



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

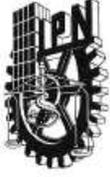


**Temperatura superficial del mar durante el Holoceno  
mediante el uso de isótopos estables de oxígeno en bivalvos,  
Bahía de La Paz, Golfo de California**

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAGISTER EN CIENCIAS MARINAS**

PRESENTA  
**Fernando Arenas González**

LA PAZ, B.C.S., enero de 2022



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S siendo las 12:00 horas del día 29 del mes de octubre del 2021 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas para examinar la tesis titulada: Temperatura superficial del mar durante el Holoceno, mediante el uso de isótopos estables de oxígeno en bivalvos, Bahía de La Paz Golfo de California del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Arenas	Apellido Materno:	González	Nombre (s):	Fernando
-------------------	--------	-------------------	----------	-------------	----------

Número de registro: A 2 0 0 4 2 6  
Aspirante del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Manejo de Recursos Marinos

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 4 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI  NO  SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:** *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*  
El documento mostró 4% de similitud al extraer la bibliografía, citas textuales, citas y las oraciones menores de 10 palabras. En general es un grado de similitud aceptable del manuscrito de tesis de maestría.

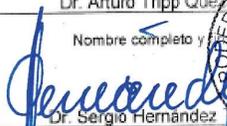
**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

Satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

  
Dr. Alberto Sánchez González  
Director de tesis  
Nombre completo y firma  
  
M. C. Esteban Fernando Félix Rico  
Nombre completo y firma

**COMISIÓN REVISORA DE TESIS**  
  
Dra. Griselda Margarita Rodríguez Figueroa  
Nombre completo y firma  
  
Dr. Enrique Hiparco Nava Sánchez  
Nombre completo y firma

  
Dr. Arturo Tripp Quevedo  
Nombre completo y firma  
  
Dr. Sergio Hernández Trujillo  
Nombre completo y firma  
  
**IPN.**  
**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**  
**CICIMAR DIRECCION**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 29 del mes de octubre del año 2021

El (la) que suscribe Fernando Arenas González Alumno (a) del Programa

Maestría en Manejo de Recursos Marinos

con número de registro A200426 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

Temperatura superficial del mar durante el Holoceno, mediante el uso de isótopos estables de oxígeno en bivalvos, Bahía de  
La Paz, Golfo de California

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: farenasg2000@alumno.ipn.mx - alsanchezg@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Fernando Arenas González

*Nombre y firma del alumno*

*El futuro es de aquellos que se atreven a cuestionar el presente*

## *Dedicatoria*

*Este trabajo ha sido resultado de incontables aportes, los cuales inician años atrás. Quiero agradecer a mi familia que a pesar de la distancia y el tiempo siempre han estado cerca. A mi esposa y compañera Diana, su cariño y conocimiento me han formado como persona e investigador. A mi hija Indiana por traer amor y felicidad a este mundo cuando más lo necesitábamos. A Roberta y Stephen Gosh por tantas conversaciones enriquecedoras. A Dave por aquellas largas horas de camino y filosofía. A Eliseo y Brenda por mantenerme enfocado en los detalles de la vida. A Dios por su fidelidad.*

## **Agradecimientos**

Al Dr. Alberto Sánchez González por ser un gran ejemplo como investigador, director y padre de familia. A Harumi Fujita por sus contribuciones y amistad. A los integrantes del comité Dr. Arturo Tripp Quezada, Dr. Enrique Hiparco Nava Sánchez, M. en C. Esteban Fernando Félix Pico, y la Dra. Griselda Margarita Rodríguez Figueroa por su apoyo y consejos para la elaboración de este proyecto. El apoyo financiero para este estudio fue proporcionado por los proyectos SIP2020-0708 y SIP2021-0421 del Instituto Politécnico Nacional (IPN), así como la “Beca de estímulo Institucional de Formación de Investigadores BEIFI”. Las muestras de bivalvos provienen de los Proyectos "Poblamiento de América visto desde la isla Espíritu Santo, B.C.S." y "Registro y excavación de sitios arqueológicos del Municipio de La Paz, B.C.S." del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) México, por mi beca de maestría. Un agradecimiento especial para Karim Bulhusen Muñoz por su constante retroalimentación y experiencia como arqueóloga. A Zenia Pérez Falls por su conocimiento en cartografía.

## Índice

Dedicatoria.....	1
Agradecimientos.....	2
Resumen.....	6
Abstract.....	7
<b>1. Introducción.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Justificación.....</b>	<b>14</b>
<b>3. Hipótesis.....</b>	<b>15</b>
<b>4. Objetivo general.....</b>	<b>15</b>
<b>5. Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>6. Relevancia de la investigación.....</b>	<b>15</b>
<b>7. Materiales y Métodos.....</b>	<b>16</b>
7.1 Área de estudio.....	16
7.2 Fechado y obtención de carbonato de calcio.....	18
7.3 Análisis de carbonato de calcio.....	21
<b>8. Resultados.....</b>	<b>22</b>
8.1 Isótopos estables de oxígeno en <i>C. californiensis</i> .....	22
8.2 Isótopos estables de oxígeno en <i>P. mazatlanica</i> .....	25
<b>9. Discusión.....</b>	<b>30</b>
9.1 Bivalvos en sitios arqueológicos.....	30
9.2 Temperatura superficial del mar en la Bahía de La Paz.....	31
9.3 Variabilidad de la TSM y su efecto sobre la población humana.....	34
<b>10. Conclusiones.....</b>	<b>36</b>
<b>11. Referencias.....</b>	<b>37</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Posibles rutas de migración temprana en la península de Baja California .....	9
<b>Figura 2.</b> Antecedentes paleoceanográficos últimos 9100 AP en la Bahía de La Paz .....	14
<b>Figura 3.</b> Localización del sitio arqueológicos A-119 Cañada de La Enfermería, La Paz, B.C.S., México .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.</b> Vista general de A-119 Cañada de La Enfermería, unidades de Excavación A y B .....	18
<b>Figura 5.</b> Esquema estratigráfico de unidad A de excavación en A-119 Cañada de La Enfermería y fechados aproximados en años AP .....	19
<b>Figura 6.</b> Valores promedio y desviación estándar de $\delta^{18}\text{O}$ para <i>C. californiensis</i> de los concheros de la Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz, México. ....	24
<b>Figura 7.</b> Punto de extracción de carbonato de calcio de valvas de <i>C. californiensis</i> antigua y del reciente.....	27
<b>Figura 8.</b> Valores promedio y desviación estándar de $\delta^{18}\text{O}$ para <i>C. californiensis</i> de los concheros de la Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz, México. La línea punteada representa el rango de $\delta^{18}\text{O}$ de especímenes recolectados en el presente.....	24
<b>Figura 9.</b> Valores promedio y desviación estándar de temperatura superficial del mar (TSM en ° C) y edad promedio (años AP, 1-SIGMA) para <i>C. californiensis</i> de los concheros de la Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz, México. La línea punteada representa el rango de TSM de especímenes colectados en el presente.....	25
<b>Figura 10.</b> Valores promedio y desviación estándar de $\delta^{18}\text{O}$ para <i>P. mazatlanica</i> de los concheros de la Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz, México. La línea punteada representa el rango de $\delta^{18}\text{O}$ de especímenes colectados en el presente.....	27

**Figura 11.** Valores promedio y desviación estándar de temperatura superficial del mar (TSM en ° C) y edad promedio (años AP, 1-SIGMA) para *P. mazatlanica* de los concheros de la Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz, México. La línea punteada representa el rango de TSM de especímenes colectados en el presente.....28

**Figura 12.** Mapa global de tendencias de temperaturas superficiales del mar (° C) a partir de alquenonas a lo largo del Holoceno (10,000 AP – 0 AP) .....30

### Índice de Tablas

**Tabla 1.** Promedio y desviación estándar de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰ vs. VPDB) y temperatura superficial del mar (TSM en ° C) estimada a partir de Grossman y Ku (1986) para conchas de *C. californiensis* de La Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz; Edad promedio y rango de edad (años AP, 1-SIGMA) de cada capa estratigráfica tomada de Fujita *et al.* (2018).....23

**Tabla 2.** Promedio y desviación estándar de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰ vs. VPDB) y temperatura superficial del mar (TSM en ° C) estimada a partir de Grossman y Ku (1986) para conchas de *P. mazatlanica* de La Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz; Edad promedio y rango de edad (años AP, 1-SIGMA) de cada capa estratigráfica tomada de Fujita *et al.* (2018)...26

## Resumen

Las características oceánicas del Holoceno se utilizan para comprender patrones y fenómenos climáticos que afectaron comunidades marinas y humanas del pasado. La temperatura superficial del mar (TSM) del pasado puede inferirse mediante el análisis de isótopos estables de oxígeno ( $\delta^{18}\text{O}$ ) en conchas de bivalvos. El objetivo de este estudio fue calcular la TSM de veranos del Holoceno para la Bahía de La Paz, México, mediante el análisis de  $\delta^{18}\text{O}$  en conchas de *Chione californiensis* y *Pinctada mazatlanica* fechadas con  $^{14}\text{C}$ , provenientes de La Cañada de La Enfermería. En el Reciente (2019), los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (TSM) en *C. californiensis* y *P. mazatlanica* fueron  $-1.9 \pm 0.1 \text{ ‰}$  ( $28.7 \pm 0.6^\circ\text{C}$ ) y  $-1.8 \pm 0.2 \text{ ‰}$  ( $28.3 \pm 0.7^\circ\text{C}$ ), respectivamente. En los últimos 9500 AP, estos valores variaron entre  $-1.3 \text{ ‰}$  y  $-2.6 \text{ ‰}$  (*C. californiensis*) y  $-1.3 \text{ ‰}$  y  $-1.87 \text{ ‰}$  (*P. mazatlanica*). En 7070 AP, 6945 AP y 2087 AP, el  $\delta^{18}\text{O}$  de ambas especies se enriqueció en  $^{18}\text{O}$  ( $0.3$  a  $0.4 \text{ ‰}$  para *C. californiensis*;  $0.14$  a  $0.55 \text{ ‰}$  para *P. mazatlanica*), sugiriendo una TSM de verano más fría que la actual. Mientras que, para 7857 AP, 7805 AP, 7804 AP y 7708 AP el  $\delta^{18}\text{O}$  de *C. californiensis* disminuyó en  $^{18}\text{O}$  ( $0.6$  a  $0.9 \text{ ‰}$ ), indicando una TSM de verano más cálida que la actual. Finalmente, para 9469 AP y 8396 AP los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  fueron similares a los actuales. Las TSM calculadas de *C. californiensis* y *P. mazatlanica* representan condiciones ambientales específicas de verano, indicando tendencias similares a las halladas por estudios paleoceanográficos de la región, con aguas cálidas alrededor de 7800 AP, un periodo de ligero enfriamiento alrededor de 6900 AP y aguas más frías durante 2087 AP. Adicionalmente, los resultados sugieren un escenario climático que afectó a las poblaciones humanas del área de estudio, generando un periodo de pausa ocupacional entre 6585 AP y

2220 AP, que coincide con un periodo de cambios significativos en el clima global, documentado para la zona de estudio y otras regiones de Norteamérica, indicando un posible efecto de la variabilidad climática sobre la presencia humana durante el Holoceno.

#### Abstract

Holocene ocean characteristics are used to study weather patterns and phenomena that affected human and marine communities of the past. Past sea surface temperature (SST) can be inferred using stable oxygen isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ) in bivalve shells. The objective of this study was to calculate the Holocene summer SST for La Paz Bay, Mexico, by analyzing  $\delta^{18}\text{O}$  in  $^{14}\text{C}$ -dated *Chione californiensis* and *Pinctada mazatlanica* shells from La Cañada de La Enfermería. Presently,  $\delta^{18}\text{O}$  values (SST) of *C. californiensis* and *P. mazatlanica* were  $-1.9 \pm 0.1 \text{ ‰}$  ( $28.7 \pm 0.6 \text{ ° C}$ ) and  $-1.8 \pm 0.2 \text{ ‰}$  ( $28.3 \pm 0.7 \text{ ° C}$ ) respectively. In the last 9500 BP, these values varied between  $-1.3 \text{ ‰}$  and  $-2.6 \text{ ‰}$  (*C. californiensis*);  $-1.3 \text{ ‰}$  and  $-1.87 \text{ ‰}$  (*P. mazatlanica*). In 7070 BP, 6945 BP and 2087 BP the  $\delta^{18}\text{O}$  of both species was enriched in  $^{18}\text{O}$  ( $0.3$  to  $0.4 \text{ ‰}$  for *C. californiensis*;  $0.14$  to  $0.55$  for *P. mazatlanica*), suggesting colder summer SST than presently. While, for 7857 BP, 7805 BP, 7804 BP and 7708 BP *C. californiensis*  $\delta^{18}\text{O}$  decreased in  $^{18}\text{O}$  ( $0.6$  to  $0.9 \text{ ‰}$ ), indicating warmer summer SST than presently. Finally, for 9469 BP and 8396 BP  $\delta^{18}\text{O}$  values were similar to current ones. Calculated SSTs represent trends similar to other paleoceanographic studies for the region, with warm waters around 7800 BP, a period of slight cooling around 6900 BP and colder waters during 2087 BP. Additionally, the results indicate an occupational hiatus in the study area between 6585 BP and 2220 BP, which coincide with a period of significant change in the global climate, documented for the study area and other regions of North America, indicating a possible effect of climate variability on human presence during the Holocene.

