

Revista Ciencias del Mar UAS



Enero - Marzo 2025

Núm. 2 Vol.2

U N I V E R S I D A D A U T Ó N O M A D E S I N A L O A



**Edición
especial
mujeres
en las ciencias
del mar**

ISSN (en trámite)



Artículo Científico

Variabilidad en la temperatura de la actividad hidrotermal submarina en la Bahía de Banderas: Análisis a corto plazo

Temperature variability of submarine hydrothermal activity in Banderas Bay: Short-term analysis

latindex



CREATIVE COMMONS




OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina



1. María Carolina Rodríguez-Urbe

 0000-0002-6849-0910

Departamento de Ciencias Exactas, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Av. Universidad de Guadalajara 203, CP 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Autor de correspondencia: maria.ruribe@academicos.udg.mx



Variabilidad en la temperatura de la actividad
hidrotermal submarina en la Bahía de Banderas:
Análisis a corto plazo

Temperature variability of submarine
hydrothermal activity in Banderas Bay:
Short-term analysis

► RESUMEN

La actividad hidrotermal submarina en la Bahía de Banderas es un fenómeno de interés científico debido a su influencia en los ecosistemas marinos locales y su potencial para aplicaciones tecnológicas. Este estudio describe los resultados de dos campañas de muestreo realizadas en 2017 y 2023, en las que se utilizaron sensores HOBO™ Pendant™ para registrar la temperatura de la actividad hidrotermal. La primera campaña enfrentó fallos en los materiales y métodos, mientras que en la segunda se implementaron mejoras que permitieron obtener registros exitosos. De esta forma fue posible analizar la variabilidad de la temperatura en un periodo de 53 días, del 9 de septiembre al 31 de octubre de 2023. Los resultados obtenidos muestran una perspectiva inicial en la dinámica de la temperatura de esta actividad hidrotermal y se recomienda que en futuras investigaciones se incluyan monitoreos de temperatura y otros factores a largo plazo.

Palabras clave: marea, chimenea hidrotermal, series de tiempo, sensores, monitoreo.

► ABSTRACT

Submarine hydrothermal activity at Banderas Bay is a phenomenon of scientific interest due to its influence on local marine ecosystems and its potential for technological applications. This study describes two sampling campaigns conducted in 2017 and 2023, in which HOBO™ Pendant™ sensors were used to record the temperature of hydrothermal

activity. The first campaign faced failures in materials and methods, while the second implemented improvements that allowed successful recordings. Thus, it was possible to analyze temperature variability over a period of 53 days, from September 9 to October 31, 2023. The results obtained provide an initial perspective on the temperature dynamics of this hydrothermal activity and it is recommended that future research include long-term monitoring of temperature and other factors.

Keywords: tide, hydrothermal vent, time series, sensors, monitoring.

► INTRODUCCIÓN

En las profundidades de los océanos se puede encontrar actividad hidrotermal, tanto profunda (> 200 m) como somera (< 200 m) (Prol-Ledesma & Canet, 2014; Tarasov et al., 2005). Por lo general es en las dorsales oceánicas donde se localiza la actividad hidrotermal profunda (AHP), mientras que la actividad hidrotermal somera (AHS) se asocia mayormente con volcanes submarinos (Tarasov et al., 2005). Pero existen excepciones, como lo son los Sistemas Hidrotermales Submarinos Someros (SHSS) reportados en el Pacífico mexicano, los cuales están asociados con márgenes continentales afectados por procesos activos de extensión tectónica (Arellano-Ramírez *et al.*, 2017; López-Sánchez *et al.*, 2006; Núñez-Cornú *et al.*, 2000; Prol-Ledesma *et al.*, 2004; Prol-Ledesma & Canet, 2014; Vidal *et al.*, 1978), incluido el Sistema Hidrotermal Submarino Somero localizado en la Bahía de Banderas (SHSSBB), Nayarit, México.

De acuerdo con Barreyre et al. (2014), las descargas hidrotermales (DH) se clasifican en dos tipos: i) DH focalizadas de alta temperatura ($> 100^{\circ}\text{C}$, comúnmente entre 300°C y hasta aproximadamente 400°C) y ii) DH difusas de baja temperatura (generalmente $< 100^{\circ}\text{C}$). Las temperaturas en las DH focalizadas pueden mantenerse muy estables durante largos periodos, incluso varios años (Fornari et al., 1998; Langmuir et al., 1997; Larson et al., 2009; Scheirer et al., 2006;), por el contrario, las DH difusas presentan una alta variabilidad en sus mediciones (Scheirer et al., 2006; Sohn, 2007; Tivey et al., 2002). Esta



diferencia se relaciona con los sistemas de circulación (Barreyre et al., 2014). Las DH focalizadas, debido a sus altas temperaturas, se asociarían con AHP, mientras que las DH difusas se asocian con AHS, la cual por lo general está vinculada a actividad volcánica submarina somera (Barreyre et al., 2014; Tarasov et al., 2005), grietas o fallas del fondo marino o con depósitos minerales (Barreyre et al., 2014; Corliss et al., 1979).

La temperatura es una de las variables más comúnmente monitoreadas en los sistemas hidrotermales submarinos debido a la facilidad de las mediciones y la estabilidad de los sensores frente a condiciones corrosivas (Aliani et al., 2004). Además, la temperatura de las descargas hidrotermales submarinas varía con el tiempo (Aliani et al. 2004; Foucher et al., 1992; Kinoshita et al., 1996; Schultz et al., 1996) y conocer esta dinámica en la temperatura es relevante tanto para determinar la distribución y comportamiento de las comunidades biológicas que habitan en este tipo de ambientes (Cardigos et al., 2005; Couto et al., 2015; Dando et al., 1995; Fujiwara et al., 1998; Máquez-Mendez, 2008; Melwani & Kim, 2008; Momma et al., 1998; Rodríguez-Uribe et al., 2023; Rodríguez-Uribe et al., 2024) como para monitorear la geoquímica de los fluidos hidrotermales y sus interacciones con el agua marina (Aliani et al. 2004; Chevalloné et al., 1991; Stüben et al., 1996).

