de Antuñano et al., 2000). El contacto inferior de la Formación La Gloria también descansa por falla inversa sobre rocas más jóvenes, mediante un plano subhorizontal de cabalgadura que es doblemente emergente al noreste y al suroeste. En conjunto, las capas continentales y la Formación La Gloria, ambas de edad Jurásico, en el flanco noreste de la Sierra de Atotonilco, constituyen una isla estructural (klippe), con despegue en la parte inferior de las capas continentales y de las capas marinas del Jurásico (Figura 5). Próximos a la Sierra de Atotonilco se han perforado dos pozos, Bermejillo 1 y Zarca 1, sus penetraciones llegaron a 6,139 m y 5,922 m de profundidad respectivamente. En ambos casos se encontró que las rocas del Jurásico Superior están sobrepuestas por transporte tectónico sobre rocas del Cretácico Superior (Figura 8). Más profundo, subyacen al Cretácico Superior rocas del Albiano, en facies de ambiente lagunar, con evaporitas, las que descansan sobre un basamento metamórfico, sin penetrar rocas sedimentarias marinas del

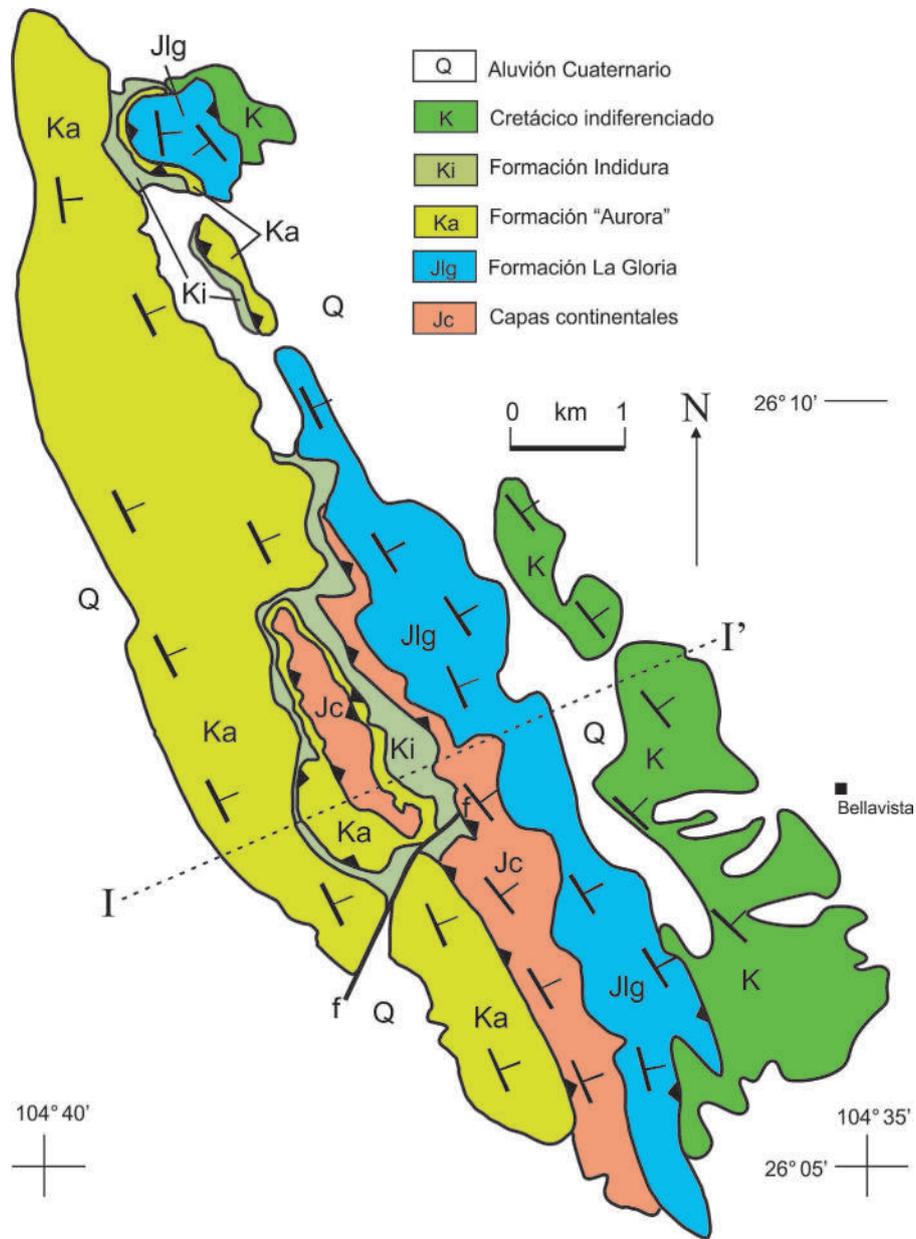


Figura 5. Mapa geológico de la Sierra de Atotonilco que muestra la aloctonía estructural total de las capas continentales y la Formación La Gloria del Jurásico, sobre las Formaciones "Aurora" e Indidura del Cretácico.

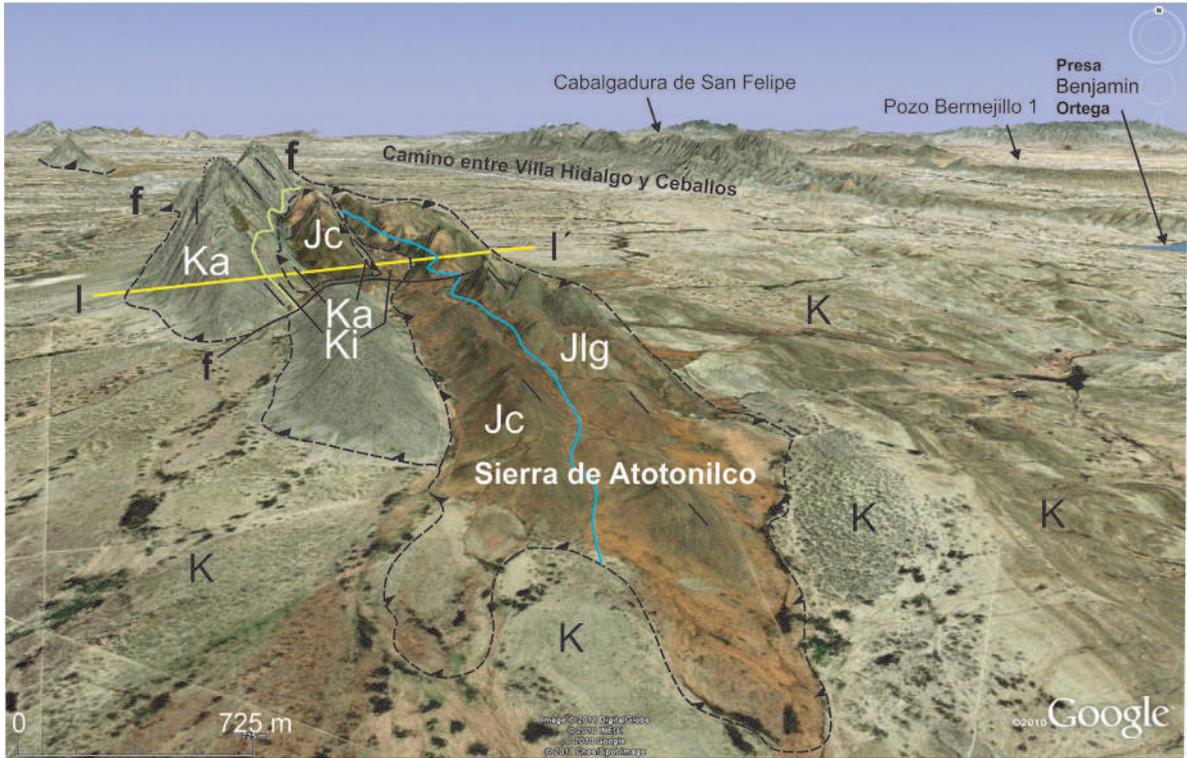


Figura 6. Vista panorámica hacia el nor-noreste de la Sierra de Atotonilco. Se observa el contraste de coloración de capas de carbonatos de las formaciones “Aurora” (Ka) e Indidura (Ki) y las capas rojizas y ocras del Jurásico continental (Jc) y la Formación La Gloria del Jurásico (Jlg), con total aloctonía marcada por un contacto de falla sub-horizontal. Cretácico indiferenciado (K). Al fondo se encuentra la sierra de San Felipe como un complejo estructural alóctono (Eguiluz-de Antuñano, 1989). La simbología se explica del mapa geológico. Imagen tomada de Google Earth.

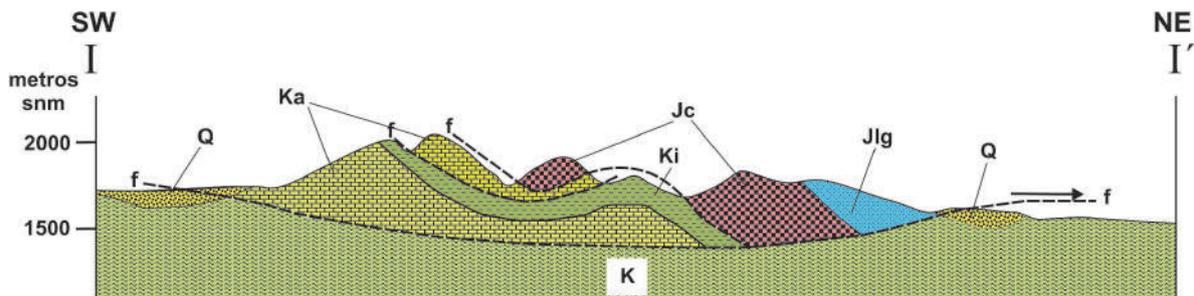


Figura 7. Sección estructural de la Sierra de Atotonilco. La simbología se describe en el mapa geológico.

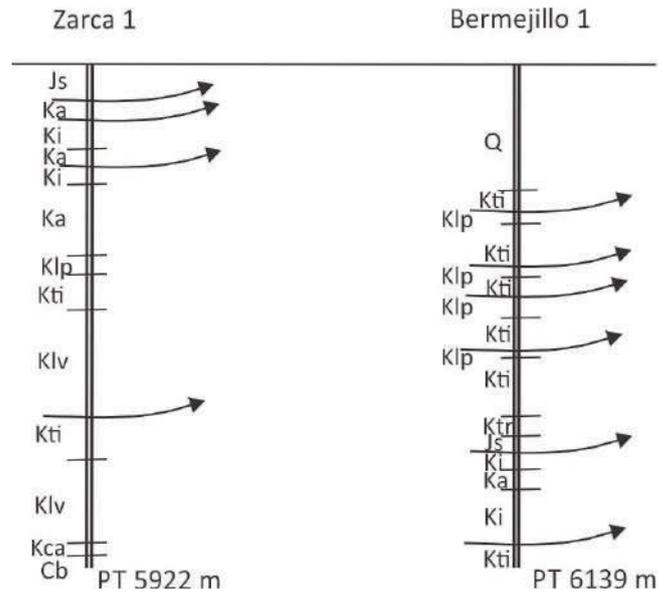


Figura 8. Numerosas repeticiones estratigráficas se encontraron al perforar los pozos Zarca 1 y Bermejillo 1. El primer pozo inició en la Formación La Casita (Js) y por falla se sobrepone a la Formación "Aurora" (Ka), ésta a su vez cabalga a la Formación Indidura (Ki) y se repite la sucesión. Las sucesión estratigráfica normal de la más joven a la más antigua corresponde a las formaciones "Aurora" (Ka), La Peña (Klp), Tamaulipas Inferior (Kti) y La Virgen (Klv) y por falla estas unidades sobreyacen a Tamaulipas Inferior, La Virgen, Carbonera (Kca) y un complejo basal (Cb) de edad incierta, con profundidad total de penetración a 5,922 m. El segundo pozo cortó más de 1,000 de aluvión (Q) y a la Formación Tamaulipas Inferior. Por deformación estructural se repitió tres veces la sucesión de las formaciones La Peña (Klp) y Tamaulipas Inferior (Kti). Una escama estructural compuesta por las formaciones La Peña, Tamaulipas Inferior, Taraises (Ktr) y La Casita (Js), sobreyace al Cretácico Superior Indidura (Ki), "Aurora" y Tamaulipas Inferior, con profundidad total de penetración a 6,139 m.

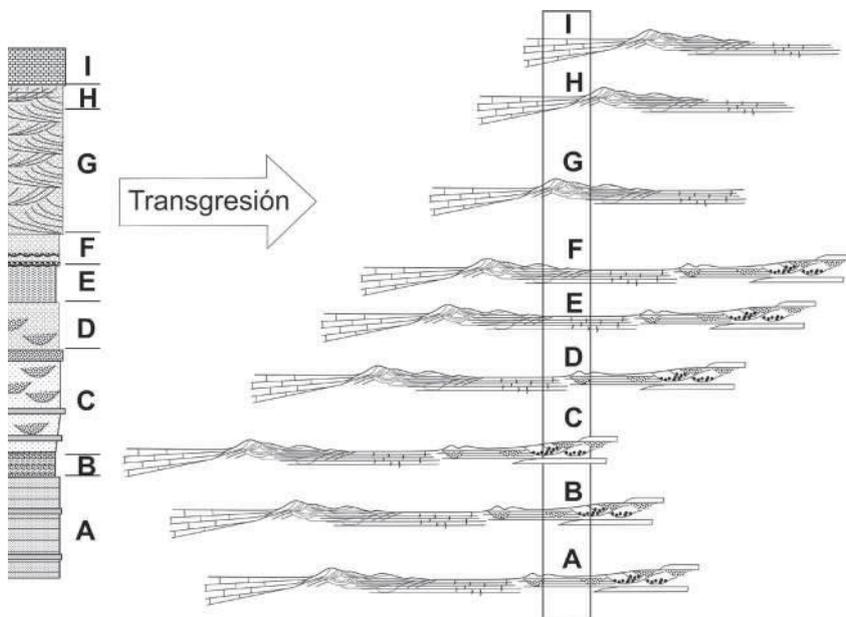


Figura 9. Modelo de depósito de acuerdo con la Ley de Walther (1894) para las capas continentales y su transición hacia la Formación La Gloria, ambas del Jurásico. Planicie aluvial con vulcanismo asociado (A), barras laterales de acreción (B), canales distributarios con vulcanismo intermitente (C) y barras fluviales (D) con posibles meandros, transición entre ambiente fluvial a lagunar en llanura de acarreo "washover" (E), depósitos de playa o intermarea (F), depósitos eólicos de isla de barrera (G), transición de barra a intermarea (H), ambiente de submarea en plataforma carbonatada (I).

Aptiano o más antiguas in situ.