## 1. Introducción

La costa Pacífica del continente americano contiene miles de sitios arqueológicos, que se extienden desde el norte de Alaska (Bever, 2001) hasta el sur de Argentina (Prates *et al.*, 2013). Los restos y artefactos hallados en estos sitios contienen información valiosa sobre fluctuaciones ambientales del pasado, y sobre la adaptación a estos cambios por poblaciones humanas, que se extienden al menos a los últimos 130,000 años antes del presente (AP) (Holen *et al.*, 2017). En este contexto, California, Baja California y Baja California Sur presentan los registros más antiguos y mejor conservados de América.

La evidencia arqueológica del Holoceno temprano indica que el poblamiento inicial de Baja California y Baja California Sur fue llevado a cabo por grupos paleoindios cazadores y grupos costeros, cuya subsistencia estaba sustentada por la explotación de recursos marinos y complementada por la recolección y caza. Los grupos humanos costeros probablemente siguieron la costa del Pacífico, desde el oeste de Canadá y el noroeste de Estados Unidos hasta llegar a Isla Cedros, posteriormente dirigiéndose hacia el extremo sur de la península, donde algunos cruzaron al Golfo de California, descubriendo una gran bahía productiva (Fujita, 2010; Fujita y Melgar, 2014; Porcasi y Fujita, 2011). En esta bahía se relacionaron con grupos inmigrantes de la tradición Western Pluvial Lakes, especializados en la cacería de animales terrestres, colonizando la región simultáneamente hace aproximadamente 12,000 años (Fig. 1). En la actualidad, solo existen algunos grupos autóctonos, posiblemente representando los descendientes de aquellos primeros pobladores que habitaron de forma ininterrumpida en la península hasta el siglo XVIII, a partir del cual en menos de 300 años experimentaron la paulatina apropiación de su territorio y una adaptación forzada, reduciendo

sus números actuales a menos de 1000 individuos en Baja California y aún menos en Baja California Sur (Patterson, 1987).

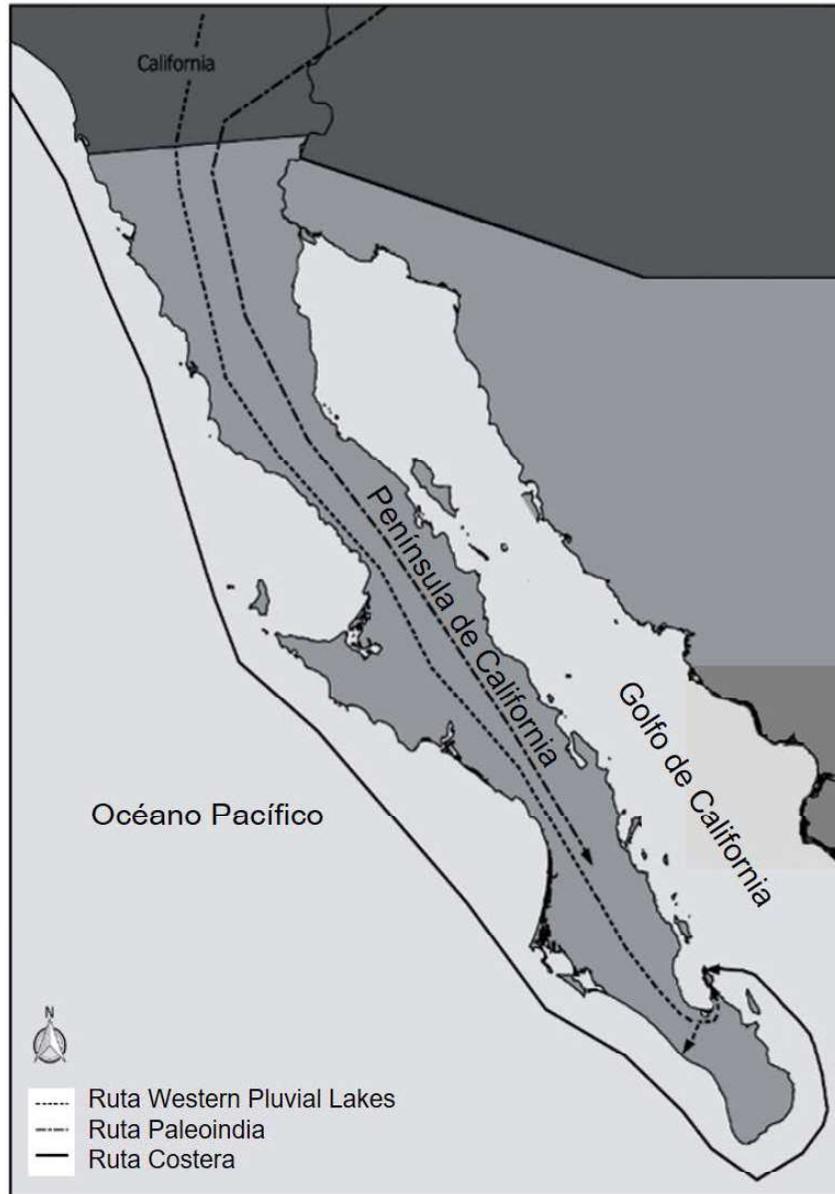


Figura 1. Posibles rutas de migración temprana en la península de Baja California (tomado de Fujita *et al.*, 2018)

Baja California Sur posee diversidad de sitios arqueológicos que sugieren un proceso de poblamiento temprano, interrumpido durante el Holoceno medio, y posteriormente reanudado durante el Holoceno tardío. El sitio de excavación A-119 #3, Cañada de La Enfermería, se ubica a relativa proximidad de la costa y es bordeado por un arroyo intermitente, el cual alberga agua dulce periódicamente, razón por la cual se cree que los pobladores del pasado establecieron campamentos en la zona. Las colinas circundantes proveen diversos tipos de materias primas líticas para la fabricación de artefactos, y múltiples refugios rocosos que ofrecen cierto grado de protección. En las excavaciones realizadas en 2015 y 2016 se obtuvieron gran cantidad de restos de fauna y artefactos líticos que proceden de 10,000 AP a 1800 AP, así como un hiato arqueológico entre 6585 AP y 2220 AP. Los artefactos recuperados incluyen puntas de proyectil, cuchillos, raspadores, raederas, perforadores, manos de metate, cuentas y anzuelos de concha, así como pulidores de coral (Fujita *et al.*, 2018).

Como característica cotidiana de estas poblaciones costeras, los restos de alimentos consumidos eran descartados, formando montículos de basura o concheros. Su análisis revela una gran dependencia de recursos marinos, incluyendo equinodermos, crustáceos, gasterópodos, bivalvos, peces, cetáceos, tortugas y mamíferos marinos, así como el aprovechamiento complementario de recursos terrestres. El componente mayoritario de estos concheros eran los restos de moluscos (Fujita y Ainis, 2018). Estos restos son utilizados actualmente como herramientas de monitoreo ambiental (Braje *et al.*, 2009), y proveen un archivo de gran espectro y alta resolución sobre cambios físico-químicos del océano (Schöne, 2008).

La arqueología ambiental analiza las evidencias dejadas por la actividad humana en el proceso de adaptación a un entorno naturalmente dinámico, considerando que todos los

organismos vivos experimentan cambios temporales en su distribución y abundancia por efecto de las presiones del clima, la ecología y el entorno físico, generando adaptación en el comportamiento humano (Dincauze, 2000). Por esta razón, conocer los factores que enmarcan la distribución y el ciclo de vida de bivalvos de concheros, permite inferir los factores que pudieran limitar su presencia y crecimiento en la Bahía de La Paz, a lo largo del registro arqueológico.

Los bivalvos *Chione californiensis* y *Pinctada mazatlanica* son especies vivas, y frecuentemente halladas en sitios arqueológicos costeros del Golfo de California, por lo cual sirven como modelo para estudios paleoceanográficos. En la actualidad, *C. californiensis* (Broderip, 1836) se distribuye desde Santa Barbara, California, EE. UU. hasta Acapulco, Jalisco, México. Vive en la zona intermareal hasta los 69 m de profundidad, y suele enterrarse unos centímetros debajo de la superficie del sedimento (Keen, 1971; Coan y Valentich-Scott, 2012). Puede vivir hasta 18 años, disminuyendo el crecimiento de la concha a partir de los 4 años. Su distribución y abundancia se encuentran principalmente relacionadas con la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, cantidad de materia orgánica y granulometría de sedimentos (García-Domínguez *et al.*, 1994). De estas variables, la temperatura superficial del mar (TSM) determina en gran medida la distribución y disponibilidad del género *Chione*, con un umbral óptimo establecido entre 24 y 27 °C (Celis-Hernández, 2011). En la Bahía de La Paz, esta especie presenta un óptimo de crecimiento durante el verano y un ciclo reproductivo que dura 8 meses, interrumpiéndose durante el invierno entre 18°C y 23°C (García-Domínguez, 1991).

*Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) es una especie tropical de la provincia panámica, encontrada a lo largo de las costas del Pacífico oriental, desde el Golfo de California hasta Perú. Vive en aguas del sublitoral en arrecifes de coral y fondos rocosos a una profundidad

optima entre 1.5 – 25 m (Keen, 1971; Coan y Valentich-Scott, 2012; Bertsch & Aguilar, 2016). Presenta una longevidad de 5.4 años, con poco crecimiento después de los 4.2 años. Su distribución y abundancia dependen principalmente de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y materia particulada en suspensión. De estos factores, la TSM determina en gran medida la disponibilidad de esta especie, con una tasa metabólica y crecimiento optimo a 28 °C (Wright-López *et al.*, 2009). Adicionalmente, la especie presenta un ciclo reproductivo anual con un pico de desove entre septiembre y octubre cuando las temperaturas se encuentran entre 29-30° C (Saucedo y Monteforte, 1997).

La mayoría de los organismos marinos que precipitan carbonato de calcio lo hacen en equilibrio con la composición isotópica del agua circundante. Dicho mecanismo, dependiente principalmente de la temperatura del océano, determina la proporción de los isótopos estables de oxígeno contenida en el carbonato biogénico y proporciona información sobre las condiciones ambientales bajo las cuales un organismo creció, considerando una tasa de cambio calculada de 0.24‰ por 1 °C (Epstein *et al.*, 1953). Esta tasa de equilibrio isotópico en las conchas de moluscos ha sido ampliamente utilizada como modelo de paleotemperatura (Gordillo *et al.*, 2015; Grossman y Ku, 1986; LeGrande y Schmidt, 2009; Leng y Lewis, 2016; Rick *et al.*, 2006; Schöne, 2003).

En la Isla Santa Rosa, California, los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  en moluscos provenientes de concheros del Holoceno medio sugieren un incremento en la TSM de 2 °C entre 6000 AP y 4300 AP (Rick *et al.*, 2006). En el delta del río Colorado, Alto Golfo de California, la explotación de recursos costeros y condiciones ambientales del Holoceno tardío fueron inferidas a partir del análisis de concheros arqueológicos, empleando isótopos estables de oxígeno, índices de diversidad, riqueza y equitatividad de moluscos. Para uno de los concheros analizados, se hallaron valores de  $\delta^{18}\text{O}$  que variaron entre -3.05 ‰ y 0.7 ‰ para el año 2500 AP (Celis-

Hernández, 2011). Finalmente, para el alto Golfo de California, los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de *Chionista fluctifraga* fueron utilizados para inferir TSM, encontrando una diferencia isotópica de oxígeno anual de 3.38‰ (ca. 14.7 °C) para la región (Schöne *et al.*, 2003).

Diferentes especies pertenecientes al género *Pinctada* (Röding, 1798) han sido halladas en sitios arqueológicos desde Micronesia, Islas San Matías del archipiélago de Bismark, Islas Solomon, Nueva Guinea, Vanuatu y Polinesia (Fitzpatrick y Boyle, 2002), hasta el continente americano, donde han sido históricamente valoradas por sus perlas (Saunders, 1998). Adicionalmente, artefactos de ofrenda fabricados con conchas de *P. mazatlanica* han sido hallados en Perú (Cooke *et al.*, 1998), Ecuador (Stothert, 1990) y el Templo Mayor de Tenochtitlan en ciudad de México (López Luján, 1993), entre otros. Sin embargo, a pesar de su importancia arqueológica, esta especie no cuenta con reconstrucciones paleoceanográficas mediante su biogeoquímica, lo cual hace del presente estudio el primer antecedente histórico. Los estudios sobre la variabilidad de la TSM y sus implicaciones en el ecosistema en épocas pasadas son limitados para la Bahía de La Paz (Fig. 2). Los registros más cercanos de especies dominantes de cocolitofóridos y silicoflagelados sugieren que la TSM fue relativamente fría de 3495 AP a 2250 AP, y relativamente cálida debido a incursiones de aguas tropicales en 5528 AP, 4500 AP y 3750 AP, así como en el periodo Reciente (Álvarez *et al.*, 2012). En el intervalo entre 9000 AP y 6000 AP, la asociación de especies de cocolitofóridos mostró una gran variabilidad en la nutriclina, sugiriendo condiciones de alternancia entre una columna de agua estratificada e intensa mezcla en la bahía (Staines-Urías *et al.*, 2015).