Se han realizado diversas investigaciones sobre el monitoreo de la temperatura en sistemas hidrotermales profundos, utilizando tecnologías avanzadas como vehículos de inmersión profunda, por ejemplo, el sumergible *Alvin* (Fornari et al., 1998; Goto et al., 2002; Rinke & Lee, 2009; Scheirer et al., 2006; Tivey et al., 2002) y sondas de alta precisión y durabilidad que permiten registrar datos por periodos de hasta cinco años (Fornari et al., 1998). Estas investigaciones han generado un conocimiento sobre la dinámica de las temperaturas de los fluidos descargados en ambientes hidrotermales profundos (Barreyre et al., 2014; Ding et al., 2001; Du et al., 2020; Fornari et al., 1998; Goto et al., 2002; Kelley et al., 2014; Lee et al., 2015; Li et al., 2018; Liao et al., 2016; Mittelstaedt et al., 2012; Rinke & Lee, 2009; Scheirer et al., 2006;

Tivey et al., 2002). También, se han realizado investigaciones en sistemas hidrotermales someros (Aliani et al., 1998, 2004; Carlino et al., 2016; Wenzhöfer et al., 2000) donde, por lo general sus registros han sido de corto plazo y utilizando sensores de temperatura instalados mediante buceo autónomo. Sin embargo, estos estudios presentan limitaciones metodológicas en cuanto a la duración y las condiciones de instalación de los sensores en estos entornos dinámicos.

El presente trabajo tiene como objetivo reportar mediciones continuas de la temperatura de la actividad hidrotermal en el SHSSBB en un periodo de corto plazo de 53 días. Asimismo, se busca documentar las experiencias obtenidas en la instalación de los sensores de temperatura con el propósito de identificar los materiales y métodos más efectivos para el monitoreo de la temperatura en estos ambientes hidrotermales someros.

► MATERIALES Y MÉTODOS

El SHSSBB se localiza a una profundidad de 9 m y a 400 m de la playa Punta Pantoque, Nayarit, México, su influencia hidrotermal abarca aproximadamente un área de 1 km² (Canet & Prol-Ledesma, 2006). Las descargas hidrotermales en el SHSSBB son tanto concentradas como difusas (Prol-Ledesma et al., 2002) (Figura 1a). Los fluidos descargados están compuestos de líquidos y gases. El gas está compuesto principalmente de N₂ (88%) y CH₄ (12%), mientras que el líquido descargado es agua meteórica que se mezcla con el agua marina al momento de la descarga (Prol-Ledesma et al., 2002). Las burbujas de gas suben por toda la columna de agua hasta romper en la superficie marina (Figura 1b). Se seleccionaron tres sitios con chimeneas hidrotermales activas (sitio 1 (S1): 20°44'54.7" N, 105°28'40.6" W; sitio 2 (S2): 20°44'54.8" N, 105°28'40.4" W; y sitio 3 (S3): 20°44'54.9" N, 105°28'38.4" W) (Figura 2). Para registrar la temperatura de la actividad hidrotermal en cada sitio se instalaron sensores HOBOTM PendantTM de dos canales y 10 bit modelo UA-002-08, en las aberturas de las chimeneas hidrotermales.

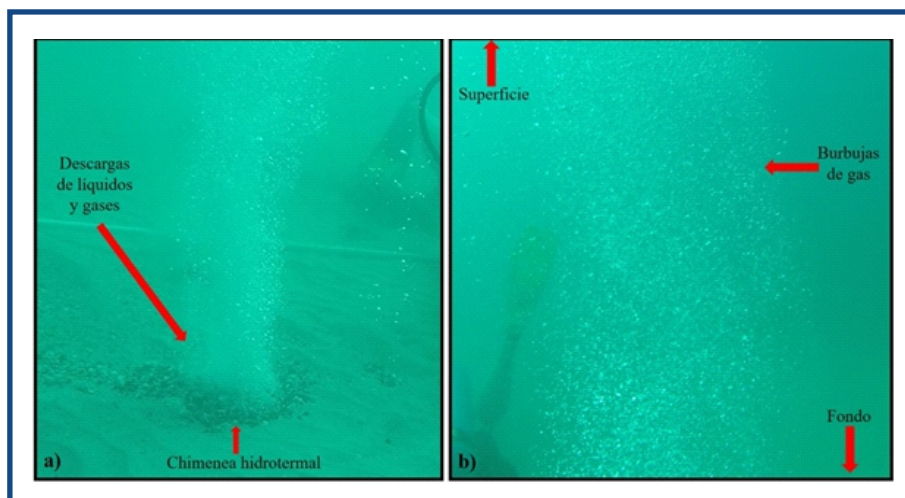


Figura 1. (a) Chimenea del sitio 1 (S1) en el Sistema Hidrotermal Submarino Somero ubicado en la Bahía de Banderas (SHSSBB) al momento de una descarga hidrotermal de líquidos y gases. (b) Burbujas de gas subiendo por la columna de agua, provenientes de una descarga hidrotermal.