DISCUSIÓN

Imlay et al. (1948) incluyeron a todas las capas continentales pre-Jurásico Superior bajo el mnemónico Huizachal. Mixon et al., (1959) separaron en dos unidades a las capas continentales descritas por Imlay et al (1948) en el Valle de Huizachal. La unidad más joven fue nombrada Formación La Joya y la unidad más antigua, compuesta por rocas sedimentarias y volcánicas continentales, inapropiadamente la designaron como Formación La Boca para su correlación con rocas sedimentarias continentales más antiguas que afloran en los cañones de La Boca y Novillo (Formación La Boca). Esta correlación inadecuada ha creado en la nemónica estratigráfica un paradigma por mucho tiempo (Rueda et al. 1993, 1997; Fastovsky et al. 2005; Rubio-Cisneros y Lawton, 2011). La revisión de la nomenclatura estratigráfica de las capas continentales pre-oxfordianas es un tema polémico, descrito ampliamente por Eguiluz-de Antuñano et al. (2014). En síntesis existen cuatro sucesiones de capas continentales entre el Triásico Superior y el Jurásico, separadas por discordancias. La unidad más antigua (Triásico Superior)

corresponde a la originalmente llamada Formación La Boca, en el cañón del mismo nombre y actualmente nominada El Alamar. A estas formaciones les sucede un depósito volcano-sedimentario (formaciones Nazas y Huizachal), que subyace en discordancia angular a unidades continentales más jóvenes, no siempre presentes, de las formaciones Cahuasas y La Joya. La Formación Cahuasas tiene vulcanismo asociado a su depósito, pero este vulcanismo es excluyente del evento magmático precedente, posiblemente asociado con la apertura rift del Golfo de México, tampoco presenta la deformación observada en las sucesiones anteriores, en ocasiones subyace con discordancia paralela a rocas más jóvenes (Formación Tepexic), mientras que en otras ocasiones esa relación es con discordancia angular. Las capas continentales más jóvenes (Formación La Joya) descansan sobre una superficie de erosión y están en discordancia angular sobre rocas más antiguas, pero su contacto superior pasa en transición, de un ambiente continental a un ambiente marino del Jurásico Superior. Este depósito se correlaciona con la Formación Tepexic. La sección estratigráfica de la Sierra de

Atotonilco muestra que hay capas continentales vinculadas a derrames volcánicos, que pasan en concordancia estratigráfica y transición, hacia facies marinas someras de la Formación La Gloria, que siguen el modelo de transgresión clásico de la Ley de Walther (1894), modelo que está formado por franjas paralelas de sedimentación en el que puede acomodarse facies de ambiente continental sobrepuesto por facies de ambiente marino, representado en una columna geológica. Cada sub-ambiente nuevo de depósito se sobrepone a otro más antiguo, denotando este acomodo en la Sierra de Atotonilco una transgresión (Figura 9), mientras que el orden inverso de acomodo representaría una regresión.

En la columna estratigráfica expuesta en la Sierra de Atotonilco se interpretan varios sub-ambientes. La unidad A, formada por arcosa feldespática de grano fino, laminar, en estratos uniformes y paralelos, fue depositada en condiciones de energía baja y asociada a un relieve relativamente plano, con minerales de oxidación, lo que puede corresponder a un ambiente de planicie aluvial (Miall, 1978), con vulcanismo asociado. La unidad B está formada por limolita y arcosa feldespática de grano fino a medio, con laminación paralela, en

estratos delgados agrupados en cuerpos que forman ciclos litológicos contrastantes, con el grano de mayor tamaño en la base y el grano fino hacia la cima, con huellas de posibles rizolitos que sugieren un clima húmedo, puede ser una aproximación para representar un ambiente con energía variable, fluvial o meándrico, donde pueden alternar ciclos de barras laterales de acreción (point bar) y su paso a planicie de inundación (floodplain), de acuerdo al modelo de Allen (1970). La unidad C representa rejuvenecimiento del relieve, marcado por flujos de lava e incisión de canales rellenos por conglomerado, los que denotan ciclos de energía alta. El retrabajo de clastos de arenisca, esquisto y volcánicos podría indicar movimiento tectónico asociado al emplazamiento de vulcanismo continental de composición intermedia (dacítico o andesítico), sin observar basalto. Las características litológicas de la unidad C inferen un ambiente de depósito de posibles canales y barras fluviales. La unidad D tiene arcosa de grano medio a grano grueso, conglomerado grano-soportado y matriz arenosa, en capas delgadas, con diastratificación de ángulo bajo y cambios bruscos de granulometría, denota corrientes dirigidas más desarrolladas

y con mayor energía. Se interpreta que estos depósitos pudieran corresponder a canal y barra fluvial (Cant y Walker, 1976) o sistema de meandro (Walker, 1984). La unidad E compuesta por cuarzo-arenita blanca de grano grueso, interestratificada con arcosa lítica de grano fino y limolita, con capas de espesor medio y estratificación laminar cruzada convoluta con ángulo medio a alto y barrenos de organismos, puede compararse a depósito de canales de energía moderada, en ambiente lagunar. La unidad F compuesta por conglomerado y capas de arcosa lítica en la base, sugiere un ambiente de depósito de canales de inter-marea, mientras que su cima, con arenisca de cuarzo de grano grueso a medio y estratificación cruzada bidireccional y además convoluta, en capas delgadas, pueden representar depósitos de playa o inter-marea. El contacto inferior de esta unidad con superficie de erosión, en donde se aloja el conglomerado, concordante con la cima de la unidad E, es un cambio de ambiente entre las unidades E y F, congruente con una transición en un sistema transgresivo (Brookfield, 1984). La unidad G se compone por arenisca de cuarzo bien seleccionado, de grano unimodal, con un ángulo de depósito asimétrico, alto y

estratificación laminar convoluta, se interpreta en su base como un depósito eólico y gradualmente pasa a la unidad H formada por cuarzo-arenita cementada por carbonato y con bioturbación, por lo que puede corresponder a una transición entre ambiente de barra a planicie de playa (*strad plain*), con su paso a una zona de intermarea (Reison, 1984). La base de la unidad I representa una transición de ambientes de intermarea a ambientes de submarea en una plataforma de carbonatos, con *grainstone* con núcleos de grano de cuarzo, que indican el ingreso de terrígenos en una plataforma de rampa con carbonatos con alta energía (Wilson, 1975). En la cima de la unidad hay *wackestone* de bioclastos y *Nerinea sp.*, que denota condiciones más marinas, lagunares de plataforma de carbonatos, pero su contacto con la unidad superior está erosionado para observar facies de mayor profundidad presentes en otras localidades. La descripción estratigráfica y sus ambientes de depósito indican que existe un depósito sedimentario de ambiente continental, que pasa en transición hacia un ambiente marino transgresivo que paulatinamente se profundiza. El ambiente continental en la parte inferior y media de la columna estratigráfica

tiene vulcanismo de tipo intermedio, pero este vulcanismo no se observa en la parte superior de la sección. La sucesión continental que pasa en transición de un ambiente continental a un ambiente marino, no presenta discordancia angular o presencia de pizarras, como lo presentan las unidades de la Formación Nazas (Eguiluz-de Antuñano et al., 2014) y esto tiene suma relevancia para hacer la diferencia entre la Formación Nazas y las capas continentales expuestas en la Sierra de Atotonilco. Las unidades sedimentarias y volcánicas A-E, estructuralmente concordantes con la sucesión F-I, se considera que pueden ser equivalentes en edad a la Formación Cahuasas, que tiene vulcanismo de tipo intermedio (Suter, 1990). El mnemónico Tres Varones fue propuesto (Alba-Pascoe, 1965) para una sucesión estratigráfica muy similar a las facies continentales que afloran en la Sierra de Atotonilco aquí tratada, sin embargo, este nombre se propuso de manera informal, su uso ha sido restringido y poco conocido y además, carece de una definición más apropiada y formal, por lo tanto, las capas continentales de la parte media e inferior que afloran en la Sierra de Atotonilco que aquí se describen no se les asigna un mnemónico particular por el momento.

La sucesión F descrita en este trabajo se correlaciona con la Formación La Joya, como base de la transgresión del Calloviano.

Las perforaciones de los pozos Bermejillo 1 y Zarca 1 (Figuras 1 y 8), demuestran que el Jurásico continental y marino no está presente en el subsuelo del área, no obstante que ambas unidades afloran en superficie, por lo tanto, se estima que las rocas del Jurásico en el pliegue de Atotonilco tienen aloctonía total; que en ese pliegue el relieve estructural tiene como mínimo 5,000 metros de elevación y que la edad de deformación puede ser Laramide (Aranda-García, 1991; Eguiluz-de Antuñano et al., 2000). La deformación que existe en el área limita la reconstrucción paleogeográfica para situar un marco de referencia para el depósito de las capas continentales y marinas del Jurásico. La estructura de Atotonilco representa una isla tectónica (klippe), cuya raíz estructural se desconoce, pero de acuerdo a diversas perforaciones profundas en la región (Eguiluz-de Antuñano y Campa, 1986; Aranda-García, 1991), las rocas continentales y marinas del Jurásico traslapan tectónicamente a rocas del Cretácico Superior y Albiano, depositadas sobre la paleo-Isla de Coahuila, por lo que la alternativa que se propone para ubicar la

posición original de las rocas continentales y marinas del Jurásico, que afloran en la Sierra de Atotonilco, es por transporte tectónico del suroeste al noreste.

CONCLUSIONES

Las capas rojas que subyacen a depósitos del Oxfordiano, que afloran en la Sierra de Atotonilco, Durango, están compuestas por seis unidades estratigráficas, que por sus características litológicas corresponden a un ambiente continental. Su coloración rojiza, estratificación paralela, estructuras de corte y relleno de canales, derrames de lava y ausencia de metamorfismo regional son sus rasgos distintivos. La cima tiene una facies continental F, que pasa en transición hacia facies litorales y marinas de la sobreyacente Formación La Gloria. La unidad F se correlaciona con la Formación La Joya, pero las unidades que subyacen a esta unidad F se correlacionan en edad con la Formación Cahuasas, pero es impropio extrapolar este mnemónico a la sucesión de la Sierra de Atotonilco y es prematuro asignar un nombre estratigráfico a estas capas continentales sujetas a estudios con mayor detalle.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dra. Ana Bertha Villaseñor y al Dr. Ismael Ferrusquía por organizar este merecido reconocimiento al Dr. Zoltan de Cserna por su desarrollo en pro de la geología de México. Se agradece a todas las personas que colaboraron en la revisión de este trabajo para mejorar lo aquí expuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba-Pascoe, J. A., 1965, Estudio Geológico preliminar del Distrito Minero de Indé, Estado de Durango: México, D.F., Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, Tesis de licenciatura, 72 p.
- Allen, J. R. L., 1970, Studies in fluvial sedimentation—A comparison of fining-upwards cyclothems, with special reference to coarse-member composition and interpretation; *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 40, p. 298-323.
- Araujo-Mendieta, J. y Arenas-Partida, R., 1986, Estudio tectónico-sedimentario del Mar Mexicano, estados de Chihuahua y Durango: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 47, núm. 2, p. 43-88.
- Aranda-García, M., 1991, El segmento San Felipe del cinturón cabalgado, Sierra Madre Oriental, estado de Durango: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, v. 41, p. 18-36.
- Burckhardt, C., 1930, Étude synthétique sur le Mésozoïque mexicain: *Mémoire de la Société Paléontologique Suisse*, v. 49-50, p. 1-280.
- Bartolini, C., 1997, An Early Jurassic age (40Ar/39Ar) for the Nazas Formation at the Cañada Villa Juárez, northeastern Durango, Mexico: *The Geological Society of America*, 31st Annual South-Central, 50th Annual Rocky Mountain, v. 29, núm. 2, Abstract 15236. p. 3.
- Brookfield, M.E., 1984, Eolian sands, in Walker, R.G., ed., *Facies models: Geoscience Canada*, second edition, p. 91-103.
- Cant, D.J., y Walker, R.G., 1976, Development of a braided fluvial facies model for the Devonian Battery Point Sandstone, Quebec: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 13, p. 102-119.
- Carrillo-Bravo, J., 1965, Estudio geológico de una parte del Anticlinorio de Huayacocotla: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 17, (5-6), p. 73-96.
- Centeno-García, E.; Guerrero-Suástegui, M.; y Talavera-Mendoza, O., 2008 Guerrero composite terrane of western Mexico—Collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone: *Geological Society of America*, Special Paper 436, p. 279-308.
- Eguiluz-de Antuñano, S., 1976, Estudio geológico del prospecto Buen Día, estado de Durango: *Petróleos Mexicanos*, informe NE E 1723 (inédito).
- Eguiluz-de Antuñano, S., 1989, La cabalgadura de San Felipe, en el límite de los estados de Durango y Chihuahua: *Universidad Nacional Autónoma de México*, Instituto de Geología, Tercer Simposio sobre Geología Regional de México, Memoria, p. 28-33.
- Eguiluz-de Antuñano, S., 1997, The Nazas Formation in north-central Mexico: *Geological Society of America*, 31st Annual South-Central, 50th Annual Rocky Mountain, v. 29, núm. 2, Abstract 15359. p. 8.
- Eguiluz-de Antuñano, S. y Campa-Uranga, M. F., 1982, Problemas tectónicos del sector San Pedro del Gallo, en los estados de Chihuahua y Durango: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, v. 34, núm. 2, p. 5-42.
- Eguiluz-de Antuñano, S.; Aranda-García, M.; y Marrett, R., 2000, Tectónica de la Sierra Madre Oriental: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 53, p. 1-26.
- Eguiluz-de Antuñano, S., M. Aranda-García, B. E. Buitrón-Sánchez, 2014, Las formaciones Gran Tesoro y Nazas: Evolución de las secuencias Triásico Superior-Jurásico Inferior en México y su significado tectogenético, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen 66, Número 3, p. 507-539.
- Fastovsky, D. E., Hermes, O. D., Strater, N. H., Bowring, S. A., Clark, J. M., Montellano, M., Hernández, R. R., 2005, Pre-Late Jurassic, fossil-bearing volcanic and sedimentary red beds of Huizachal Canyon, Tamaulipas, Mexico, in Anderson T.H. et al., (eds.), *The Mojave–Sonora megashear hypothesis: Development, assessment and alternatives: Geological Society of America Special Paper 393*, p. 233-258.
- Imlay, R. W., Cepeda, E., Álvarez, M., Díaz, T., 1948, Stratigraphic relation of certain Jurassic formations in Eastern Mexico, *American Association Petroleum Geologists Bulletin* 32, p. 1750-1761.
- Lawton, T. F., Molina-Garza, R. S., 2014, U-Pb geochronology of the type Nazas Formation and superjacent strata, northeastern Durango, Mexico: Implications of a Jurassic age for continental-arc magmatism in north-central Mexico, *Geological Society of America Bulletin*,

published online on 2 May 2014.