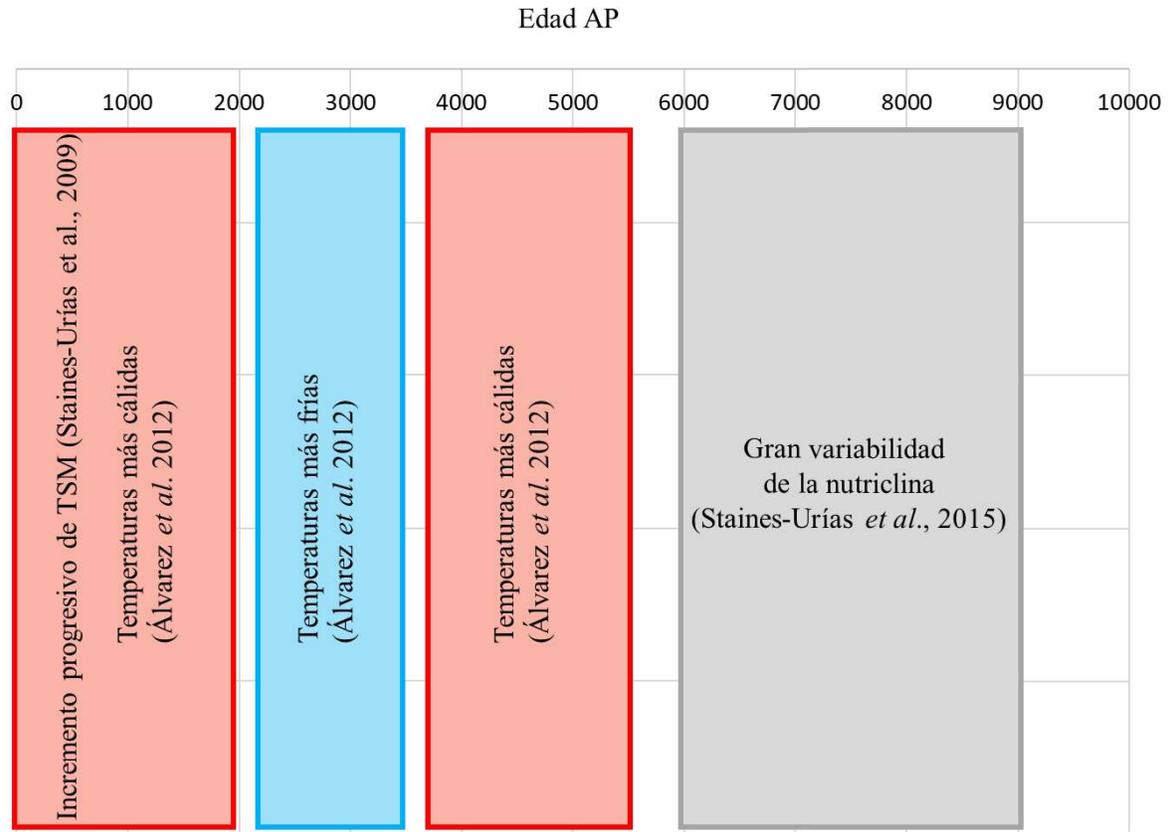


Figura 2. Antecedentes paleoceanográficos de los últimos 9100 años antes del presente en la Bahía de La Paz.

## 2. Justificación

La TSM es un factor determinante para las comunidades marinas y poblaciones humanas costeras. Su cambio a lo largo del tiempo puede ser utilizado como herramienta para estudiar patrones de presencia y ausencia humana. Asimismo, esta información puede ayudarnos a entender los efectos de dicho cambio en el futuro.

En el presente estudio se expone la composición isotópica de oxígeno de los bivalvos *C. californiensis* y *P. mazatlanica*, recolectados en un campamento habitacional al aire libre de una bahía subtropical al sur del Golfo de California, para determinar la variabilidad en la

TSM e inferir cambios en ambientes y estrategias de subsistencia de comunidades humanas que habitaron la región de la península de Baja California durante el Holoceno.

### **3. Hipótesis**

Los cambios en TSM en la Bahía de La Paz a lo largo del Holoceno pueden ser inferidos mediante el análisis de la composición isotópica de valvas antiguas de *C. californiensis* y *P. mazatlanica*.

### **4. Objetivo general**

Determinar la TSM durante el Holoceno, mediante el análisis de isótopos estables de oxígeno en conchas de *C. californiensis* y *P. mazatlanica* provenientes de un campamento a cielo abierto, ubicado en Cañada de la Enfermería, Bahía de La Paz.

### **5. Objetivos específicos**

- 1) Comparar los resultados del análisis isotópico de oxígeno entre bivalvos (*C. californiensis* y *P. mazatlanica*) del presente y el pasado.
- 2) Determinar la fluctuación de TSM a lo largo del Holoceno para la Bahía de La Paz.
- 3) Identificar posibles relaciones entre cambios en TSM y comunidades humanas del pasado.

### **6. Relevancia de la investigación**

La investigación aporta una serie de datos de isótopos estables de oxígeno y paleotemperaturas de la Bahía de La Paz, a través del análisis isotópico de restos arqueológicos de comunidades humanas a lo largo del Holoceno, integrando y unificando estudios

arqueológicos y oceanográficos locales y regionales. Estos resultados constituyen un aporte novedoso para el estudio de la historia humana y la paleoceanografía del sur del Golfo de California, y sirven como base para futuros estudios de ambas ramas de la ciencia. Adicionalmente, las TSM calculadas a partir de *P. mazatlanica* representan el primer antecedente histórico para la especie.

## **7. Materiales y Métodos**

### **7.1 Área de estudio**

La Cañada de La Enfermería se ubica en la región sur de la Bahía de La Paz, Golfo de California (Fig. 3). Actualmente se encuentra en una terraza de cañón a 3 km de la costa y 70 m sobre el nivel del mar. Esta terraza cubre un área aproximada de 9000 m<sup>2</sup>, separada por un arroyo que corre de norte a sur, bifurcándose en el cañón de El Barreno, sobre el margen de una elevación estructural al este del Valle de La Paz. Está compuesta de estratos de tobas líticas pertenecientes a la Formación Comondú del Mioceno Superior, la cual se encuentra en contacto lateral al Este, con un batolito Granítico del Mesozoico. Esta elevación topográfica desciende en forma brusca hacia la Bahía de La Paz y presenta cañones de hasta 100 m de profundidad, cortando la Formación Comondú de Este a Oeste, generando lechos de arroyos que drenan importantes volúmenes de agua a la bahía durante las temporadas de lluvia (Padilla Arredondo *et al.*, 1985).

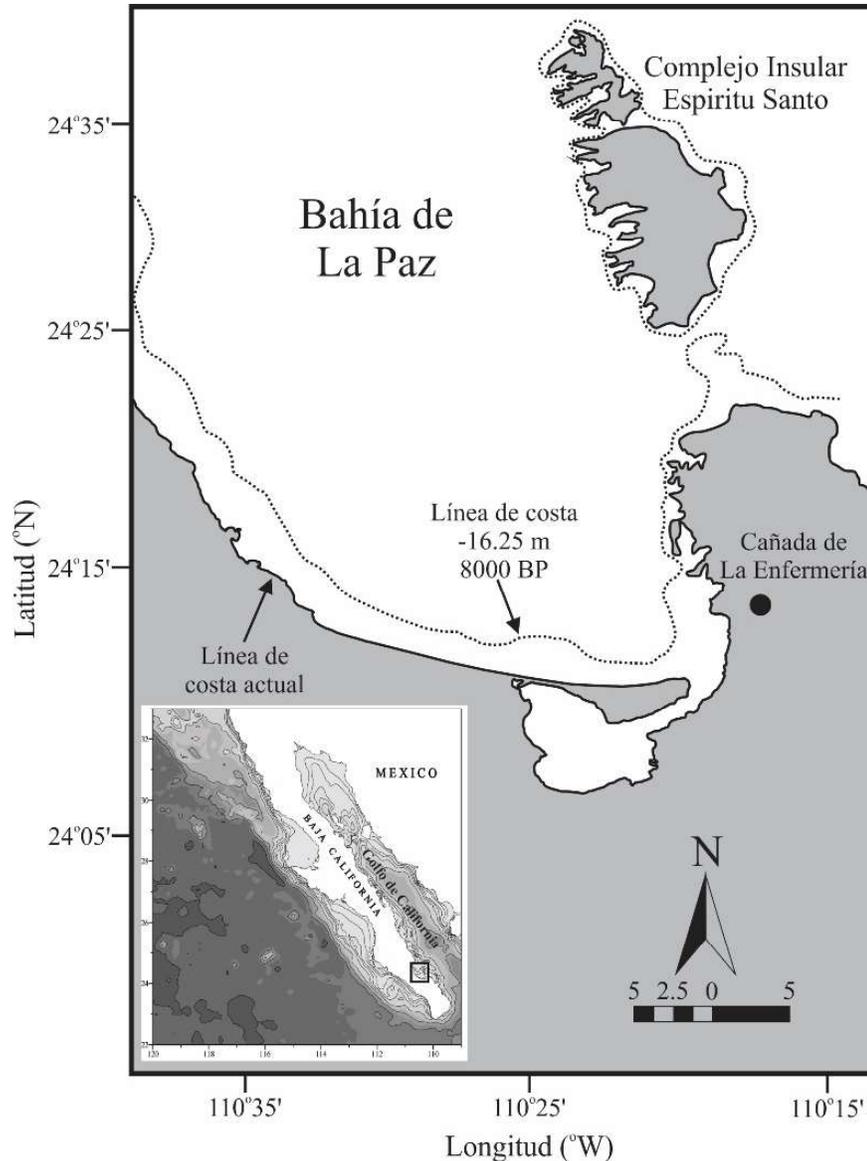


Figura 3. Localización del sitio arqueológico A-119 Cañada de La Enfermería, La Paz, B.C.S., México. La línea segmentada representa la paleolínea de costa para 8000 AP (modificado de Fujita y Melgar, 2014).

En esta región, la morfología costera se caracteriza por la presencia de estructuras de origen fluvial, que forman tinajas (tanques de agua potable natural) estacionales, presentando algunas marcas de niveles de agua superiores a los actuales. La superficie del sitio está cubierta por variedad de restos de moluscos, junto con abundantes artefactos líticos de

distintos tipos y tamaños (Fig. 4). La recolecta de conchas fue realizada mediante la excavación de dos unidades arqueológicas en 2015 y 2016 como parte del proyecto arqueológico del INAH *Registro y Excavación de los sitios arqueológicos del municipio de La Paz, B.C.S.*



Figura 4. Vista panorámica de A-119 Cañada de La Enfermería. Unidades de Excavación A y B (izquierda). Tinajas de agua dulce (derecha) (tomado de Fujita *et al.*, 2018).

## 7.2 Fechado y obtención de carbonato de calcio

Las capas estratigráficas de dos unidades de excavación en Cañada de La Enfermería fueron fechadas mediante el análisis de  $^{14}\text{C}$  (radiocarbono) de restos de molusco, en los laboratorios del Instituto Nacional de Antropología y Direct AMS, arrojando fechados estimados entre 10,000 AP y 1500 AP, con un margen de error de  $\pm 29$  a 179 años. De cada capa estratigráfica fechada, los restos de bivalvo fueron identificados taxonómicamente (Coan *et al.*, 2000; Coan y Valentich-Scott, 2012; Bertsch y Aguilar, 2016), para luego calcular la importancia relativa de cada especie. Debido a la continua presencia de los bivalvos *C. californiensis* y *P. mazatlanica* en las capas estratigráficas y su representatividad a nivel regional, se seleccionaron como especies modelo para el desarrollo de este estudio. De cada capa fechada

sin alteraciones estratigráficas o señales de mezcla (Fig. 5 y 6), se seleccionaron tres especímenes de *C. californiensis* y 3 especímenes de *P. mazatlanica* en buen estado de conservación y tamaños similares, garantizando valores representativos de  $\delta^{18}\text{O}$  de las primeras etapas de vida (Celis-Hernández, 2011; Schöne *et al.*, 2003). Adicionalmente, tres individuos vivos fueron recolectados en agosto del 2020 en la bahía de La Paz, como referencia isotópica del presente (denominada como reciente de ahora en adelante).

