



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT TÉRMICO DE
LA ALMEJA MANO DE LEÓN (*NODIPECTEN
SUBNODOSUS*) EN EL NOROESTE MEXICANO**

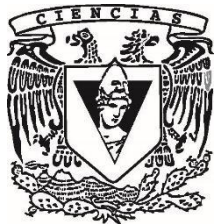
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

NATALIA GUADALUPE JOACHIN MEJIA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. SALVADOR EMILIO LLUCH COTA
Cd. Mx. Octubre 2022**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos académicos

La presente tesis es un producto académico del proyecto Fronteras de la Ciencia Impactos biológicos de la variabilidad y extremos de temperatura en ectotermos marinos bentónicos: aptitud biológica, potencial de adaptación y plasticidad fenotípica (78911).

Agradezco al CIBNOR por permitirme el acceso a las instalaciones y el apoyo de las diferentes áreas para el desarrollo del presente trabajo: la Dirección de Posgrado, el programa de Ecología Pesquera y el Laboratorio de Cambio Climático. Agradezco en especial al Lic. Carlos Pacheco Ayub por su apoyo técnico y asesoría.

A mi director de tesis el Dr. Salvador Emilio Lluch Cota por darme la oportunidad de participar en este proyecto y desarrollar este tema, gracias por las enseñanzas, por la paciencia y confianza.

Al comité de tesis Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldia, Dr. Luis Miguel Burciaga Cifuentes, Dra. María Teresa Sicard González y al Dr. Sergio Alan Ulaje Fernández por sus comentarios y correcciones para el presente trabajo.

Agradezco a la UNAM y a la Facultad de Ciencias la formación académica que me brindó, por ser mi casa durante 4 años, donde conocí y compartí clases con personas espectaculares que fueron fuente de inspiración para dar siempre lo mejor de mi persona. Agradezco a todos los profesores de la facultad que me guiaron en mi trayectoria universitaria y a mis compañeros principalmente a María Pino, Pedro Tristán, Víctor Coria, Marlene Vázquez, Iván Trejo y Sofía Reséndiz por todo su cariño y apoyo, sepan que siempre los voy a llevar conmigo.

Agradecimientos personales

Agradezco a mi mamá y papá, Rosa María Mejía Aupart y Miguel Ángel Joachin Márquez, porque sin ustedes no habría podido llegar hasta aquí, gracias por su apoyo, paciencia y cariño, por impulsarme siempre y por enseñarme que la responsabilidad y el trabajo siempre dejan frutos. A mis hermanos Daniela y Alejandro, quienes han sido mis compañeros y cómplices toda la vida.

A mis amigas Diana Coronado, Blanca Luque, Vanessa Aguilar, Andrea Muciño, Tona Noble, Ariela Segura y Diana Ortiz que a lo largo de los años me han brindado su amistad y apoyo incondicional. Gracias a ustedes se que la familia también son aquellas personas con las que no compartimos sangre.

A Brenda Maldonado, por ser una guía en mi vida, gracias por todos tus consejos y por tu cariño incondicional.

A Tere y Chava por todo su apoyo y cariño, gracias por confiar en mi e impulsarme a ser mejor.

Contenido

Resumen.....	5
Relación de Figuras y Tablas.....	6
Introducción	8
1.1 Cambio y variabilidad climática.....	8
1.2 Impactos del cambio y variabilidad climática en el medio marino	10
1.3 Enfoque ecofisiológico	10
1.4 Aspectos biológicos de la almeja mano de león	12
1.5 Pesquería y cultivo de almeja mano de león en el noroeste de México	13
Antecedentes	16
4.1 Variabilidad ambiental en el noroeste	16
4.2 Estudios en mano de león	18
4.3 Selección de sitios de cultivo.....	20
Justificación	21
Hipótesis.....	21
Objetivos	22
2.1 Objetivo general.....	22
2.2 Objetivos particulares	22
Material y métodos.....	23
5.1 Área de estudio	23
5.2 Fuentes de información	24
5.3 Caracterización térmica de los sitios de interés.....	26
5.4 Aptitud térmica de los sitios para el desarrollo de la almeja mano de león.....	28
Resultados	29
6.1 Caracterización térmica de los sitios de interés.....	29
6.2 Aptitud térmica de los sitios para el desarrollo de la almeja mano de león.....	43
Discusión	48
7.1 Sobre los resultados	48
7.2 Sobre los alcances del trabajo.....	50
Conclusiones	54
Recomendaciones	55
Bibliografía	56