- Miall, A. D., 1978, Fluvial sedimentology: an historical review. In Miall, A. D. ed., *Fluvial sedimentology*. Canadian Society of Petroleum geologists, Memoir 5, p 1-47.
- Mixon, R. B., Murray, G. E., Díaz, T. G., 1959, Age and correlation of Huizachal Group (Mesozoic), state of Tamaulipas, Mexico: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43, p. 757-771.
- Pantoja-Alor, J., 1963, Hoja San Pedro del Gallo, estado de Durango, 13R-k(3): Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, Serie 1:100,000, mapa con texto al reverso.
- Pantoja-Alor, J., 1972, La Formación Nazas del Levantamiento de Villa Juárez, estado de Durango: *Sociedad Geológica Mexicana, Memoria de la 2ª Convención Nacional, Mazatlán, Sinaloa*, p. 25-32; p. 194-196.
- Reinson, G. E., 1984, Barrier-island and associated strand-plain systems, in Walker, R.G., ed., *Facies models: Geoscience Canada*, second edition, p. 119-137.
- Rubio-Cisneros, I. I., Timothy, F. L., 2011, Detrital zircon U-Pb ages of sandstones in continental red beds at Valle de Huizachal, Tamaulipas, NE Mexico: Record of Early-Middle Jurassic arc volcanism and transition to crustal extension: *Geosphere*, 7, p. 159-170.
- Rueda, G. J., López, O. E., Dueñas, M. A., Rodríguez J. L., 1993, Los Anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla-El Alamar: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 43 (1), p. 1-33.
- Rueda, G. J., Brito-Arias, M., Guerrero-Muñoz, M., Valle-Reyes, A., Pliego-Vidal, E., 1997, Los Anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla; Tercera Parte. Palinoestratigrafía, petrología y paleogeografía del Allogrupo Los San Pedros: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 46 (1), p. 1-71.
- Suter, M., 1990, Hoja Tamazunchale 14Q-e (5), Estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, Carta Geológica de México, escala 1:100,000, Serie 1:100,000, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, texto 55 p.
- Walker, R. G., 1984, *Facies models: Geoscience Canada*, second edition, 317 p.
- Walther, J., 1894, *Lithogenesis der Gegenwart: Jena*, Gustav Fischer, 1055 p. in Horowitz, A.S., y Potter, P.E., 1971, *Introductory petrography of fossils: Nueva York*, Springer-Verlag, 302 p.
- Wilson, J. L., 1975, *Carbonate facies in geologic history: Nueva York*, Springer-Verlag, 471 p.

ZOLTAN DE CSERNA Y LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA. UNA INTERPRETACIÓN HISTORIOGRÁFICA

Luz Fernanda Azuela Bernal

La historia de la geología mexicana cuenta con una pequeña historiografía, en la que destaca el trabajo de Zoltan de Cserna “La evolución de la geología en México” publicado en 1990. Se trata de un estudio concienzudo que recupera las principales aportaciones de otros geólogos que como él, buscaron las raíces de los estudios geológicos en nuestro país con la intención insertar la práctica actual de la geología en una tradición centenaria.

Aunque no se hacen explícitas sus intenciones interpretativas, el trabajo de Cserna se integra a una línea definida de la historiografía científica de México, que debe hacerse expresa. Tal es el objetivo de este trabajo, en el que se presentará el entorno historiográfico de la historia de la geología mexicana de Zoltan de Cserna y se pondrá de manifiesto su perspectiva interpretativa.

LAS CIENCIAS GEOLÓGICAS EN LA HISTORIOGRAFÍA DE LA CIENCIA MEXICANA

Para ubicar a las ciencias geológicas en la historiografía de la ciencia mexicana, tomaré como punto de partida el estudio bibliográfico del historiador de la ciencia de México con mayor reconocimiento internacional, Elías Trabulse. En el trabajo “En busca de la historia perdida: la ciencia y la tecnología en el pasado de México”, Trabulse (2001) se refiere a los trabajos de historia de la ciencia publicados desde finales del siglo XIX hasta ese momento, por lo que podría servirnos como indicador del lugar que ocupan las geociencias en la historiografía científica profesional.

La acuciosa recopilación bibliográfica está dividida en dos períodos: el primero parte de finales del siglo XIX y termina en 1975, fecha en que el autor ubica un parteaguas historiográfico y que yo identificaría con el surgimiento de la historia las ciencias profesional, pero que Trabulse interpreta de otra manera, como se explicitará más adelante.

En el primer período el autor da cuenta de los diversos géneros que incluyeron contenidos histórico-científicos, como las bibliografías disciplinares (sobre medicina o botánica por ejemplo) o las bibliografías particulares de escritores

científicos como Sigüenza y Góngora o Andrés Manuel del Río. Contiene la relación de obras con alusiones a la historia científica, como el Diccionario Universal de Historia y Geografía de Orozco y Berra (1853-1856) y el Diccionario Geográfico, Histórico y Biográfico de García Cubas (1888-1891). Trabulse incluye la referencia a las publicaciones periódicas científicas que abordaron la ciencia mexicana desde una perspectiva histórica (como La Naturaleza (1869-1876) y obras clásicas de historia científica como los Datos para la historia del Colegio de Minería de Santiago Ramírez (1890). A continuación el autor pasa revista a la historiografía de las diversas disciplinas científicas publicadas hasta 1975, enfatizando la importancia que se concedió a la historia de la medicina y la minería.

Al respecto de la última, el autor se refiere a las obras de Modesto Bargalló sobre la minería y la metalurgia en la Nueva España, así como a otros dos trabajos sobre el tema. Alude a un par de biografías de Andrés Manuel del Río (1764-1849) y se detiene en el descubrimiento del eritronio. De la historia de la geología Trabulse no parece haber ubicado una sola obra, pese a que para 1975 ya había más de una decena de trabajos publica-

dos, uno de ellos del Dr. de Cserna.

En el último tercio del siglo XX Trabulse advierte una transformación radical en los estudios históricos sobre la ciencia mexicana, que se manifiesta luego de la aparición de las historias generales, que como la suya, habrían sido

Un factor determinante –casi un detonador– del interés por el pasado científico mexicano ya que, al cubrir un amplio período de tiempo han permitido captar no sólo las dimensiones de ese pasado olvidado y no pocas veces subestimado, sino también su continuidad y riqueza (2001).

En este período la proliferación de estudios históricos sobre nuestro pasado científico se manifestó, dice el autor, tanto en el abordaje de temas que habían permanecido ausentes en la historiografía –como la química–, igual que en la inclusión de la ciencia de la región latinoamericana. Pero a pesar de que reitera la predilección de la historiografía científica por los estudios relativos a la minería, detallando las novedades del tema, Trabulse sólo registra un estudio “dentro del rubro de los estudios geológicos”, el texto de Virgina García y Gerardo Suárez Reynoso (1996) sobre la historia de los sismos en México.

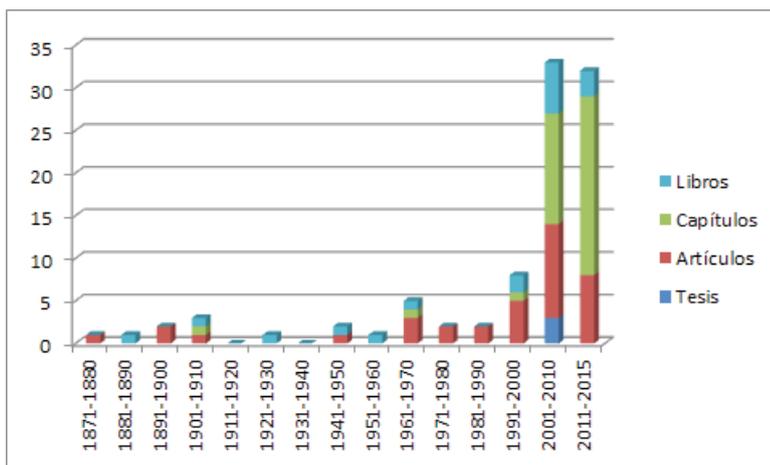


Figura 1. Gráfica que muestra la producción de historia de la geología mexicana por décadas desde 1871 hasta 2010 y el lustro de 2011-2015. Segmentada en tipos de publicaciones.

En total Trabulse dedica 25 renglones a las publicaciones históricas de la minería, con la pequeña alusión a la historia de la sismología que mencioné, pasando por alto la más que decorosa bibliografía publicada, en donde se situaba preponderantemente el trabajo de Zoltan de Cserna de 1991.

Desde luego se entiende que hasta el más acucioso bibliógrafo puede pecar de omisión, pero en este caso me parece importante tratar de explicar la ausencia de la historia de las ciencias geológicas en el ensayo de Trabulse. Aquí se podría apuntar hacia el propio estatuto de estas últimas dentro de la historia general de las ciencias mexicanas, que se había caracterizado hasta muy recientemente por la escasez de practicantes y especialistas en el área de las geociencias.

La precaria disposición de la especialidad es sugerente porque la historia de las ciencias geológicas se contaba entre los objetos de estudio privilegiados de las postimerías del siglo XIX y los inicios del XX. En la Figura 1 se observa que la producción de estudios de la especialidad hasta los años sesenta se concentra en el período comprendido entre 1896 y 1929, época que incluye la producción vinculada con el interés que provocó la institucionalización de la geología durante el Porfiriato, así como la atención que suscitó el X Congreso Internacional de Geología y los comienzos de las exploraciones para la industria petrolera (Figura1).

La precariedad en el número de publicaciones parece atenuarse hacia la mitad del siglo XX, momento en que los países desarrollados contemplan la emergencia de la historia de la ciencia como disciplina académica. Un acontecimiento, que en México se prorrogaría hasta los años ochenta y noventa y que incluye ya los trabajos profesionales de Raúl Rubvinovich y el texto liminar de Zoltan de Cserna que analizaré a continuación. No antes

de subrayar que fueron justamente estos estudios los que dieron pie a un cambio de estatuto de la historia de las ciencias geológicas en el horizonte académico de la historia de las ciencias, independientemente del desliz de Elías Trabulse.

EL HORIZONTE HISTORIOGRÁFICO DE "LA EVOLUCIÓN DE LA GEOLOGÍA..."

La obra histórica de Zoltan de Cserna formó parte de esa historiografía desarrollada por los propios hombres de ciencia, empeñados en registrar la estirpe de sus prácticas disciplinares sin aludir de manera explícita a las consideraciones teóricas y metodológicas de la historia profesional. No obstante, tanto la aproximación metodológica de estas obras, como sus enfoques interpretativos pueden ubicarse dentro de las corrientes historiográficas dominantes de los años en que realizaron sus investigaciones.

Dentro de esta veta historiográfica era frecuente que los historiadores de la ciencia partieran de la base de los textos de sus antecesores –como hizo de Cserna– y ocasionalmente recurrieran a fuentes documentales para completar la información. El devenir de las ciencias se interpretaba en términos de un desarrollo progresivo de las ideas científicas, en donde el entorno social aparecía ocasionalmente y con frecuencia sólo para atribuirle el cargo de obstaculizar el progreso científico. Este enfoque fue utilizado por de Cserna para referir el difícil trayecto de la geología mexicana en su marcha ascendente hacia la profesionalización.

En "La evolución de la geología en México" de Cserna (1990) traza el devenir de la disciplina, "como una ciencia y como una profesión", considerando que ésta ha avanzado progresivamente a lo largo del tiempo, en un proceso de creciente cientifización. El objeto im-

plícito de su historia es el gradual reconocimiento de la constitución geológica del territorio mexicano, tal y como ha sido efectuada desde el siglo XVI por diversos actores: nacionales y extranjeros; amateurs y profesionales; empresarios y científicos.

Desde esta perspectiva, el sujeto de la historia de la geología mexicana es un sujeto múltiple, cuyo único objetivo es integrar sus aportaciones a la construcción colectiva y positiva de la geología mexicana. Así, el texto plantea un desarrollo progresivo en el que cada uno de estos actores contribuyó con una clasificación mineralógica, un registro estratigráfico o un mapa, al acopio

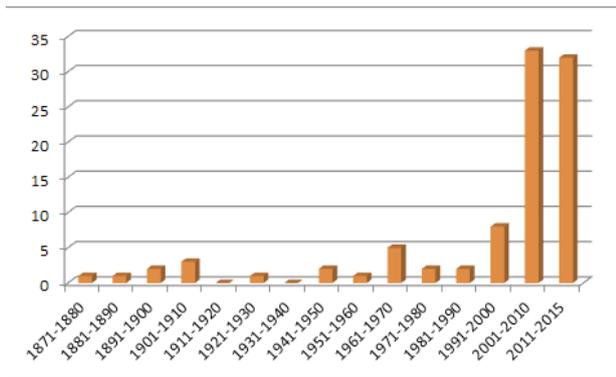


Figura 2. Gráfica que muestra el total de la producción de historia de la geología mexicana por décadas desde 1871 hasta 2010 y el lustro de 2011-2015.

de hechos (matters of fact) sobre la constitución geológica de México. De Cserna reconoce las correcciones y ajustes de los que necesariamente han sido objeto cada uno de estos conocimientos, a partir de la introducción progresiva de nuevas explicaciones teóricas que afinaron la mirada y precisaron las observaciones y los resultados.

De hecho, la historia de la geología de México, igual que la de otras latitudes queda marcada por la difusión y recepción de la obra de Charles Lyell (1797-1875). Y en este mismo sentido, se trata de una historia que cuenta

la suerte de las teorías werneriana, huttoniana o lyelliana en nuestro país, de ahí el título del trabajo: evolución de la geología en México.

Esto no quiere decir que de Cserna haya escrito una historia internalista en el sentido estricto del término, toda vez que su texto contiene pertinentes señalamientos sobre los atrasos generados por la inestabilidad política de México en el siglo XIX y propone la hipótesis de que la Iglesia habría tenido alguna influencia en la lenta difusión de las teorías renovadoras como las de Lyell y Charles Darwin (1809-1882). En este punto, igual que en sus alusiones a los intereses de las potencias para mantener el atraso científico de México, como medio de sujeción, de Cserna coincide con una de sus fuentes bibliográficas, el marxista y filósofo de la ciencia Eli de Gortari.

En lo que concierne al análisis de sus fuentes, nuestro homenajeado realizó un trabajo impecable y del más alto rigor académico, ya que recurrió a los artículos científicos publicados en el largo período que abarca su trabajo (»1500-1929) como fuente primaria. Aquí incluyó el uso de las obras de los cronistas como fuente primaria, donde se plasman algunos registros sobre la configuración geológica de México.

También recurrió a los escritos de historia de la ciencia publicados hasta entonces, incluyendo a Eli de Gortari, Elías Trabulse, Salvador Enciso, Manuel Maldonado Kordell, Modesto Bargalló y Santiago Ramírez. Y desde luego, dejó ver la formación clásica sólida de la que hizo gala a lo largo de su desempeño universitario, en el que reveló el conocimiento profundo de la historia general de México, así como de otras disciplinas del área humanística y social.

En relación con sus contenidos, la historia de Zoltan de

Cserna rescata los trabajos más significativos para el conocimiento de la geología de México, mismos que deberán ser estudiados a profundidad, ya que hasta la fecha sólo tenemos conocimiento relativamente firme sobre los hechos más significativos como el descubrimiento del eritronio o la fundación del Instituto Geológico. Para probar mi aserto, considérese que sólo conocemos a los protagonistas más importantes como Andrés Manuel del Río, Alejandro de Humboldt (1769-1859), Antonio del Castillo (1820-1895), Mariano Bárcena (1842-1899), José Guadalupe Aguilera (1857-1941) o Ezequiel Ordóñez (1867-1950), por mencionar algunos. Y carecemos de información de José María Bustamante y otros estudiosos mexicanos, igual que desconocemos casi todo de Carlos de Berghes, Federico von Gerolt, Henri Galeotti, Henri de Saussure, William Gabb y otros, cuyo estudio es indispensable para establecer sus vínculos con la ciencia mexicana o los intereses científicos, económicos o políticos que guiaron sus expediciones. Esto mismo ocurre con las figuras de los investigadores locales y foráneos que fundaron el Instituto Geológico y trabajaron en la primera mitad del siglo XX. En ese sentido el trabajo de Zoltan de Cserna es en sí mismo un programa de investigación y uno de sus legados más importantes.