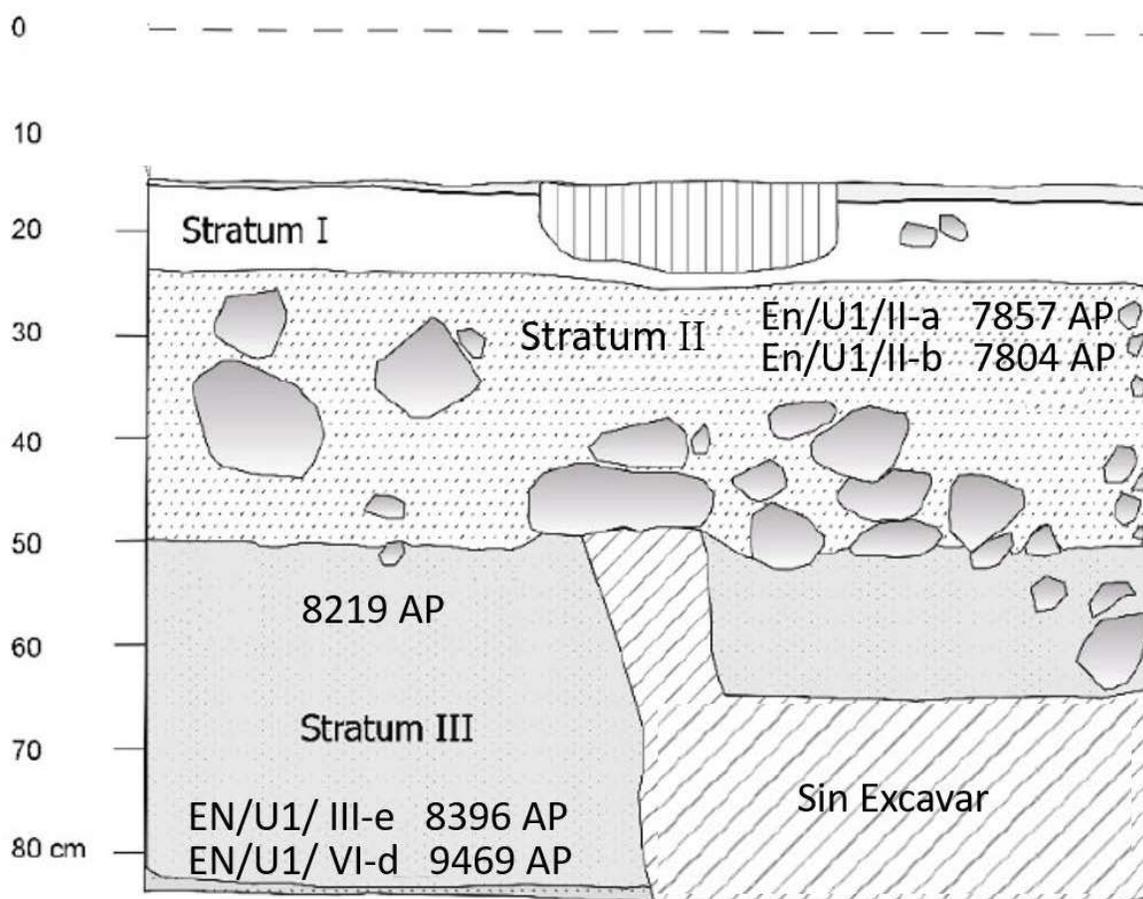


Figura 5. Esquema estratigráfico de unidad A de excavación en A-119 Cañada de La Enfermería y fechados aproximados en años AP (1-SIGMA) (modificado de Fujita *et al.*, 2018).

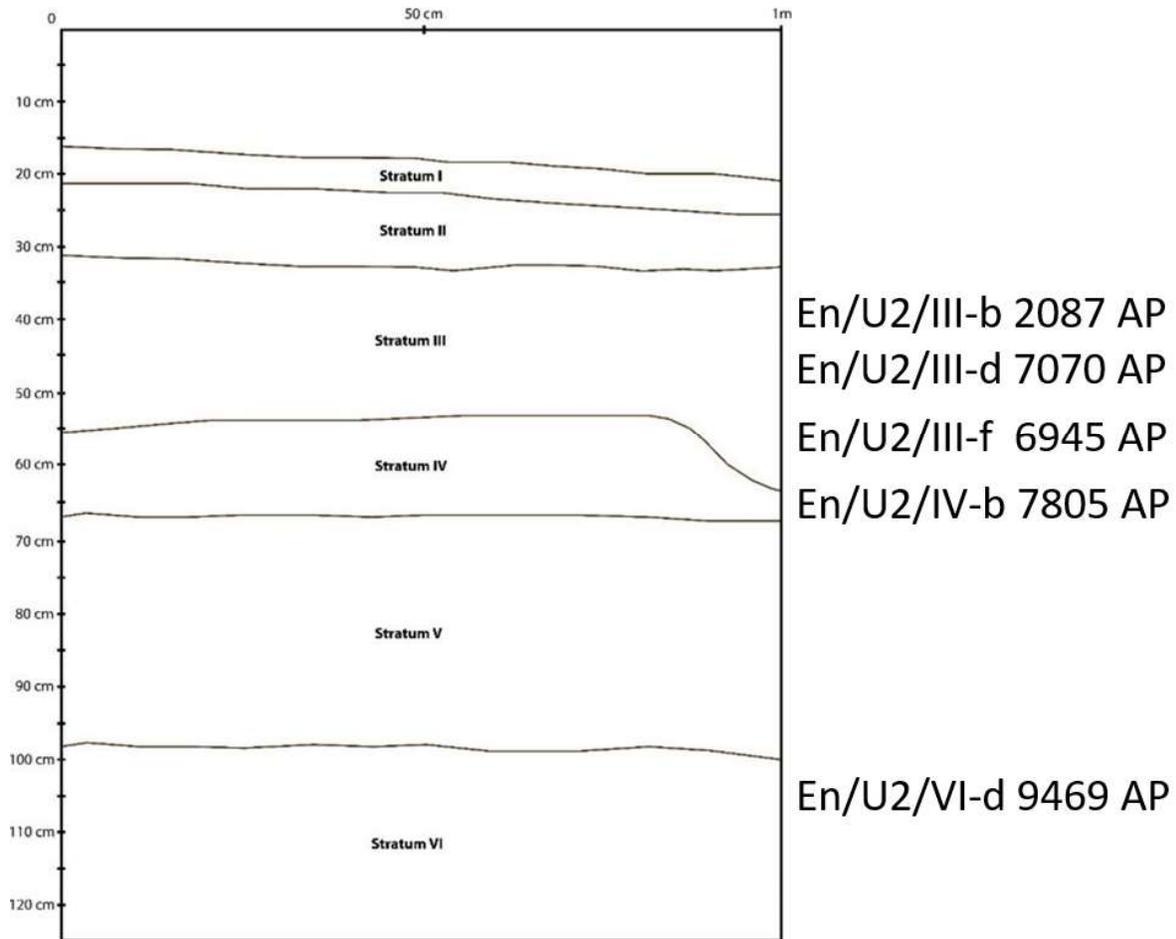


Figura 6. Esquema estratigráfico de unidad B de excavación en A-119 Cañada de La Enfermería y fechados aproximados en años AP (1-SIGMA) (modificado de Fujita *et al.*, 2018).

Para la obtención de carbonato de calcio (aragonita) de *C. californiensis* (Schöne, *et al.*, 2001) y *P. mazatlanica* (Rivera-Perez *et al.*, 2020), se realizó la remoción de la capa superficial de las valvas, eliminando efectos diagenéticos e impurezas. Luego, las conchas fueron sumergidas en una solución de hipoclorito de sodio al 1.5% durante 24 horas y enjuagadas con agua destilada en un baño ultrasónico, removiendo impurezas restantes. Finalmente, el carbonato de calcio se obtuvo mediante el uso de un microtaladro, extrayendo

aproximadamente 1 mg de polvo de carbonato de calcio en la zona del umbo de cada concha, garantizando el mismo intervalo de edad muestreado para cada espécimen, representando la temporada de crecimiento optimo (verano) del primer año de vida (Robbins, 2006) (Fig. 7).



Figura 7. Punto de extracción de carbonato de calcio de valvas de *C. californiensis* antigua (izquierda) y del reciente (derecha).

### 7.3 Análisis de carbonato de calcio

El análisis del carbonato de calcio fue llevado a cabo en el Stable Isotope Facility de la Universidad de Wyoming. Cada muestra de aragonita pulverizada fue introducida en tubos exentainer, purgada con helio ultrapuro, y digeridas con ácido fosfórico al 100% a 25 °C por 8 horas. El CO<sub>2</sub> generado fue analizado en un Thermo Gas Bench-II, para la posterior determinación de la relación isotópica de oxígeno en un espectrómetro de masas Delta V plus (McCrea, 1950). Los resultados obtenidos fueron expresados en notación  $\delta$  (‰ vs. VPDB),

con una precisión analítica de tres estándares de 0.19-18UWY, 0.09-6UWY, y 0.07-17UWY ‰, respectivamente.

Para el cálculo de las paleotemperaturas de verano a partir de aragonita, se implementó la relación empírica descrita por Grossman y Ku (1986):

$$T = 20.6 - 4.34(\delta^{18}\text{O} - (\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} - 0.2))$$

donde T está en grados Celsius,  $\delta^{18}\text{O}$  (‰ vs. VPDB) es el valor isotópico de la calcita y  $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$  es el valor isotópico del océano considerado por la estimación de cambio en el  $\delta^{18}\text{O}$  promedio del Océano Pacífico (en ‰ vs. SMOW) (LeGrande y Schmidt, 2009).

## 8. Resultados

### 8.1 Isótopos estables de oxígeno y TSM en *C. californiensis*

Los promedios de  $\delta^{18}\text{O}$  de *C. californiensis* se presentan para una fecha reciente (especímenes de la Bahía de La Paz recolectados en 2020) y nueve intervalos arqueológicos (capas estratigráficas fechadas) de la Cañada de La Enfermería (Tabla 1, Fig. 8). Los valores recientes de  $\delta^{18}\text{O}$  promediaron  $-1.9 \pm 0.1$  ‰, lo que representa una TSM inferida de  $28.7$  °C. Los valores promedio del pasado oscilaron entre  $-1.6$  ‰ y  $-2.2$  ‰, lo que representa un rango de TSM inferido de  $27.2$  °C a  $30.1$  °C (Tabla 1, Fig. 9).

Específicamente, los valores promedio de  $\delta^{18}\text{O}$  para 9469 AP y 8396 AP fueron muy similares a los actuales (ambos  $-1.9$  ‰), lo que equivale a un rango de TSM entre  $28.8$  °C y  $29.1$  °C. Durante el período comprendido entre 7857 AP y 7804 AP, los valores promedio de  $\delta^{18}\text{O}$  presentaron un empobrecimiento de  $^{18}\text{O}$  de hasta  $0.3$  ‰ con respecto a los valores modernos, aumentando progresivamente de  $-2.2$  ‰ a  $-2.0$  ‰. El  $\delta^{18}\text{O}$  para el año 7708 AP

disminuyó aún más hacia valores similares a los actuales (-1.9 ‰), lo que equivale a una TSM de 29.1 ° C. Esta tendencia continuó durante 7070 AP (-1.7 ‰) y 6945 AP (-1.7 ‰) presentando una TSM entre 28.1 ° C y 28.2 ° C. En 2087 AP, los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  alcanzaron un promedio máximo (para la serie de datos) de -1.6 ‰ (27.2 ° C). Finalmente, entre 2087 AP y el presente, los valores promedio de  $\delta^{18}\text{O}$  disminuyeron en 0.3 ‰, indicando un aumento en TSM de 1.3 ° C.

Tabla 1. Promedio y desviación estándar de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰ vs. VPDB) y temperatura superficial del mar (TSM en ° C) estimada a partir de Grossman y Ku (1986) para conchas de *C. californiensis* de La Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz; Edad promedio y rango de edad (años AP, 1-SIGMA) de cada capa estratigráfica tomada de Fujita *et al.* (2018).

Muestras	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ vs. VPDB)		TSM		Edad promedio	Intervalo de edad
	promedio	DS	promedio	DS	AP	AP
BLP	-1.9	±0.1	28.7	0.6	0 (presente)	0 (presente)
En/U2/III-b	-1.6	±0.3	27.2	1.4	2087	2206–1967
En/U2/III-f	-1.7	±0.1	28.2	0.9	6945	7072–6817
En/U2/III-d	-1.7	±0.2	28.1	0.4	7070	7200–6940
En/U2/IV-c	-1.9	±0.4	29.1	1.6	7708	7809–7606
En/U1/II-b	-2.0	±0.5	29.5	2.2	7804	7855–7752
En/U2/IV-b	-2.1	±0.2	29.7	1.0	7805	7915–7695
En/U1/II-a	-2.2	±0.4	30.1	1.8	7857	7908–7806
En/U1/III-e	-1.9	±0.1	28.8	0.4	8396	8438–8353
En/U2/VI-d	-1.9	±0.2	29.1	0.6	9469	9505–9433

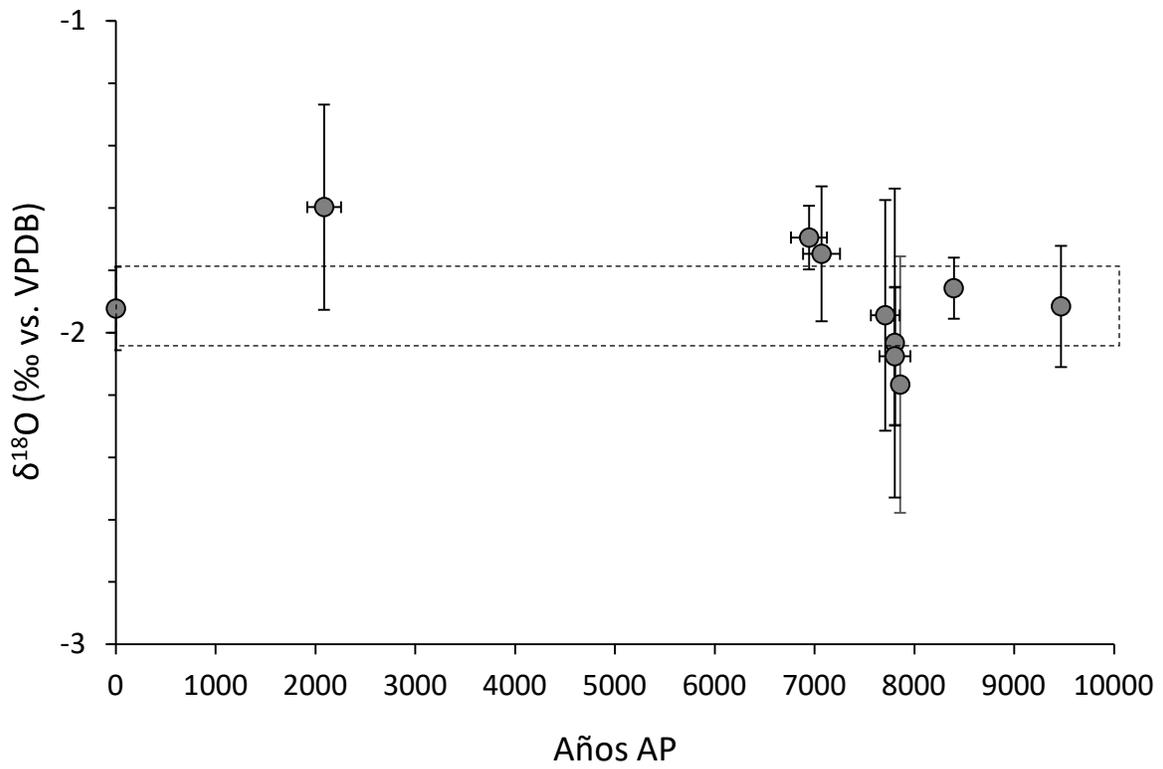


Figura 8. Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{18}\text{O}$  para *C. californiensis* de los concheros de la Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz, México. La línea punteada representa el rango de  $\delta^{18}\text{O}$  de especímenes recolectados en el presente.

