

Características geológicas preliminares de la nueva zona termal Cucapah en el Valle de Mexicali, BC, México

Julio Álvarez Rosales, Juan Manuel Camacho Hernández, Víctor Ilitch Gallardo Federico, Griselda Macías Valdez y Diego Herrera Carrillo

Residencia General de Cerro Prieto. Residencia de Estudios. Departamento de Geología y Geofísica. Campo Geotérmico de Cerro Prieto, B.C., México. Correo: juan.camacho02@cfe.gob.mx

Resumen

El Valle de Mexicali en Baja California, México, es conocido por su potencial geotérmico, ya que junto con el Valle Imperial en Estados Unidos forma la provincia de Salton Trough, que incluye a los campos geotérmicos activos de Salton Sea y Cerro Prieto, así como varias zonas termales que no han sido aprovechadas por considerarlas de baja entalpía. El 4 de abril de 2010 ocurrió un sismo de magnitud 7.2 con epicentro en la porción sur de la Sierra Cucapah, cerca de las estribaciones de la sierra El Mayor y poco después se reportaron fumarolas al NNW del epicentro y al SW de la manifestación termal Calderón, identificada desde 1952. Visitas de reconocimiento geológico efectuadas a principios de 2011 confirmaron que continuaba activa una fumarola de 30 metros de altura al SW de la Sierra Cucapah, asociada a una falla regional de dirección NW-SE y aflorando en rocas muy fracturadas y alteradas, a la que se asocian pequeños volcanes de lodo inactivos y suelos calientes. Se describen las características geológicas preliminares de esta nueva zona, ya incluida en la carta de focos termales de México, y se recomienda continuar su exploración con estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos complementarios, lo mismo que en la ya explorada zona termal de Tulecheck, ubicada en su cercanía.

Palabras clave: Sierra Cucapah, Valle de Mexicali, exploración geológica, sismo de abril de 2010, Tulecheck.

Preliminary geologic features of the new geothermal zone Cucapah at the Mexicali Valley, BC, Mexico

Abstract

The Mexicali Valley in Baja California, Mexico, is known for geothermal potential. It is part of the Salton Trough province that includes the Imperial Valley in the US. The province has several geothermal fields under development, including the Cerro Prieto and Salton Sea Geothermal Fields, plus a number of low-enthalpy thermal zones not yet exploited. On April 4, 2010, a 7.2 magnitude earthquake occurred with an epicenter in the southern Cucapah Sierra, near the lowlands of El Mayor Sierra. Afterward, fumaroles were reported NNW of the epicenter and SW of the thermal manifestation, including one named Calderón known since 1952. Geological reconnaissance visits in early 2011 confirmed a fumarole was still active SW of the Cucapah Sierra. The fumarole consists of a 30 m column of steam related to a regional NW-SE fault cropping out in fractured and altered rocks. Some extinct, small mud volcanoes and hot soils were found, as well. Preliminary zonal geologic features are described, now included in the chart of thermal zones of Mexico. Here exploration and complementary geological, geochemical and geophysical studies should be continued, just as in the nearby Tulecheck thermal zone.

Keywords: Cucapah Sierra, Mexicali Valley, geologic exploration, April 2010 earthquake, Tulecheck.

1. Introducción

La sismicidad es una de las principales características del Valle de Mexicali, debido al movimiento relativo de las placas del Pacífico y de Norteamérica que ha dado origen a la provincia extensional del Golfo. Las fallas Cerro Prieto e Imperial son las de mayor actividad y dan lugar al centro de dispersión donde se ubica el campo geotérmico de Cerro Prieto. El movimiento telúrico del 4 de abril de 2010, de magnitud 7.2 en la escala de Richter, se considera uno de los eventos sísmicos de mayor relevancia, ya que además de provocar daños al sistema hidráulico y agrícola del Valle de Mexicali evidenció una vez más el importante potencial geotérmico de la zona, originando la presencia de fumarolas en la Sierra Cucapah. También provocó que fluyera vapor durante unos días de un antiguo pozo de observación de la antigua Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, cercano a la zona termal de Tulecheck.

A partir de esas noticias, personal de la Residencia General de Cerro Prieto de la Comisión Federal de Electricidad se dio a la tarea de realizar reconocimientos para verificarlas. Después de una visita de reconocimiento, se implementó un programa de exploración geotérmica que empezó con un estudio geológico estructural y con el muestreo para de las manifestaciones termales para su análisis químico.