En cuanto a su influencia en el desarrollo sucesivo de la historiografía de las ciencias geológicas, quisiera volver por un momento a la gráfica para observar que las contribuciones de nuestro homenajeado fueron las únicas que se publicaran entre 1971 y 1990. Pero es más significativo que su aparición sellara el ulterior crecimiento de los estudios históricos de la geología en la siguiente década, que se potenciaría en el nuevo siglo, al grado de que la producción histórica publicada entre 2001 y 2015 es equiparable a la que se imprimió en los 125 años anteriores. Por lo tanto, se puede

afirmar que el interés en la historia de las ciencias geológicas en nuestro país tiene una filiación directa con los trabajos históricos del Dr. de Cserna, que debe atribuirse a su influencia intelectual dentro del campo profesional. Aunque su legado más imperecedero se manifiesta en la constante cita a sus contribuciones en todas las investigaciones sobre el pasado de las ciencias geológicas que se han emprendido desde que apareció su historia de la geología mexicana.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ramírez, S., 1875, Discurso en elogio fúnebre del Doctor H. José Burkart, pronunciado en la sesión que la sociedad Mexicana de Geografía y Estadística celebró en honor de este sabio, por el socio... el día 15 de mayo de 1875: Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, 3ª época, 2(3-4):195-204.
- 1881-1890
- Ramírez, S., 1890, Datos para la historia del Colegio de Minería: México, Imprenta del Gobierno Federal en el Ex-Arzobispado, 1890, 496 p.
- 1891-1900
- Aguilera, J. G., 1896, Antonio del Castillo. Director fundador del Instituto Geológico de México: Boletín del Instituto Geológico de México, 1ª época, 1(4-6):3-7.
- Ordóñez, E., 1896, Memoir of Antonio del Castillo: Proceedings of Philadelphia Meeting, Bulletin of the Geological Society of America, 7:486-488.
- 1901-1910
- Aguilera, J. G., 1905, Reseña del desarrollo de la geología en México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 1ª época, 1:35-117.
- Crespo y Martínez, G., 1903, Industria Minera. Estudio de su evolución, en Sierra, J. (ed.), México. Su evolución social: México, J. Ballezá y compañía, Sucesores.
- Ramírez, S., 1901, Elogio fúnebre del profesor Don Mariano de la Bárcena, Secretario perpetuo de la Academia de ciencias exactas, físicas y naturales, leído por el Académico numerario..., en la sesión ordinaria de 3 de julio de 1899: México, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento.
- 1921-1930
- Salazar Salinas, L., 1929, El Instituto Geológico de México: México, Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos, Talleres Gráficos de la Nación.
- 1941-1950
- Mullerried, F. K. G., 1949, Publicación de 1875, casi olvidada, referente a la geología de Jalisco y Nayarit: Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, 10(1-4):337-345.
- Ordóñez, E., 1946, El Instituto de Geología. Datos Históricos, versión mecanográfica: México, Universidad Nacional Autónoma de México, 51 p.
- 1951-1960
- Bargalló, M., 1955, La minería y la metalurgia en la America Española durante la época colonial. Con un Apéndice sobre la Industria del Hierro en México desde la iniciación de la Independencia hasta el presente: México, Fondo de Cultura Económica.
- 1961-1970
- Bargalló, M., 1964, Andrés Manuel del Río en el bicentenario de su nacimiento (1764). (Su labor geológica, mineralógica y minerometalúrgica): Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, (25), 255-261.
- Bargalló, M., 1966, La obra científica de Andrés Manuel del Río y su significado en la historia de México y de América, en Prieto, C., Sandoval Vallarta, M., Bargalló, M., Arnáiz y Freg, A., Andrés Manuel del Río y su obra científica. Segundo centenario de su natalicio (1764-1964): México, Cía. Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey.
- Cserna, Z. de, et al, 1969, Las ciencias geológicas y su perspectiva en el desarrollo de México: México, Ediciones Productividad.
- Salas, G. P., 1969. Instituto de Geología: Anales de la Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y la Tecnología, (1), 5-20.
- López-Ramos, E., 1970, Breve reseña histórica de las cartas geológicas mexicanas: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 22 (5-12).
- 1971-1980
- Enciso, S., 1975, Antecedentes históricos de las escuelas de minas y geología en México: Revista GEOMIMET, 2ª época (73), 38-45.
- Enciso, S., 1980, Algunos datos para la cronología de la minería y geología en México: Revista GEOMIMET, 3ª época (104), 38-45.
- 1981-1990
- Padilla, F., Casteló, J., Giordano, A., Santiago, F., Ugalde, C., 1983, Historia de la metalurgia en México: Revista GEOMIMET, 3ª época, (123), 84.
- Cserna, Z. de, 1990, La evolución de la geología en México (c. 1500-1929): Revista del Instituto de Geología, 9(1), 1-20.

1991-2000

Enciso, S., 1992, La enseñanza de la minería en México: Revista GEOMIMET, 3ª época (177), 68-72.

Enciso, S., Enciso, C., 1995, Bosquejo histórico de la mineralogía mexicana: Revista GEOMIMET, 3ª época (196), 48-55.

Rubinovich, R., 1992, Andres Manuel del Río y sus Elementos de Oricognosia de 1795-1805, introducción a la edición facsimilar de Andres Manuel del Río, 1795-1805, Elementos de Oricognosia: México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Rubinovich, R., 1993, Recordando a Ezequiel Ordóñez (1867-1950) en el cincuentenario del Parícutín: Revista GEOMINET, 20ª época, (183), 71-77.

Rubinovich, R., Levy Aguilera, M., Luna, C. de, Block, C., 1991, José Guadalupe Aguilera Serrano (1857-1941). Datos biográficos y bibliografía anotada: México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Rubinovich, R., Lozano, M., Mendoza, H., 1998, Ezequiel Ordóñez. Vida y Obra (1867-1950): México, El Colegio Nacional, , 5 vols.

Rubinovich, R., Medina-Malagón, S., Torres, L. I., 1992, Las raíces de la meteorítica en México: Boletín de Mineralogía. Revista de la Sociedad Mexicana de Mineralogía, 5(1), 13-32.

Uribe Salas, J. A., 1996, Minería de cobre en el occidente del México Prehispánico: un acercamiento historiográfico: Revista de Indias.

2001-2010

Libros

Azuela, L. F., 2005, De las minas al laboratorio: La demarcación de la geología en la Escuela Nacional de Ingenieros (1795-1895): México, Instituto de Geografía-Facultad de Ingeniería.

Guevara Fefer, R., 2002, Los últimos años de la historia natural y los primeros días de la biología en México. La práctica científica de Alfonso Herrera, Manuel María Villada y Mariano Bárcena: México, Cuadernos 35, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Pérez Escutia, R. A., 2002-2004, Estudio preliminar a la Geología Minera de la región noreste del Estado de Michoacán (Ex distritos de Maravatío y Zitácuaro): México, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ayuntamientos Constitucionales de la Región Oriente de

Michoacán.

Uribe Salas, J. A., 2002, Historia de la minería en Michoacán, volumen I: México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Sociedad Mexicana de Mineralogía, Museo Tecnológico del Siglo XIX "Las Dos Estrellas".

Uribe Salas, J. A., 2003, Los empresarios del metal amarillo en México: México, Centro de Estudios Históricos Internacionales, Universidad Autónoma Metropolitana.

Uribe Salas, J. A., 2005, Historia de la minería en Michoacán, volumen II: México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Sociedad Mexicana de Mineralogía, Museo Tecnológico del Siglo XIX "Las Dos Estrellas".

Artículos

Azuela, L. F., 2009, La geología en México en el siglo XIX: Entre las aplicaciones prácticas y la investigación básica: Revista Geológica de América Central, (41), 99-110, <<http://www.geologia.ucr.ac.cr/revista-geol.htm>>.

Azuela, L. F., 2010a, The Emergence of Geology in Nineteenth Century Mexico: INHIGEO Newsletter, (42), 28-32.

Azuela, L. F., 2010b, The French Geological Expedition to Imperial Mexico: INHIGEO Newsletter, (44), 54-57.

Azuela, L. F., 2010c, La geología en México en el siglo XIX: Entre las aplicaciones prácticas y la investigación básica: Revista Geológica de América Central, (41), 99-110, <<http://www.geologia.ucr.ac.cr/revista-geol.htm>>.

Corona Chávez, P., Uribe Salas, J. A., Razo Pérez, N, Martínez Medina, M., Ramos Arroyo, Y. R., 2010, The impact of mining in the District of El Oro and Tlalpujahua, Mexico: De Re Metallica, 15.

Gómez Caballero, J. A., 2005, Historia e índice comentado del Boletín Instituto de Geología de la UNAM: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo: Aspectos históricos de la Geología en México, 57(2).

González Torres, E., 2005, Bosquejo sobre la evolución de la Geología en México (1904-2004): Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo: Aspectos históricos de la Geología en México, 57(2).

Lugo-Hubp, J., 2001, Los conceptos geomorfológicos

- en la obra de Ezequiel Ordóñez (1867-1950): *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18(1), 89-102.
- Sánchez Graillet, L., 2008, Ciencia nacional y ciencia extranjera en la industria petrolera: Los inicios de la geología del petróleo en México: Enfoque Social: *Revista de Historia, Política y Sociedad: Publicación semestral de la Unidad Académica Multidisciplinaria de Ciencias, Educación y Humanidades de la Universidad Autónoma de Tamaulipas*, (3).
- Uribe Salas, J. A., 2006, Labor de Andrés Manuel del Río en México: profesor en el Real Seminario de Minería e innovador tecnológico en minas y ferrerías: *Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia*, 231- 260.
- Uribe Salas, J. A., Cortés Zavala, M. T., 2006, Andrés del Río, Antonio del Castillo y José G. Aguilera en el desarrollo de la Ciencia Mexicana: *Revista de Indias*, 66(237).
- Capítulos de libro
- Azuela, L. F., 2006, Joseph Burkart: un viajero científico tras las huellas de Humboldt, en De Ita Rubio, L., Sánchez Díaz, G., (Coords.), *Humboldt y otros viajeros en América Latina: Michoacán*, Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 57-67.
- Azuela, L. F., 2007, La geología en la formación de los ingenieros mexicanos del siglo XIX, en Paz Ramos Lara, M. de la, (coord.), *Una aproximación a la formación de los ingenieros en México en el siglo XIX: México*, Facultad de Historia, Universidad Autónoma de Sinaloa-Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México, 91-107.
- Azuela L. F., 2008, La emergencia de la geología en México en el siglo XIX: un estudio de caso sobre las relaciones entre la ciencia y el poder, en Alvarado, L., Gómez Puente, L., (coords.), *Cátedras y catedráticos en la historia de las universidades e instituciones de educación superior en México*, vol. III Problemática Universitaria en el siglo XX: México, Colección Digital, Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación.
- Azuela, L. F., 2009, *Geografía e Historia Natural en la exploración del territorio mexicano en el siglo XIX: Tres bocetos hacia una caracterización*, en Viales, R., Amador, J., Solano, F., (coords.), *Concepciones y representaciones de la Naturaleza y la Ciencia en América Latina: Costa Rica*, Universidad de Costa Rica, 63-79.
- Azuela, L. F., Morales Escobar, C., 2009, Los proyectos geográficos de la Secretaría de Fomento, del Porfiriato a la Revolución (1877-1920), en Moncada, O., Gómez, P., (coords.), *El quehacer geográfico en el México contemporáneo: Instituciones y personajes: México*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 33-48.
- Azuela, L. F., Sabás, A. L., 2009, *Naturaleza y territorio en las publicaciones mexicanas del siglo XIX*, en Lértora, C., (coord.), *Geografía e Historia Natural: Hacia una historia comparada. Estudio desde Argentina, México, Costa Rica y Paraguay*, volumen 2: Buenos Aires, Ediciones FEPAL, 79-100.
- Azuela, L. F., Vega y Ortega Báez, R., Nieto García, R. C., 2009, Un edificio científico para el Imperio de Maximiliano: El Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia, en Lértora, C., (coord.), *Geografía e Historia Natural: Hacia una historia comparada. Estudio desde Argentina, México, Costa Rica y Paraguay*, volumen 2: Buenos Aires, Ediciones FEPAL, 101-124.
- Morelos, L., 2010, México: Tierra de volcanes. Los estudios vulcanológicos y sismológicos en la obra de Mariano Bárcena, en Trujillo Bretón, J. A., Torre, F. de la, Moreno Ramos, R. N., (coords.), *Entre regiones: historia, sociedad y cultura: Guadalajara*, Universidad de Guadalajara, 249-263
- Uribe Salas, J. A., 2006, *La Sociedad Geológica Mexicana 1904-1912. Un eslabón en la profesionalización de la ciencia en México*, en *Memorias de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas: Cádiz*, 1177-1188.
- Uribe Salas, J. A., 2008, Alejandro de Humboldt y su estancia en el Real Seminario de Minería de la ciudad de México, en Cuesta Domingo, M., Rebok, S., (coords.), *Alejandro von Humboldt. Estancia en España y viaje americano: Madrid*, Real Sociedad Geográfica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 107-122.
- Uribe Salas, J. A., 2009, *La formación de ingenieros en México: siglo XIX*, en Silva Riquer, J., (coord.), *De la Interpretación filosófica a la interpretación Histórica: Morelia*, Facultad de Historia,

- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 97-117.
- Uribe Salas J. A., 2010, Ciencia e independencia. Aportaciones de Andrés del Río al México independiente, en Argueta, A., Zamudio Varela, G., (coords.), Historia de la Ciencia y las Humanidades en México: México, Fondo de Cultura Económica.
- Uribe Salas, J. A., Morelos, L., 2006, Los aportes de Antonio del Castillo y Santiago Ramírez a la institucionalización de la ciencia en México, siglo XIX, en Actas del XI Congreso de la Sociedad Española de Historia de la Ciencia y de las Técnicas, tomo II: Cádiz, 779-789.
- Tesis
- Morelos, L., 2010, Ciencia, estado y científicos. El desarrollo de la geología mexicana a través del estudio de los ingenieros Antonio del Castillo, Santiago Ramírez y Mariano Bárcena (1843-1902): México, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México Tesis de Maestría en Historia.
- Morelos, L., 2007, La vida y obra de Antonio del Castillo (1820-1895) en el proceso de institucionalización de las ciencias de la Tierra en México: México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Tesis de Licenciatura en Historia.
- Sánchez Graillet, Luis, 2008, Del chapopote al petróleo en México: Historia de la construcción de una entidad 'natural' a partir de una entidad cultural: México, Facultad de Filosofía y Letra, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis para obtener el grado de Maestro en Filosofía de la Ciencia, aprobada con mención honorífica. Disponible en <http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/KYRLCK9l98MCK1MC511XLSF9CQ9845P9JIPH6l65DCNDPV8E9M-63630?func=full-set-set&set_number=004287&set_entry=000001&format=999>.
- Morelos, Lucero, 2012, Mexican Geology in the nineteenth century. A historical review of the works of Antonio del Castillo, Santiago Ramírez and Mariano Bárcena: México, Secretaría de Cultura de Michoacán-Plaza y Valdés.
- Puig-Samper M. A., Orrego, F., Ruiz, R., Uribe Salas, J. A., (eds.), 2014, Yammerschuner. Darwin y la darwinización en Europa y América Latina: Madrid, Doce Calles, 351 p.
- Uribe Salas, J. A., 2015, Los albores de la Geología en México. Mineros y hombres de ciencia: México, Facultad de Historia-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Azuela, L. F., 2011, La emergencia de la geología en el horizonte disciplinario del siglo XIX, en Bartolucci, J., (coord.), La Saga de la Ciencia Mexicana. Estudios sociales de sus comunidades. Siglos XVIII al XX: México, Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación, 55-77.
- Azuela, L. F., 2011, Los dispositivos científicos para la restauración de la República, en Villegas, G., (coord.), La UNAM en la historia de México. De la fundación de la Escuela Nacional Preparatoria a la promulgación de la Ley Constitutiva de la Universidad Nacional (1867-1910): México, Colección La UNAM en la Historia de México, núm. 1, Coordinación de Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México, 81-94.
- Azuela, L. F., 2012, El territorio mexicano en los estudios algunos viajeros del siglo XIX, en Azuela, L. F., Vega y Ortega, R., (coords.), Naturaleza y territorio en la ciencia mexicana del siglo XIX: México, Instituto de Geografía-Dirección General de Asuntos del Personal Académico, 85-105.
- Azuela, L. F., 2013, Entre geografía, meteorología y astronomía, surgimiento de la geología en el siglo XIX, en Kleiche-Dray, M., Zubieta, J., Rodríguez-Sala, M. L., (coords.), La institucionalización de las disciplinas científicas en México. (Siglos XVIII, XIX y XX): México, Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México, Institut de Recherche pour le Developpement, 129-160.
- Azuela, L. F., 2014, Las relaciones internacionales en la creación del Instituto Geológico de México (1891), en Azuela, L. F., Rodríguez-Sala, M. L., (coords.), Estudios históricos sobre la construcción social de la ciencia en América Latina: México, Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Azuela, L. F., Morelos, L., 2011a, Las representaciones mineras en la prensa científica y técnica (1860-1904), en Azuela, L. F., Vega y Ortega, R., (coords.), La geografía y las ciencias naturales en el siglo XIX mexicano: México, Instituto de Geografía-Dirección General de Asuntos del Personal

Académico, 163-177.

- Azuela, L. F., Morelos, L., 2011b, *Surveying Independent Mexico: New Actors And Old Ambitions*, en Ortiz. J. E., Puche, O., Rábano. I., Mazadiago. L. F., (eds.) *History of Research in Mineral Resources*, Cuadernos del Museo Geominero, 13: Madrid, Instituto Geológico y Minero de España 149-154.
- Azuela, L. F., Vega y Ortega, R., 2011, *El Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia (1865-1867)*, en Azuela, L. F., Vega y Ortega, R., (coords.), *La geografía y las ciencias naturales en el siglo XIX mexicano: México*, Instituto de Geografía-Dirección General de Asuntos del Personal Académico, 103-120.
- Morelos, L., 2013, *Stones Fallen From the Sky in the National School of Engineers (1893)*, en Escamilla González, F. O., (coord.), *200 años del Palacio de Minería. Su historia a través de documentos originales: México*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 450-493.
- Morelos, L., Moncada, O., 2012, *The geological survey during the 10th International Geology Congress in Mexico, 1906*, en Azuela, L. F., Vega y Ortega, R., (coords.), *Naturaleza y territorio en la ciencia mexicana del siglo XIX: México*, Instituto de Geografía-Dirección General de Asuntos del Personal Académico.
- Sánchez Graillet, L., 2011a, *Apuntes sobre la formación de la idea del petróleo como patrimonio nacional de México*, en Escalante Gonzalbo, P., (ed.), *La idea de nuestro patrimonio histórico y cultural*, Vol. II: México, Dirección General de Publicaciones del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Sánchez Graillet, L., 2011b, *Un campo de petróleo en un maletín: Construcción e intercambio de objetos geológicos en la temprana geología del petróleo en México*, en Achim, M., Granados, A., (eds.), *Itinerarios e intercambios en la historia intelectual de México: México*, Dirección de Publicaciones del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa.
- Sánchez Graillet, L., 2015, *Historia de una falsa controversia: La comisión de 1902 del Instituto Geológico y la polémica sobre la existencia de petróleo en México*, en Morelos, L., Vega y Ortega, R., (eds.), *Tópicos históricos de las ciencias y las humanidades de los siglos XIX y XX en México: Historiadores de las Ciencias y las Humanidades*.
- Uribe Salas J. A., 2011a, *El cobre en la América española y el mundo Atlántico, siglos XVI-XVIII*, en Pandís Pavlakis, E., (coord.), *América Latina y el Mediterráneo: ideas en contacto: Atenas*, Facultad de Filosofía de la Universidad Nacional y Kapodistriaca de Atenas.
- Uribe Salas, J. A., 2011b, *El cobre en la región de Inguarán*, en Ortiz Escamilla, J., (coord.), *La Transformación de los paisajes culturales en la cuenca del Tepalcatepec: México*, El Colegio de Michoacán, Universidad Veracruzana, Universidad Nacional Autónoma de México, 147-191.
- Uribe Salas, J. A., 2013a, *De la aclimatación de la Mineralogía al desarrollo de la Geología o la promoción de conocimientos para el desarrollo de México, Siglo XIX*, en Calvo, L., Guirón Sierra, A., Puig-Samper, M. A., (eds.), *Naturaleza y Laboratorio: Barcelona*, CSIC, 117-142.
- Uribe Salas, J. A., 2013b, *Una visión estadística de los estudios geológicos del territorio michoacano en el siglo XIX*, en 8o Congreso Estatal de Ciencia Tecnología e Innovación: México, CECTI y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, (Formato CD).
- Uribe Salas, J. A., 2014a, *Exploración y estudios geológicos del territorio michoacano en el siglo XIX*, en Azuela, L. F., (coord.), *La Geografía y las Ciencias Naturales en algunas ciudades y regiones mexicanas, 1787-1940: México*, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Uribe Salas, J. A., 2014b, *La Paleontología mexicana en la época de Darwin*, en Puig-Samper, M. A., Orrego, F., Ruiz, R., Uribe Salas, J. A., (eds.), *Yammerschuner. Darwin y la darwinización en Europa y América Latina: Madrid*, Ediciones Doce Calles, 113-140.
- Uribe Salas, J. A., 2014c, *La plata en el mineral de Tlalpujahua a través de los estudios geológico-mineros de Joseph Burkart y Teodoro Flores 1869-1920*, en Vasconcelos e Sousa, G., Paniagua Pérez, J., Salazar Simarro, N., (coords.), *Aurea quersoneso: estudios sobre la plata iberoamericana: siglos XVI-XIX: Portugal*, Centro de Investigacao em Ciencia

ANTONIO DEL CASTILLO (1820-1895): EL PRIMER GEÓLOGO DE MÉXICO

Lucero Morelos-Rodríguez¹
José Omar Moncada-Maya²

RESUMEN

Antonio del Castillo es, sin duda, uno de los ingenieros de minas más notables en el terreno de los estudios geológicos mexicanos de la segunda mitad del siglo XIX. Su labor comprende las diversas facetas que adoptó en el estudio, la investigación, la docencia, la promoción y la divulgación de las ciencias geológicas a través de la práctica científica. Su obra, cercana al centenar de textos —artículos, folletos y mapas—, se dio a conocer en las revistas de las principales sociedades científicas nacionales y en algunas extranjeras.

Puede considerarse al ingeniero Del Castillo como artífice de la modernización de las ciencias que cultivó y de las instituciones en las que participó, toda vez que se le reconoce como uno de los ideólogos de la Escuela Práctica de Minas (1853), creada para complementar los estudios teóricos del Colegio de Minería (1792), después Escuela Nacional de Ingenieros (1867) e introductor de las ideas modernas de geología y paleontología en el país. Además, recorrió el territorio e hizo acopio de datos para la confección de las primeras cartas geológica y minera de México en 1889.

Su impacto puede medirse en la instrumentación de políticas públicas, en materia económica y educativa, y en la gestión y fundación del primer servicio geológico nacional, y, con ello, la exploración y explotación racional de los recursos naturales. Consideramos necesario que la comunidad geológica mexicana conozca más sobre la trayectoria de quien bien podría considerarse el fundador de la geología en nuestro país.

Palabras clave: Antonio del Castillo, historia de la geología, México, siglo XIX.

lunalucerom@yahoo.com.mx

¹Instituto de Geología, ²Instituto de Geografía,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán,
04510 México, D.F.

INTRODUCCIÓN

La vida del ingeniero Antonio del Castillo coincide con los inicios de México a la vida independiente; por ello, le tocó vivir todos los cambios políticos que se dieron en nuestro país a lo largo de un siglo de convulsiones recurrentes. Este breve texto tiene como objetivo recordar algunos datos de la vida y la obra de este ingeniero, a quien reconocemos como uno de los principales científicos mexicanos del siglo XIX, fundador de la

geología en México, pero también uno de los grandes educadores del Colegio de Minería. Su nombre completo fue José Antonio del Castillo Patiño, quien nació en Pungarabato, Michoacán, hoy Ciudad Altamirano, Guerrero, el 17 de junio de 1820, en el seno de una familia de la elite provinciana. Su padre, el general José Antonio del Castillo llegó a ocupar la gubernatura de San Luis Potosí, y su madre, Marcelina Patiño, pertenecía a una rica familia rural, lo que le permitió recibir una adecuada instrucción básica (Galindo y Villa, 1898). En



Figura 1. El Antiguo Colegio de Minería, después Escuela Nacional de Ingenieros. Fuente: García, 1911.

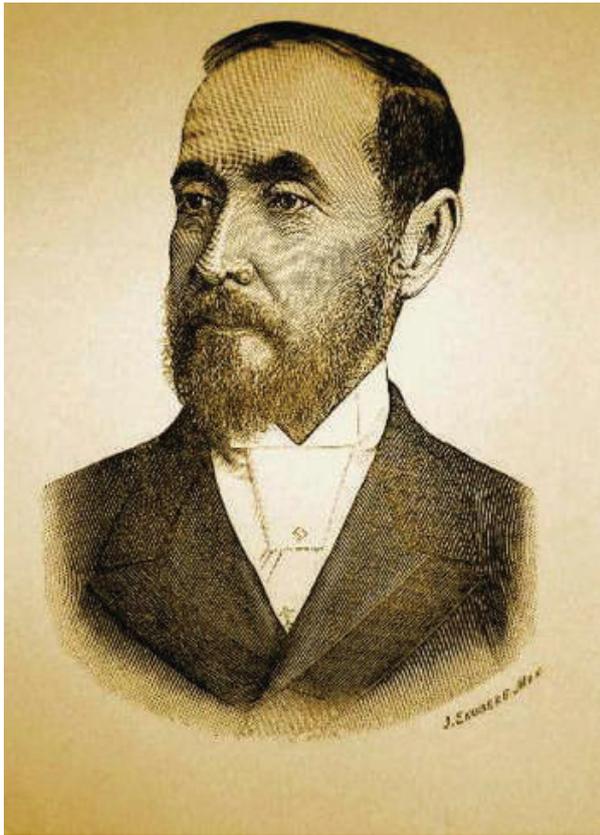


Figura 2. Ingeniero Antonio del Castillo Patiño (1820–1895). Fuente: Aguilera, 1896.

1832, a la edad de 12 años, fue enviado a la ciudad de México para estudiar en el Colegio Francés dirigido por el francés Mathieu de Foosey (1805-1870) (Covarrubias, 1998);¹ posteriormente, en 1835, ingresó al Colegio de Minería, que era la institución académica más importante del país (Figura 1).

Pese a la inestabilidad política y la falta de recursos económicos, el Colegio de Minería se posicionó como un importante establecimiento en la enseñanza científico-técnica y, aun con los cambios en su denominación y planes de estudio, las carreras vinculadas a la actividad minera seguían

¹ Mathieu de Fossey formó parte de un grupo de colonos franceses emigrados hacia 1830 a la zona de Coatzacoalcos con el objeto de colonizar las riberas de ese río y facilitar la comunicación inter-oceánica. Pese al fracaso del proyecto, se dedicó a la enseñanza del francés en nuestro país hasta 1856 cuando retornó a Francia.

siendo atractivas para ciertos grupos sociales, pues se debe reconocer que los gobiernos, sin distinción de tendencias políticas, veían en la educación un factor de cambio dadas las difíciles condiciones sociales, económicas y políticas de la nación.

TRAYECTORIA ACADÉMICA

Antonio del Castillo fue un alumno destacado en Minería, por lo que participó en los actos públicos de la institución, como fue el caso del primer y segundo curso de Matemáticas, la clase de Química y el curso de Dibujo de figuras y paisaje. Fue también en esa época cuando se relacionó con destacados hombres de ciencia, como apunta la nómina de sus profesores: Manuel Ruiz de Tejada, en Física; Manuel de Herrera, en Química; Manuel Castro y Joaquín

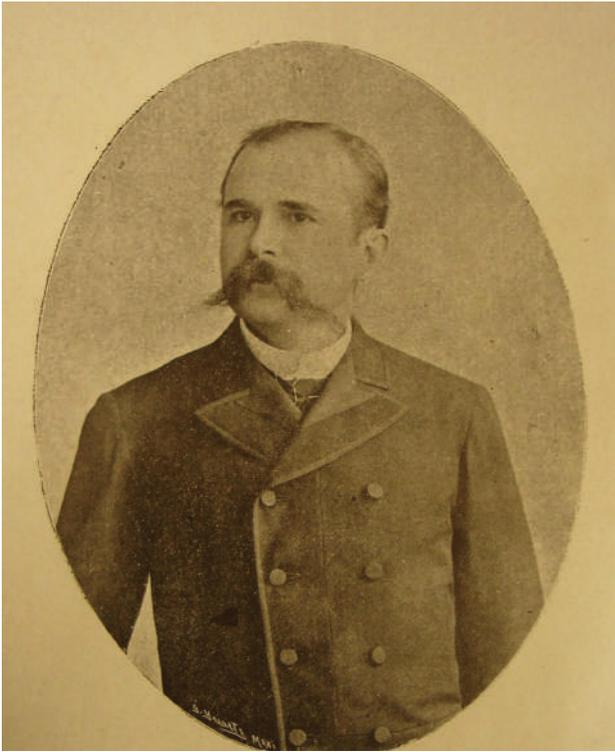


Figura 3. Ingeniero Mariano Bárcena (1842–1899).
Fuente: Ramírez, 1901.