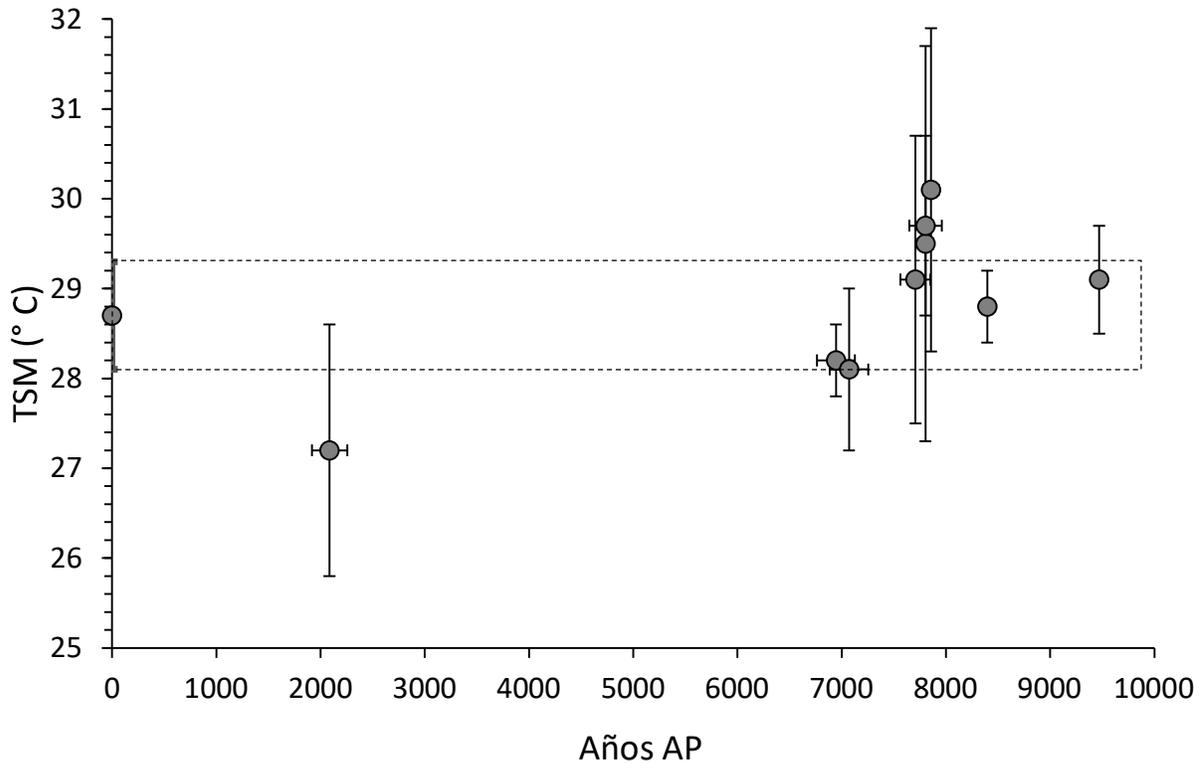


Figura 9. Valores promedio y desviación estándar de temperatura superficial del mar (TSM en ° C) y edad promedio (años AP, 1-SIGMA) para *C. californiensis* de los concheros de la Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz, México. La línea punteada representa el rango de TSM de especímenes colectados en el presente.

## 8.2 Isótopos estables de oxígeno y TSM en *P. mazatlanica*

Los promedios de  $\delta^{18}\text{O}$  de *P. mazatlanica* se presentan para una fecha reciente (especímenes de la Bahía de La Paz recolectados en 2020) y seis intervalos arqueológicos (capas estratigráficas fechadas) de la Cañada de La Enfermería (Tabla 2, Fig. 10). Los valores modernos de  $\delta^{18}\text{O}$  promediaron  $-1.8 \pm 0.2$  ‰, lo que representa una TSM inferida de  $28.3$  ° C. Los valores promedio del pasado oscilaron entre  $-1.87$  ‰ y  $-1.3$  ‰, lo que representa un rango de TSM inferido de  $28.8$  ° C a  $25.8$  ° C (Tabla 2, Fig. 11).

En general, los valores promedio de  $\delta^{18}\text{O}$  para 8396 AP (-1.64 ‰), 7805 AP (-1.87 ‰), 7708 AP (-1.64 ‰) y 7070 AP (-1.7 ‰) indican una TSM de verano similar a la del presente, oscilando entre 27.8 ° C y 28.8 ° C. Durante este intervalo de tiempo, el promedio más empobrecido fue del año 7808 AP, indicando la TSM más alta del registro, cercanamente similar a la TSM más alta registrada en *C. californiensis* (7857 AP).

Los valores promedio de  $\delta^{18}\text{O}$  para 6945 AP (-1.4 ‰) y 2087 AP (-1.3 ‰) sugieren TSM de verano más bajas (26.5 ° C y 25.8 ° C, respectivamente) con respecto al promedio actual.

Tabla 2. Promedio y desviación estándar de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰ vs. VPDB) y temperatura superficial del mar (TSM en ° C) estimada a partir de Grossman y Ku (1986) para conchas de *P. mazatlanica* de La Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz; Edad promedio y rango de edad (años AP, 1-SIGMA) de cada capa estratigráfica tomada de Fujita *et al.* (2018).

Muestras	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ vs. VPDB)		TSM		Edad promedio AP	Intervalo de edad AP
	promedio	DS	promedio	DS		
BLP	-1.8	±0.2	28.3	0.7	0 (presente)	0 (presente)
En/U2/III-b	-1.3	±0.1	25.8	0.3	2087	2206–1967
En/U2/III-f	-1.4	±0.5	26.5	2.1	6945	7072–6817
En/U2/III-d	-1.7	±0.12	28.2	0.4	7070	7200–6940
En/U2/Iv-c	-1.64	±0.17	27.8	0.8	7708	7809–7606
En/U2/Iv-b	-1.87	±0.22	28.8	1.0	7805	7915–7695
En/U1/III-e	-1.64	±0.25	27.9	1.1	8396	8438–8353

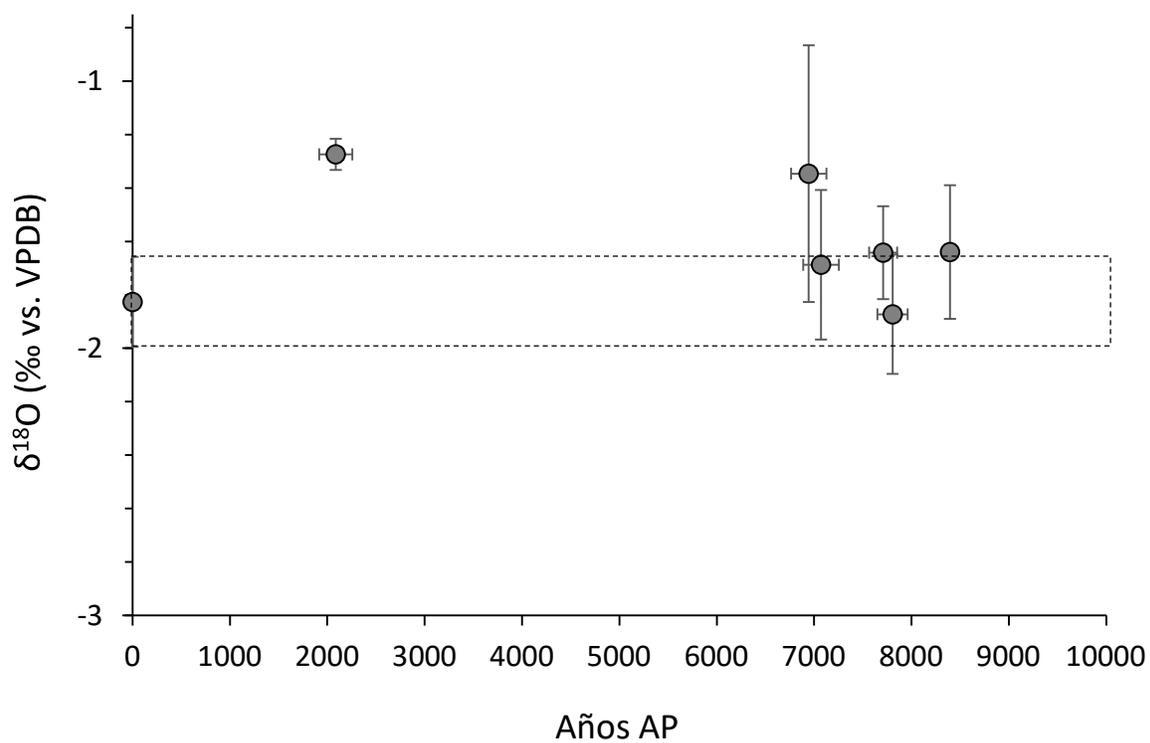


Figura 10. Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{18}\text{O}$  para *P. mazatlanica* de los concheros de la Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz, México. La línea punteada representa el rango de  $\delta^{18}\text{O}$  de especímenes colectados en el presente.

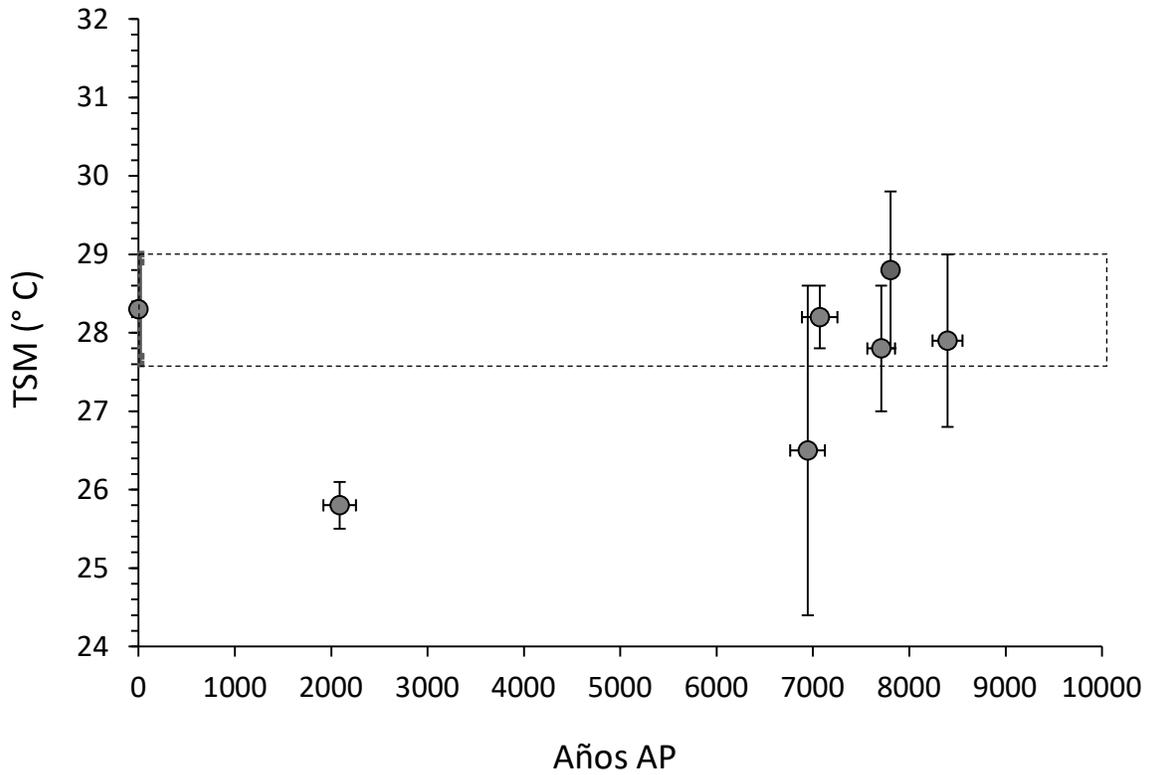


Figura 11. Valores promedio y desviación estándar de temperatura superficial del mar (TSM en ° C) y edad promedio (años AP, 1-SIGMA) para *P. mazatlanica* de los concheros de la Cañada de La Enfermería, Bahía de La Paz, México. La línea punteada representa el rango de TSM de especímenes colectados en el presente.