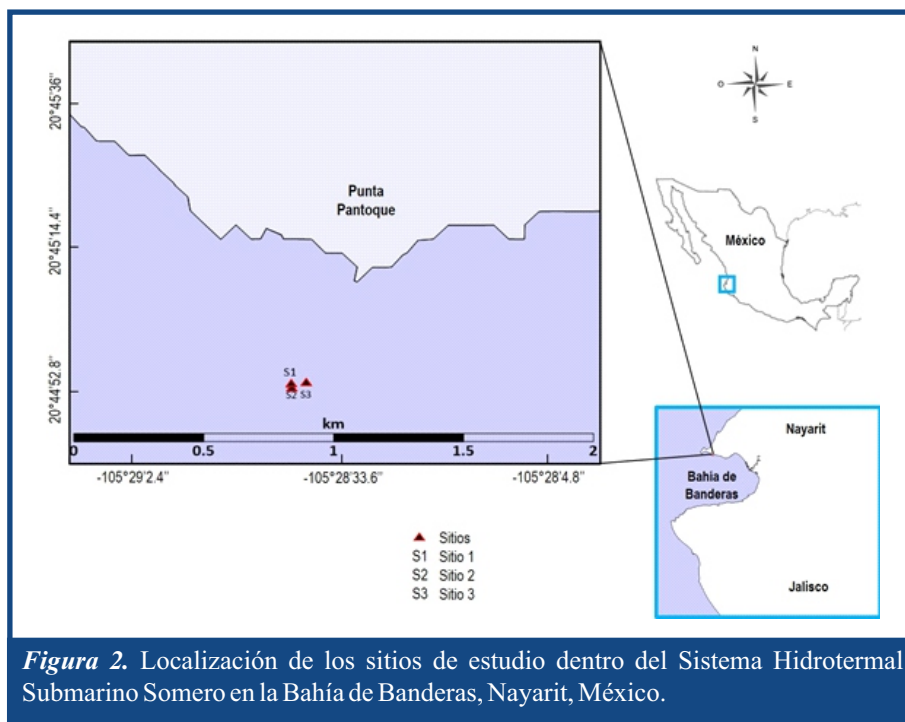


Figura 2. Localización de los sitios de estudio dentro del Sistema Hidrotermal Submarino Somero en la Bahía de Banderas, Nayarit, México.

Se realizaron dos campañas de muestreo una en 2017 y la otra en 2023. En la primera se utilizaron, como anclas para los sensores, cubetas de plástico de 20 litros (38 cm de alto x 30 cm de diámetro) con concreto sólido, peso aproximado de 48 kg, y en la agarradera de metal se sujetaron los sensores HOBOTM PendantTM (Figura 3a). Mediante buceo autónomo estas cubetas se instalaron en las bocas de cada chimenea de estudio, y los sensores fueron programados para registrar la temperatura a intervalos de 30 minutos. En la segunda campaña de muestreo se elaboraron tres placas de acero de 40 cm x 40 cm y grosor de 2.54 cm con un peso aproximado de 50 kg, en el centro se les realizó un corte circular de 15 cm de diámetro, en el cual se soldó una solera de 15 cm x 2.54 cm, que es en donde se sujetarían los sensores (Figura 2b). Mediante buceo autónomo estas placas se instalaron en las bocas de cada chimenea de estudio, y los sensores fueron programados para registrar la temperatura a intervalos de 30 minutos. Para programar los sensores HOBOTM PendantTM y descargar los datos registrados se utilizó el software HOBOWare®.

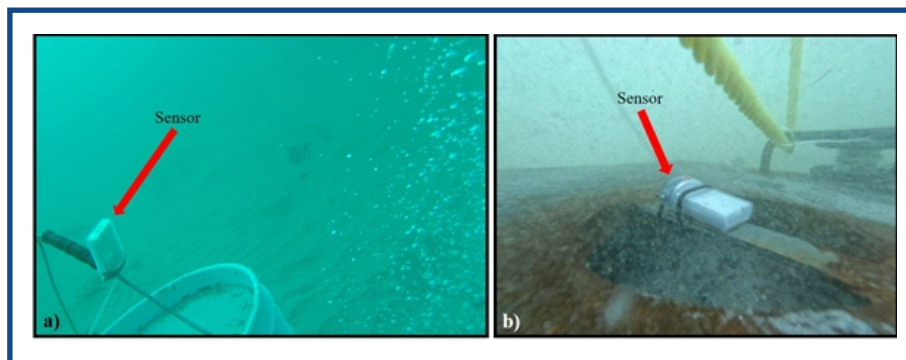


Figura 3. Sensores HOBOTM PendantTM instalados en dos campañas de muestreo. (a) Sensor sujetado en el asa de una cubeta llena de concreto, para la campaña de muestreo de 2017. (b) Sensor sujetado en una placa de acero, sobre la boca de una chimenea hidrotermal, para la campaña de 2023.

► RESULTADOS

En la campaña de muestreo de 2017, se instaló un sensor HOBOTM PendantTM (n=3) en cada sitio de estudio utilizando cubetas de plástico de 20 litros llenas con concreto sólido a manera de anclas. Sin embargo, no se obtuvo registro alguno debido a fallos en el diseño de las anclas y a

su instalación. La altura de las cubetas generó resistencia frente a las corrientes de fondo, lo que provocó que fueran desplazadas de sus puntos de instalación. Además, las asas metálicas de las cubetas donde se sujetaron los sensores sufrieron corrosión, lo que resultó en la pérdida de los sensores.

En la campaña de 2023, se realizaron modificaciones en el diseño de las anclas, instalando los sensores HOBOTM PendantTM en placas de acero. El 9 de septiembre de 2023 se instaló un sensor en cada uno de los tres sitios de estudio (S1, S2 y S3). Los sensores se programaron a intervalos de 30 minutos y cada uno registró un total de 2,516 datos. Registraron del 9 de septiembre a las 14:00 h hasta el 31 de octubre de 2023 a las 23:30 h. Durante este periodo, para el sitio S1 la temperatura máxima registrada fue de 85.56°C, la mínima de 31.88°C y el promedio de 40.73°C (Figura 4a). Para el sitio S2 la temperatura máxima registrada fue de 34.69°C, la mínima de 29.551°C y el promedio de 31.93°C (Figura 4b). Mientras que para el sitio S3 la temperatura máxima registrada fue de 33.12°C, la mínima de 29.552°C y el promedio de 31.44°C (Figura 4c).

