

Biblio3W

REVISTA BIBLIOGRÁFICA DE GEOGRAFÍA
Y CIENCIAS SOCIALES
Universidad de Barcelona.
ISSN: 1138-9796.
Depósito Legal: B. 21.742-98
Vol. XXIII, núm. 1.241
5 de julio de 2018



CONTRIBUCIONES AL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS HIDROTERMALES SUBMARINOS SOMEROS EN MÉXICO

María Carolina Rodríguez-Uribe
rodriguezcaro@hotmail.com.

Francisco Javier Núñez-Cornú
pacornu77@gmail.com

Rosa María Chávez Dagostino
rchavezdagostino@yahoo.com.mx.

Centro de Sismología y Volcanología de Occidente, CUC
Departamento de Ciencias Biológicas, CUC
Universidad de Guadalajara

Contribuciones al estudio de los sistemas hidrotermales submarinos someros en México (Resumen)

Los sistemas hidrotermales submarinos someros son aquellos localizados en profundidades menores a 200 m, con claras diferencias de los sistemas profundos y generalmente relacionados con actividad volcánica, pero en México se han reportado sistemas hidrotermales someros relacionados a procesos de extensión tectónica, ubicados en Punta Mita, Bahía Concepción y Punta Banda. En este artículo se realiza una revisión bibliográfica de artículos científicos centrados en el estudio de sistemas hidrotermales submarinos someros de México, localizados en bases de datos multidisciplinarias, las cuales contienen artículos científicos de alta calidad. A nivel mundial, México se ubica en la antepenúltima posición de 24 países, con respecto a la publicación de artículos científicos de sistemas hidrotermales someros, a pesar de que el primer artículo se publicó en 1978, el 93.75% de las publicaciones corresponden al período 2000-2017. Mientras que las líneas de investigación dominantes son geoquímica y geotermia, con el 62.5% y 25%, respectivamente.

Palabras clave: Sistemas hidrotermales someros, geoquímica, geotermia, México

Contributions to the study of shallow-waters submarine hydrothermal systems in Mexico (Abstract)

The shallow-water submarine hydrothermal systems are those located in depths less than 200 m, with clear differences of the deep-sea systems and generally related to volcanic activity, but in Mexico there have been reported shallow-water hydrothermal systems related to tectonic extension processes, located in Punta Mita, Bahía Concepción and Punta Banda. In this paper, a bibliographic review of scientific papers focused on the study of shallow-water hydrothermal systems of Mexico is carried out, downloaded of multidisciplinary databases, which contain high-quality scientific papers. Worldwide, Mexico is in the second-to-last position of 24 countries, with respect to the publications of papers on

Recibido: 17 de abril de 2018
Aceptado: 16 de mayo de 2018

shallow-water hydrothermal systems, despite the fact that the first paper was published in 1978, the 93.75% of the total publications occurs in the period 2000-2017. The dominant research lines are geochemistry and geothermal, with 62.5% and 25%, respectively.

Key words: Shallow-water hydrothermal systems, geochemistry, geothermal, Mexico

Los límites de placas tectónicas concentran la mayor actividad sísmica del mundo¹ y dentro del marco de la tectónica global, México se encuentra sobre cinco placas tectónicas: 1) La placa de Norteamérica; 2) La placa del Pacífico; 3) La placa de Rivera; 4) La placa de Cocos y 5) La placa del Caribe² (figura 1), concentrando la mayor parte de la extensión continental de México en la placa Norteamericana, mientras que la península de Baja California se ubica en la del Pacífico y la parte del sur de Chiapas en la del Caribe. Las dos placas restantes, Cocos y Rivera, son placas oceánicas ubicadas bajo el océano Pacífico³. Así, la parte continental de México se caracteriza por una constante actividad sísmica, la cual tiene una relación directa con la zona de subducción del Pacífico⁴ en conjunto con las zonas de fracturamiento cortical que lo bisectan en varias direcciones, la cual viene acompañada por fenómenos geológicos, tales como fallamiento y volcanismo⁵, además del proceso de separación de la península de Baja California respecto del continente⁶.

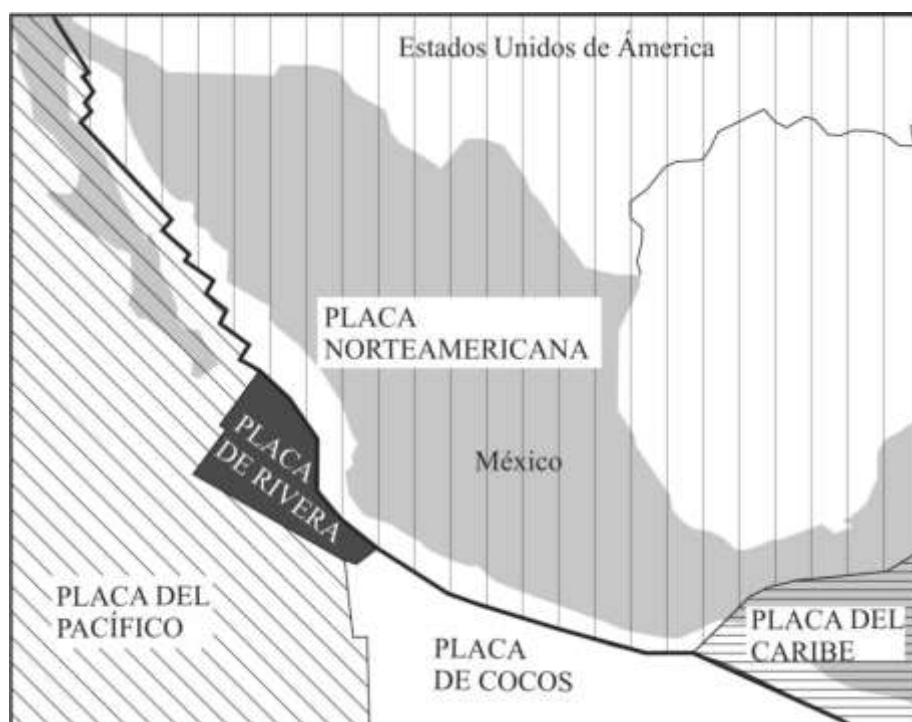


Figura 1. Mapa de las cinco placas tectónicas sobre las cuales se ubica México.
Fuente: Elaboración propia, modificado de Lugo-Hubp 1990.

¹ Franco *et al.* 2007

² Lugo-Hubp 1990

³ Kostoglodov y Pacheco 1999

⁴ La zona de subducción de Jalisco, en el océano Pacífico, es la encargada de la deformación tectónica de la corteza del suroeste de México (Bandy *et al.*, 1999), debido a la subducción de las placas de Cocos y Rivera debajo de la litosfera norteamericana a lo largo de la Fosa Mesoamericana (Pardo y Suárez, 1995).

⁵ Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego 1990

⁶ Lugo-Hubp 1990

El interior de la Tierra conserva una gran cantidad de calor, el cual escapa por convección⁷ y al contemplar la complejidad tectónica del Pacífico mexicano es fácil deducir que se encontrarán diversas manifestaciones físicas sobre su lecho marino por donde saldrá el calor. Un ejemplo son los sistemas hidrotermales, que se pueden encontrar en un amplio rango de profundidad, desde la zona intermareal hasta la abisal⁸, clasificándose en dos fenómenos distintos: profundos (>200 m) y someros (<200 m)⁹. Tarasov *et al.* (2005), señalan que existen diferencias muy puntuales entre ambos fenómenos, como lo son: una proporción más alta de taxones obligados de ventilas (*vent obligate taxa*), predominio de formas simbióticas, la falta de diatomeas, esteras bacterianas y fitoplancton, menor riqueza de especies, el desarrollo de grandes estructuras de sulfuros, mayor función de las ventilas activas en la estructura espacial de las comunidades, una pronunciada zonalidad concéntrica y vertical, mayor proporción de especies endémicas y biomasa de macrofauna, así como la replicación de un conjunto de taxones dominantes en comunidades dentro de grandes regiones reproducidas a través de la sucesión en ventilas recién formadas, todo esto, en los sistemas hidrotermales submarinos profundos en comparación con los someros. Ambos fenómenos se pueden encontrar en dorsales oceánicas, arcos de islas y mares interiores¹⁰.

A nivel mundial las investigaciones científicas han estado inclinadas hacia los sistemas hidrotermales profundos¹¹. El descubrimiento de la actividad hidrotermal profunda se remonta a 1963 cuando encontraron charcas de salmueras con temperaturas superiores a 44°C en profundidades que excedían los 2000 m en la zona de expansión oceánica del Mar Rojo, en el sitio denominado “Atlantis II Deep”¹², y desde entonces el interés de la comunidad científica se centró en los sistemas hidrotermales profundos dejando de lado a los sistemas someros¹³. Los sistemas hidrotermales someros pueden considerarse como laboratorios naturales para el estudio de la interacción entre los fluidos hidrotermales (agua y gas), los sedimentos, las rocas del fondo marino y el agua de mar¹⁴, y por lo general, tienen una mayor accesibilidad y relativa facilidad de muestreo¹⁵, la comunidad científica no les prestó mucha atención sino hasta estas últimas dos décadas.

El estudio de los sistemas hidrotermales submarinos someros puede ayudar a la comprensión de diversos procesos biogeoquímicos, a establecer las diferencias entre la actividad hidrotermal continental y submarina, sobre la formación de yacimientos minerales y del ciclo geoquímico de los elementos en los océanos¹⁶. Por lo general, están relacionados con la actividad volcánica costera¹⁷, pero también se pueden encontrar en márgenes continentales afectados por procesos activos de extensión tectónica¹⁸, como es el caso de México, donde se

⁷ Kostoglodov y Pacheco 1999

⁸ Tarasov *et al.* 2005

⁹ Esta clasificación se encuentra ampliamente descrita en las revisiones de Prol-Ledesma *et al.* 2005, Tarasov *et al.* 2005 y Prol-Ledesma y Canet 2014.