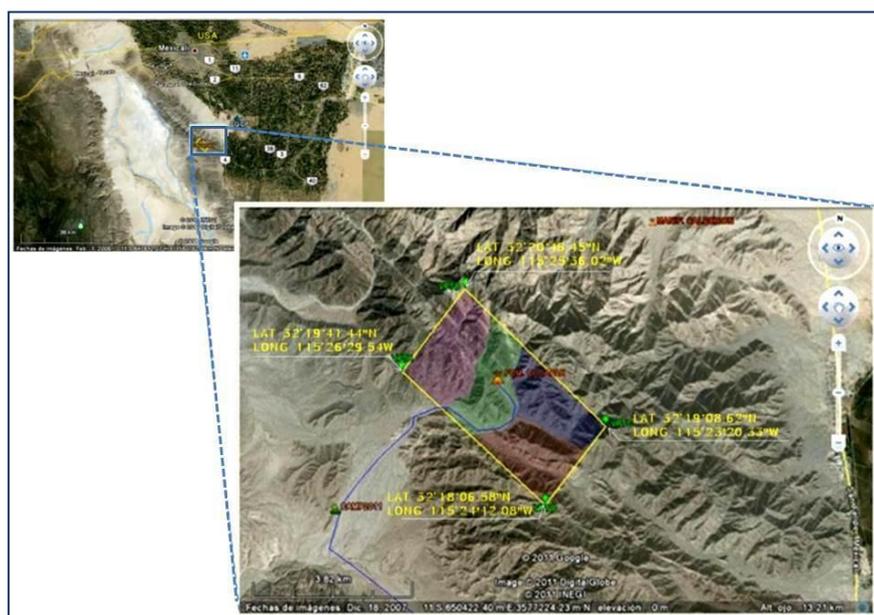


Fig. 1. Localización del área de estudio en la porción sur-oriental de la Sierra Cucapah (imagen Google Earth).

El trabajo que se presenta a continuación reporta el avance de ese estudio geológico estructural de tipo preliminar realizado en la zona termal Cucapah.

Se definió en principio un área de interés de 11 km², localizada en el extremo sur-oriental de la Sierra Cucapah, aproximadamente 38 kilómetros al sur de la ciudad de Mexicali, capital del estado de Baja California. El acceso es a través de 23 kilómetros de brecha y arroyos que parten del poblado López Mateos, a la altura del kilómetro 40 de la carretera federal No. 5 Mexicali-San Felipe, y continúa al oeste-noroeste a lo largo del arroyo Cañada David. Posteriormente sigue hacia el este

hasta llegar a una serie de arroyos en las faldas de la sierra Cucapah (Fig. 1).

Durante el estudio de campo se instaló un campamento en terreno abierto por razones de seguridad, debido al dinamismo sísmico de la zona, lo que implicó una caminata de dos horas diarias para llegar al área de exploración, ya que esta quedó a unos 5.5 km al NE del campamento. Se utilizaron imágenes de Google Earth y planos escala 1:50,000 y 1: 10,000 obtenidos de la carta topográfica del INEGI I11D75. También se estableció una rejilla térmica para establecer la dirección del flujo de calor en la zona.

El trabajo se desarrolló principalmente en el área marcada en color verde en la Figura 1, debido a que es la que contiene las manifestaciones termales. El resto de la zona no se reconoció con detalle, aunque el área noroeste del rectángulo deberá detallarse posteriormente para complementar el contexto geológico-estructural. Durante el estudio se tomaron datos litológicos (petrología), sedimentológicos (disposición en campo), estratigráficos (contactos, estructuras sedimentarias) y estructurales (comportamiento de rumbos y

echados de fracturamiento y fallas principales), y se colectaron muestras de roca para su análisis petrográfico, muestras de suelos alterados hidrotermalmente y muestras de gases.

2. Marco geológico regional

La Provincia Extensional del Golfo (Gastil *et al.*, 1975), que abarca la margen oriental de la península de Baja California y la margen occidental de la parte continental de México, está definida por estructuras formadas durante el Mioceno que inicialmente se produjeron a partir de un proceso extensional. El sistema se convirtió después en transtensional con la definición del límite entre las placas de Pacífico y de Norteamérica (Stock y Hodges, 1989). Esta evolución dio lugar a un rift oblicuo, caracterizado por el sistema de centros de dispersión y fallas transformes del Golfo de California, y al sistema San Andrés.