Figura 4. Ingeniero Santiago Ramírez (1836–1922).
Fuente: AHPM, ML 301^a, Libro-Registro de Títulos Expedidos, f. 43

Rojas, en Matemáticas; Joaquín Heredia y Tomás Ramón del Moral, en Cosmografía; y Andrés Manuel del Río, en Mineralogía. Entre sus compañeros de generación se encontraban Blas Balcárcel y Luis Robles Pezuela, que llegaron a ocupar carteras de ministros de Estado en gobiernos de distintas tendencias políticas, lo que fue importante para las redes sociales, económicas y políticas que tejió para su futuro.

En 1843, se incorpora como profesor en el Colegio de Minería, en la cátedra de Mecánica aplicada a la Minería aun antes de obtener su título y, en 1846, se le nombra profesor suplente de Mineralogía. Aquí conviene recordar que

esta cátedra había sido ocupada por Andrés Manuel del Río desde 1795 hasta 1846, tres años antes de su fallecimiento. Sustituyendo a su maestro, el ya ingeniero de minas Antonio del Castillo² ocupó dicha cátedra de 1846 a 1894. Es decir, que entre ambos catedráticos impartieron esta clase a lo largo de 100 años, con breves interrupciones (Figura 2).

Del Castillo tuvo una vida muy activa al interior del Colegio, después Escuela Nacional de Ingenieros. Además de la cátedra arriba mencionada, ocupó los cargos de encargado de laboratorio, mayordomo (contador),

² Antonio del Castillo obtuvo el título de ingeniero de minas en marzo de 1845.

secretario, subdirector y director (véase Tabla 1). Otro elemento a destacar es la influencia que ejerció entre sus discípulos, toda vez que algunos fueron reconocidos entre los principales geólogos de la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX; nos referimos a hombres de la talla de Mariano Bárcena (1842–1899), Santiago Ramírez (1836–1922), José Guadalupe Aguilera (1857–1941) y Ezequiel Ordóñez (1867–1950), algunos de los cuales colaboraron en forma muy cercana a él (Cserna, 1990), (Véase figuras 3,4,5 y 6).

Además de todo ello, tuvo una breve participación en la política como diputado en dos ocasiones, proponiendo la creación de una Escuela Práctica de Minas, que se materializó en 1853 al abrir la escuela en el mineral de Fresnillo, aunque con una corta vida de apenas ocho años. Es también por esos años que publica sus primeros artículos sobre la actividad minera, siendo estos, “El Fresnillo y sus minas” y “Nociones para la ventilación de las minas”, en *El Museo Mexicano*, en 1843. A lo largo de su vida publicó 72 textos, incluyendo informes y discursos. Pero los artículos de carácter científico fueron publicados en las revistas especializadas más importantes de la segunda mitad del siglo XIX en México: *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, *La Naturaleza*, publicación de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, *Anuario del Colegio de Minería*, *El Minero Mexicano*, *Memorias de la Sociedad Científica “Antonio Alzate”*, y otras, más lo que llegó a publicar en el extranjero: en Alemania, Estados Unidos de América, Francia y España (véase Tabla 2). Dos años después, en 1845,

ingresó a la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, primera asociación científica de las muchas en las que participó, tanto en México como en el extranjero, ocupando en algunos casos puestos de responsabilidad, como fue el caso de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, donde fue socio fundador y su primer presidente (véase Tabla 3).

ANTONIO DEL CASTILLO Y LA GEOLOGÍA MEXICANA

Todavía habría mucho que decir sobre la trayectoria académica de Antonio del Castillo, pero ahora se señalarán sus principales aportes a la Geología. En primer lugar, debe destacarse que estamos hablando de una Geología muy vinculada a la minería, tal como se enseñaba en la época.

El desarrollo de la Geología en nuestro país estuvo determinado por los trabajos realizados por naturalistas, viajeros, empresarios mineros y hombres de ciencia, tanto nacionales como extranjeros. A partir de la segunda mitad del siglo XIX, el reconocimiento del territorio nacional y las políticas institucionales delinearon la manera de integrar el conocimiento. La práctica de la Geología fue ampliamente reconocida por su relación con la Minería, una de las actividades económicas más importantes del país, como lo señaló el mismo Del Castillo en su discurso inaugural de la Sociedad Mexicana de Historia Natural:

“La Mineralogía y la Geología completan los ramos que comprende la Historia Natural, y de ellas nos vamos a ocupar. La primera está íntimamente enlazada con la industria minera y es bien sabido

que ella forma la base de la prosperidad del país, elemento de su fuerza y de su poder.

En cuanto a la Geología, que se ocupa de la historia física de la Tierra, de la composición y estructura de las rocas que componen su costra y de los fósiles que en ella se encuentran, y cuyo estudio es en parte el campo de aplicación de los anteriores ramos de la Historia Natural, debemos decir, con referencia a nuestro país, que sólo es conocida la de algunos de nuestros distritos mineros y su alrededor, y que la vasta extensión de nuestro territorio está esperando que los iniciados en la ciencia descifren por las medallas de la creación sepultadas en sus capas, las épocas a las que pertenezcan" (Castillo, 1870:1-5).

Se considera conveniente, para mostrar de mejor manera su trayectoria, separar sus actividades docentes de su práctica profesional, siempre en el ámbito de la Geología. Como se señaló líneas arriba, su incorporación como profesor al Colegio de Minería se dio en 1843, cuando impartió la cátedra de Mecánica aplicada a la Minería, y dos años después se le nombró sustituto de la clase de Mineralogía. Este último curso comprendía la enseñanza de la Orictognosia, la Geognosia y el Laboreo de minas. La denominación de esta cátedra, así como su contenido, varió a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX; por ejemplo, en 1864 se le designó como Mineralogía, Geología y Paleontología, que impartió nuestro ingeniero a partir de 1867. Del Castillo propuso

en varias ocasiones que esta clase se dividiera en tres cursos, puesto que "la enseñanza de cada una de aquellas ciencias, es decir, la Mineralogía, la Geología y la Paleontología, ha tomado tal extensión, que para su difusión se vienen formando especialidades, y tanto en Europa como en los Estados Unidos, cada una de ellas constituye las materias de un solo curso" (AHUNAM, ENI, c. 20, d. 20, f. 518).

Esa experiencia profesional de los primeros años permitió que al fundarse la Escuela Práctica de Minas, en el mineral de Fresnillo, en 1853, se le nombrara profesor de Mecánica aplicada a la minería y Principios de construcción, cursos que desempeñó hasta 1857 cuando fue sustituido por Mauricio Arriaga (1832-1861) y en diciembre de 1858, por Diego Velázquez de la Cadena (1834-1871) (AHPM, ML 320 A). Esto implicaba que los alumnos que hubieran terminado los cursos de ingeniero en minas y beneficiador de metales, estaban obligados a realizar sus prácticas en dicha escuela durante dos años y medio. Infortunadamente, las penurias económicas que sufría el país y la guerra civil entre conservadores y liberales obligó al traslado de la escuela a Pachuca en 1861, donde dictó la cátedra de Geología (AHPM, 1859/201/d.14, f.2). Sería hasta 1877 cuando Antonio del Castillo, como director de la Escuela de Ingenieros, promoviera de nueva cuenta la reapertura de la escuela en Pachuca, como Escuela Práctica de Laboreo de Minas y Metalurgia, donde llegó a impartir las asignaturas de Minas y Legislación y Metalurgia. Además, también fue catedrático de Mineralogía en el Museo Nacional.

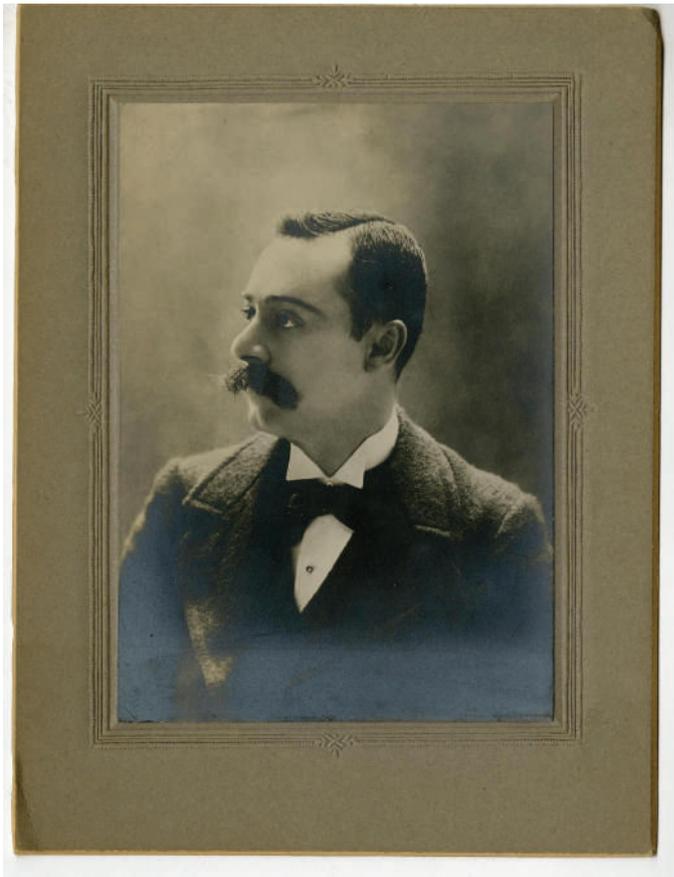


Figura 5. Ingeniero José Guadalupe Aguilera (1857–1941). Fuente: AHPM, Colección Sociedad Científica Antonio Alzate, s/c.

Figura 6. Ingeniero Ezequiel Ordoñez (1867–1950).
Fuente: Ker, 1931.



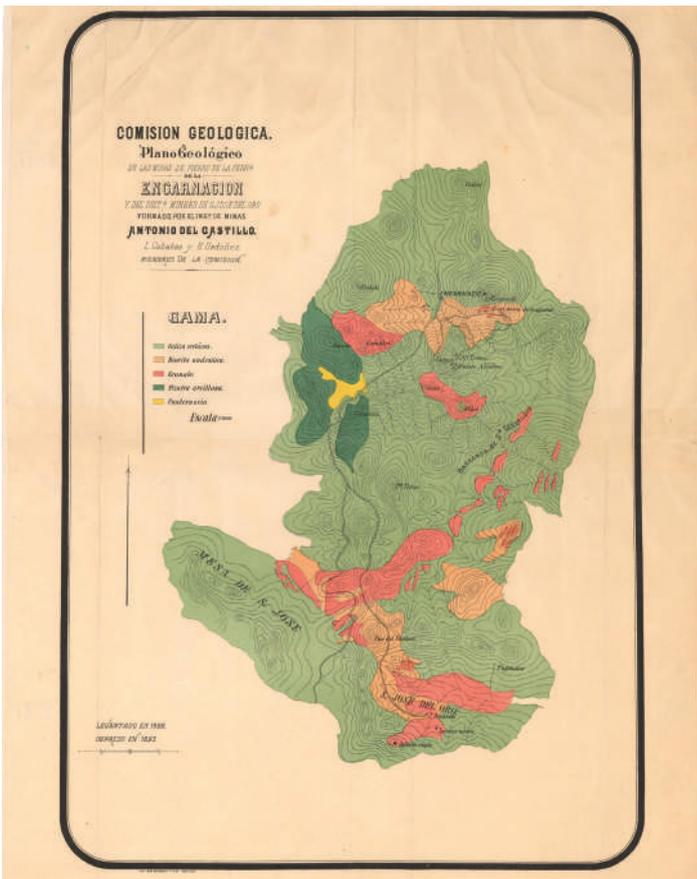


Figura 7. Plano geológico de las minas de hierro de la Ferrería de la Encarnación y del distrito minero de San José del Oro, formado por el ingeniero de minas Antonio del Castillo, L. Cabañas y E. Ordóñez, miembros de la Comisión, escala 1:20 000. Levantado en 1888, Impreso en 1893, Lit. Em. Moreau y Hno, México. Mapoteca Manuel Orozco y Berra, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA, Colección General, Entidad federativa Hidalgo, varilla CGHGO06, núm. 2047.



Figura 8. Fachada principal del Instituto Geológico Nacional. Fuente: *The Aztec Call*, 1923.

Tabla 3. Sociedades científicas donde participó el ingeniero Antonio del Castillo

Nacionales	Extranjeras
Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística	Academia de San Luis Missouri
Sociedad Mexicana de Historia Natural	Société Géologique de France
Sociedad Minera Mexicana	Société d'Économie Politique de Belgique
Sociedad Mexicana de Minería	Geological Society of America
Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México	Geological Society of London
	Deutsches Geologisches Gessellschaft
	American Institute of Mining Engineers

Fuente: Elaboración propia a partir de Morelos-Rodríguez, 2012.

Tabla 4. Integrantes de la Comisión Geológica Mexicana (1888).

Nombre	Categoría	Fecha de nombramiento
Antonio del Castillo	Jefe	Marzo de 1888
José Guadalupe Aguilera	Geólogo	12 de mayo de 1888
Baltazar Muñoz	Geólogo	1 de agosto de 1888
Francisco Garibay	Topógrafo	30 de abril de 1888
Lamberto Cabañas	Geólogo y Topógrafo	20 de abril de 1888
Ezequiel Ordóñez	Ayudante de Geólogo y Dibujante	30 de abril de 1888
Juan Orozco y Berra	Dibujante e ingeniero encargado de la conclusión final de las cartas topográficas	7 de mayo de 1888
Luis G. Becerril	Dibujante y paisajista	30 de abril de 1888
Francisco Brito	Escribiente	30 de abril de 1888
Juan Alonso	Sustituto de Francisco Brito como Escribiente	8 de mayo de 1888

Fuente: Archivo General de la Nación (AGN), Fomento, Exposiciones Extranjeras, caja 1, doc. 16, f. 1.

Tabla 5. La obra de la Comisión Geológica Mexicana en la Exposición de París (1889).

Cartas y Planos
1. Bosquejo de una Carta Geológica de la República Mexicana.
2. Plano geológico de los criaderos de fierro de la Ferrería de la Encarnación.
3. Plano geológico del Peñón de los Baños donde se encontró el hombre fósil prehistórico.
4. Plano geológico de la extremidad sur de la Sierrita de Guadalupe con criaderos de Hafta (<i>sic</i>) y surtido de gas carbónico.
5. Plano geológico de una parte oriental de la Sierrita de Guadalupe.
6. Carta general Minera de la República Mexicana.
Planos topográficos
7. Plano de la Sierra mineral de Techachalco en que están las minas Preciosa y Huchá con las Maaras del rededor (Plano del mineral de Techachalco y de las Maaras de los alrededores).
8. Plano de los cráteres-lagos de los Distritos de San Andrés Chalchicomula, Puebla.

Tabla 1. Funciones del ingeniero Antonio del Castillo en el Colegio de Minería-Escuela Nacional de Ingenieros.