¹⁰ Tarasov *et al.* 2005

¹¹ Tarasov *et al.* 2005, Canet y Prol-Ledesma 2006 y Couto *et al.* 2015

¹² Degens y Ross, 1969

¹³ A pesar de que Tarasov *et al.* (2005) destacan que antes de los años 80's ya se habían notado algunos sistemas hidrotermales someros por Zelenov (1972), Kussakin (1976), Gallardo *et al.* (1977), Vidal *et al.* (1978) y Lukin (1979), el interés de la comunidad científica se dirigió al estudio de los sistemas profundos.

¹⁴ De acuerdo con Canet y Prol-Ledesma 2006, los ejemplos reportados por Fitzsimons *et al.* 1997 Botz *et al.* 1999, Pichler *et al.* 1999, Prol-Ledesma *et al.* 2004, Chen *et al.* 2005, Forrest *et al.* 2005 y Villanueva-Estrada *et al.* 2005 y 2006.

¹⁵ Canet y Prol-Ledesma 2006

¹⁶ Prol-Ledesma y Canet 2014

¹⁷ Tarasov *et al.* 2005

¹⁸ Prol-Ledesma y Canet 2014

conoce un sitio en Punta Mita¹⁹ y dos sitios en las costas de la Península de Baja California: uno en Punta Banda²⁰ y otro en Bahía Concepción²¹.

El objetivo de este artículo es realizar un análisis de la información existente sobre los sistemas hidrotermales submarinos someros de México con el fin de determinar cuáles son las líneas de investigación dominantes y que aspectos aún permanecen desconocidos de estos sistemas hidrotermales en México.

Métodos

La búsqueda bibliográfica para esta revisión consistió únicamente de documentos primarios²² (artículos científicos originales). Se utilizó la base de datos multidisciplinaria *ISI Web of Knowledge*, ya que es un sistema integrado basado en la Web que ofrece plataforma de contenido de alta calidad y las herramientas para acceder, analizar y gestionar información de la investigación²³. Ya en esta plataforma la búsqueda se realiza a través de Web of Science (WOS)²⁴ que incluye más de 61 millones de registros de las principales publicaciones, actas de congresos y libros de ciencias, ciencias sociales y arte y humanidades para encontrar investigación de alta calidad más relevante por área de interés, incluye los indexes SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, BKCI-S, BKCI-SSH y ESCI. Posteriormente se amplió la búsqueda a todas las bases de datos de *ISI Web of Knowledge*, las cuales son: i) WOS, ii) Derwent Innovations Index, iii) KCI – Korean Journal Database, iv) Russian Science Citation Index y v) SciELO Citation Index. También se utilizó el buscador “google académico” y los artículos localizados se obtuvieron de bases de datos con acceso o se solicitaron directamente a los autores.

Las palabras claves utilizadas en inglés fueron: shallow-water vents, shallow-water hydrothermal systems, shallow submarine hydrothermal vents y en español: ventilas someras, sistemas hidrotermales someros, ventilas hidrotermales submarinas someras, en tema y título, a partir de 1969, que es cuando se publica el primer artículo sobre actividad hidrotermal submarina en la zona de expansión oceánica del Mar Rojo²⁵ y hasta febrero de 2018.

Resultados

A nivel global se localizaron 426 artículos científicos en WOS siguiendo las palabras claves, de los cuales solo el 1.18% corresponden a investigaciones de sistemas hidrotermales someros en México (figura 2), posicionándolo en el antepenúltimo lugar de 24 países de la producción científica mundial, siendo Estados Unidos de Norteamérica el primer productor de información científica sobre sistemas hidrotermales someros en el mundo con el 22.58%.

¹⁹ Núñez-Cornú *et al.* 2000

²⁰ Vidal *et al.* 1978

²¹ Prol-Ledesma *et al.*, 2004

²² Guirao-Goris *et al.* 2008

²³ Thompson Reuters, Web of Science, consultado el 02/02/2018 en <https://www.webofknowledge.com/>

²⁴ Web of Science Core Collection, guía de referencia rápida, consultado el 02/02/2018 en http://wokinfo.com/media/pdf/wos-corecoll_qrc_es.pdf

²⁵ Degens y Ross 1969

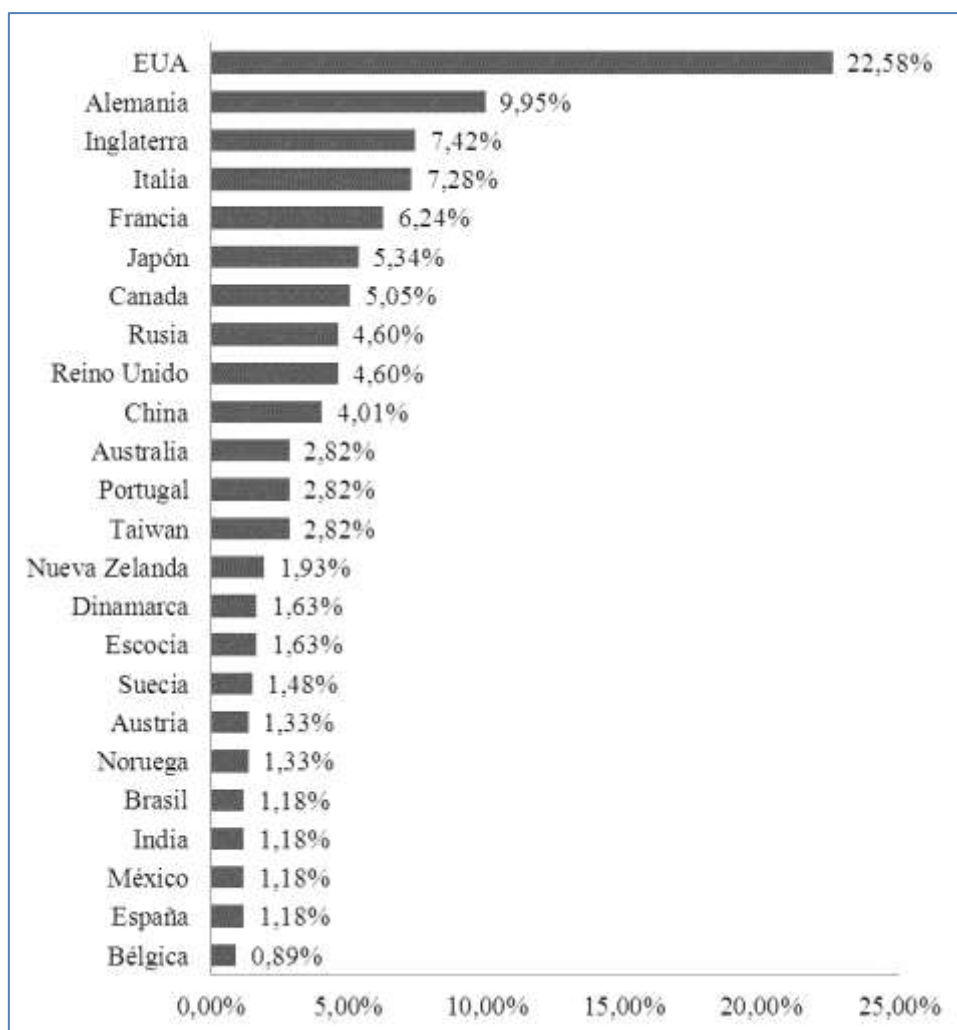


Figura 2. Porcentaje de producción de artículos científicos enfocados en los sistemas hidrotermales submarinos someros en el mundo por país. El eje de las [x] indica el porcentaje de producción científica y el eje de las [y] el país. Fuente: Elaboración propia a partir de los 426 artículos encontrados en WOS.

También se observa que en estas dos últimas décadas la producción científica de artículos concernientes a investigaciones sobre sistemas hidrotermales someros en el mundo ha aumentado paulatinamente (figura 3), de seis artículos en el año de 1997 a 36 artículos en el 2017.

Para México se encontraron 48 artículos de todas las bases de datos consultadas (figura 4), los cuales tratan sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en México, principalmente de tres sitios relacionados con procesos activos de extensión tectónica, los cuales son Punta Mita en Nayarit, Punta Banda y Bahía Concepción en la Península de Baja California, además de Los Cabos y Puertecitos, también en la Península de Baja California. Bahía Concepción resultó el sitio con mayor producción científica primaria con 18 artículos, mientras que Los Cabos y Puertecitos tuvieron las menores con dos y un artículos, respectivamente, esto debido a que el sitio de estudio en Los Cabos se descubre a partir del 2006²⁶ y el primer artículo de Puertecitos sobre sistemas hidrotermales someros es del 2017²⁷.