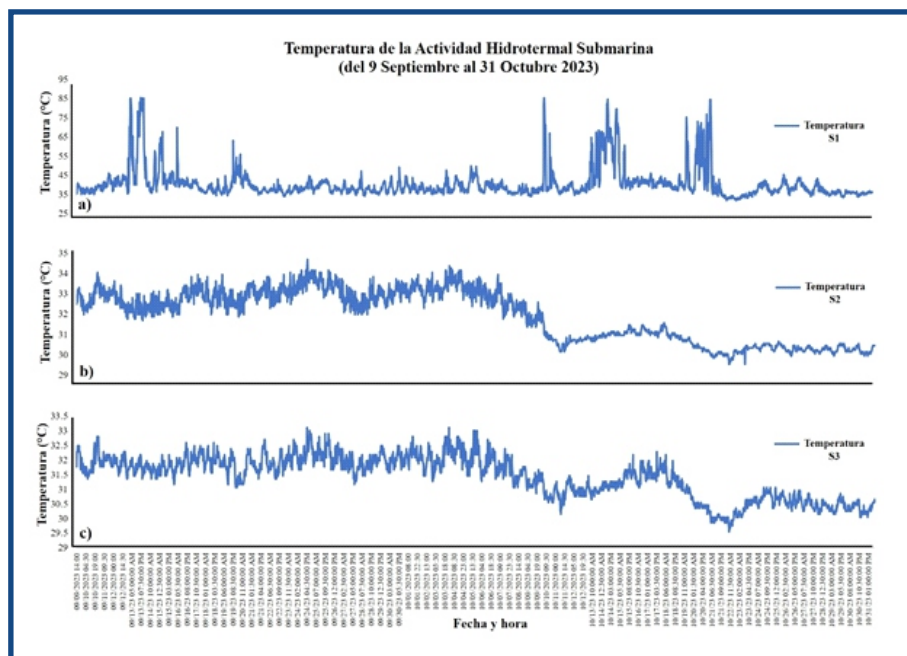


Figura 4. Registro de temperatura de la actividad hidrotermal en los tres sitios de estudio. (a) Temperatura del sitio 1 (S1). (b) Temperatura del sitio 2 (S2). (c) Temperatura del sitio 3 (S3). Registros del 9 de septiembre a las 14:00 h hasta el 31 de octubre de 2023 a las 23:30 h.

Posteriormente, el 25 de noviembre de 2023, se realizó una prueba para registrar la temperatura de la actividad hidrotermal a intervalos más cortos y determinar la duración de la batería de los sensores para lo cual cada sensor se programó para registrar datos a intervalos de un segundo. Sin embargo, los sensores de los sitios S1 y S3 sufrieron daños debido a que el agua marina logró filtrarse en su interior y dejaron de funcionar. Este problema ocurrió porque, tras reemplazar las baterías en el laboratorio, ya no quedaron correctamente sellados. Mientras que el sensor del sitio S2, que era nuevo, funcionó adecuadamente y sí logró el registro de datos. El registro en este sitio (S2) se extendió por un periodo de ocho horas, dos minutos y 31 segundos, limitado por la duración de la batería del sensor. La medición inició a las 13:00:00 h y terminó a las 21:02:31 h del mismo día con un total de 28,952 datos registrados (Figura 5). Para este periodo, la temperatura máxima registrada fue de 36.84°C, la mínima de 32.19°C y el promedio de 34.31°C.

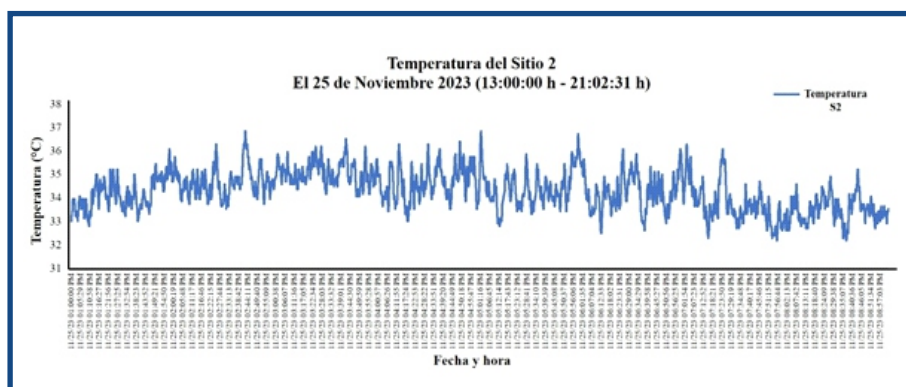


Figura 5. Registro de temperatura de la actividad hidrotermal del sitio S2. Registrado el 25 de noviembre de 13:00:00 h a 21:02:31 h.

► DISCUSIÓN

Los registros de temperatura de la actividad hidrotermal durante la campaña del año 2023, mostraron que el sitio S1 presentó las temperaturas más altas, alcanzando un máximo de hasta 85.56°C, y un promedio de 40.73°C. Además, se identificaron hasta 15 episodios continuos de descargas hidrotermales con temperaturas superiores a los

60°C, y hasta 35 episodios con temperaturas superiores a los 30°C (Figura 4a). Por ejemplo, la figura 6 muestra un periodo de intensa actividad hidrotermal de hasta cuatro horas, comenzando a las 8:00 h con una temperatura de 46.21°C, llegando a la máxima registrada de 85.564°C y terminando a las 12:00 h con 40.53°C. Mientras que los sitios S2 y S3 (Figuras 4b y 4c) mostraron patrones de temperatura similares entre ellos, aunque considerablemente más bajos en comparación con las temperaturas registradas en el sitio S1. Estos resultados podrían atribuirse a los patrones de circulación subsuperficial del flujo hidrotermal a través de las fracturas debajo del lecho marino o también podría deberse a que las placas no fueron colocadas correctamente sobre las bocas de las chimeneas en esos dos sitios porque efectivamente se aprecian episodios de actividad hidrotermal con temperaturas de hasta 34.69°C y 33.12°C, respectivamente, las cuales son superiores a las temperaturas ambiente. Además, las altas temperaturas de las descargas hidrotermales se disipan rápidamente al entrar en contacto con la columna de agua circundante.