Funciones	Año de nombramiento	Duración
Catedrático de Mecánica aplicada a las minas	1843	1 año
Catedrático de Mineralogía	1846-1894	48 años
Catedrático de Química	1880-1886	6 años
Mayordomía	1848-1849	1 año
Sustituto de cátedras	1843	1 año
Secretario de la Junta Facultativa del Colegio	1853 1858	1 año 1 año
Catedrático de Geología y Laboreo de minas en la Escuela Práctica de Minas en Fresnillo	1854-1860	6 años
Secretario del Colegio de Minería	1861	1 año
Subdirector	1869 1872	2 años
Director	1876-1879 1881-1895	17 años

Fuente: Elaboración propia a partir de Morelos-Rodríguez, 2013.

Tabla 2. Revistas y publicaciones periódicas en las que publicó el ingeniero Antonio del Castillo.

Publicaciones mexicanas	Publicaciones extranjeras
<i>Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística</i>	<i>Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft</i> (The Journal of the German Geological Society)
<i>La Naturaleza. Periódico científico de la Sociedad Mexicana de Historia Natural</i>	<i>Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie</i> (Stuttgart)
<i>El Minero Mexicano</i>	<i>Zeitschrift für das Berg, Hütten und Salinenwesen in dem preussischen State</i> (Berlín)
<i>El Propagador Industrial</i>	<i>The American Journal of Science</i> (New Haven, Conn.)
<i>El Siglo XIX</i>	<i>Mining and Scientific Press</i> (San Francisco, Cal.)
<i>El Museo Mexicano</i>	
<i>El Mosaico Mexicano</i>	
<i>El Federalista/El Año Nuevo/ La Sociedad</i>	
<i>El Derecho. Periódico de Jurisprudencia y Legislación</i>	
<i>Anuario del Colegio de Minería</i>	
<i>Boletín del Ministerio de Fomento</i>	
<i>Memorias del Ministerio de Fomento</i>	
<i>Boletín de la Comisión Geológica de México</i>	
<i>Boletín de Agricultura, Minería e Industria</i>	
<i>Boletín Minero</i>	

Fuente: Elaboración propia a partir de Morelos-Rodríguez, 2012.

9. Plano de los criaderos de fierro magnético de la Ferrería de la Encarnación, Distrito de Zimapán, Hidalgo.
10. Plano de Texalucan. Colinas con restos de plantas fósiles fucoideas.
11. Plano de la región en que han caído los meteoritos más notables de México con tres reproducciones por el procedimiento de nigrosina.
Vistas y paisajes geológicos
12. Atlas de los paisajes y maaras: a) Alchichica, b) San Miguel Tecuitlapa, c) Paisaje de Texaluca, d) Cañada Morelos, e) Géiser de toba caliza llamado Cuescomate en la Hacienda de Posada, f) Maara de Alxoxuca, g) Maara "La Preciosa", h) Maara Quecholaca, i) Atexcaqui, j) Xalapasco.
13. Vista al óleo: grupo de cráteres apagados entre la Hacienda de San Nicolás y San Isidro.
14. Vista al óleo de los cráteres de volcanes apagados de San Nicolás Xaltepec y Santa Catarina.
15. Vista al óleo de la cadena y montañas volcánicas al N de la Hacienda de San Isidro.
16. Vista al temple de la cadena de cráteres de volcanes apagados desde Santa Catarina a San Nicolás.
17. Vista de la caldera (cráter de volcán apagado) cerca de la Hacienda de San Isidro.
18. Vista al lápiz del Cerro del Convento (criadero aurífero) en Tetela del Oro.
19. Vista del Cerro de Ometepec al E de Tetela del Oro (pizarra caliza con Ammonitas).
20. Vista de una capa metalífera en la entrada a la labor de la mina de Teposán (criaderos de capas metalíferas estratificadas).
21. Vista de estratificación discordante de capas de pizarra en un corte del Ferrocarril Central Kilómetro 72, Tula.
22. Vista de un corte natural de basalto en lajas. Cerro del Peñón de los Baños.

Fuente: AGN, Fomento, Exposiciones Extranjeras, c. 1, d.. 16, fs. 100-100v, 114-114v.

En adición, hay otra faceta en la que destacó nuestro ingeniero, menos conocida, y es la de empresario, también vinculada a su práctica profesional, pues se moverá principalmente en el ámbito minero. Su actividad inició en 1856, tras recibir la donación de media barra aviadora³ de la mina de Jesús y San Rafael, en el mineral de El Chico, cercano a Pachuca, por parte de Carlos Rul. Al año siguiente, "los dueños de la mina nombrada San Pedro, situada en el pueblo de San Antonio de la Baja California, convinieron en ceder doce barras a la persona o personas que se obligaran a dar los fondos necesarios para establecer una hacienda de beneficio, así como las maquinarias, habitaciones y demás

útiles consiguientes a esa clase de empresa" (AGNDF, 1856, Notaria 658 de Pablo Sánchez, vol. 4467, f. 479v). Ante ello, Manuel Payno (1810-1894) le cedió a Del Castillo el dominio y propiedad de una barra de dicha mina, en pago a su trabajo, que sería "examinar la abundancia de metal, a hacer los ensayos respectivos, a levantar planos, a dar informe del estado que guarda la mina y a practicar en ésta todas las operaciones que sean necesarias al buen desempeño de su encargo" (Ibid., fs.482-483v). Todo ello llevó a constituir la Compañía Unida de Minas de la Baja California, una empresa mixta con capital del Ministerio de Fomento (50%) y de particulares (otro 50%). Interesante resulta saber que entre los socios se encontraba el propio Antonio del Castillo como director de la empresa, junto a políticos

³ Una barra, en términos económicos, es el equivalente a las actuales acciones de una empresa..

liberales como Guillermo Prieto (1818-1897), Ponciano Arriaga (1811-1863) y Manuel Payno y empresarios como Fernando Escandón, Ignacio Amor o Manuel Ocampo, suegro del ingeniero.

Se observa que sus exploraciones geológicas, encargadas por el gobierno o particulares, se transformaron en empresas. Lo mismo sucedió en 1876, cuando después de realizar un estudio sobre la disponibilidad de carbón de piedra en la Huasteca, a petición del empresario Ángel Carrillo y Albornoz, crearon entre ambos la Compañía Explotadora de Criaderos de Carbón de Piedra de la República Mexicana (Castillo, 1876). Finalmente, se destaca también que junto con Carrillo de Albornoz intervino en el proyecto para construir una vía férrea que pretendía comunicar a la ciudad de Morelia con el puerto de Maruata, para lo que participó en la creación de la Compañía del Ferrocarril Michoacano del Pacífico, en 1873, que no llegó a cristalizar ante la crisis económica del país (Uribe, 1999). En 1853 se crea dentro de la estructura del gobierno federal el Ministerio de Fomento, encargado de promover el establecimiento y la protección de la industria e impulsar la tecnología en las labores agrícolas, mineras e industriales. Las facultades de este ministerio fueron ampliándose con el paso de los años, teniendo bajo su jurisdicción la colonización, el comercio, la industria y todas aquellas actividades destinadas a mejorar las condiciones del país. Al consultar sus Informes, Memorias y demás publicaciones — *Anales y Boletín del Ministerio de Fomento*—, es posible conocer la política institucional, económica, industrial, comercial y cultural

de los gobiernos decimonónicos e identificar a los ejecutores de los proyectos. Tal es el caso de Antonio del Castillo, quien realizó varias comisiones con gobiernos de muy diferentes tendencias políticas, colaborando con las presidencias de Mariano Arista, Ignacio Comonfort, Benito Juárez, Sebastián Lerdo de Tejada y Porfirio Díaz, así como con Maximiliano de Habsburgo.⁴ Entre las actividades que realizó para dicho ministerio, se encuentran la “Riqueza mineral de la República. Región austral de la península de Baja California” (1857), la formación de las cartas geológicas de los distritos minerales de Real del Monte, Pachuca, El Chico, Capula, Santana, Santa Rosa y Tepeneni, la de Guanajuato, la de Zacatecas, el Fresnillo, Plateros y la del Valle de México (1865) (*Diario del Imperio*, 1865), “Indicaciones acerca de la reforma de las Ordenanzas de Minería” (1865), “Proyecto de Ley de Minería para el Distrito Federal y el Territorio de Baja California” (1874) e “Informe sobre el estado geológico actual del Peñón de los Baños” (1884), por citar solamente algunos de sus trabajos. Los vínculos construidos con el sector gubernamental debieron ser sin duda un apoyo importante cuando, por su iniciativa, en 1886 la Secretaría de Fomento solicitó al Congreso de la Unión la creación de un Instituto Geológico, con la pretensión de realizar “el estudio geológico del territorio, dando a conocer éste desde los puntos de

⁴ Antonio del Castillo se integró en 1865 a la Academia de Ciencias y Literatura, en la sección de Geología y Mineralogía; igualmente participó en la reforma a las Ordenanzas de Minería promovida por Maximiliano, y llegó a ser reconocido como el “primer geólogo del Imperio”.

vista práctico, científico, técnico e industrial” (Rubinovich et al., 1998). Esta propuesta se formalizó al crearse la Comisión Geológica de la República Mexicana, en 1888 (véase Tabla 4), cuyos primeros trabajos fueron la construcción del Bosquejo de Carta Geológica de la República Mexicana y la Carta Minera.

El objetivo de estas cartas era, por una parte, ofrecer una idea general de las formaciones geológicas dominantes del país y que, además, sirviera de base para los trabajos que se desarrollarían más adelante. Además, la Carta Minera debería servir para mostrar la riqueza que se resguardaba en el subsuelo del territorio. Para ejecutar los trabajos que exigía la realización de la carta geológica, fue necesario completar los datos hasta entonces existentes por medio de itinerarios geológicos, que abarcaron grandes extensiones del territorio, y de itinerarios de exploración con el objeto de hacer el deslinde aproximado de las principales formaciones del país. Igualmente, se utilizaron las colecciones de rocas, fósiles y minerales mexicanos existentes en los museos de mineralogía y geología de la Escuela Nacional de Ingenieros (Aguilera, 1905). Se puede afirmar que se utilizó toda la información disponible —mapas, colecciones, literatura geológica— para lograr un trabajo cartográfico de calidad. La escala adoptada para su construcción fue de 1:3'000,000, por considerarse la más conveniente, dada la escasez de puntos situados por coordenadas geográficas en la República (Aguilera, 1896). Posteriormente se elaborarían nuevas ediciones de la carta geológica, más completas y a menor escala. Un reflejo de la importancia

que el Estado daba al nuevo organismo fueron los trabajos que encomendó al ingeniero Del Castillo para asistir a la Exposición Internacional de París de 1889 (véase Tabla 5), que merecieron una medalla de oro al Ministerio de Fomento. Del Castillo aprovechó su estancia en París para publicar, en francés, su Catálogo descriptivo de los meteoritos de México, el cual se presentó en la exhibición acompañado de reproducciones de algunos de esos meteoritos en papier maché. El ingeniero comentaba así la expectación que éstos causaron:

Se despertó gran interés por ellos en el mundo científico, por ser las mayores masas de fierro meteórico caídas en la Tierra, y por su grande interés científico y porque mi catálogo despertó, además, la especulación habiéndose intentado exportarlos, bien enteros o subdivididos para los museos extranjeros. Mi primer cuidado a mi regreso fue ocuparme de su transporte a esta Escuela (de Ingenieros)... Será el principio de un monumento que México elevará a la ciencia de estos cuerpos cósmicos que revelan la composición de los cuerpos celestes y que hará a nuestra Capital célebre en el mundo científico.” (AHUNAM, Académico, Convenciones, Exposiciones y Estudios, c. 18, d. 3, f. 47).

Además, logró el reconocimiento legal de las meteoritas como bienes de la Nación mediante la ley del 29 de mayo de 1889 (*Diario Oficial*, 1889) y también elaboró la Carta de los Meteoritos de México (1893) y algunos

mapas geológicos de los distritos mineros más importantes del país.

Finalmente, el 18 de diciembre de 1888 se emitió el dictamen aprobatorio para la creación del Instituto Geológico Nacional por parte del Congreso de la Unión. Al día siguiente, el presidente Porfirio Díaz comunicó el decreto respectivo, que fuera publicado el 25 de diciembre en el *Diario Oficial* (Santillán, 1933; Ordóñez, 1946). Una semana después, la comisión que lo había aprobado señalaba: "Son tan notorias la utilidad e importancia de tal Instituto, que es de lamentarse que no haya sido posible mucho antes establecerlo; pues las condiciones naturales del país, cuyos mayores elementos de riquezas se encierran en sus numerosas y diversas zonas metalíferas, exigen por sí solas una protección preferente a aquellos estudios que deben perfeccionar y extender el conocimiento de esas mismas condiciones, complementando por el medio propuesto en la iniciativa de que se trata, el sistema de enseñanza de la Escuela de Ingenieros y práctica de Minas" (*Diario Oficial*, 1888). No obstante, pese a estos buenos deseos, sería hasta principios de 1891 que quedaría definitivamente establecido el Instituto Geológico Nacional, conformado por el mismo personal que integraba la Comisión Geológica. Al igual que otras instituciones científicas creadas durante el Porfiriato —Instituto Médico Nacional, Observatorio Meteorológico, Observatorio Astronómico— el Instituto Geológico quedó adscrito a la Secretaría de Fomento, quien le asignaba el presupuesto. Con objeto de cumplir con lo establecido

en el proyecto de estatuto de la institución recién creada, que estipulaba el dar a conocer los resultados del estudio geológico del territorio nacional (Santillán, 1933; Ordóñez, 1946), se creó un órgano de difusión de las investigaciones que en él se realizaran. Fue así que en 1895 tuvo inicio la circulación del *Boletín del Instituto Geológico*. Lamentablemente, tal año fue precisamente el de su fallecimiento, pues en el primer número de la publicación aparece un artículo conjunto de Del Castillo y José Guadalupe Aguilera, su sucesor en la dirección del Instituto, que llevó por título "Fauna fósil de la Sierra del Catorce", el cual "...constituye un clásico para los estudiosos de los ammonites jurásicos del territorio de México" (Rubinovich et al., 1991). Durante los últimos años de su vida, Del Castillo contaba con un sólido prestigio dentro de la comunidad geológica internacional, pues había sido un asiduo asistente de los Congresos Internacionales de Geología, habiendo participado desde el primero de tales congresos, celebrado en París en 1878, hasta el sexto, en Zurich en 1894. En 1885, representó a México en el Tercer Congreso Internacional de Geología, celebrado en Berlín. Ello fue importante dado que en él se dieron los primeros pasos para construir el Mapa Geológico del Mundo.

A MANERA DE CONCLUSIÓN

Podemos afirmar que Antonio del Castillo fue el precursor del proceso de institucionalización de la Geología mexicana y un reconocido ingeniero científico en los ámbitos local e

internacional. Estuvo plenamente convencido de la importancia de la disciplina como factor de desarrollo de la industria nacional, al lograr que diversas autoridades políticas y educativas independizaran los estudios geológicos de la Escuela Nacional de Ingenieros con la fundación del Instituto Geológico Nacional. Once años después de su muerte, se cumplió otra de las grandes metas trazadas por Del Castillo: la celebración en nuestro país del X Congreso Geológico Internacional, que tuvo como sede el nuevo edificio del Instituto.

REFERENCIAS

Fuentes documentales

Archivo General de la Nación (AGN).