²⁶ López-Sánchez *et al.* 2006

²⁷ Arellano-Ramírez *et al.* 2017

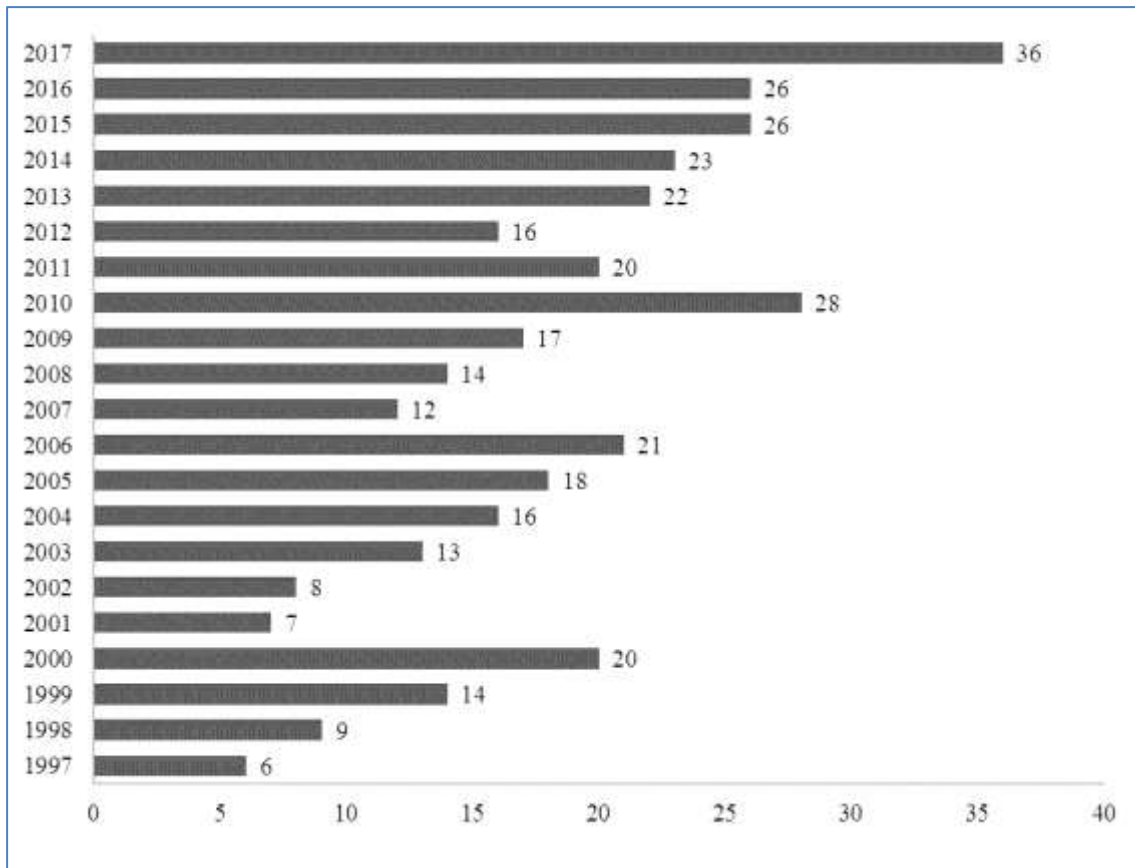


Figura 3. Porcentaje de producción de artículos científicos enfocados en los sistemas hidrotermales submarinos someros en el mundo por año. El eje de las [x] indica el número de artículos científicos y el eje de las [y] el año.

Fuente: Elaboración propia a partir de los 426 artículos encontrados en WOS.

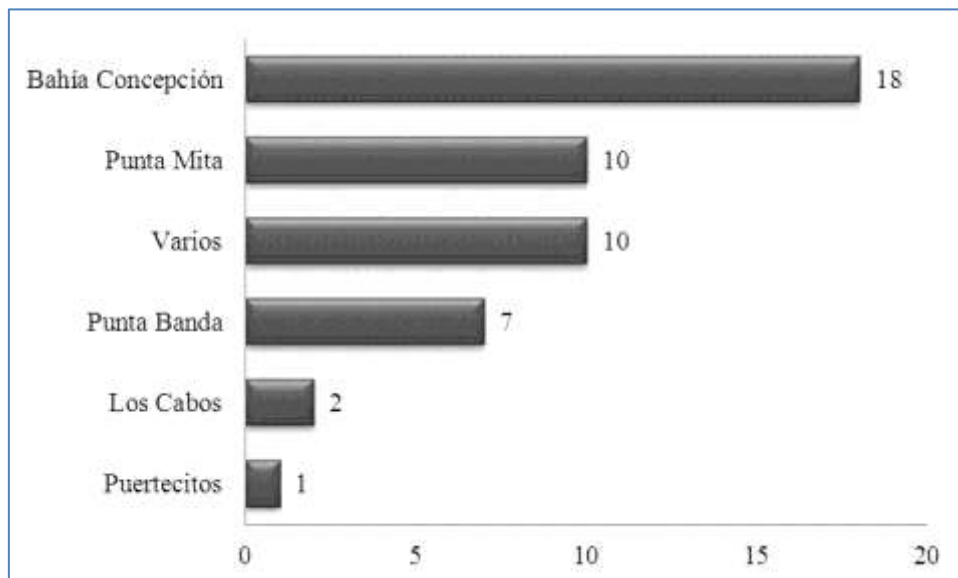


Figura 4. Artículos científicos sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en México por sitio. Varios indican artículos que incluyen dos o más de los sitios estudiados en México. El eje de las x indica el número de artículos científicos y el eje de las y el sitio donde se ubican estos sistemas hidrotermales estudiados en México.

Fuente: Elaboración propia a partir de los 48 artículos encontrados en todas las bases de datos consultadas.

La investigación científica sobre los sistemas hidrotermales someros en México surge en 1978 (figura 5), cuando Vidal *et al.* (1978) determinaron la composición química de los fluidos hidrotermales en Punta Banda, Baja California, aproximadamente a 400 m de la costa y a una profundidad de 30 m bajo el nivel del mar, posteriormente en 1981 y 1982 se publican dos artículos más sobre este sitio en Punta Banda²⁸ y después de esto se detiene la producción científica sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en México, hasta el año 2000 cuando Canet *et al.* (2000) y Núñez-Cornú *et al.* (2000) publican sobre aspectos geoquímicos y de sismicidad, respectivamente, de un sitio ubicado sobre la fisura de “Las Coronas” en Punta Mita, Nayarit. Entre el año 2000 y 2017 se produce el 93.75% de información primaria de estos sistemas hidrotermales submarinos someros en México. De igual manera, el 93.75% del total de artículos analizados fueron publicados por autores mexicanos y el restante el 6.25% corresponde a tres artículos de autores extranjeros: Breuer y Pichler (2013) de Alemania, mientras que Forrest *et al.* (2005) y Price y Giovannelli (2017) de Estados Unidos de Norteamérica.

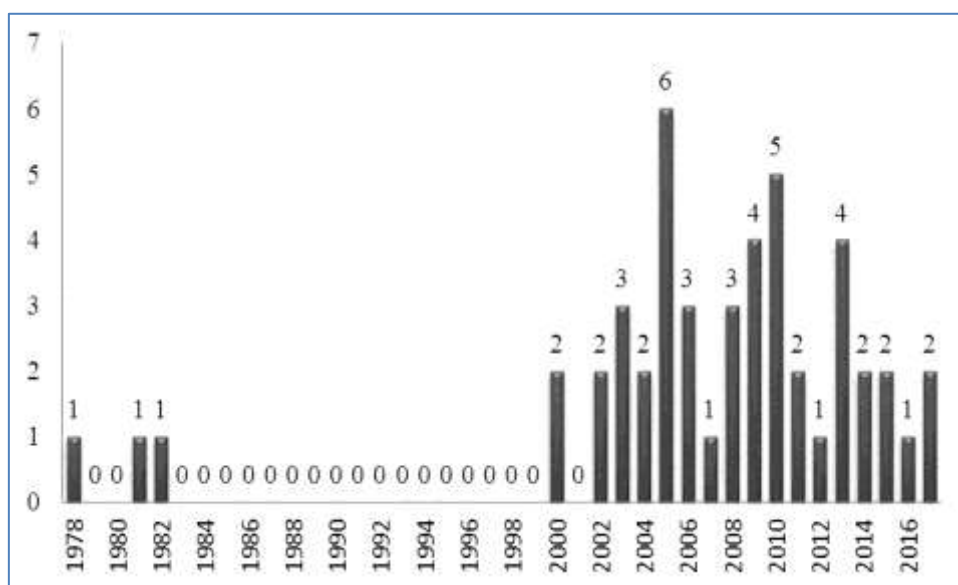


Figura 5. Producción de artículos científicos sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en México por año. El eje de las x indica el año de publicación y el eje de las y el número de artículos científicos.

Fuente: Elaboración propia a partir de los 48 artículos encontrados en todas las bases de datos consultadas.

La información sintetizada de los 48 artículos sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en México, encontrados en todas las bases de datos consultadas hasta febrero de 2018, se muestran en los cuadros 1-6, clasificados por área de estudio. Del análisis de estas publicaciones, se obtiene que las líneas de investigación predominantes pertenecen a las áreas del conocimientos siguientes: geoquímica con el 62.5%, geotermia con el 25%, geología el 6.25%, biología 4.17% y por último sismicidad con el 2.08% (figura 6).

²⁸ Vidal y Vidal 1981 y Vidal *et al.* 1982



Figura 6. Esquema con las principales líneas de investigación en los sistemas hidrotermales submarinos someros en México.

Fuente: Elaboración propia a partir de los 48 artículos encontrados en todas las bases de datos consultadas.

Cuadro 1

Síntesis de los siete artículos científicos existentes sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en Punta Banda, Baja California.

Año	Autor(es)	Título	Aporte	Área de conocimiento
1978	Vidal, V.M.V., Vidal, F.V., Isaacs, J.D.	Coastal Submarine Hydrothermal Activity off Northern Baja California	Determinaron que los fluidos termales están enriquecidos en SiO ₂ , HCO ₃ ⁻ , Ca, K, Li, B, Ba, Rb, Fe, Mn, As y Zn, y reducidos en Cl, Na, SO ₄ ²⁻ , Mg, Cu, Ni, Cd, Cr y Pb, y que los principales precipitados son pirita y yeso.	Geoquímica
1981	Vidal, V.M.V., Vidal, F.V.	Coastal Submarine Hydrothermal Activity off Northern Baja California 2. Evolutionary History and Isotope Geochemistry	Desarrollaron un modelo geoquímico del sistema hidrotermal submarino de Punta Banda con nuevos datos geoquímicos. La mineralización y deposición de pirita resulta de la formación de complejos de hierro ferroso con azufre y sulfuro elemental. Esta actividad hidrotermal es fuente de Si, Ca ²⁺ , elementos traza y es un sumidero de agua de mar.	Geoquímica
1982	Vidal, F.V., Welhan, J., Vidal, V.M.V.	Stable isotopes of helium, nitrogen and carbon in a costal submarine hydrothermal system	La composición del gas termal es principalmente N ₂ (56.1 %) y CH ₄ (43.5%). El He se deriva de la desintegración radiactiva de U y Th en la corteza continental. Este sistema hidrotermal no es un vehículo efectivo para la desgasificación del manto, primordialmente de He.	Geoquímica
2004	Suárez-Arriaga, M.C.	Evaluación del potencial, biogénesis y características esenciales de los sistemas	El potencial geotérmico preliminar calculado de Punta Banda es: 51 bar, 220°C, 574 MJ/m ³ (Densidad de energía), 231.8 x10 ¹⁵ J (Energía disponible), 245 MW _t /km ³ (Potencial	Geotermia