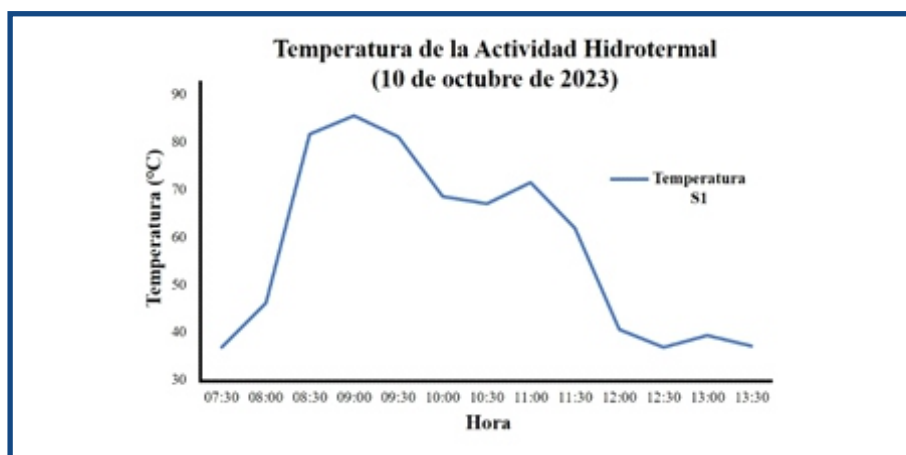


Figura 6. Registro de temperatura de la actividad hidrotermal en el sitio 1 (S1). Registro del 10 de octubre de 2023, de las 7:30 h a las 13:30 h.



Los datos obtenidos en el registro de prueba del 25 de noviembre 2023, muestran un comportamiento de temperatura similar a los sitios S2 y S3 de la segunda campaña. Durante este día, el registro de datos fue cada segundo, desde las 13:00:00 h hasta las 21:02:31 h. En este periodo se observaron hasta 22 episodios de actividad hidrotermal con temperaturas superiores a los 35°C (Figura 5), y donde la máxima registrada fue de 36.84°C, pero siguen siendo temperaturas menores a las registradas en el sitio S1. Esta variabilidad se podría atribuir a los patrones de circulación subsuperficial de este sitio, lo que llevaría a suponer que es un fenómeno que ocurre a nivel muy local de este sistema. Otros estudios sobre monitoreo de la temperatura en sistemas hidrotermales submarinos han reportado que los diferentes niveles de la marea afectan las descargas hidrotermales, influyendo en la temperatura de los fluidos descargados (Aliani et al., 1998; Fitzsimons, et al., 1997; Tsimplis & Vlahakis, 1994). Por ejemplo, en el SHSS de Milos, investigaron la relación entre las fluctuaciones de temperatura y las mareas mediante análisis espectral estándar y encontraron una relación inversa entre estos dos parámetros (Aliani et al., 1998). Sin embargo, otros factores impredecibles y desconocidos también pueden influir en los registros de temperatura (Hessler et al., 1988), lo que puede enmascarar la relación con las mareas y hacer que esta sea evidente solo bajo ciertas condiciones. Debido a lo anterior se consultó la página web Tabla de Mareas de Puerto Vallarta (Tabla de Mareas, 2025), para obtener de manera cualitativa el comportamiento de las mareas en la región de estudio. Aunque los datos no son exactamente del sitio de estudio, Puerto Vallarta está relativamente cerca y estos datos de marea pueden proporcionar información útil para interpretar la variabilidad en los registros de temperatura. La figura 7 muestra el comportamiento de la marea durante el periodo del 9 de septiembre al 31 de octubre de 2023.

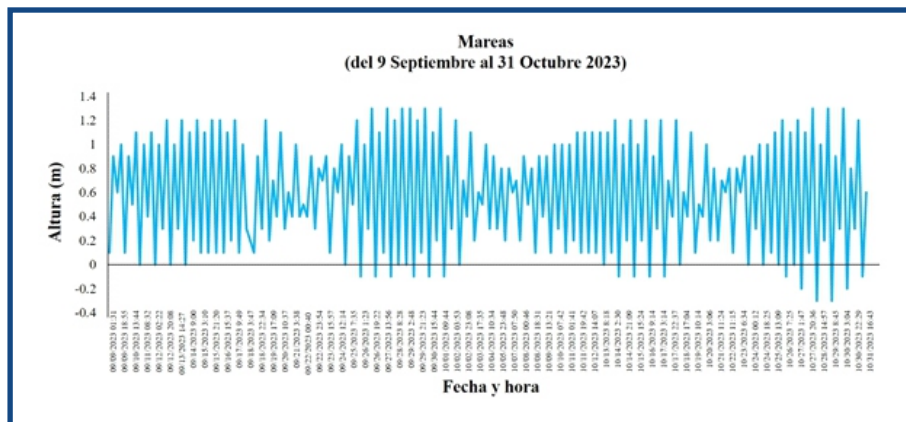


Figura 7. Registro de mareas en el periodo del 9 de septiembre al 31 de octubre de 2023. Datos tomados de la página web Tabla de Mareas de Puerto Vallarta (Tabla de Mareas, 2025).

Si se observa la variabilidad de la temperatura de las descargas hidrotermales de los tres sitios de estudio (figura 4) y el comportamiento de la marea (figura 7) se podría observar que las bajas temperaturas de los tres sitios, al final del periodo de estudio (después del 23 de octubre 2023), corresponden con los valores mayores en las mareas. Esta relación inversa puede deberse a fenómenos locales que requieren de mayor profundidad en su estudio para lograr el entendimiento de esta dinámica en el SHSSBB.

Las variaciones en la temperatura entre los sitios de estudio también podrían deberse a la naturaleza de la circulación del agua calentada geotérmicamente, es decir, como las DH que se presentan en estos sitios son de $< 100^{\circ}\text{C}$ y además son difusas, las temperaturas a partir de flujos hidrotermales difusos son muy variables debido a su origen (Barreyre et al., 2014; Scheirer et al., 2006; Sohn, 2007; Tivey et al., 2002;) y a múltiples factores, incluyendo cambios en la presión barométrica, la marea y la interacción entre el agua hidrotermal y el agua marina circundante. Lo anterior evidencia la necesidad de integrar en futuros estudios los registros de esos parámetros exactamente en los sitios de estudio, para así comprender mejor su papel en las fluctuaciones de temperatura de los SHSS.