Los centros de dispersión en el Golfo de California se caracterizan por un magmatismo cuaternario y por actividad geotérmica (Herzig y Jacobs, 1994). A partir del centro de dispersión ubicado más al norte de la serie distribuida a lo largo del golfo, se inicia el complejo sistema de fallas de San Andrés, que representa la expresión norte del marco transtensional (Mitchell y Reading, 1986).

Se ha propuesto que la parte norte del escarpe de Sierra Juárez es la placa superior de una falla de bajo ángulo (de tipo *detachment*) con raíz bajo las Sierras Peninsulares, formando la depresión de la Laguna Salada (Axen, 1995). El escarpe en esta región tiene más de 1000 metros y contiene una serie de fallas subparalelas de orientación NNW sintéticas y antitéticas a la falla de bajo ángulo Cañada David (Axen, 1995; Axen y Romero-Espejel, 1996).

En el límite oriental, la presencia de la zona de falla tipo *detachment* con deslizamiento al oeste o al WNW implica que el basamento granítico-metamórfico expuesto en las sierras Cucapah y El Mayor, forman el bloque de piso, levantado por erosión tectónica (Barnard, 1968; Axen, 1995).

En el borde SW de la Sierra Cucapah existen zonas de fallamiento dextral-oblicuo con orientación NW y tendencia paralela al sistema de falla San Andrés, principalmente la Falla Cucapah y la Falla Laguna Salada (Barnard, 1968; Gastil *et al.*, 1975).

La interacción de fallas de desplazamiento lateral y fallas normales ha contribuido al desarrollo de la cuenca de Laguna Salada y al levantamiento de las sierras El Mayor y Cucapah (Siem, 1992; Mueller y Rockwell, 1995).

Estratigrafía

Las rocas pre-Cenozoicas en la región de la Sierra Cucapah son esencialmente rocas metamórficas pre-batolíticas del Paleozoico (?) y rocas batolíticas e intrusivos del Cretácico, que forman los rasgos más abruptos al oeste de la sierra.

Rocas del Basamento

En la Sierra Cucapah afloran rocas metasedimentarias del Pérmico-Jurásico (?), de facies de sillimanita, probablemente producto de metamorfismo regional de alta temperatura y relativa baja presión; las más comunes son gneis cuarzofeldespático de hornblenda-biotita, gneis de sillimanita-almándino y calizas recristalizadas. Menos abundante es la anfibolita y raramente cuarcita (Barnard, 1968).

En la Sierra El Mayor afloran rocas metasedimentarias del Paleozoico (?), producto de un metamorfismo de alto grado (facies de anfibolita), principalmente gneis de granate, anfibolita, cuarcita y mármol (Siem, 1992).

En la porción centro-sur de la Sierra Cucapah está expuesto un intrusivo de tonalita (Tonalita La Puerta). La edad determinada por Plomo-alfa fue de 125-155 Ma (Barnard, 1968); la edad del mismo intrusivo, obtenida por K-Ar fue de 62.6 ± 1.5 Ma (Gastil *et al.*, 1975). En la porción central una granodiorita (Granodiorita Cucapah) intrusión al cuerpo de tonalita, implicando una edad posterior de emplazamiento (Barnard, 1968).

La Sierra El Mayor también incluye cuerpos intrusivos de tonalita a monzo-granito en forma de diques, mantos y troncos (Siem, 1992).

Rocas Volcánicas Terciarias

Las rocas volcánicas que afloran en la Sierra Cucapah son diques y derrames de andesita afanítica de color verde parduzco, probablemente emplazados en el Terciario (Barnard, 1968). Estas lavas cortan y sobreyacen a las rocas del basamento. Se han reportado auto-brechas y aglomerados de dacita porfídica de plagioclasa a dacita porfídica de hornblenda. Una edad de K-Ar de 15.3 ± 0.8 Ma fue publicada por Barnard (1968). En la Sierra El Mayor existen diques de andesita afanítica verde a gris con fenocristales de hornblenda, probablemente similares a los de la Sierra Cucapah (Siem, 1992).