		geotérmicos submarinos en México	energético), y el geotermoeléctrico: 10 km ³ y 25 MW _e . Concluyendo que Punta Banda tiene un potencial geotérmico considerable.	
2005	Suárez-Bosche, N.E., Suárez-Arriaga, M.C., Samaniego, F., Delgado, V.	Fundamental Characteristics of Hydrothermal Submarine Systems and Preliminary Evaluation of its Geothermal Potential in Mexico	En Punta Banda midieron temperaturas de 140°C a 30 m de profundidad y a menos de 0.5 km de la costa, sitio accesible para la explotación. Recomendando la construcción de un sistema dual de extracción por inyección, simple y barato.	Geotermia
2011	Arango-Galván, C., Prol-Ledesma, R.M., Flores-Márquez, E.L., Canet, C., Villanueva-Estrada, R.E.	Shallow submarine and subaerial, low-enthalpy hydrothermal manifestations in Punta Banda, Baja California, Mexico: Geophysical and geochemical characterization	Los fluidos geotérmicos tienen una importante componente de agua meteórica, y son similares en las manifestaciones subaéreas e intermareales, pero difieren de los submarinos. El sistema hidrotermal submarino de Punta Banda no se considera como el mejor sitio para futuras exploraciones en Punta Banda, siendo el área de Agua Caliente (subaéreo) el recomendado.	Geotermia
2014	Suárez-Arriaga, M.C., Bundschuh, J., Samaniego, F.	Assessment of submarine geothermal resources and development of tools to quantify their energy potentials for environmentally sustainable development	El potencial geotérmico submarino costero por km ³ de roca en Punta Banda resultó en 245 MW _T /km ³ . Los recursos geotérmicos marinos, incluidos los someros, pueden proporcionar una porción significativa de suministro de energía global a futuro.	Geotermia

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2
Síntesis de los diez artículos científicos existentes sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en Punta Mita, Nayarit.

Año	Autor(es)	Título	Aporte	Área de conocimiento
2000	Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., Melgarejo, J.C.	El sistema hidrotermal de Punta Mita (México): Un ejemplo de depósito exhalativo submarino actual.	Determinaron que la mineralización consiste de pirita, celadonita, heulandita, analcima, calcita, aragonito, carbonatohidroxilapatito, sulfuros de hierro, cinabrio, galena, barita, apatito y baritocalcita. Y que la baja temperatura de los fluidos (~80°C) explica la escasa capacidad para transportar metales, por lo que la asociación Hg-Ba-Pb es congruente con otros tipos de depósitos de baja temperatura.	Geoquímica
2000	Núñez-Cornú, F.J., Prol-Ledesma, R.M., Cupul-Magaña, A., Suárez-Plascencia, C.	Near shore submarine hydrothermal activity in Bahía Banderas, western Mexico.	Los elementos traza tuvieron bajas concentraciones de Cu (0.001%), Zn (0.004%), Ba (0.003-0.03%) y V (11-52 ppm). La presencia de actividad hidrotermal y sísmica apoya el supuesto de una tectónica activa en el área de Bahía de Banderas.	Sismicidad
2002	Prol-Ledesma, Canet, C., Alfonso, P., Melgarejo, J.C.	Biogenic vs geochemical precipitation of minerals in the submarine hydrothermal vents of Punta Mita, Mexico	Determinaron que estas ventilas tienen abundante deposición de calcita y pirita, y en menor cantidad barita, carbonato hidroxilapatito, cinabrio y sulfuro de Tl, y que la deposición de calcita y pirita es un proceso biogénico.	Geoquímica
2002	Prol-Ledesma, R.M., Canet, C.	Cinnabar deposition in submarine coastal hydrothermal vents, Pacific margin of	El cinabrio se encuentra en estrecha asociación con la pirita y el sulfuro de talio. El gas está compuesto principalmente N ₂ (>80%) y CH ₄ (~12%), conteniendo solo	Geoquímica

		central Mexico	pequeñas cantidades de He, Ar, H ₂ , CO ₂ , H ₂ S y O ₂ . Esta actividad hidrotermal está relacionada con la circulación profunda de agua meteórica de la costa calentada por convección.	
2003	Prol-Ledesma, R.M., Canet, C., Tolson, G., García-Palomo, A., Miller, R., Rubio, M.A., Torres de León, R., Huicochea-Alejo, J.S.	Basaltic volcanism and submarine hydrothermal activity in Punta Mita, Nayarit, Mexico	De acuerdo con los resultados isotópicos, el agua hidrotermal resulta de una mezcla entre agua meteórica y marina, mientras que los isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C} = -42\%$) indican un origen termógeno del metano. Identificaron tres fases tectónicas en el área de Punta Mita: dos compresivas y una extensional, esta última esta activa desde el Mioceno tardío y la vinculan con la generación de este sistema hidrotermal.	Geoquímica/ Geología
2003	Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., Megarejo, J.C., Reyes, A.	Methane-related carbonates formed at submarine hydrothermal springs: a new setting for microbially-derived carbonates?	De acuerdo con los resultados isotópicos ($\delta^{13}\text{C} = -39\%$), la precipitación de calcita en estas ventilas se debe a la oxidación microbiana del metano. Este sistema de ventilas es un caso atípico de precipitación de carbonatos relacionado con el metano, en un ambiente hidrotermal.	Geoquímica
2005	Alfonso, P., Prol-Ledesma, R.M., Canet, C., Melgarejo, J.C. y Fallick, A.	Isotopic evidence for biogenic precipitation as a principal mineralization process in coastal gasohydrothermal vents, Punta Mita, Mexico.	Casi todos los valores de $\delta^{34}\text{S}$ medidos en la pirita oscilan de -13.3‰ a -4.9‰, mientras que los valores $\delta^{13}\text{C}$ de calcita varían de 0‰ a -39‰. La calcita y pirita fueron depositadas mediante actividad microbiana. La edad obtenida de los carbonatos, 40702 años, puede representar la edad mínima para que el metano genere carbonatos en estas ventilas.	Geoquímica
2006	Villanueva, R.E., Prol-Ledesma, R.M., Torres-Vera, M.A., Canet, C., Armenta, M.A., de Ronde, C.E.J.	Comparative study of sampling methods and <i>in situ</i> and laboratory analysis for shallow-water submarine hydrothermal systems	El mejor método es el de jeringas, aunque si se requieren mayores volúmenes la botella de dos válvulas es aceptable. El análisis de bicarbonatos es mejor <i>in situ</i> , mientras que para el Si es mejor en laboratorio, el resto de los componentes se pueden medir tanto en campo como en laboratorio.	Geoquímica
2010	Prol-Ledesma, R.M., Canet, C., Villanueva-Estrada, R.E., Ortega-Osorio, A.	Morphology of pyrite in particulate matter from shallow submarine hydrothermal vents	La materia particulada contiene diversas formas de cristales de pirita como globulares, cubicas, octaédricas, piritoédricas, pero no framboidales. La pirita se forma como consecuencia de la reducción del sulfato microbiano. Con base en la morfología de la pirita infieren que existen grandes variaciones en la fugacidad del azufre.	Geoquímica
2011	Fernández de la Vega-Márquez, F., Prol-Ledesma, R.M.	Imágenes Landsat TM y modelo digital de elevación para la identificación de lineamientos y mapeo litológico en Punta Mita (México)	Aplican un análisis morfológico y técnicas de realce digital para obtener un mapa geológico a detalle de Punta Mita. La actividad hidrotermal de Punta Mita se presenta a lo largo de fracturas que corresponden con el sistema de lineamiento N 30° - 40° E, el cual es uno de los predominantes en el área.	Geología

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3
Síntesis de los 18 artículos científicos existentes sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en Bahía Concepción, Baja California Sur.