Archivo General de Notarías (AGNDF).

Acervo Histórico del Palacio de Minería (AHPM).

Archivo Histórico de la Universidad Nacional (AHUNAM).

Aguilera, J.G., 1896, Prólogo, Aguilera, J.G., y Ordóñez, Ezequiel, eds., *Bosquejo Geológico de México: Instituto Geológico de México*, Boletín 4–6, p. 11-15.

Aguilera, J.G., 1905, *Reseña del desarrollo de la Geología en México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 1, p. 35–117.

Castillo, A. del, 1870, *Discurso pronunciado por el señor ingeniero de minas, presidente de la sociedad, en la sesión inaugural verificada el día 6 de septiembre de 1868: La Naturaleza (México)*, 1ª serie, tomo I, p. 1–5.

Castillo, A. del, 1876, *Compañía explotadora de carbón de piedra*, México, 16 p.

Castillo, A. del, 1888, *Plano geológico de las minas de fierro de la Ferrería de la*

Encarnación y del distrito minero de San José del Oro, formado por el ingeniero de minas Antonio del Castillo, L. Cabañas y E. Ordóñez, miembros de la Comisión, escala 1:20 000, levantado en 1888, México, Lit. Em. Moreau y Hno.

Covarrubias J. E., 1998, *Visión extranjera de México, 1840-1867*. 1. El estudio de las costumbres y de la

situación social, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Doctor José maría Luis Mora, 184 p.

Cserna, Z. de, 1990, "La evolución de la geología en México (1500-1929)", *Revista del Instituto de Geología*, vol. 9, núm. 1, México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 1-20.

Diario el Imperio, El, "Ministerio de Fomento", tomo I, núm. 35, México, 11 de febrero de 1865, p. 1.

Diario Oficial del Supremo Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, 1888, tomo XIX, núm. 152, 25 de diciembre.

Diario Oficial del Supremo Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, 1889, tomo XX, núm. 145, México, 18 de junio.

Galindo y Villa, J., 1898, D. Antonio Á. Castillo: *La Naturaleza (México)*, 2ª serie, tomo III, p. I-VIII.

García, G., 1911, *Crónica oficial de las fiestas del Primer Centenario de la Independencia de México* publicada bajo la dirección de, por acuerdo de la Secretaría de Gobernación, México, Talleres del Museo Nacional.

Ker, A., 1931, *A survey of Mexican Scientific Periodicals to which are appended some notes on mexican historical periodicals*, Baltimore, The Harvey Bassler Foundation, Waverly Press, Inc.

Morelos-Rodríguez, L., 2013, *Antonio del Castillo (1820-1875) y su contribución de las Ciencias de la Tierra*, Colección Tesis Humanidades 6, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, SEP, PIFI, 220 p.

Morelos-Rodríguez, L., 2012, *La geología mexicana en el siglo XIX. Una revisión histórica de la obra de Antonio del Castillo, Santiago Ramírez y Mariano Bárcena: México*, Secretaría de Cultura de Michoacán, Plaza y Valdés, 345 p.

Ordóñez, E., 1946, *El Instituto de Geología—Datos históricos: México, D.F.*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 51 p.

Ramírez, S., 1901, *Elogio fúnebre del profesor Don Mariano de la Bárcena Secretario perpetuo de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, México*, Tip. de la Secretaría de Fomento.

Rubinovich-Kogan, R., Levy-Aguilera, M., de Luna-Moreno C. y Block-Iturriaga, C., 1991, *José Guadalupe Aguilera Serrano (1857-1941). Datos biográficos y bibliografía anotada: México, D.F.*, Universidad Nacional Autónoma de México,

Instituto de Geología, 116 p.

Rubinovich-Kogan, R., Lozano, M. y Mendoza-Vargas, H., 1998, Ezequiel Ordóñez. Vida y obra (1867-1950): México, D.F., El Colegio Nacional y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 315 p.

Santillán, M., 1933, Anuario del Instituto de Geología 1932: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 162 p.

The Aztec Call. Organ of the Rotary Club of the City of Mexico, vol. 2, no. 17, mayo 1923, México.

Uribe-Salas, J.A., 1999, Michoacán y los proyectos de comunicación en el occidente de México, 1850–1874, en Uribe-Salas, J.A., ed., Michoacán en el siglo XIX. Cinco ensayos de historia económica y social: Colección Historia Nuestra 17, p. 41–90.

UN EJEMPLO DE COLABORACIÓN CIENTÍFICA FRUCTÍFERA

Károly Brezsnyánszky 1
 Péter Scharek 2
 Gilberto Hernández Silva 3

RESUMEN

En los últimos 20 años las relaciones intergubernamentales permitieron en el campo de la geología, el desarrollo de una cooperación fructífera entre dos instituciones tradicionales, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Magyar Állami Földtani Intézet (Instituto Geológico Nacional de Hungría). Los cinco proyectos bilaterales consecutivos ofrecieron un foro ideal para la colaboración, consultas técnicas, intercambio de experiencias, presentación de trabajos conjuntos, fortalecimiento de relaciones institucionales entre especialistas mexicanos y húngaros. Al principio, los proyectos tuvieron como objetivo principal la geología ambiental, edafología, ingeniería geológica que, con el tiempo se amplió con temas variados; además, se extendió el círculo de instituciones de cooperación. El forjador de la cooperación fue el Dr. Zoltan de Cserna, quién por sus méritos, fue electo miembro honorífico de la Sociedad Geológica Húngara.

Palabras claves: Cooperación internacional, México, Hungary, UNAM, MÁFI, Zoltan de Cserna, medio ambiente,

EPÍSOLOS DE LA HISTÓRIA

La historia de las relaciones Húngaro-Mexicanas en las ciencias geológicas-mineras se remontan hacia la segunda parte del siglo XVIII, cuando especialistas graduados en la Academia de Minas de Selmechánya (Hungría) importaron técnicas modernas a la industria minera de México. La Academia fundada por la reina Maria Theresa, fue uno de los centros

brezsnyanszky.karoly@gmail.com

1 Instituto Geológico Nacional de Hungría, Director retirado

2 Instituto Geológico Nacional de Hungría, Jefe de proyecto retirado

3 UNAM Centro de Geociencias, Juriquilla, Qro.

educacionales más importantes de su época en Europa. La técnica, la amalgamación, inventada por el profesor de la Academia Ignatz Born, revolucionó la extracción de plata de las rocas (Borbély A. 2012).

En septiembre de 1956 se celebró la 20 sesión del Congreso Geológico Internacional en México. El Congreso fue un verdadero éxito, ya que trajo un reconocimiento internacional al Dr. de Cserna, al publicar su tesis de doctorado como una de las memorias del Congreso, además de jugar un papel importante al dirigir excursiones temáticas en el evento. A pesar de la situación política interna del país, tan difícil en esa época, destacadas personalidades científicas húngaras participaron en la reunión internacional: Prof. Elemér Szádeczky-Kardoss, (Academia de Ciencias de Hungría), Gábor Pantó, (Dirección General de Geología) György Kertai (Sociedad Geológica de Hungría).

Un episodio significativo fue en 1969 al celebrarse en Budapest, los 100 años de fundación del Instituto Geológico Nacional de Hungría, en el que participó el director del Instituto de Geología, Guillermo P. Salas de México. Este evento fue uno de los primeros después de la Revolución Húngara (1956) con una amplia participación extranjera abarcando participantes del mundo entero.

COOPERACIÓN UNAM-MÁFI

El inicio de las relaciones UNAM-MÁFI data desde 1976, cuando un grupo de geólogos húngaros visitaron a México que, en aquel tiempo realizaban un trabajo de mapeo

geológico en Cuba. Los especialistas, representando al Instituto Geológico Nacional de Hungría (MÁFI), participaron en el 3er Congreso Latinoamericano de Geología organizado en Acapulco (Guerrero), en donde se dieron a conocer los resultados del mapeo geológico de Cuba Oriental. En dicho Congreso se estableció el primer contacto con el profesor Dr. Zoltan de Cserna, quien se convirtió en el futuro al forjador incansable de la cooperación mexicano-húngara en el campo de geología. Al mismo tiempo, en el Congreso surgió la idea de establecer contacto científico de colaboración entre las instituciones de geología de México y Hungría para conocer una visión general de la actividad del Instituto de Geología de la UNAM.

El siguiente encuentro profesional tuvo lugar en 1987 cuando Károly Brezsnayánszky, responsable de proyectos internacionales de la Oficina Central de Geología en Budapest y László Korpás investigador principal del MÁFI, visitaron México satisfaciendo la invitación del director Dante Morán Zenteno del Instituto de Geología de la UNAM. Durante la visita y, con la participación del Dr. Zoltan de Cserna se organizaron entrevistas personales con los especialistas destacados del Instituto de Geología y se estudiaron profundamente las áreas de posible colaboración científica tanto personales como institucionales.

Sin embargo, la cooperación institucional y personal efectiva se inició años después. Para crear las condiciones ideales, se incluyó un convenio científico-técnico bilateral entre los gobiernos de Hungría y México. El cumplimiento del convenio



Ciudad de México
17 de Febrero, 1996

Primer encuentro
México-Hungría
17/II/96

Vamos a ver si el
proyecto va a terminar
aquí

Buena Suerte!

Zoltan

Gilberto

Figura 1: Parte superior: Miembros del proyecto visitando al Prof. Dr. Zoltan de Cserna antes del inicio del primer etapa de trabajos de campo (de izquierda a derecha Gilberto Hernández Silva, Péter Scharek, Károly Brezsnayánszky, Zoltan de Cserna). Parte inferior: „Carta de fundación” del proyecto, Ciudad de México, 17 de Febr, 1996.

intergubernamental se renovó varias veces. Por la parte mexicana la coordinación del sistema de proyectos de investigación estaba controlado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y la Oficina Nacional de Investigación y Tecnología (NKTH) por la parte húngara. Es un deber nuestro mencionar que, tanto la misión diplomática mexicana como la húngara colaboraron ampliamente en cada fase de la cooperación (Brezsnyánszky K.-Scharek P. 2012).

MÁFI SE PRESENTA

El Instituto Geológico Nacional de Hungría (MÁFI), hoy Instituto de Geología y Geofísica de Hungría (MFGI), se fundó en 1869 con el visto bueno y firma del emperador Franz Josef I. El Instituto desde su fundación funciona como el servicio geológico nacional y, desde el año 2001, como miembro plenario de la organización EuroGeoSurveys. Las tareas principales de MÁFI son: mapeo geológico del país, manejo y suministro de información básica e interpretada para planificación, prospección e investigación práctica especializada, investigaciones de geoquímica, hidrogeología, medio ambiente, agrogeología, ingeniería geológica, así como otros campos especializados; compilar mapas temáticos, modelos geológicos de ciertas áreas de interés; búsqueda y evaluación de recursos minerales; suministro de información pública a nivel nacional. MÁFI presenta sus resultados en publicaciones científicas tradicionales. Mantiene contactos científicos, técnicos con los países vecinos y de Europa, y en casos de interés mutuo, con instituciones de otros

continentes.

Los temas consecutivos escogidos para los trabajos conjuntos UNAM-MÁFI se basaron tanto en la necesidad de resolver con métodos científicos y con la experiencia conseguida en MÁFI en los últimos 30 años, los problemas ambientales que estaban presente en ciertas áreas de México. Desde los años 1980, MÁFI desarrolló métodos efectivos para resolver problemas ambientales en áreas de minas abandonadas y zonas industriales, utilizando una amplia gama de metodologías de geología, geoquímica e hidrogeología, a fin de planificar la rehabilitación de las áreas contaminadas. Por otra parte, se ofreció para adaptar la metodología de agrogeología húngara obtenida en casi cien años de experiencia para mantener la fertilidad de suelos utilizados en la agricultura.

LOS PROYECTOS UNAM-MÁFI

Entre los años 1995-2013 se realizaron en el campo de geología, cinco proyectos bilaterales entre el Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de México y Magyar Állami Földtani Intézet (Instituto Geológico Nacional de Hungría). Los proyectos fueron dirigidos por los doctores Gilberto Hernández Silva (UNAM) y Péter Scharek (MÁFI). Los temas principales de los proyectos fueron la hidrogeología, geología ambiental, riesgos naturales, ciencia del suelo, minerales no metálicos, informática y percepción remota. Los áreas de trabajo en México se limitaron a

los estados de Guanajuato, Guerrero, México, Hidalgo y Distrito Federal. En Hungría al distrito de Kisalföld (Pequeña Llanura) y la Montaña Norteña del país (Brezsnyánszky K.-Scharek P. 2012).

Ambas instituciones contratadas contaron con la participación de colaboradores y especialistas de otros institutos y universidades, como el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), Universidad Autónoma de Querétaro, la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), el Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) y el Servicio Geológico Metropolitano del Distrito Federal (Ciudad de México). De la parte húngara, el Departamento de Hidrogeología e Ingeniería Geológica de la Universidad de Miskolc, la Universidad de Ciencias Agrícolas de Gödöllő y el Instituto de Suelos y Agroquímica de la Academia de Ciencias de Hungría (MTA TAKI) y el Museo Nacional de Hungría.

Los cinco proyectos:

Primer proyecto, 1995-1997: Investigaciones geológico-edáfico-ambientales y de ingeniería geológica en la región de Celaya, Salamanca y Guanajuato, Gto. y en la Pequeña Llanura (Kisalföld) de Hungría.

Segundo proyecto, 1998-2000: Investigaciones geológico-ambientales en la cuenca del Río Turbio y de la Laguna Yuriría, Estado de Guanajuato, México.

Tercer proyecto, 2005-2007: Mapeo de los suelos y sedimentos contaminados en la

cuenca del Río Lerma.

Cuarto proyecto, 2008-2010: Presencia de elementos pesados en el área de San Joaquín Gro., como consecuencia de la minería prehispánica y actual y su impacto en el medio ambiente y la salud pública.

Concluyendo los 15 años primeros de colaboración y los cuatro proyectos consecutivos, el día 10 de Septiembre de 2010 se organizó una conferencia científica con sede en el MÁFI, Budapest, bajo el título „Workshop on the Results on the Mexican-Hungarian Cooperation in Earth Sciences, 1995-2010” donde se presentaron los resultados de los trabajos conjuntos. El material de la conferencia se publicó en la revista Annual Report del MÁFI en 2012.

Quinto proyecto, 2012-2013: Determinación e investigación de Hg y otros elementos pesados con electro-remediación en las muestras de suelo y sedimentos de la región de San Joaquín, México. En este proyecto participó por lado mexicano, el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S. C. (CIDETEQ) con la Dra. Erika Bustos Bustos y la Dra Zsuzsanna Plank del lado húngaro como participantes nuevos del proyecto.

REFERENCIAS

- Borbély A. 2012, The Spanish and Latin American professional relations of the Mining Academy of Selmecbánya (Academia Montanística, Bergacademie): Annual Report of the Geological Institute of Hungary 2010, 155-160.
- Brezsnyánszky K.-Scharek P. 2012, Main episodes in UNAM-MÁFI relation and scientific results of the bilateral projects: Annual Report of the Geological Institute of Hungary 2010, 117-123.