El monitoreo de la temperatura en el SHSSBB representó un desafío debido a las condiciones del entorno marino, principalmente por la poca profundidad a la que se encuentra este sistema hidrotermal, ya que el fondo se encuentra sometido a la acción constante del oleaje, las tempestades y las corrientes de fondo (Canet et al., 2000), lo que provocó que se movieran del lugar de instalación las primeras anclas, las cubetas con concreto, lo que ocasionó que se perdieran algunas de éstas junto con los sensores que fueron instalados en la primera campaña de muestreo. Este aprendizaje evidenció la necesidad de mejoras en el diseño de las anclas, así que se realizaron ajustes para la campaña de 2023, donde se utilizaron placas de acero como anclas, las cuales ofrecieron mayor estabilidad y resistencia. Estas modificaciones fueron útiles para obtener registros de hasta 2,516 datos en cada sitio de estudio (S1, S2 y S3). Lo anterior resalta las complejidades inherentes en el monitoreo continuo en SHSS y revela la importancia de adaptar mejor las metodologías a las condiciones específicas de este tipo de ambientes. Se realizó el monitoreo de temperatura en el SHSSBB durante un periodo corto de 53 días, evidenciando una periodicidad en la actividad hidrotermal. En el sitio S1 se registraron temperaturas de hasta 85.56°C, mientras que en los otros dos sitios también se observó una periodicidad, solo que con temperaturas menores. Además, se implementaron mejoras en las estrategias de instalación de los sensores HOBOTM PendantTM entre las dos campañas de muestreo, como lo fue el uso de placas de acero como anclas para los sensores durante la segunda campaña. Sin embargo, para obtener un panorama más completo de la variabilidad y periodicidad de la temperatura en la actividad hidrotermal de este sistema, se requiere un monitoreo más extenso que incluya otros parámetros como la presión barométrica, datos precisos de mareas, así como la identificación de los patrones de circulación del flujo hidrotermal debajo del lecho marino donde se localiza este sistema entre otros, lo que podría revelar posibles correlaciones y contribuir a una mejor caracterización de la dinámica hidrogeológica presente. Asimismo, se sugiere que sean monitoreos continuos y a largo plazo.



► AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Rosa María Chávez Dagostino y a Natalia Balzaretti Merino, por su invaluable colaboración y apoyo durante el trabajo de campo en ambas campañas de muestreo.

► LITERATURA CITADA

- Aliani, S., Amici, L., Dando, P.R., & Meloni, R. (1998).** Time series of water pressure and bottom temperature in a marine shallow water hydrothermal vent of Milos island (Aegean volcanic arc): Preliminary results. *Bulletin de la Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée*, 35, 46-47.
- Aliani, S., Meloni, R., & Dando, P.R. (2004).** Periodicities in sediment temperature time-series at a marine shallow water hydrothermal vent in Milos Island (Aegean Volcanic arc, Eastern Mediterranean). *Journal of Marine Systems*, 46, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.11.015>
- Arellano-Ramirez, Y., Kretzschmar, T.G., & Hernandez-Martinez, R. (2017).** Water-Rock-Microbial Interactions in the hydrothermal spring of Puertecitos, Baja California, Mexico. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 865-868. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2017.01.044>
- Barreyre, T., Escartín, J., Sohn, R.A., Cannat, M., Ballu, V., & Crawford, W.C. (2014).** Temporal variability and tidal modulation of hydrothermal exit-fluid temperatures at the Lucky Strike deep-sea vent field, Mid-Atlantic Ridge. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119, 2543-2566. <https://doi.org/10.1002/2013JB010478>



- Canet, C., & Prol-Ledesma, R.M. (2006).** Mineralizing processes at shallow submarine hydrothermal vents: Examples from Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 58 (1), 83-102. <https://doi.org/10.18268/bsgm2006v58n1a3>
- Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., & Melgarejo, J.C. (2000).** El sistema hidrotermal de Punta Mita (México): Un ejemplo de depósito exhalativo submarino actual. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*, 25, 325-327.
- Cardigos, F., Colaco, A., Dando, P.R., Ávila, S.P., Sarradin, P.M., Tempera, F., Conceicao, P., Pascoal, A., & Santos, R.S. (2005).** Shallow water hydrothermal vent field fluids and communities of the D. Joao de Castro Seamount (Azores). *Chemical Geology*, 224, 153-168. <https://doi:10.1016/j.chemgeo.2005.07.019>
- Carlino, S., Mirabile, M., Troise, C., Sacchi, M., Zeni, L., Minardo, A., Caccavale, M., Darányi, V., & De Natale, G. (2016).** Distributed-Temperature-Sensing Using Optical Methods: A First Application in the Offshore Area of Campi Flegrei Caldera (Southern Italy) for Volcano Monitoring. *Remote Sensing*, 8, 674. <https://doi.org/10.3390/rs8080674>
- Chevaldonné, P., Desbruyères, D., & Le Haitre, M. (1991).** Time-series of temperature from three deep-sea hydrothermal vent sites. *Deep Sea Research* 38 (11), 1417– 1430. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(91\)90014-7](https://doi.org/10.1016/0198-0149(91)90014-7)
- Corliss, J.B., Dymond, J., Gordon, L.I., Edmond, J.M., Von Herzen, R.P., Ballard, R.D., Green, K., Williams, D., Bainbridge, A., Crane, K., & Van Andel, T.H. (1979).** Submarine Thermal Springs on the Galápagos Rift. *Science*, 203(4385), 1073–1083.
- Couto, R.P., Rodrigues, A.S., & Neto, A.I. (2015).** Shallow-water hydrothermal vents in the Azores (Portugal). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 15 (4), 495-505. <https://doi.org/10.5894/rgci584>