Año	Autor(es)	Título	Aporte	Área de conocimiento
2004	Prol-Ledesma, R.M., Canet, C., Torres-Vera, M.A., Forrest, M.J., Armienta, M.A.	Vent fluid chemistry in Bahía Concepción coastal submarine hydrothermal system, Baja California Sur, Mexico	Determinaron que el agua termal esta enriquecida en Ca, As, Hg, Mn, Ba, HCO ₃ , Li, Sr, B, I, Cs, Fe y Si, y concentraciones más bajas de Cl, Na, SO ₄ y Br en comparación con el agua de mar. E integraron estos resultados en un modelo conceptual hidrogeológico que describe la formación de los fluidos termales.	Geoquímica
2005	Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., Torres-Alvarado, I., Gilg, H.A., Villanueva, R.E., Lozano, R.	Silica-carbonate stromatolites related to coastal hydrothermal venting in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico.	Encontraron estromatolitos columnares, bulbosos y lisos ondulados de hasta 10 cm de espesor. Los cristales de calcita están enriquecidos en ¹³ C ($\delta^{13}C_{V-PDB} = +3.0\%$ y $+9.3\%$), y los valores de $\delta^{18}O_{V-PDB}$ son de -10.0% y -6.6% . No encontraron indicación de influencia biogénica en la precipitación de calcita.	Geoquímica
2005	Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., Proenza, J.A., Rubio-Ramos, M.A., Forrest, M.J., Torres-Vera, M.A., Rodríguez-Díaz, A.A.	Mn-Ba-Hg mineralization at shallow submarine hydrothermal vents in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico	En la parte intermareal encontraron óxido de manganeso, barita, calcita, carbonato de sílice y bario, y en el área de ventilas difusas oxihidróxido de hierro, ferrihidrita, cinabrio y pirita. La mineralización activa de este sitio puede considerarse un deposito transicional epidermal submarino somero.	Geoquímica
2005	Forrest, M.J., Ledesma-Vázquez, J., Ussler, W., III, Kulongoski, J.T., Hilton, D.R., Greene, H.G.	Gas geochemistry of a shallow submarine hydrothermal vent associated with the El Requesón fault zone, Bahía Concepción, Baja California Sur, México	Los principales componentes del gas son N ₂ (53%), CO ₂ (43%) y CH ₄ (2.2%). La descomposición termal de los sedimentos orgánicos y ricos en carbonatos, junto con fuentes atmosféricas y del manto son las fuentes de la composición del gas.	Geoquímica
2005	Villanueva-Estrada, R.E., Prol-Ledesma, R.M., Torres-Alvarado, I.S., Canet, C.	Geochemical Modeling of a Shallow Submarine Hydrothermal System at Bahía Concepción, Baja California Sur, México	El agua termal esta enriquecida en Ca, As, Hg, Mn, Ba, HCO ₃ , Li, Sr, B, I, Cs, Fe y Si, con respecto al agua de mar. La composición de los fluidos hidrotermales está condicionada por la interacción de la circulación profunda de agua termal con los sedimentos y por la mezcla con el agua de mar.	Geoquímica
2008	Camprubí, A., Canet, C., Rodríguez-Díaz, A.A., Prol-Ledesma, R.M., Blanco-Florado, D., Villanueva, R.E., López-Sánchez, A.	Geology, ore deposits and hydrothermal venting in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico	Muestran el entorno geológico regional y local de Bahía Concepción, y los depósitos de manganeso en Baja California Sur. El área de Bahía Concepción ha registrado actividad desde el Plioceno y los sistemas de fallas normales noroeste-sureste actuaron como canales para los fluidos hidrotermales.	Geología
2009	Estradas-Romero, A., Prol-Ledesma, R.M., Zamudio-Resendiz, M.E.	Relación de las características geoquímicas de fluidos hidrotermales con la abundancia y riqueza de especies del fitoplancton de Bahía Concepción, Baja California Sur, México	El nitrato y amonio, en las ventilas fueron de 1.61 μ M y 88-09-648-95 μ M, respectivamente, mientras que en el área de control fue de 0.02 a 0.07 μ M y de 17.03-508 μ M. los sulfatos (29.9 a 35.79 mM) y el hierro (0.18-0.72 μ M) fueron más altos con respecto al agua de mar. Los fosfatos estuvieron dentro del intervalo para aguas oceánicas. El área de estudio presentó un estado de eutrofia, atribuido a la influencia de las	Geoquímica

			descargas hidrotermales.	
2009	Hiriart Le Bert, G.	Potencial energético del Alto Golfo de California	Aprovechando las anomalías geotérmicas con tecnología binaria y pozos de pequeña profundidad en las costas de la península de Baja California se podrían generar más de 50 MW. Existe un enorme potencial energético en las emisiones submarinas, en esta evaluación no consideraron los impactos ambientales ni los métodos constructivos.	Geotermia
2009	Rodríguez-Meza, G.D., Shumilin, E., Sapozhnikov, D., Méndez-Rodríguez, L., Acosta-Vargas, B.	Evaluación geoquímica de elementos mayoritarios y oligoelementos en los sedimentos de Bahía Concepción (B.C.S., México)	El material de la costra, que rodea el manantial de playa Santispac, tiene concentraciones elevadas de As (1650 mg kg^{-1}), la cual puede estar asociada a la descarga del fluido hidrotermal, altamente enriquecido en este elemento y su coprecipitación con los minerales inorgánicos que forman la costra. La Bahía Concepción tiene un ambiente prístino.	Geoquímica
2010	Hiriart, G., Prol-Ledesma, R.M., Alcocer, S., Espíndola, S.	Submarine Geothermics; Hydrothermal Vents and Electricity Generation	Probar prototipos de generación de electricidad en ventilas del sistema hidrotermal submarino en Bahía Concepción. De una ventila hidrotermal se puede producir hasta 20 MW de electricidad, con este método simple que no afecta el ecosistema. La tecnología presentada en este artículo no requiere la perforación de pozos ni tocar las ventilas, así que en un futuro este prototipo será una alternativa para un uso limpio y económico de este recurso.	Geotermia
2010	Leal-Acosta, M.L., Shulmilin, E., Mirlean, N., Sapozhnikov, D., Gordeev, V.	Arsenic and Mercury Contaminations of Sediments of Geothermal Springs, Mangrove Lagoon and the Santispac Bight, Bahía Concepción, Baja California Peninsula	Determinar la composición de los sedimentos de la zona de manantiales geotérmicos intermareales y del área adyacente de Playa Santispac. Encontraron altas concentraciones de As y Hg en los sedimentos de las fuentes geotérmicas, $13-111 \text{ mg kg}^{-1}$ y $0.55-25.2 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, y probablemente estén afectando el ecosistema marino de la parte adyacente de Bahía Concepción.	Geoquímica
2010	Villanueva-Estrada, R.E., Prol-Ledesma, R.M., Canet, C.	Dissolve arsenic in shallow hydrothermal vents.	Caracterizar el As disuelto en las ventilas hidrotermales someras de Bahía Concepción. El As está presente en forma reducida, de acuerdo con el modelo de especiación. La mezcla de un fluido reductor (fluido termal) con uno oxidante (agua de mar) podría formar óxidos de Fe y Mn que absorben As.	Geoquímica
2012	Villanueva-Estrada, R.E., Prol-Ledesma, R.M., Rodríguez-Díaz, A.A., Canet, C., Torres-Alvarado, I.S., González-Partida, E.	Geochemical processes in an active shallow submarine hydrothermal system, Bahía Concepción, México: mixing or boiling?	Determinar un modelo geotérmico del sistema hidrotermal con el fin de encontrar el origen de este sistema. Se descarta la ebullición. La composición del agua termal consiste de 20-30% de fluido altamente salino y de 70-80% de fluido acuoso de origen meteórico.	Geoquímica
2013	Breuer, C., Pichler, T.	Arsenic in marine hydrothermal fluids	Presentar los datos de As en sistemas hidrotermales profundos y someros, incluido el de Bahía Concepción. La concentración de As en las ventilas de Bahía Concepción fue de $2016 \mu\text{g l}^{-1}$ del	Geoquímica

			miembro final. Las concentraciones de As en los sistemas someros fueron mayores que las de los sistemas profundos, debido a las diferentes condiciones fisicoquímicas.	
2013	Leal Acosta, M.L., Shumilin, E., Mirlean, N.	Sediment geochemistry of marine shallow-water hydrothermal vents in Mapachitos, Bahía Concepción, Baja California peninsula, Mexico	Determinar el grado de influencia de las ventilas hidrotermales en la composición química de los sedimentos superficiales. Encontraron: Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cs, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Rb, S, Ti, U, V, Zn, C _{org} , C _{inorg} en las muestras de sedimentos. Elementos potencialmente tóxicos: As (60 mg kg ⁻¹) y Hg (21849 µg Kg ⁻¹) fueron medidos en sedimentos de las ventilas, mientras que sedimentos del área adyacente tuvieron concentraciones bajas de As y Hg, 3.7 mg kg ⁻¹ y 52 µg Kg ⁻¹ , respectivamente.	Geoquímica
2013	Leal-Acosta, M.L., Shumilin, E., Mirlean, N., Delgadillo-Hinojosa, F., Sánchez-Rodríguez, I.	The impact of marine shallow-water hydrothermal venting on arsenic and mercury accumulation by seaweed <i>Sargassum sinicola</i> in Concepcion Bay, gulf of California	Evaluar las concentraciones de As y Hg en los fluidos hidrotermales y en las aguas de la bahía, y el impacto de estos en los sedimentos y en las algas <i>Sargassum sinicola</i> . Pequeñas cantidades de As y Hg precipitan en el área de ventilas, el resto se extiende a gran distancia de la fuente. El alga <i>Sargassum sinicola</i> acumula grandes cantidades de As (> 600 mg kg ⁻¹) y no acumulan Hg significativamente.	Geoquímica
2013	Villanueva-Estrada, R.E., Prol-Ledesma, R.M., Rodríguez-Díaz, A.A., Canet, C., Armienta, M.A.	Arsenic in hot springs of Bahía Concepción, Baja California Peninsula, México	Determinar las concentraciones de As en fluidos hidrotermales de ventilas, en Bahía Concepción. La mezcla de los fluidos hidrotermales con agua de mar produce la oxidación del As. La absorción de As se da en la calcita y en oxihidróxidos de Fe.	Geoquímica
2016	Leal-Acosta, M.L., Prol-Ledesma, R.M.	Caracterización geoquímica de las manifestaciones termales intermareales de Bahía Concepción en la Península de Baja California	El agua hidrotermal esta enriquecida en Ca, Mn, Ba, Br, B, As, Li y Fe y pobre en Na, Cl, SO ₄ y Mg. Las manifestaciones costeras y submarinas en la costa oeste de Bahía Concepción pueden tener un yacimiento común, lo que implica un potencial geotérmico.	Geoquímica

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4
Síntesis de los dos artículos científicos existentes sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en Los Cabos, Baja California Sur.