## 9. Discusión

### 9.1 Bivalvos en sitios arqueológicos

*Chione californiensis* y *Pinctada mazatlanica* son de las especies de moluscos más representativas del campamento habitacional al aire libre de Cañada de la Enfermería y otros sitios arqueológicos de la Bahía de La Paz (Ainis y Fujita, 2019; Rosales-López *et al.*, 2003). Dada su alta abundancia y presencia a lo largo del registro estratigráfico en los concheros de cañada de La Enfermería, estas especies son modelos adecuados para llevar a cabo la reconstrucción de la TSM y tener una visión detallada del paleoambiente marino, del cual los pobladores antiguos de la región extrajeron este recurso.

El género *Chione* se encuentra ampliamente representado en concheros naturales y arqueológicos del Golfo de California (Goodwin *et al.*, 2001; Meldah y Cutler, 1992; Meldahl, 1995), las costas del Pacífico (Erlandson *et al.*, 2019; Laylander y Iversen, 2006), así como en otras partes del mundo (Edie y Surge, 2013; Keyes, 1960). *P. mazatlanica* ha sido identificada en numerosos sitios arqueológicos que se extienden desde Perú (Correa Trigoso, 2016) y Panamá (Cooke *et al.*, 1998), hasta Baja California Sur, donde han sido fechados a más de 12,000 AP (Fujita, 2010). La especie, además de ser explotada como recurso alimentario, ha sido históricamente utilizada para el aprovechamiento de sus perlas, siendo asociadas a culturas de Mesoamérica, Sudamérica, Caribe (Saunders, 2015) y la costa Pacífica, incluyendo el área de Cabo San Lucas y el archipiélago Espíritu Santo, donde presentan 8000 años de antigüedad (Ainis y Fujita, 2019).

## 9.2 Temperatura superficial del mar en la Bahía de La Paz

El clima del Holoceno ha sido altamente variable. A nivel global no todas las regiones geográficas han respondido sincrónicamente o de la misma forma ante los rápidos eventos de cambio climático i.e. Óptimo Climático Medieval o Pequeña Edad de Hielo (Wanner *et al.*, 2008). Considerando las tendencias generales de TSM a nivel global a lo largo del Holoceno (Fig. 12), el sur del Golfo de California no ha presentado cambios significativos (Leduc *et al.*, 2010). Sin embargo, los cambios climáticos del Holoceno han sido lo suficientemente importantes para tener efectos significativos a diferentes escalas en los ecosistemas y las poblaciones humanas (Mayewski *et al.*, 2004).

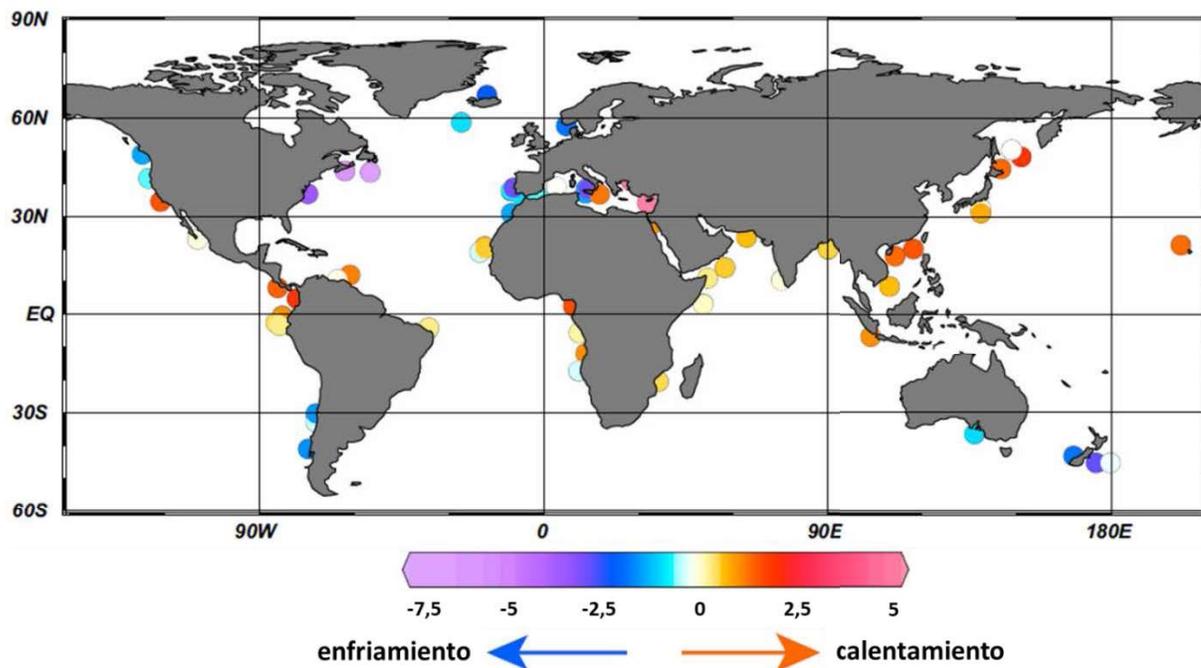


Figura 12. Mapa global de tendencias de temperaturas superficiales del mar ( $^{\circ}$  C) a partir de alquenonas a lo largo del Holoceno (10,000 AP – 0 AP) (tomado de Leduc *et al.*, 2010).

En la Bahía de La Paz, la TSM varia estacionalmente con un máximo de hasta 28 °C en la época de verano a otoño, y decrece hasta 19 °C al final del invierno (Obeso-Nieblas *et al.*, 2014). Específicamente, la TSM fue  $27.5 \pm 1$  °C en el verano y  $<22$  °C en el invierno, en el complejo insular de Espíritu Santo (Aguñiga *et al.*, 2010). Los valores recientes de  $\delta^{18}\text{O}$  de *C. californiensis* y *P. mazatlanica* indican que la TSM promedio de verano fue  $28.6 \pm 0.6$  °C y  $28.3 \pm 0.7$  °C, respectivamente. Esto es cercanamente similar a la TSM promedio de verano *in situ* para la Bahía y el archipiélago Espíritu Santo (Aguñiga *et al.*, 2010; Obeso-Nieblas *et al.*, 2014). Adicionalmente, la TSM calculada del reciente en ambos bivalvos corresponde a la TSM *in situ* de la época de verano y el crecimiento óptimo de *C. californiensis* (García Dominguez, 1991) y *P. mazatlanica* (Wright-López *et al.*, 2009). Esta temporada corresponde a condiciones de estratificación de la columna de agua y una estable y profunda nutriclina (Obeso-Nieblas *et al.*, 2014). Esto sugiere, con las limitaciones que presentan estos trazadores geoquímicos (isótopos estables de oxígeno), que estos bivalvos pueden ser un buen indicador para estimar las variaciones de la TSM del pasado en la Bahía de La Paz. Nuestros resultados indican que la TSM para la 9469 AP y 8396 AP fue muy similar a la TSM del reciente. Los registros paleoceanográficos del Golfo de California para este periodo sugieren la presencia de aguas cálidas tropicales con TSM  $> 25$  °C (Barron *et al.*, 2005; McClymont *et al.*, 2012). Esto concuerda con la baja productividad primaria y reducida surgencia registrada en el margen suroccidental de la península de Baja California, asociada a condiciones paleoclimáticas y paleoceanográficas similares al evento de El Niño (Marchitto *et al.*, 2010), confirmado condiciones de baja productividad y temperaturas cálidas inferidas para el Pacífico Nororiental (Barron *et al.*, 2012). Similarmente, la

abundancia de especies de cocolitofóridos registrada en la cuenca Alfonso sugieren una nutriclina estable y profunda con productividad moderada (Staines-Urías *et al.*, 2015).

En el periodo de 7857 AP a 7070 AP, la composición isotópica de oxígeno de *C. californiensis* denotó un enriquecimiento de 0.46‰ (-2.16‰ en 7857 AP y -1.69‰ en 7070 AP) y 0.5‰ para *P. mazatlanica* (-1.35‰ en 6945 y -1.67‰ en 7070 AP), sugiriendo una disminución de la TSM en la bahía, correspondiendo temporalmente al óptimo climático del Holoceno medio.

En el contexto regional, las condiciones paleoceanográficas han sido descritas con una gran variabilidad en la columna de agua, inferida a partir de la asociación de especies de diatomeas, silicoflagelados y cocolitofóridos, así como algunas variables geoquímicas i.e. carbono orgánico y ópalo biogénico vs. carbonato de calcio (Álvarez *et al.*, 2012; Arellano-Torres *et al.*, 2020; Barron *et al.*, 2005; Pérez-Cruz y Urrutia-Fucugauchi, 2009; Staines-Urías *et al.*, 2015). Específicamente, el contenido de ópalo biogénico presentó un ligero incremento de 22% a 27% en el periodo de 7857 AP a 6945 AP sugiriendo una termoclina somera, que estimuló la productividad primaria y exportada, incrementando el contenido de ópalo biogénico en los sedimentos (Barron *et al.*, 2012). Esto coincide con la asociación de la diatomea *R. tesselata* y el silicoflagelado *D. stapedia* que sugieren una columna de agua más fría y ligeramente más salina que en el presente para el Golfo de California (Barron *et al.*, 2005; Schrader *et al.*, 1986). Simultáneamente, la incidencia de condiciones oceanográficas similares a las que ocurren durante el evento de La Niña fue registrada para el Golfo de California, presentando una disminución en TSM (Barron *et al.*, 2005). Esta misma tendencia fue observada en el margen oriental de la península de Baja California (Arellano-Torres *et al.*, 2020; Marchitto *et al.*, 2010) y en el presente estudio.

En el interior de la bahía, la asociación de radiolarios estuvo caracterizada por especies indicadoras de agua superficial fría y ligeramente más salina, semejantes a las que ocurren en el Golfo de California (Pérez-Cruz, 2009; Barron *et al.*, 2004), coincidiendo con la disminución en TSM calculada del presente estudio. De hecho, la evidencia de reducida incidencia de eventos similares a las condiciones oceanográficas de El Niño fue inferida a partir de la abundancia de especies de coccolitofóridos y silicoflagelados en la Bahía de La Paz (Álvarez *et al.*, 2012; Staines-Urías *et al.*, 2015).

Para 2087 AP, la TSM calculada en ambas especies de bivalvo fue 1.5°C a 2.5 °C más fría con respecto a la TSM de la Bahía de La Paz en el reciente. El Holoceno tardío ha sido considerado un periodo de intensa actividad del evento de El Niño (Moy *et al.*, 2002), ampliamente documentado a lo largo de la cuenca del Pacífico nororiental (Barron y Anderson, 2011), e interrumpido por intensos eventos de La Niña (Herguera *et al.*, 2003). Esta interrupción ha sido evidenciada por la alta abundancia relativa (> 60 %) del silicoflagelado *Octactis pulchra*, considerado un indicador de termoclina somera, alta productividad primaria y una columna de agua relativamente fría para el Golfo de California (Barron *et al.*, 2005). En la cuenca de La Paz, *O. pulchra* mostró su máxima contribución relativa (> 15 %) entre 2900 AP y 1100 AP (Álvarez *et al.*, 2012). Esto sugiere que en la bahía ocurrieron importantes periodos de procesos de mezcla, que contribuyeron a la disminución de la TSM y alta productividad primaria (Barron *et al.*, 2005), evidenciada por las paleotemperaturas de ambas especies de bivalvos del presente estudio.

### 9.3 Variabilidad de la TSM y su efecto sobre la población humana

La presencia de poblaciones humanas del pasado en la Cañada de La Enfermería dependía principalmente de la disponibilidad de recursos marinos y agua dulce. Estos recursos justificaban el desplazamiento frecuente entre Cañada de La Enfermería y la costa por niños, ancianos y mujeres, generalmente responsables de la recolecta de moluscos en comunidades humanas del pasado (Palacios-Peñaranda, 2017). Las relaciones estratigráficas (relativas) de las capas uniformemente distribuidas en el tiempo y sin alteración de Cañada La Enfermería, hace posible establecer numerosos episodios de ocupación que se extienden a los últimos 10,000 AP (Fujita *et al.*, 2018). Este campamento a cielo abierto, sigue un patrón similar para la mayoría de los concheros del Holoceno medio de la bahía, presentando una pausa ocupacional entre 6585 AP y 2220 AP. La ausencia de registros arqueológicos sugiere un cambio en las condiciones paleoambientales, paleoceanográficas, y/o un cambio en las estrategias alimentarias de los nativos, que llevaron a dicha población al abandono de la zona, buscando fuentes alternativas de alimento o como posible resultado de cambios en régimen de precipitación para la región y la consecuente disponibilidad de recursos alimentarios en otras zonas.