Depósitos Cuaternarios

Existen depósitos cuaternarios de aluvión en la Sierra Cucapah, nombrados como conglomerado gris, no consolidado y con matriz arenosa. Las capas horizontales del conglomerado reciente sobreyacen en discordancia angular a las diferentes unidades anteriores y su espesor aumenta considerablemente hacia el SW.

Fallas regionales

La Sierra Cucapah se encuentra dominada por un fracturamiento compensatorio muy importante con rumbo NW-SE conjugado con desplazamientos alternativos de ambos. Las fallas regionales (Fig. 2) que afectan la continuidad de la sierra son las fallas Cucapah, Borrego y Pescadores, de edad post-miocénica. Durante el evento distensivo del Mioceno, la falla Laguna Salada tuvo un comportamiento lístrico que evolucionó a dextral normal, que es el desplazamiento actual de las otras fallas mencionadas.

3. Rasgos geológicos locales

De forma general, hacia el oriente del área de estudio la litología está compuesta de rocas graníticas y granodioríticas cortadas por gran cantidad de diques cuarzo-feldespáticos. Hacia el oeste predomina un complejo metamórfico, con rocas meta-sedimentarias y conglomerados. Se evidencia un marcado fracturamiento debido al tectonismo de la zona, lo que provoca también una gran presencia de caídos lo que dificulta apreciar la continuidad de los rasgos estructurales importantes. Sin embargo, puede establecerse que los principales alineamientos

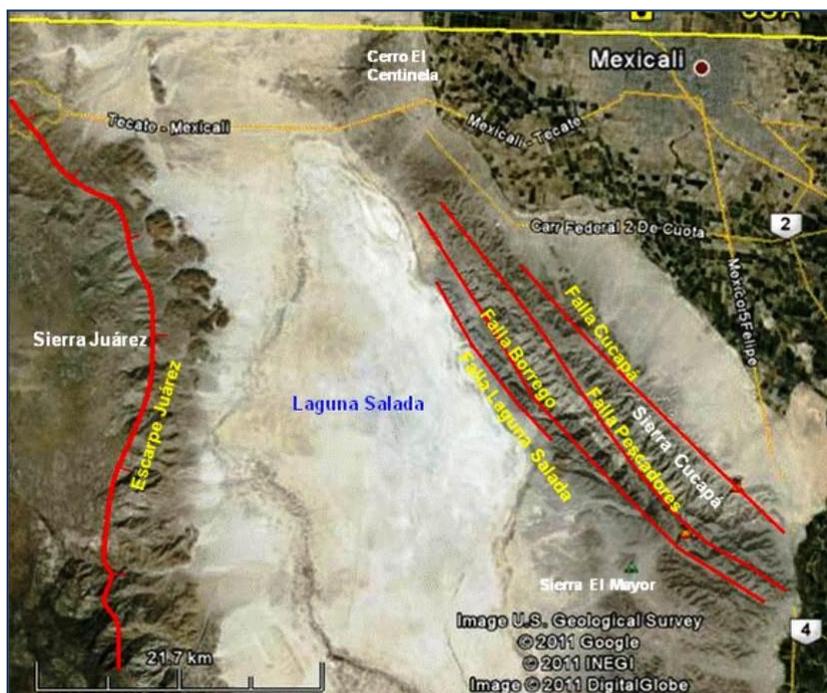


Fig. 2. Principales fallas regionales al norte de Baja California.

estructurales medidos son de dirección NW-SE con buzamiento mayor de 70° , aunque existen algunos de dirección prácticamente N-S (Fig. 3).