Año	Autor(es)	Título	Aporte	Área de conocimiento
2006	López-Sánchez, A., Báncora-Alsina, C., Prol-Ledesma, R.M., Hiriart, G.	A New Geothermal Resource in Los Cabos, Baja California Sur, Mexico	Definir el tipo y origen de los fluidos geotérmicos y estimar las temperaturas del reservorio en el área de Los Cabos. Calcularon una temperatura de 200°C para el reservorio, y que el agua de mar es el fluido dominante.	Geotermia
2008	Báncora, C., Prol-Ledesma, R.M.	Geothermal Exploration Using Remote Sensing in the South of Baja California Sur, Mexico	Definir áreas favorables para la utilización y explotación de energía geotérmica. La alteración hidrotermal produce minerales que pertenecen a dos grupos principales: óxidos e hidroxilos. Después de un análisis visual detallado, señalaron tres	Geotermia

			áreas prospectivas para contener la actividad hidrotermal en el área de Los Cabos.	
--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 5**Síntesis del artículo sobre el sistema hidrotermal submarino somero en Puertecitos, Baja California.**

Año	Autor(es)	Título	Aporte	Área de conocimiento
2017	Arellano-Ramirez, Y., Kretzschmar, T.G., Hernandez-Martinez, R.	Water-Rock-Microbial Interactions in the hydrothermal spring of Puertecitos, Baja California, Mexico	Determinar la presencia de microorganismos y el proceso de degradación mineral en el sitio de actividad hidrotermal de Puertecitos. A temperaturas de 55°C precipitan yeso y Si, y presencia de microorganismos silicificados, mientras que en temperaturas bajas disminuye el SiO ₂ , Mg, Na, SO ₄ y Cl, así como la acumulación de biofilms. El biofilm aparece donde el cambio de temperatura no es dramático. Mientras que los cambios de temperatura influyen la precipitación y/o disolución de los minerales.	Geoquímica

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6**Síntesis de los diez artículos que estudian dos o más sistemas hidrotermales submarinos someros en México.**

Año	Autor(es)	Título	Sitios*	Aporte	Área de conocimiento
2003	Prol-Ledesma, R.M.	Similarities in the chemistry of shallow submarine hydrothermal vents	Punta Mita, Bahía Concepción y Punta Banda	La química del agua termal es similar en estos tres sitios de ventilas hidrotermales, siendo también, mas diluida que el agua de mar y enriquecida en Ca, Mn, Ba, I, Cs, B, Li, Rb, Sr y Si, y cuyo origen probablemente sea meteórico, calentada por el alto gradiente geotérmico de cada zona. Los componentes del agua termal son aportados por los estratos profundos.	Geoquímica
2006	Canet, C., Prol-Ledesma, R.M.	Procesos de mineralización en manantiales hidrotermales submarinos someros. Ejemplos en México	Punta Mita, Bahía Concepción y Punta Banda	Estos sistemas están emplazados en contextos de margen continental afectado por extensión tectónica con un elevado gradiente geotérmico, y en ningún caso presentan vínculos con actividad volcánica, se han reportado ya, sus características geoquímicas y mineralógicas, así como los procesos de precipitación de minerales.	Geoquímica
2007	Canet, C., Prol-Ledesma, R.M.	Mineralizing processes at shallow submarine hydrothermal vents: Examples from México			
2008	Alcocer, S.M., Hiriart, G.	An Applied Research Program on Water Desalination with Renewable Energies	Los Cabos, Bahía Concepción, Puertecitos y Ensenada	En el 2005 la UNAM se hace cargo del programa IMPULSA (Investigación Multidisciplinaria de Proyectos Universitarios de Liderazgo y Superación Académica) cuyos objetivos son: i) desarrollar soluciones a la escasez de agua en el noroeste de México, ii) Formar un grupo de investigadores e ingenieros, y iii) al final compartir el conocimiento generado. En Los Cabos se planea construir una planta desalinizadora usando agua termal, donde esperan encontrar temperaturas de 150°C, también consideran	Geotermia

				otros sitios de ventilas submarinas someras ubicadas en Puertecitos, Bahía Concepción y Ensenada.	
2009	Gutiérrez, H., Espíndola, S.	Low and Moderate Enthalpy Geothermal Resources to Desalinate Sea Water and Electricity Production	La Joya, Punta Banda, Puertecitos, Bahía Concepción y Los Cabos	Como proyecto de demostración IMPULSA, planea instalar dos plantas prototipo en La Joya, al sur de Ensenada, para evaluar la respuesta de este reservorio geotérmico y probar el generador de electricidad (PWG) y la planta de desalinización térmica (LE-MED) en un periodo de un año. También enlistan las características principales de sitios de actividad hidrotermal submarina somera intensa, como lo son: Punta Banda, Santispac en Bahía Concepción, Puertecitos al sur de San Felipe y Los Cabos.	Geotermia
2010	Gutiérrez, H., Espíndola, S.	Using low enthalpy geothermal resources to desalinate sea water and electricity production on desert areas in Mexico	La Joya, Bahía Concepción y Los Cabos	Describen los sitios con potenciales recursos geotérmicos en la península de Baja California y evaluaron el potencial geotérmico de La Joya, al sur de Ensenada, donde los estudios preliminares muestran una temperatura de 180°C, y también probaron la planta de desalinización LE-MED y el generador PWG. El potencial de desalinización es de 1 m ³ /s a un costo de 0.8 \$US/m ³ , mientras que el de generación eléctrica es de 30MW distribuidos en la zona.	Geotermia
2014	Estradas-Romero, A., Prol-Ledesma, R.M.	Effect of shallow hydrothermal venting on the richness of benthic diatom species	Punta Mita y Bahía Concepción	En las ventilas de Bahía Concepción encontraron 99 especies de diatomeas y dos silicoflagelados, mientras que en las ventilas de Punta Mita 77 especies de diatomeas. Los sitios de ventilas hidrotermales en ambos lugares tienen mayor riqueza de especies en comparación con los sitios de control, esta mayor riqueza de especies se puede atribuir a las descargas de fluidos hidrotermales enriquecidos con nutrientes y oligoelementos.	Biología
2015	Dávila-Ramos, S., Estradas-Romero, A., Prol-Ledesma, R.M., Juárez-López, K.	Bacterial populations (First record) at two shallow hydrothermal vents of the Mexican Pacific west coast	Punta Mita y Bahía Concepción	El ambiente reductor de Punta Mita es responsable de la presencia especies <i>Thermotogae</i> , <i>Aquificae</i> y <i>Planctomycetes</i> , y el ambiente oxidante de Bahía Concepción (BC) de la especie <i>Bacterioidetes</i> , mientras que las condiciones redox lo son de bacterias: <i>gamma-</i> , <i>delta-</i> , y <i>epsilonproteobacteria</i> en ambos sitios. La abundancia de luz solar favorece la prevalencia de bacterias halófilicas y <i>Chloroflexae</i> , en ambos sitios, además de que los linajes bacterianos encontrados en este estudio representan especies típicas de sistemas hidrotermales profundos.	Biología
2015	Arango-Galván, C., Prol-Ledesma, R.M., Torres-Vera, M.A.	Geothermal prospects in the Baja California Peninsula	Bahía Concepción y Los Cabos	El calor descargado por los sistemas submarinos puede agregar más de 6000 MWt a los recursos de energía geotérmica de la región. En Bahía Concepción se requieren estudios adicionales para demostrar la viabilidad de desarrollo y explotación geotérmica de este sitio de ventilas hidrotermales submarinas someras. Mientras que, investigaciones geotérmicas indican la existencia de anomalías térmicas y actividad hidrotermal en el área de Los Cabos (Báncora-Alsina y Prol-Ledesma, 2006; López-Sánchez <i>et al.</i> , 2006) y una temperatura geotermométrica elevada sugiere la existencia de un reservorio hidrotermal de alta entalpía en este sitio.	Geotermia

2017	Price, R.E., Giovannelli, D.	A Review of the Geochemistry and Microbiology of Marine Shallow- Water Hydrothermal Vents	Punta Mita, Bahía Concepción y Punta Banda	Este artículo es una revisión de las características geoquímicas y microbiológicas de las ventilas hidrotermales submarinas someras del mundo. Señalando las características generales de ubicación y profundidad de los sistemas de ventilas en Punta Mita (Nayarit), Bahía Concepción (Baja California Sur) y Punta Banda (Baja California).	Geoquímica
------	------------------------------------	--	--	--	------------

Nota: Punta Mita se localiza en la costa de Nayarit, Bahía Concepción y Los Cabos en la costa de Baja California Sur, Punta Banda, Puertecitos, Ensenada y La Joya en la costa de Baja California.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Bajo un contexto global México se posiciona en el antepenúltimo lugar de 24 países, con un 1.18% de artículos científicos publicados sobre sistemas hidrotermales submarinos someros en México. De los artículos científicos analizados en esta revisión el 93.75% se han publicado en estas dos últimas décadas (2000-2017), con una media de 2.6 artículos por año, a pesar de que el primer artículo sobre este tópico es de 1978 por Vidal *et al.* (1978). Las principales líneas de investigación corresponden a geoquímica (62.5%) y geotermia (25%). Los científicos mexicanos se enfocaron en este período a caracterizar la parte geoquímica de estos sistemas hidrotermales someros, pero en el 2005 con la llegada del programa IMPULSA²⁹ se activa la investigación en el área de geotermia, ya que este programa se enfoca en el desarrollo de soluciones para la escasez de agua en el noroeste del país, aprovechando recursos renovables como lo son los sistemas hidrotermales submarinos someros ubicados en la península de Baja California.

Los sistemas hidrotermales submarinos someros de Bahía Concepción, Punta Banda y Punta Mita son los más estudiados, con el 37.5%, 14.58% y 20.83%, respectivamente, de las publicaciones totales, mientras que un 20.83% son publicaciones que abordan por lo menos uno de estos sistemas. Estos sitios se encuentran sobre zonas de extensión tectónica³⁰ y no relacionados con actividad volcánica costera como lo generaliza Tarasov *et al.* (2005).

El análisis de los artículos científicos encontrados para esta revisión evidencia una gran necesidad de generación de conocimiento integral de los sistemas hidrotermales submarinos someros de México, sobre todo en la parte biológica y geofísica. El conocimiento biológico determinará los efectos que los fluidos hidrotermales generan sobre el ecosistema marino y la parte geofísica proporcionará la caracterización física de estos sistemas. Además de que han de existir nuevos sistemas hidrotermales submarinos someros esperando por ser descubiertos y estudiados.

Agradecimientos

Esta investigación forma parte del Proyecto: Centro Mexicano de Innovación en Energía – Geotérmica (CeMIE-Geo). P24. Exploración sísmica pasiva y magnetotelérfica en los campos geotérmicos de la Caldera de La Primavera y Volcán Ceboruco. Proyecto SENER-CONACyT 201301-207032-P24

²⁹ El objetivo principal del programa federal IMPULSA es el de desarrollar soluciones para la escases de agua en el noroeste del país, Alcocer y Hiriart, 2008.