Esta ventana de transición entre el Holoceno medio y tardío ha sido reconocida como un intervalo de tiempo con numerosos eventos de cambio climático significativo incluyendo los eventos 5200 AP (Magny y Haas, 2004) y 4200 AP (Kathayat *et al.*, 2017), caracterizados por enfriamiento y sequía global, que tuvieron efectos drásticos sobre las civilizaciones humanas (Booth *et al.*, 2005; Cullen *et al.*, 2000; Kathayat *et al.*, 2017, 2018; Liu y Feng, 2012; Magny y Haas, 2004; Roland *et al.*, 2014; Scroxton *et al.*, 2020).

Durante esta fase, los registros arqueológicos y paleoambientales de las Islas del Canal de California, E.E.U.U., sugieren cambios climáticos y efectos sobre sus pobladores, causadas por condiciones generalmente secas, cálidas y de baja productividad marina entre 7500 AP y 3800 AP, así como un intervalo de temperaturas frías y aridez severa entre 6300 AP y 4800 AP (Rick *et al.*, 2006). El impacto de este fenómeno en las comunidades humanas varió según el grado de aislamiento de cada isla, su tamaño, disponibilidad de agua dulce, y la productividad local con respecto al tamaño de la población (Kennett *et al.*, 2007), generando cambios en estrategias alimentarias y en algunos casos el abandono de poblados enteros (Glassow *et al.*, 1994; Rick *et al.*, 2006).

Los estudios paleoceanográficos del Golfo de California para este periodo son limitados. Sin embargo, los registros sedimentarios para la Cuenca de Guaymas indican incursiones estacionales de aguas tropicales, sugiriendo un calentamiento significativo para 5400 AP y 5600 AP (Barron *et al.*, 2005; Keigwin, 2002). Similarmente, en la Cuenca Alfonso entre 7000 AP y 4200 AP se presentó una disminución en productividad primaria, (Gonzalez-Yajimovich y Douglas, 2007) y un aumento en la esorrentía entre 6200 AP y 2400 AP, reflejando condiciones tropicales asociadas a una intensificación de las lluvias monzonales generadas por una migración hacia el norte de la posición media de la ZCIT en el Pacífico oriental tropical (Ricaurte-villota *et al.*, 2013). En conjunto, estos factores simultáneos sugieren que las comunidades humanas emigraron de la bahía cada vez menos productiva, en búsqueda de otras fuentes de alimento hacia la costa pacífica o las serranías, razón por la cual Cañada de La Enfermería fue deshabitada durante gran parte del Holoceno medio, para luego ser ocupada nuevamente a partir de 2220 AP.

El retorno de las comunidades humanas a la zona coincide con la transición a condiciones climáticas más frías y secas, y un aumento en productividad primaria marina a medida que

se intensificaron los vientos monzónicos de primavera (Douglas *et al.*, 2001). Similarmente, cambios paleoceanograficos pudieron haber influenciado las comunidades indígenas de Bajamar-Jatay, Baja California. Para 3000 AP a 2000 AP se registraron numerosos cambios culturales, incluyendo cambios en estrategias alimentarias y artes de pesca (Fonseca Ibarra, 2015), las cuales sugieren una disminución en TSM, coincidiendo con los resultados del presente estudio, la cuenca Alfonso (Gonzalez-Yajimovich y Douglas, 2007), cuenca de La Paz (Bernal, 2001), y la cuenca de Santa Bárbara del sur de California (Kennett *et al.*, 2007).

## 10. Conclusiones

- 1) *Chione californiensis* y *P. mazatlanica* se identificaron como indicadores adecuados para inferir TSM del pasado.
- 2) Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de *C. californiensis* y *P. mazatlanica* sugieren una transición a aguas cálidas durante 8400 AP y 7800 AP, así como un ligero cambio a condiciones frías en la columna de agua alrededor de 6900 AP. Para 2087 AP, los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  fueron los más enriquecidos, sugiriendo una TSM más fría.
- 3) Las TSM calculadas del presente fueron similares a las TSM *in situ* de la temporada de verano, confirmando que las TSM calculadas del pasado también corresponden a temporadas de verano.
- 4) La pausa ocupacional humana evidenciada en La Cañada de La Enfermería entre 6585 AP y 2220 AP coincide con un período de cambio climático global significativo, durante el cual el sur del Golfo de California presentó condiciones más cálidas y húmedas, así como una disminución en su productividad primaria marina.

## 11. Referencias

- Aguñiga, S., Sanchez, A. y Silverberg, N. (2010), “Temporal variations of C, N,  $\delta^{13}\text{C}$ , and  $\delta^{15}\text{N}$  in organic matter collected by a sediment trap at Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, SW Gulf of California”, *Continental Shelf Research*, Vol. 30 No. 15, pp. 1692–1700.
- Ainis, A.F. y Fujita, H. (2019), “The Antiquity of Pearling in the Americas: Pearl Modification Beginning at Least 8,500 Years Ago in Baja California Sur, México”, *Latin American Antiquity*, pp. 1–7.
- Álvarez, M.C., Pérez-Cruz, L. y Hernández-Contreras, R. (2012), “Coccolithophore and silicoflagellate records in middle-late Holocene sediments from La Paz basin (Gulf of California): Paleoclimatic implications”, *Stratigraphy*, Vol. 9 No. 2, pp. 169–181.
- Arellano-Torres, E., Mora-Rivera, A.J., Vázquez-Romero, P., Nava-Sánchez, E.H., Kasper-Zubillaga, J.J. y Lozano-García, M.S. (2020), “Comparisons between marine productivity and terrestrial input records in the Gulf of California over the last 28 ka”, *Journal of Quaternary Science*, John Wiley & Sons, Ltd, Vol. 35 No. 3, pp. 479–491.
- Barron, J.A. y Anderson, L. (2011), “Enhanced Late Holocene ENSO/PDO expression along the margins of the eastern North Pacific”, *Quaternary International*, Elsevier Ltd, Vol. 235 No. 1–2, pp. 3–12.
- Barron, J.A., Bukry, D. y Dean, W.E. (2005), “Paleoceanographic history of the Guaymas Basin, Gulf of California, during the past 15,000 years based on diatoms, silicoflagellates, and biogenic sediments”, *Marine Micropaleontology*, Vol. 56 No. 3–4, pp. 81–102.
- Barron, J.A., Metcalfe, S.E. y Addison, J.A. (2012), “Response of the North American monsoon to regional changes in ocean surface temperature”, *Paleoceanography*, Vol.

27 No. 3, disponible en:<https://doi.org/10.1029/2011PA002235>.

- Bernal F, Gladys R. 2001. Registro Paleocanográfico en los sedimentos laminados de la cuenca de la Paz, margen occidental del bajo Golfo de California [PhD thesis]. Available from Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Ensenada, México. 110 p.
- Bertsch, H. y L.E. Aguilar Rosas. 2016. Invertebrados Marinos del Noroeste de México. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC, México., 432 pp.
- Bever, M.R. (2001), “An overview of Alaskan late Pleistocene Archaeology: Historical themes and current perspectives”, *Journal of World Prehistory*, Vol. 15 No. 2, pp. 125–191.
- Booth, R.K., Jackson, S.T., Forman, S.L., Kutzbach, J.E., Bettis, E.A., Kreig, J. y Wright, D.K. (2005), “A severe centennial-scale drought in mid-continental North America 4200 years ago and apparent global linkages”, *Holocene*, Vol. 15 No. 3, pp. 321–328.
- Braje, T.J., Erlandson, J.M., Rick, T.C., Dayton, P.K. y Hatch, M.B.A. (2009), “Fishing from past to present: continuity and resilience of red abalone fisheries on the Channel Islands, California”, *Ecological Applications*, Vol. 19 No. 4, pp. 906–919.
- Celis-Hernández, A.K. (2011), *Explotación de Recursos Costeros y Condiciones Ambientales En El Delta Del Río Colorado Durante La Prehistoria*, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California.
- Coan, E.V., Scott, P.V. y Bernard, F.R. (2000), “Bivalve seashells of western North America: marine bivalve mollusks from Arctic Alaska to Baja California”, *Monographs 2, Studies in Biodiversity 2*, No. 2, pp. 1–764.
- Coan, E.V. y Valentich-Scott, P. (2012), *Bivalve Seashells of Tropical West America*. Santa Barbara Museum of Natural History Monographs number 3. 1400 pp.

- Cooke, R.G., Sanchez Herrera, L.A., Isaza Aizpurua, I.I. y Perez Yancky, A. (1998), “Rasgos mortuorios y artefactos inusitados de Cerro Juan Díaz, una aldea precolombina del ‘Gran Coclé’ (Panamá central)”, *La Antigua*, Vol. 53, pp. 127–196.
- Correa Trigoso, D.E. (2016), “Aprovechamiento de los recursos malacológicos asociados a un contexto de almacenamiento en Chan Chan, Perú”, *Anales de Antropología*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas., Vol. 50 No. 1, pp. 112–133.
- Cullen, H.M., De Menocal, P.B., Hemming, S., Brown, F.H., Guilderson, T. y Sirocko, F. (2000), “Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea”, *Geology*, Vol. 28 No. 4, pp. 379–382.
- Dincauze, D.F. (2000), *Environmental Geology: Principles and Practice*, Cambridge University Press, Vol. 33, disponible en:<https://doi.org/10.1144/qjegh.33.4.350-b>.
- Dodd, J. Robert y Robert J. Stanton (1990). *Paleoecology, concepts and applications*. 2a edición, John Wiley and Sons, EUA. 510 pp.
- Douglas, R.G., Gorsline, D., Grippo, A., Granados, I. y Gonzalez\_Yajimovich, O. (2001), “Holocene Ocean - Climate Variations in Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico”, *PACLIM Conference Proceedings*, No. January 2001, pp. 7–20.
- Eddie, S.M. y Surge, D. (2013), “Deciphering annual growth features in *Chione elevata* shells using isotope sclerochronology”, *Palaios*, Vol. 28 No. 2, pp. 93–98.
- Epstein, S., Buchsbaum, R., Lowenstam, H.A. y Curey, H. (1953), “Revised carbonate-water isotopic temperature scale”, *Geological Society of America Bulletin*, disponible en:[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1953\)64](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1953)64).
- Erlandson, J., Rick, T., Ainis, A., Braje, T., Gill, K. y Reeder-Myers, L. (2019), “Late Pleistocene estuaries, palaeoecology and humans on North America’s Pacific Coast”,

- Antiquity*, Vol. 93 No. 372, pp. 1–5.
- Fitzpatrick, S.M. y Boyle, J.E. (2002), “The antiquity of pearl shell (*Pinctada* sp.) Burial artifacts in Palau, Western Micronesia”, *Radiocarbon*, Vol. 44 No. 3, pp. 691–699.
- Fonseca Ibarra, E.M. (2015), *Patrón de Asentamiento y Explotación de Los Recursos Marinos Costeros Durante La Prehistoria En Jatay, Baja California*, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California.
- Fujita, H. (2010), “Prehistoric Occupation of Espíritu Santo Island, Baja California Sur, Mexico ”:, *Journal of California and Great Basin Anthropology* , Vol. 30 No. 1, pp. 17–33.
- Fujita, H. y Ainis, A.F. (2018), “Traditions of Early Human Groups in Baja California and Possible Routes for the Peopling of the Peninsula”, *Western North American Naturalist*, Vol. 78 No. 3, pp. 285–301.
- Fujita, H., Hernández, A., Bulhusen, K., Ainis, A.F. y Vellanoweth, R. (2018), “Trans-Holocene Occupations at Cañada de la Enfermería Sureste #3 (Site A119), Baja California Sur, México”, *Sca*, Vol. 32, pp. 59–77.
- Fujita, H. y Melgar, E. (2014), “Early Holocene Use of Pleistocene Fossil Shells for Hide-Working at Covacha Babisuri on Espíritu Santo Island, Baja California Sur, Mexico”, *Journal of Island and Coastal Archaeology*, Vol. 9 No. 1, pp. 111–129.
- García-Domínguez, Federico Arvizu Martínez, J., Rodríguez Astudillo, S. y Raamirez Sevilla, R. (1994), “Distribución y abundancia de *Chione californiensis* (Pelecypoda: Veneridae) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México”, *Rev. Biol. Trop.*, Vol. 42 No. 3, pp. 531–536.
- García-Domínguez, F. (1991), *Distribucion, Abundancia, Reproduccion y Fauna Asociada a La Almeja Roñosa, Chione Californiensis*, Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario

de Ciencias Marinas - IPN.

Glassow, M.A., Kennett, D.J., Kennett, J.P. y Wilcoxon, L. (1994), "Confirmation of Middle Holocene Ocean Cooling Inferred from Stable Isotopic Analysis of Prehistoric Shells from Santa Cruz Island, California", *The Fourth California Islands Symposium: Update and the Status of Resources.*, Santa Barbara, California: Santa Barbara Museum of Natural History.