- Dando, P.R., Hughes, J.A., & Thiermann, F. (1995).** Preliminary observations on biological communities at shallow hydrothermal vents in the Aegean Sea. In: Parson, L.M., Walker, C.L., Dixon, D.R. (Eds.), *Hydrothermal Vents and Processes. Geological Society Special Publication, London*, pp. 303– 317. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1995.087.01.23>
- Ding, K., Seyfried Jr., W.E., Tivey, M.K., & Bradley, A.M. (2001).** In situ measurement of dissolved H₂ and H₂S in high-temperature hydrothermal vent fluids at the Main Endeavour Field, Juan de Fuca Ridge. *Earth and Planetary Science Letters*, 186, 417-425. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00257-6](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00257-6)
- Du, Z., Zhang, X., Xue, B., Luan, Z., & Yan, J. (2020).** The applications of the *in situ* laser spectroscopy to the deep-sea cold seep and hydrothermal vent system. *Solid Earth Sciences*, 5, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.sesci.2020.06.001>
- Fitzsimons, M.F., Dando, P.R., Hughes, J.A., Thiermann, F., Akoumianaki, I., & Pratt, S.M. (1997).** Submarine hydrothermal brine seeps off Milos. Greece: observations and geochemistry. *Marine chemistry*, 57, 325-340. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(97\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(97)00021-2)
- Fornari, D. J., Shank, T., Von Damm, K.L., Gregg, T.K.P., Lilley, M., Levai, G., Bray, A., Haymon, R.M., Perfit, M.R., & Lutz, R. (1998).** Time-series temperature measurements at high-temperature hydrothermal vents, East Pacific Rise 9°49'-51'N: evidence for monitoring a crustal cracking event. *Earth and Planetary Science Letters*, 160, 419–431. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(98\)00101-0](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(98)00101-0)
- Foucher, J.P., Henry, P., Le Pichon, X., & Kobayashi, K. (1992).** Time variations of fluid expulsion velocities at the toe of the eastern Nankatai accretionary complex. *Earth and Planetary Science Letters*, 109, 373–382. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(92\)90099-H](https://doi.org/10.1016/0012-821X(92)90099-H)
- Fujiwara, Y., Tsukahara, J., Hashimoto, J., & Fujikura, K. (1998).** In situ spawning of a deep-sea vesicomyid clam: evidence for an environmental clue. *Deep Sea Research I*(45), 1881– 1889.



- Goto, S., Kinoshita, M., Matsubayashi, O., & Von Herzen, R.P. (2002).** Geothermal constraints on the hydrological regime of the TAG active hydrothermal mound, inferred from long-term monitoring. *Earth and Planetary Science Letters*, 203, 149-163. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(02\)00876-2](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00876-2)
- Hessler, R.R., Smithey, W.M., Boudrias, M.A., Keller, C.H., Luts, R.A., & Childress, J.J. (1988).** Temporal changes in megafauna at the Rose Garden hydrothermal vent (Galapagos Rift: eastern tropical Pacific). *Deep-Sea Research*, 35, 1681-1709. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(88\)90044-1](https://doi.org/10.1016/0198-0149(88)90044-1)
- Kelley, D.S., Delaney, J.R., & Juniper, S.K. (2014).** Establishing a new era of submarine volcanic observatories: Cabling Axial Seamount and the Endeavour Segment of the Juan de Fuca Ridge. *Marine Geology*, 352, 426-450. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.010>
- Kinoshita, M., Matsubayashi, O., & Von Herzen, R.P. (1996).** Subbottom temperature anomalies detected by long-term temperature monitoring at the TAG hydrothermal mound. *Geophysical Research Letters*, 23, 3467-3470. <https://doi.org/10.1029/96GL02150>
- Langmuir, C., Humphris, S., Fornari, D., Van Dover, C., Von Damm, K., Tivey, M.K., Colodner, D., Charlou, J.L., Desonie, D., Wilson, C., Fouquet, Y., Klinkhammer, G., & Bougault, H. (1997).** Hydrothermal vents near a mantle hot spot: The Lucky Strike vent field at 37°N on the Mid-Atlantic Ridge. *Earth and Planetary Science Letters*, 148, 69-91. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(97\)00027-7](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(97)00027-7)
- Larson, B.I., Lilley, M.D., & Olson, E.J. (2009).** Parameters of subsurface brines and hydrothermal processes 12-15 months after the 1999 magmatic event at the Main Endeavor Field as inferred from in situ time series measurements of chloride and temperature. *Journal of Geophysical Research*, 114, B01207. <https://doi.org/10.1029/2008JB005627>



- Lee, R.W., Robert, K., Matabos, M., Bates, A.E., & Juniper, S.K. (2015).** Temporal and spatial variation in temperature experienced by macrofauna at Main Endeavour hydrothermal vent field. *Deep-Sea Research I*, 106, 154-166. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2015.10.004>
- Li, L.F., Zhang, X., Luan, Z.D., Du, Z.F., Xi, S.C., Wang, B., Lian, C., & Yan, J. (2018).** A new approach to measuring the temperature of fluids reaching 300°C and 2 mol/kg NaCl based on the Raman shift of water. *Applied Spectroscopy*, 72 (11), 1621-1631. <https://doi.org/10.1177/0003702818776662>
- Liao, G., Zhou, B., Liang, C., Zhou, H., Ding, T., Wang, Y., & Dong, C. (2016).** Moored observation of abyssal flow and temperature near a hydrothermal vent on the Southwest Indian Ridge. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121, 836-860. <https://doi.org/10.1002/2015JC011053>
- López-Sánchez, A., Báncora-Alsina, C., Prol-Ledesma, R.M., & Hiriart, G. (2006).** A New Geothermal Resource in Los Cabos, Baja California Sur, Mexico. *In: Proceedings 28th: New Zealand, Geothermal Workshop*, S3-6.
- Marques-Mendes, A.R. (2008).** Influência Das fonts Hidrotermais Marinhas De Baixa Profundidade Na Composição Das Comunidades De Meiofauna. Tesis de Licenciatura en Biología Marina, Universidade Dos Açores, Ponta Delgada, Azores, Portugal, pp. 38.
- Melwani, A.R., & Kim, S.L. (2008).** Benthic infaunal distributions in shallow hydrothermal vent sediments. *Acta Geologica*, 33, 162-175. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2007.10.008>
- Mittelstaedt, E., Escartín, J., Gracias, N., Olive, J.A., Barreyre, T., Davaille, A., Cannat, M., & Garcia, R. (2012).** Quantifying diffuse and discrete venting at the Tour Eiffel vent site, Lucky Strike hydrothermal field. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13 (4), 1-18. <https://doi.org/10.1029/2011GC003991>