³⁰ Prol-Ledesma y Canet, 2014

Bibliografía

ALCOCER, S.M., HIRIART, G. An Applied Research Program on Water Desalination with Renewable Energies. *American Journal of Environmental Sciences*. 2008, vol. 4, n° 3, p. 204-211.

ALFONSO, P., PROL-LEDESMA, R.M., CANET, C., MELGAREJO, J.C., FALLICK, A.E. Isotopic evidence for biogenic precipitation as a principal mineralization process in coastal gasohydrothermal vents, Punta Mita, Mexico. *Chemical Geology*. 2005, vol. 224, p. 113-121.

ARANGO-GALVÁN, C., PROL-LEDESMA, R.M., FLORES-MÁRQUEZ, E.L., CANET, C., VILLANUEVA-ESTRADA, R.E. Shallow submarine and subaerial, low-enthalpy hydrothermal manifestations in Punta Banda, Baja California, Mexico. Geophysical and geochemical characterization. *Geothermics*. 2011, vol. 40, p. 102-111.

ARELLANO-RAMIREZ, Y., KRETZSCHMAR, T.G., HERNANDEZ-MARTINEZ, R. Water-Rock-Microbial Interactions in the hydrothermal spring of Puertecitos, Baja California, Mexico. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2017, vol. 17, p. 865-868.

BÁNCORA-ALSINA, C., PROL-LEDESMA, R.M. Mapa del flujo de calor en la Península y Golfo de California. *Geos*. 2006, vol. 26, p. 22.

BÁNCORA-ALSINA, C., PROL-LEDESMA, R.M. Geothermal Exploration Using Remote Sensing in the South of Baja California Sur, Mexico. American Institute of Physics Conference Proceedings. 2008, vol. 1009, n° 1, p. 180-188.

BANDY, W., KOSTOGLODOV, V., HURTADO-DÍAZ, A., MENA, M. Structure of the southern Jalisco subduction zone, Mexico, as inferred from gravity and seismicity. *Geofísica Internacional*. 1999, vol. 38, n° 3, p. 127-136.

BOTZ, R., WINCKLER, G., BAYER, R., SCHMIDT, M., SCHMITT, M., GARBE-SCHÖNBERG, D., STOFFERS, P., KRISTJANSSON, J.K. Origin of trace gases in submarine hydrothermal vents of the Kolbeinsey Ridge, north Iceland. *Earth and Planetary Science Letters*. 1999, vol. 171, n° 1, p. 83-93.

BREUER, C., PICHLER, T. Arsenic in marine hydrothermal fluids. *Chemical Geology*. 2013, vol. 348, p. 2-14.

CAMPRUBÍ, A., CANET, C., RODRÍGUEZ-DÍAZ, A.A., PROL-LEDESMA, R.M., BLANCO-FLORIDO, D., VILLANUEVA, R.E., LÓPEZ-SÁNCHEZ, A. Geology, ore deposits and hydrothermal venting in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico. *Island Arc*. 2008, vol. 17, p. 6-25.

CANET, C., PROL-LEDESMA, R.M., MELGAREJO, J.C. El sistema hidrotermal de Punta Mita (México): Un ejemplo de depósito exhalativo submarino actual. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe. Coruña*. 2000, vol. 25, p. 325-327.

CANET, C., PROL-LEDESMA, R.M., MELGAREJO, J.C., REYES, A. Methane-related carbonates formed at submarine hydrothermal springs: a new setting for microbially-derived carbonates? *Marine Geology*. 2003, vol. 199, p. 245-261.

CANET, C., PROL-LEDESMA, R.M., TORRES-ALVARADO, I., GILG, H.A., VILLANUEVA, R.E., LOZANO-SANTA CRUZ, R. Silica-carbonate stromatolites related to coastal hydrothermal venting in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico. *Sedimentary Geology*. 2005, vol. 174, p. 97-113.

CANET, C., PROL-LEDESMA, R.M., PROENZA, J., RUBIO-RAMOS, M.A., FORREST, M., TORRES-VERA, M.A., RODRÍGUEZ-DÍAZ, A.A. Mn-Ba-Hg mineralization at shallow submarine hydrothermal vents in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico. *Chemical Geology*. 2005, vol. 224, p. 96-112.

CANET, C., PROL-LEDESMA, R.M. Procesos de mineralización en manantiales hidrotermales submarinos someros. Ejemplos en México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario. Revisión de Algunas Tipologías de Depósitos Minerales de México*. 2006, vol. LVII, nº 1, p. 83-102.

CANET, C., PROL-LEDESMA, R.M. Mineralizing processes at shallow submarine hydrothermal vents: Examples from México. *Geological Society of America, Colorado, Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., Eds., Geology of México: Celebrating the centenary of the geological society of México*. 2007, Special Paper, vol. 422, p. 359-376.

CHEN, A.C., ZHIGANG, Z., FU-WEN, K., TSANYAO, F.Y., BING-JYE, W., YUEH-YUAN, T. Tide-influenced Acidic Hydrothermal System off Taiwan. *Chemical Geology*. 2005, vol. 224, p. 69-81.

COUTO, R.P., RODRIGUES, A.S., NETO, A.I. Shallow-water hydrothermal vents in the Azores (Portugal). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. 2015, vol. 15, nº 4, p. 495-505.

DÁVILA-RAMOS, S., ESTRADAS-ROMERO, A., PROL-LEDESMA, R.M., JUÁREZ-LÓPEZ, K. Bacterial Populations (First Record) at two Shallow Hydrothermal Vents of the Mexican Pacific West Coast. *Geomicrobiology Journal*. 2015, vol. 32, p. 657-665.

DEGENS, E., ROSS, D.A. *Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea*. New York, New York, E.U.A., Springer-Verlag, 1969, 600 p.

ESTRADAS-ROMERO, A., PROL-LEDESMA, R.M., ZAMUDIO-RESENDIZ, M.E. Relación de las características geoquímicas de fluidos hidrotermales con la abundancia y riqueza de especies del fitoplancton de Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 2009, vol. 61, nº 1, p. 87-96.

ESTRADAS-ROMERO, A., PROL-LEDESMA, R.M. Effect of shallow hydrothermal venting on the richness of benthic diatom species. *Cahiers de Biologie Marine*. 2014, vol. 55, p. 399-408.

FERNÁNDEZ DE LA VEGA-MÁRQUEZ, T., PROL-LEDEMA, R.M. Imágenes Landsat TM y modelo digital de elevación para la identificación de lineamientos y mapeo litológico en

Punta Mita (México). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 2011, vol. 63, n° 1, p. 109-118.

FITZSIMONS, M.F., DANDO, P.R., HUGHES, J.A., THIERMANN, F., AKOUMIANAKI, I., PRATT, S.M. Submarine hydrothermal brine seeps off Milos, Greece: Observations and geochemistry. *Marine Chemistry*. 1997, vol. 57, p. 325-340.

FORREST, M.J., LEDESMA-VÁZQUEZ, J., USSLER, W., III, KULONGOSKI, J.T., HILTON, D.R., GREENE, H.G. Gas geochemistry of a shallow submarine hydrothermal vent associated with El Requesón fault zone in Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Chemical Geology*. 2005, vol. 224, p. 82-95.

FRANCO, S.I., CÁRDENAS-MONROY, C., QUEZADA-REYES, A., VALDÉS-GONZÁLEZ, C., JIMÉNEZ-CRUZ, C., RODRÍGUEZ-ABREU, L.E., ORTIZ-CASTRO, J. Reporte preliminar del sismo del 13 de abril de 2007, Guerrero, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 2007, vol. 59, p. 71-81.

GALLARDO, V.A., GASTILLO, J.G., RETAMAL, M.A., YANES, A., MOYANO, H.I., HERMOSILLA, J.G. 1977, Quantitative studies on the softbottom macrobenthic animal communities of shallow Antarctic bays. Adaptations within Antarctic ecosystems, En Proceedings of the Third SCAR Symposium on Antarctic Biology: Londres, 361–387.

GUIRAO-GORIS, J.A., OLMEDO-SALAS, A., FERRER-FERRANDIS, E. El artículo de revisión. *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*. 2008, p. 1-25

HIRIART LE BERT, G. Potencial energético del Alto Golfo de California. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 2009, vol. 61, n° 1, p. 143-146.

HIRIART, G., PROL-LEDESMA, R.M., ALCOCER, S., ESPÍNDOLA, S. Submarine Geothermics; Hydrothermal Vents and Electricity Generation. *Proceedings World Geothermal Congress: Bali, Indonesia*. 2010, p. 25-29.

GUTIERREZ, H., ESPÍNDOLA, S. Low and Moderate Enthalpy Geothermal Resources to Desalinate Sea Water and Electricity Production, *Australian Geothermal Energy Conference*. 2009, p. 259-264.

GUTIÉRREZ, H., ESPÍNDOLA, S. Using Low Enthalpy Geothermal Resources to Desalinate Sea Water and Electricity Production on Desert Areas in Mexico. *Proceedings World Geothermal Congress: Bali, Indonesia*. 2010, p. 1-6.

KOSTOGLODOV, V., PACHECO, J.F. *Poster: Cien Años de Sismicidad en México*. Instituto de Geofísica, UNAM, México. 1999.

KUSSAKIN, O.G. *Structure and distribution of macrobenthos in intertidal zone of Simushir Island the Kurile Arch*. Kussakin, O.G. (Ed.), Coastal Communities of the Far East Seas: DVNTs AN USSR Press, Vladivostok, Rusia. 1976, 5 – 21p.

LEAL-ACOSTA M.L., SHUMILIN, E., MIRLEAN, N., SAPOZHNIKOV, D., GORDEEV, V. Arsenic and Mercury Contamination of Sediments of Geothermal Springs, Mangrove

Lagoon and the Santispac Bight, Bahía, Concepción, Baja California Peninsula. *Bulletin of Environment Contamination and Toxicology*. 2010, vol. 85, p. 609–613.