Gonzalez-Yajimovich, O. y Douglas, R.G. (2007), "Holocene Rainfall and Productivity Variation in the Gulf of California", *American Geophysical Union, Spring Meeting 2007.*

Goodwin, D.H., Flessa, K.W., Schone, B.R. y Dettman, D.L. (2001), "Cross-calibration of daily growth increments, stable isotope variation, and temperature in the Gulf of California Bivalve Mollusk *Chione cortezi*: Implications for paleoenvironmental analysis", *Palaios*, Vol. 16 No. 4, pp. 387–398.

Goodwin, D.H., Flessa, K.W., Schöne, B.R. y Dettman, D.L. (2001), "Cross-calibration of daily growth increments, stable isotope variation, and temperature in the Gulf of California Bivalve Mollusk *Chione cortezi*: Implications for paleoenvironmental analysis", *Palaios*, Vol. 16 No. 4, pp. 387–398.

Gordillo, S., Brey, T., Beyer, K. y Lomovasky, B.J. (2015), "Climatic and environmental changes during the middle to late Holocene in southern South America: A sclerochronological approach using the bivalve *Retrotapes exalbidus* (Dillwyn) from the beagle channel", *Quaternary International*, Elsevier Ltd, Vol. 377 No. November 2017, pp. 83–90.

Grossman, E.L. y Ku, T.L. (1986), "Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: Temperature effects", *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, Vol.

59 No. C, pp. 59–74.

Herguera, J.C., Franco, G.B. y Molina-Cruz, A. (2003), “Decadal surface ocean variability in the lower Gulf of California: Records for the past 300 years”, *Geofisica Internacional*, Vol. 42 No. 3, pp. 397–406.

Holen, S.R., Deméré, T.A., Fisher, D.C., Fullagar, R., Paces, J.B., Jefferson, G.T., Beeton, J.M., *et al.* (2017), “A 130,000-year-old archaeological site in southern California, USA”, *Nature*, Nature Publishing Group, Vol. 544 No. 7651, pp. 479–483.

Kathayat, G., Cheng, H., Sinha, A., Berkelhammer, M., Zhang, H., Duan, P., Li, H., *et al.* (2018), “Evaluating the timing and structure of the 4.2 ka event in the Indian summer monsoon domain from an annually resolved speleothem record from Northeast India”, *Climate of the Past*, Vol. 14 No. 12, pp. 1869–1879.

Kathayat, G., Cheng, H., Sinha, A., Yi, L., Li, X., Zhang, H., Li, H., *et al.* (2017), “The Indian monsoon variability and civilization changes in the Indian subcontinent”, *Science Advances*, Vol. 3 No. 12, pp. 1–9.

Keen, A.M., 1971. *Sea Shells of Tropical West America*. Stanford University Press, Stanford, California.

Keigwin, L.D. (2002), “Late Pleistocene-Holocene paleoceanography and ventilation of the Gulf of California”, *Journal of Oceanography*, Vol. 58 No. 2, pp. 421–432.

Kennett, D.J., Kennett, J.P., Erlandson, J.M. y Cannariato, K.G. (2007), “Human responses to Middle Holocene climate change on California’s Channel Islands”, *Quaternary Science Reviews*, Vol. 26 No. 3–4, pp. 351–367.

Keyes, I.W. (1960), “The cultural succession and ethnographic features of D’Urville Island”, *Journal of the Polynesian Society*, Vol. 69 No. 3, pp. 239–265.

Laylander, D. y Iversen, D. (2006), “Genera and Prehistoric Change on the San Diego County

- Coast”, *Pacific Coast Archaeological Society Quarterly*, Vol. 39 No. 4, pp. 39–48.
- Leduc, G., Schneider, R., Kim, J.H. y Lohmann, G. (2010), “Holocene and Eemian sea surface temperature trends as revealed by alkenone and Mg/Ca paleothermometry”, *Quaternary Science Reviews*, Elsevier Ltd, Vol. 29 No. 7–8, pp. 989–1004.
- LeGrande, A.N. y Schmidt, G.A. (2009), “Sources of Holocene variability of oxygen isotopes in paleoclimate archives”, *Climate of the Past*, Vol. 5 No. 3, pp. 441–455.
- Leng, M.J. y Lewis, J.P. (2016), “Oxygen isotopes in molluscan shell: Applications in environmental archaeology”, *Environmental Archaeology*, Vol. 21 No. 3, pp. 295–306.
- Liu, F. y Feng, Z. (2012), “A dramatic climatic transition at ~4000 cal. yr BP and its cultural responses in Chinese cultural domains”, *Holocene*, Vol. 22 No. 10, pp. 1181–1197.
- López Luján, L. (1993). Las ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlan. Instituto Nacional de Antropología e Historia, ISBN 978-9682945304, Mexico City, Mexico.
- Magny, M. y Haas, J.N. (2004), “A major widespread climatic change around 5300 cal. yr BP at the time of the Alpine Iceman”, *Journal of Quaternary Science*, Vol. 19 No. 5, pp. 423–430.
- Marchitto, T.M., Muscheler, R., Ortiz, J.D., Carriquiry, J.D. y Van Geen, A. (2010), “Dynamical response of the tropical pacific ocean to solar forcing during the early Holocene”, *Science*, Vol. 330 No. 6009, pp. 1378–1381.
- Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlén, W., Maasch, K.A., Meeker, L.D., Meyerson, E.A., *et al.* (2004), “Holocene climate variability”, *Quaternary Research*, Vol. 62 No. 3, pp. 243–255.
- McClymont, E.L., Ganeshram, R.S., Pichevin, L.E., Talbot, H.M., Van Dongen, B.E., Thunell, R.C., Haywood, A.M., *et al.* (2012), “Sea-surface temperature records of Termination 1 in the Gulf of California: Challenges for seasonal and interannual

- analogues of tropical Pacific climate change”, *Paleoceanography*, Vol. 27 No. 2, pp. 0–15.
- McCrea, J.M. (1950), “On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale”, *The Journal of Chemical Physics*, Vol. 18 No. 6, pp. 849–857.
- Meldahl, K.H. y Cutler, A.H. (1992), “Neotectonics and taphonomy: Pleistocene molluscan shell accumulations in the Northern Gulf of California”, *Palaios*, Vol. 7 No. 2, pp. 187–197.
- Meldahl, K.H. (1995), “Pleistocene shoreline ridges from tide-dominated and wave-dominated coasts: northern Gulf of California and western Baja California, Mexico”, *Marine Geology*, Vol. 123 No. 1–2, pp. 61–72.
- Moy, C.M., Seltzer, G.O., Rodbell, D.T. y Anderson, D.M. (2002), “Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch”, *Nature*, Vol. 420 No. 6912, pp. 162–165.
- Obeso-Nieblas, M., Gaviño-Rodríguez, J.H., Obeso-Huerta, H. y Muñoz-Casillas, S.I. (2014), “Variabilidad espacial termohalina, Masas de agua y circulación geostrofica en bahía de La Paz, Golfo de California”, *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol. 49 No. 3, pp. 413–426.
- Padilla Arredondo, G., Díaz Rivera, E. y Avilés, S.P. (1985), “Transgresión Holocénica en la Laguna Costera Enfermería de la Bahía de La Paz, B. C. S., México”, *Anales Del Instituto de Ciencias Del Mar y Limnología*, No. 1983, pp. 1–13.
- Palacios Peñaranda, M.L. (2017), *Evaluación Del Almacenamiento de Carbono Como Servicio Ecosistémico En Bosques de Manglar de La Costa Pacífica Colombiana*, Universidad del Valle.
- Patterson, J.B. (1987), “Antecedentes históricos de los indígenas de Baja California”,

*Estudios Fronterizos*, Vol. V No. 14, pp. 11–46.

Pérez-Cruz, L. y Urrutia-Fucugauchi, J. (2009), “Magnetic mineral study of Holocene marine sediments from the Alfonso Basin, Gulf of California - implications for depositional environment and sediment sources”, *Geofísica Internacional*, Vol. 48 No. 3, pp. 305–318.

Porcasi, J. y Fujita, H. (2011), “Adaptation in the Southern California Channel Islands”, *American Archaeology*, Vol. 65 No. 3, pp. 543–566.

Prates, L., Politis, G. y Steele, J. (2013), “Radiocarbon chronology of the early human occupation of Argentina”, *Quaternary International*, Elsevier, Vol. 301, pp. 104–122.

Ricaurte-villota, C., González-Yajimovich, O. y Sanchez, A. (2013), “Coupled response of rainfall and denitrification to solar forcing during the Holocene in Alfonso Basin”, *Ciencias Marinas*, Vol. 39, pp. 151–164.

Rick, T.C., Robbins, J.A. y Ferguson, K.M. (2006), “Stable isotopes from marine shells, ancient environments, and human subsistence on middle Holocene Santa Rosa Island, California, USA”, *Journal of Island and Coastal Archaeology*, Vol. 1 No. 2, pp. 233–254.

Rivera-Perez, C., Flores-Sánchez, I.A., Ojeda Ramírez de Areyano, J.J., Rojas Posadas, D.I. y Hernández-Saavedra, N.Y. (2020), “A shell matrix protein of *Pinctada mazatlanica* produces nacre platelets in vitro”, *Scientific Reports*, Nature Publishing Group UK, Vol. 10 No. 1, pp. 1–11.

Robbins, J. (2006), *Stable Isotopes, Marine Paleoclimates, and Human Subsistence on California's Channel Islands*, Tesis de Maestría, Southern Methodist University.

Roland, T.P., Caseldine, C.J., Charman, D.J., Turney, C.S.M. y Amesbury, M.J. (2014), “Was there a ‘4.2 ka event’ in Great Britain and Ireland? Evidence from the peatland

- record”, *Quaternary Science Reviews*, Elsevier Ltd, Vol. 83 No. October 2018, pp. 11–27.
- Rosales-López, A., Félix-Pico, E.F., García, F. y García, L.C.S. (2003), “Cálculo de la biomasa marina del Conchalito”, *Estudios de Antropología Biológica*, Vol. XI, pp. 871–909.
- Saucedo, P. y Monteforte, M. (1997), “Breeding cycle of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia:Pteriidae) at Bahía de La Paz, Baja California Sur, Mexico”, *Journal of Shellfish Research*, Vol. 16 No. 1, pp. 103–110.
- Saunders, N.J. (1998), “Stealers of light, traders in brilliance; Amerindian metaphysics in the mirror of conquest”, *Anthropology and Aesthetics*, No. 33, pp. 225–252.
- Saunders, N.J. (2015), “Biographies of brilliance: pearls, transformations of matter and being, C. AD 1492”, *World Archaeology*, Vol. 31 No. 2, pp. 243–257.
- Schöne, B.R. (2003), “A ‘clam-ring’ master-chronology constructed from a short-lived bivalve mollusc from the northern Gulf of California, USA”, *Holocene*, Vol. 13 No. 1, pp. 39–49.
- Schöne, B.R. (2008), “The curse of physiology - Challenges and opportunities in the interpretation of geochemical data from mollusk shells”, *Geo-Marine Letters*, Vol. 28 No. 5–6, pp. 269–285.
- Schöne, B.R., Flessa, K.W., Dettman, D.L. y Goodwin, D.H. (2003), “Upstream dams and downstream clams: Growth rates of bivalve mollusks unveil impact of river management on estuarine ecosystems (Colorado River Delta, Mexico)”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 58 No. 4, pp. 715–726.
- Schrader, H., Piasias, N. y Cheng, G. (1986), “Seasonal Variation of Silicoflagellates in Phytoplankton and Varved Sediments in the Gulf of California”, *Science*, Vol. 10 No.

November 1980, pp. 207–233.

Scroxton, N., Burns, S., McGee, D., Godfrey, L., Ranivoharimanana, L. y Faina, P. (2020),

“Possible expression of the 4.2 kyr event in Madagascar and the south-east African monsoon”, *Climate of the Past Discussions*, No. November, pp. 1–25.

Staines-Urías, F., Douglas, R.G. y Gorsline, D.S. (2009), “Oceanographic variability in the

southern Gulf of California over the past 400 years: Evidence from faunal and isotopic records from planktic foraminifera”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Elsevier B.V., Vol. 284 No. 3–4, pp. 337–354.

Staines-Urías, F., González-Yajimovich, O. y Beaufort, L. (2015), “Reconstruction of past

climate variability and ENSO-like fluctuations in the southern Gulf of California (Alfonso Basin) since the last glacial maximum”, *Quaternary Research (United States)*, University of Washington, Vol. 83 No. 3, pp. 488–501.

Stothert, Karen E. 1990. La Prehistoria Temprana de la Península de Santa Elena, Ecuador:

CULTURA LAS VEGAS. Miscelánea Antropológica Ecuatoriana, Serie Monográfica 10. Museos del Banco Central del Ecuador. Guayaquil.

Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., *et*

*al.* (2008), “Mid- to Late Holocene climate change: an overview”, *Quaternary Science Reviews*, Vol. 27 No. 19–20, pp. 1791–1828.

Wright-López, H., Holguín-Quiñones, O., Arreguín-Sánchez, F. y Roque-Villada, I. (2009),

“Crecimiento y mortalidad de la madreperla *Pinctada mazatlanica* en poblaciones naturales del litoral oriental de Baja California Sur, México”, *Revista de Biología Tropical*, Vol. 57 No. 1–2, pp. 53–61.