- Momma, H., Iwase, R., Mitsuzawa, K., Kaiho, Y., & Fujiwara, Y. (1998).** Preliminary results of a three-year continuous observation by a deep seafloor observatory in Sagami Bay, central Japan. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 108, 263–274. [https://doi.org/10.1016/S0031-9201\(98\)00107-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9201(98)00107-1)
- Núñez-Cornú, F.J., Prol-Ledesma, R.M., Cupul-Magaña, A., & Suárez-Plascencia, C. (2000).** Near shore submarine hydrothermal activity in Bahía Banderas western Mexico. *Geofísica Internacional*, 39, 171-178.
- Prol-Ledesma, R. M., Canet, C., Torres-Vera, M.A., Forrest, M.J., & Armienta, M.A. (2004).** Vent fluid chemistry in Bahía Concepción coastal submarine hydrothermal system, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 137, 311 - 328. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.06.003>
- Prol-Ledesma, R.M., & Canet, C. (2014).** Evaluación y Explotación de los Recursos Geotérmicos del Océano. En Low-Pfeng, A. y Peters-Recagno, E.M. (Eds.), *La Frontera Final: El Océano Profundo*, pp. 11-30.
- Prol-Ledesma, R.M., Canet, C., Melgarejo, J.C., Tolson, G., Rubio-Ramos, M.A., Cruz-Ocampo, J.C., Ortega-Osorio, A., Torres-Vera, M.A., & Reyes, A. (2002).** Cinnabar deposition in submarine coastal hydrothermal vents, Pacific margin of central Mexico. *Economic Geology*, 97, 1331-1340. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.97.6.1331>
- Rinke, C., & Lee, R.W. (2009).** Macro camera temperature logger array for deep-sea hydrothermal vent and benthic studies. *Limnology and Oceanography: Methods*, 7, 527-534. <https://doi.org/10.4319/lom.2009.7.527>
- Rodríguez-Uribe, M., Jarquín-González, J., Salazar-Silva, P., Chávez-Dagostino, R., & Merino, N.B. (2024).** Cumaceans (Crustacea, Peracarida) associated with shallow-water hydrothermal vents at Banderas Bay, Mexico. *Biodiversity Data Journal*, 12, e139801. <https://doi.org/10.3897/BDJ.12.e139801>



- Rodríguez-Uribe, M.C., Núñez-Cornú, F.J., Prol-Ledesma, R.M., & Salazar-Silva, P. (2023).** Benthic infauna associated with a shallow-water hydrothermal system of Punta Mita (Mexico). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 103, e26: 1-12. <https://doi.org/10.1017/S0025315423000164>
- Scheirer, D.S., Shank, T.M., & Fornari, D.J. (2006).** Temperature variations at diffuse and focused flow hydrothermal vent sites along the northern East Pacific Rise. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7(3). <https://doi.org/10.1029/2005GC001094>
- Schultz, A., Dickson, P., & Elderfield, H. (1996).** Temporal variations in diffuse hydrothermal flow at TAG. *Geophysical Research Letters*, 23, 3471–3474. <https://doi.org/10.1029/96GL02081>
- Sohn, R.A. (2007).** Stochastic analysis of exit fluid temperature records from the active TAG hydrothermal mound (Mid-Atlantic Ridge, 26°N): 1. Modes of variability and implications for subsurface flow. *Journal of Geophysical Research*, 112, B07101. <https://doi.org/10.1029/2006JB004435>
- Stüben, D., Sedwick, P., & Colantoni, P. (1996).** Geochemistry of submarine warm springs in the limestone cavern of Grotta Azzurra, Capo Palinuro, Italy: evidence of mixing zone dolomization. *Chemical Geology*, 131, 113–125. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(96\)00029-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(96)00029-0)
- Tabla de Mareas. (2025).** Tabla de mareas de Puerto Vallarta. Recuperado el 24 de enero de 2025 de <https://tablademareas.com/mx/jalisco/puerto-vallarta>
- Tarasov, V.G., Gebruk, A.V., Mironov, A.N., & Moskalev, L.I. (2005).** Deep-sea and shallow-water hydrothermal vent communities: Two different phenomena? *Chemical Geology*, 224(1-3), 5-39. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.021>
- Tivey, M.K., Bradley, A.M., Joyce, T.M., & Kadko, D. (2002).** Insights into tide-related variability at seafloor hydrothermal vents from timeseries temperature measurements. *Earth and Planetary Science Letters*, 202, 693–707. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(02\)00801-4](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00801-4)



Tsirnplis, M.N., & Vlahakis, G.N. (1994). Meteorological forcing and sea level variability in the Aegean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 99 (C5), 9879 - 9890 .
<https://doi.org/10.1029/94JC00479>

Vidal, V.M.V., Vidal, F.V., & Isaacs, J.D. (1978). Coastal Submarine Hydrothermal Activity off Northern Baja California. *Journal of Geophysical Research*, 83, 1757-1774 .
<https://doi.org/10.1029/JB083iB04p01757>

Wenzhöfer, F., Holby, O., Glud, R.N., Nielsen, H.K., & Gundersen, J.K. (2000). In situ microsensor studies of a shallow water hydrothermal vent at Milos, Greece. *Marine Chemistry*, 69, 43-54. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(99\)00091-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(99)00091-2)