LEAL-ACOSTA, M.L., SHUMILIN, E., MIRLEAN, N., DELGADILLO-HINOJOSA, F., SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, I. The impact of marine shallow-water hydrothermal venting on arsenic and mercury accumulation by seaweeds *Sargassum sinicola* in Concepcion Bay, Gulf of California. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2013, vol. 15, p. 470–477.

LEAL ACOSTA, M.L., SHUMILIN, E., MIRLEAN, N. Sediment geochemistry of marine shallow-water hydrothermal vents in Mapachitos, bahía Concepción, Baja California península, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 2013, vol. 30, n° 1, p. 233-245.

LEAL-ACOSTA, M.L., PROL-LEDESMA, R.M. 2016, Caracterización geoquímica de las manifestaciones termales intermareales de Bahía Concepción en la Península de Baja California. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 2016, vol. 68, p. 395-407.

LÓPEZ-SÁNCHEZ, A., BÁNCORA-ALSINA, C., PROL-LEDESMA, R.M., HIRIART, G. A New Geothermal Resource in Los Cabos, Baja California Sur, Mexico. *Proceedings 28th: New Zealand, Geothermal Workshop*. 2006, S3-6.

LUGO-HUBP, J. El relieve de la República Mexicana, Universidad Nacional Autónoma de México. *Instituto de Geología: Revista*. 1990, vol. 9, p. 82-111.

LUKIN, V.I. *Hydrobiological researches of upper sublittoral of the Greater Kuril Ridge*. Kussakin, O.G. (Ed.), *Biology of the Shelf of Kuriles: Rusia*, Nauka Press. 1979, 5–10 p.

MARTÍNEZ-REYES, J., NIETO-SAMANIEGO, A.F. Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología: Revista*. 1990, vol. 9, p. 33-50.

NÚÑEZ-CORNÚ, F.J., PROL-LEDESMA, R.M., CUPUL-MAGAÑA, A., SUÁREZ-PLASCENCIA, C. Near shore submarine hydrothermal activity in Bahia Banderas western Mexico. *Geofísica Internacional*. 2000, vol. 39, n° 2, p. 171-178.

PARDO, M., SUÁREZ, G. Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*. 1995, vol. 100, n° B7, p. 357-373.

PICHLER T., VEIZER J., HALL, G.E.M. The chemical composition of shallow-water hydrothermal fluids in Tutum Bay, Ambitle Island, Papua New Guinea and their effect on ambient seawater. *Marine Chemistry*. 1999, vol. 64, p. 229-252.

PRICE, R.E., GIOVANNELLI, D. A Review of the Geochemistry and Microbiology of Marine Shallow-Water Hydrothermal Vents. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. 2017, p. 1-29.

PROL-LEDESMA, CANET, C., ALFONSO, P., MELGAREJO, J.C. Biogenic vs geochemical precipitation of minerals in the submarine hydrothermal vents of Punta Mita, Mexico. *Proceedings 24th: New Zealand, Geothermal Workshop*. 2002, p. 235-238.

PROL-LEDESMA, R.M., CANET, C. Cinnabar deposition in submarine coastal hydrothermal vents, pacific margin of central Mexico. *Economic Geology*. 2002, vol. 97, p. 1331-1340.

PROL-LEDESMA, R.M. Similarities in the chemistry of shallow submarine hydrothermal vents. *Geothermics*. 2003, vol. 32, p. 4-6.

PROL-LEDESMA, R.M., CANET, C., TOLSON, G., GARCÍA-PALOMO, A., MILLER, R., RUBIO, M.A., TORRES-DE LEÓN, R., HUICOCHEA-ALEJO, J.S. Basaltic volcanism and submarine hydrothermal activity in Punta Mita, Nayarit, Mexico. *Geologic transects across Cordilleran Mexico, Guidebook for the field trips of the 99th Geological Society of America Cordilleran Section Annual Meeting, Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Publicación Especial 1, Field trip 7*. 2003, p. 169-182.

PROL-LEDESMA, R. M., CANET, C., TORRES-VERA, M.A., FORREST, M.J., ARMIENTA, M.A. Vent fluid chemistry in Bahía Concepción coastal submarine hydrothermal system, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2004, vol. 137, p. 311-328.

PROL-LEDESMA, R.M., DANDO, P.R., DE RONDE, C.E.J. Special Issue on “Shallow-water Hydrothermal Venting”. *Chemical Geology*. 2005, vol. 224, p. 1-4.

PROL-LEDESMA, R.M., CANET, C., VILLANUEVA-ESTRADAS, R.E., ORTEGA-OSORIO, A. Morphology of pyrite in particulate matter from shallow submarine hydrothermal vents. *American Mineralogist*. 2010, vol. 95, p. 1500-1507.

PROL-LEDESMA, R.M., CANET, C. *Evaluación y Explotación de los Recursos Geotérmicos del Océano*. La Frontera Final: El Océano Profundo, Low-Pfeng, A., Peters-Recagno, E.M. (Ed.): México. 2014, 11-30 p.

RODRÍGUEZ-MEZA, G.D., SHUMILIN, E., SAPOZHNIKOV, D., MÉNDEZ-RODRÍGUEZ, L., ACOSTA-VARGAS, B. Evaluación geoquímica de elementos mayoritarios y oligoelementos en los sedimentos de Bahía Concepción (B.C.S., México). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 2009, vol. 61, p. 57-72.

SUÁREZ-ARRIAGA, M.C. Evaluación del potencial, biogénesis y características esenciales de los sistemas geotérmicos submarinos en México. *Geotermia*. 2004, vol. 17, p. 31-43.

SUÁREZ-ARRIAGA, M.C., BUNDSCHUH, J., SAMANIEGO, F. Assessment of submarine geothermal resources and development of tools to quantify their energy potentials for environmentally sustainable development. *Journal of Cleaner Production*. 2014, vol. 83, p. 21-32.

SUÁREZ-BOSCHE, N.E., SUÁREZ-ARRIAGA, M.C., SAMANIEGO, F., DELGADO, V. Fundamental Characteristics of Hydrothermal Submarine Systems and Preliminary Evaluation of its Geothermal Potential in Mexico. *Proceedings World Geothermal Congress: Antalya, Turkey*. 2005, p. 1-10.

TARASOV, V.G., GEBRUK, A.V., MIRONOV, A.N., MOSKALEV, L.I. Deep-sea and shallow-water hydrothermal vent communities: Two different phenomena? *Chemical Geology*. 2005, vol. 224, p. 5-39.

THOMPSON REUTERS. *Web of Science*. 2018. <<https://www.webofknowledge.com/>> [02/02/2018].

VIDAL, F.V., WELHAN, J., VIDAL, V.M.V. Stable isotopes of helium, nitrogen and carbon in a costal submarine hydrothermal system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1982, vol. 12, p. 101-110.

VIDAL, V.M.V., VIDAL, F.V. Coastal Submarine Hydrothermal Activity off Northern Baja California 2. Evolutionary History and Isotope Geochemistry. *Journal of Geophysical Research*. 1981, vol. 86, n° B10, p. 9451-9468.

VIDAL, V.M.V., VIDAL, F.V., ISAACS, J.D. Coastal Submarine Hydrothermal Activity off Northern Baja California. *Journal of Geophysical Research*. 1978, vol. 83, n° B4, p. 1757-1774.

VILLANUEVA, R.E., PROL-LEDESMA, R.M., TORRES-VERA, M.A., CANET, C., ARMIENTA, M.A., DE RONDE, C.E.J. Comparative study of sampling methods and in situ and laboratory analysis for shallow-water submarine hydrothermal systems. *Journal of Geochemical Exploration*. 2006, vol. 89, p. 414-419.

VILLANUEVA-ESTRADA, R.E., PROL-LEDESMA, R.M., TORRES-ALVARADO, I., CANET, C. Geochemical Modeling of a Shallow Submarine Hydrothermal System at Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Proceedings World Geothermal Congress: Antalya, Turkey*. 2005, Paper 0892, 5 p.

VILLANUEVA-ESTRADA, R.E., PROL-LEDESMA, R.M., CANET, C. *Dissolved arsenic in shallow hydrothermal vents*. En Birkle, P., Torres-Alvarado, I.S. (ed.), *Water Rock Interactions XIII: Londres*, Taylor & Francis Group. 2010, p.189-192.

VILLANUEVA-ESTRADA, R.E., PROL-LEDESMA, R.M., RODRÍGUEZ-DÍAZ, A.A., CANET, C., TORRES-ALVARADO, I.S., GONZÁLEZ-PARTIDA, E. Geochemical processes in an active shallow submarine hydrothermal system, Bahía Concepción, México: mixing or boiling? *International Geology*. 2012, vol. 54, p. 907-919.

VILLANUEVA-ESTRADA, R.E., PROL-LEDESMA, R.M., RODRÍGUEZ-DÍAZ, A.A., CANET, C., ARMIENTA, M.A. Arsenic in hot springs of Bahía Concepción, Baja California Península, México. *Chemical Geology*. 2013, vol. 348, p. 27-36.

WEB OF SCIENCE CORE COLLECTION (WOS). *Guía de referencia rápida*. 2016. <http://wokinfo.com/media/pdf/wos-corecoll_qrc_es.pdf> [02/02/2018].

ZELENOV, K.K. *Volcanos as Sources of Ore-Forming Components of Deposit Thicknesses*. Nauka, Moscow, 1972. 213 p.

© Copyright: Pablo Marco Dols; Javier Soriano Martí, 2018

© Copyright: *Biblio3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2018

Ficha bibliográfica:

RODRÍGUEZ-URIBE, María Carolina; NÚÑEZ-CORNÚ, Francisco Javier; CHÁVEZ DAGOSTINO, Rosa María. Contribuciones al estudio de los sistemas hidrotermales submarinos someros en México. *Biblio3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 5 de julio de 2018, vol. XXIII, n° 1.241. <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-1241.pdf>>. [ISSN 1138-9796].