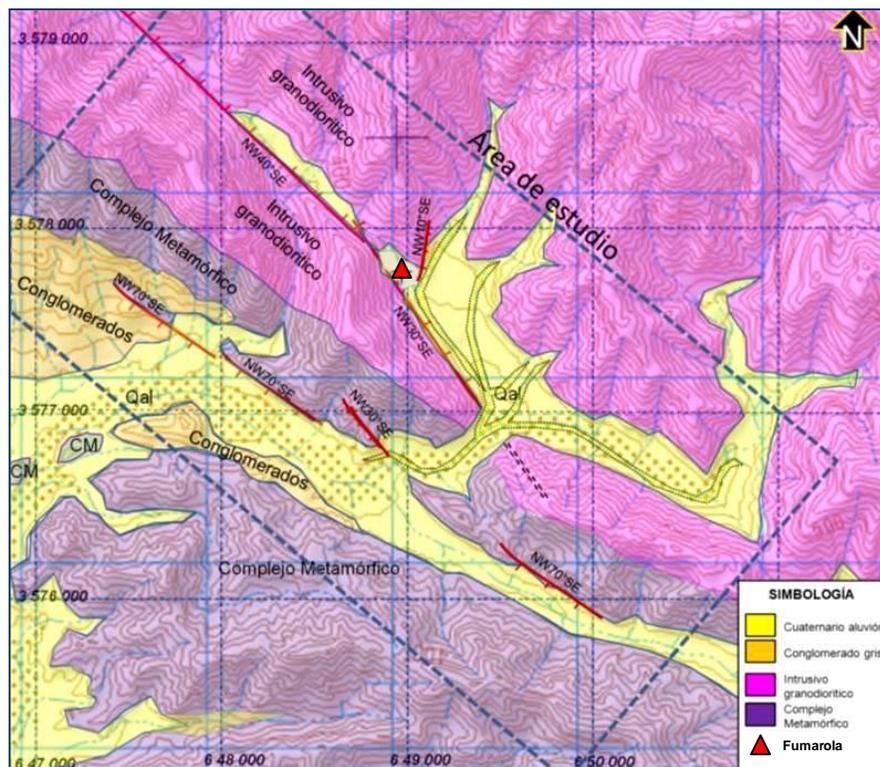


Fig. 3. Plano geológico-estructural preliminar.

(alteración de plagioclasas), material rojizo alterado (oxidado) y un ligero olor a azufre. Como se indicó, esta zona está cubierta por material rocoso desprendido, que impide observar la continuidad de la Falla Pescadores hacia el sur de la fumarola, salvo en algunos tramos. Sin embargo, la traza es bastante visible hacia el norte de la fumarola.

Durante las actividades de campo, la fumarola tenía unos 30 metros de altura (Foto 1), aproximadamente. Consistía en un penacho de vapor expulsado a gran presión, sin rastros visibles de agua en superficie. El conducto tiene una forma circular de aproximadamente 1.5 m de diámetro con una ligera inclinación hacia el noreste. La fumarola forma es expulsada de una estructura tipo montículo de lodo, de color café ocre y unos 2 m de altura, cubierta parcialmente por depósitos de talud y abanicos aluviales de los cerros aledaños. Estas características sugieren que en el pasado la fumarola también estuvo activa, antes de desaparecer y volver a aparecer a consecuencia del sismo de abril de 2010.

La fumarola está asociada con otras manifestaciones termales dentro de una superficie de poco más de una hectárea (unos $12,500 \text{ m}^2$). Estas manifestaciones incluyen conos de lodo secos con escaso vapor, fracturas humeantes y depósitos de talud también humeantes. La temperatura superficial dentro de esa área variaba de 100°C (cerca de la fumarola) a 55°C (temperatura promedio del suelo). Se observó también una vegetación de matorrales predominantemente verdes asociados a la superficie húmeda causada por la manifestación termal.

Después del primer reconocimiento de campo se realizó una nueva visita en la que se tomaron datos geológicos y estructurales en el área restante de la propuesta originalmente, hacia el sur de la fumarola. Se tomaron muestras de fluidos en las áreas adyacentes a la zona termal, así como de suelo, roca y gases para su

La fumarola parece relacionarse con la traza de una falla de dirección $\text{NW}30^\circ\text{-}40^\circ\text{SE}$ medida en campo (Fig. 3), la cual es parte de la estructura regional identificada como Falla Pescadores (Fig. 2), de edad pliocénica. En la zona de estudio esta falla es normal, pero a nivel regional presenta una componente de tipo lateral derecho.

Además de la falla mencionada, se midieron otras fallas y fracturas con rumbos NW-SE (de 30° hasta 70°) y NE-SW (de 10° a 30°) hasta N-S dentro del área estudiada.

El material en el que brota la fumarola corresponde a rocas totalmente degradadas e indica un intenso y prolongado intemperismo químico. Se trata de granodioritas y depósitos de talud alterados, con arcillas blancas

posterior análisis químico. También se midieron datos de temperatura a través del establecimiento de una rejilla térmica. Esta información aún se encuentra en proceso.

Finalmente, cabe mencionar que como otro subproducto del sismo de abril de 2010, un antiguo pozo perforado por la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos se destapó y estuvo descargando agua y vapor con temperaturas de 70 a 90°C durante unas dos semanas (Foto 2). Ese pozo se ubica al sur de la zona de manifestaciones termales y cerca de la zona conocida como Tulecheck. Pese a que esta zona fue explorada con dos pozos perforados igualmente en 2010, es recomendable reanudar su exploración con el objetivo de ubicar un yacimiento de temperatura intermedia que pudiera ser desarrollado con una planta de ciclo binario.



Foto 1. Vista de la fumarola.



Foto 2. Antiguo pozo fluyendo.

4. Conclusiones y recomendaciones

- Se identificó una nueva zona termal en la Sierra de Cucapah, consistente en suelos calientes, volcanes de lodo extintos y una fumarola de unos 30 metros de altura, esta última producida por el sismo del 4 de abril de 2010 con epicentro en la propia Sierra de Cucapah.
- El estudio geológico preliminar indica que la fumarola está asociada con la falla regional Pescaderos, de edad pliocénica y dirección NW-SE. También se identificaron otras manifestaciones termales, como volcanes de lodo extintos y suelos calientes. A reserva de lo que indiquen futuros estudios, la fumarola no apareció debido al sismo del 4 de abril de 2010, sino que este parece haberla reactivado.
- La geología preliminar permitió definir que hacia el oriente del área explorada hay predominancia de rocas ígneas de tipo principalmente granodiorítico, cortadas por diques cuarzo feldespáticos. Al oeste se aprecia un complejo metamórfico compuesto principalmente por pizarras, esquistos y gneis, así como rocas meta sedimentarias (calizas silicificadas) y conglomerados. Las rocas presentan un alto grado de fracturamiento.
- Se tomaron muestras de gases y suelos para análisis químico e interpretación geoquímica, y se estableció una serie de 50 puntos en los que se midió la temperatura en el suelo próximo a la fumarola para formar una rejilla térmica. Los resultados de estos análisis y mediciones aún están en proceso.

- Se recomienda continuar con los estudios de exploración en la zona, incluyendo estudios geológicos de mayor detalle, de geofísica, geoquímica, e hidrogeología para definir el modelo geológico conceptual de la zona y en su caso continuar con la perforación.
- También se recomienda reanudar la exploración en la relativamente cercana zona termal de Tulecheck, que puede contener recursos de temperatura intermedia o baja como lo sugiere el flujo de agua y vapor de un antiguo pozo perforado con otros fines.

Referencias

- Axen, G., 1995. Extensional segmentation of the main Gulf escarpment. Mexico and United States. *Geology*, 23, pp. 515-518.
- Axen, G., y H. Romero Espejel, 1994. Cambio de dirección en el buzamiento de los sistemas de fallamiento basal de la parte norte del escarpe principal del Golfo de California. Resúmenes de la Reunión 1994 de la Unión Geofísica Mexicana, *Geos*, 14, p. 74.
- Barnard, F.L., 1968. Structural Geology of the Sierra de los Cucapas, northeastern Baja California, Mexico. Faculty of Graduate School of the University of Colorado, Boulder, Colorado, Doctoral Thesis. Inédito.
- Gastil, G.R., R.P. Phillips and E.C. Allison, 1975. Reconnaissance geology of state of Baja California. *Geol. Soc. of Amer.*, Memoir 140. 170 p.
- Herzig, C.T., and D.C. Jacobs, 1994. Cenozoic volcanism and two-stage extensional in the Salton trough, southern California and northern Baja California. *Geology*, 22, pp. 991-994.
- Mitchell, A., and H.G. Reading, 1986. Sedimentation and Tectonics. In: G. Reading (ed.). *Environments and Facies*. 2nd ed., Backwell Scientific Publication, Oxford. 615 p.
- Mueller, K.J, and T.K. Rockwell, 1995. Late Quaternary activity of the Laguna Salada Fault in northern Baja California, Mexico. *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, 107, pp. 8-18.
- Stock, J.M and K.V. Hodges, 1989. Pre-Pliocene extension around the Gulf California and the transfer of Baja California the Pacific Plate. *Tectonics*, 8, pp. 99-115.
- Siem, M.E., 1992. The Structure and Petrology of Sierra El Mayor, northeastern Baja California, Mexico. San Diego State University, Master Thesis. Inédito.