Resumen

El adecuado manejo de recursos marinos, tanto a través de la pesca como del cultivo, depende de contar con información técnica pertinente y suficiente. La correcta selección de sitios determina en buena medida el éxito de los cultivos. Para esto, un componente importante es conocer las variaciones térmicas; los sitios más aptos serán aquellos donde las temperaturas a lo largo del tiempo sean óptimas para la especie o bien que las temperaturas estén dentro del rango de tolerancia y permitan el crecimiento de la especie. Este trabajo pretende conocer la aptitud térmica de cinco sitios del Noroeste mexicano para el desarrollo de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*): laguna Ojo de Liebre, bahía Magdalena, bahía de los Ángeles, bahía de Loreto y bahía de La Paz. El estudio se basa en el análisis de 39 años de datos diarios de temperatura superficial del mar derivados de satélite. Las localidades de la costa occidental presentaron temperaturas promedio menores que las del golfo de California. En ambas costas la temperatura disminuyó a mayor latitud, en bahía de Los Ángeles se presentó el mayor rango de valores. En las distribuciones de frecuencia de las temperaturas se observa que únicamente en laguna Ojo de Liebre la distribución fue unimodal, cargada hacia valores fríos del rango, mientras que en el resto de los sitios la distribución de temperaturas fue bimodal. Bahía de Los Ángeles fue el sitio donde la distribución fue más homogénea entre todos los intervalos de rango de temperatura. Entre días consecutivos, se encontró que la mayor parte de los casos el cambio fue menor a 0.5°C , sin diferencias importantes entre sitios, pero bahía de Los Ángeles mostró con mayor frecuencia cambios mayores. El ciclo estacional concentró, en todos los casos, la mayor parte de la variabilidad térmica. Sin embargo, dentro del golfo tanto el peso relativo del ciclo estacional como su amplitud, fue mayor. En todos los sitios, la mayor parte de la variabilidad entre años está relacionada con la dinámica de la oscilación de El Niño-La Niña. En la tendencia a largo plazo se observó que el cambio de temperatura en el tiempo fue mayor en las localidades del golfo de California. En términos de aptitud de los sitios para el desarrollo de la especie, se observó que las temperaturas que corresponde a valores positivos del PC se presentaron el 99% del tiempo en laguna Ojo de Liebre, 91% en bahía Magdalena, 73% en bahía de Los Ángeles, 68% en bahía de Loreto y 63% en bahía de La Paz. Las temperaturas que corresponden al intervalo definido como condiciones óptimas ocurrió el 51% del tiempo en bahía Magdalena, seguida de bahía de Loreto (49%) y laguna Ojo de Liebre (42%) y en menor proporción en bahía de La Paz (40%) y bahía de Los Ángeles (33%). Además, en bahía de La Paz se presentaron con mayor frecuencia temperaturas por arriba de la letal media. Se concluye que laguna Ojo de Liebre y bahía Magdalena presentan mejores condiciones que los sitios del golfo de California. El presente trabajo aporta elementos para la toma de decisiones, que, junto con información sobre otros aspectos ambientales y factores de orden social y económico, permitirá una mejor selección de sitios de cultivo y apoyará el majeo pesquero.

Relación de Figuras y Tablas

Figura	Página
Figura 1. Representación esquemática de la respuesta de los organismos ante la temperatura.	12
Figura 2. Almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>). Imagen de uso libre tomada del World Register of Marine Species (WoRMS). Fuente original: Museo de historia natural de Rotterdam.	13
Figura 3. Distribución espacial de nuevos permisos otorgados para el cultivo de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) en el Estado de Baja California Sur entre 2014 y 2019. Figura construida a partir de datos públicos de la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura, CONAPESCA (https://nube.conapesca.gob.mx/datosabiertos/Permisos_Concesiones_Acuicultura.csv).	16
Figura 4. Número de trabajos publicados sobre almeja mano de león entre 1994 y 2021. Base integrada por personal del proyecto CONACYT 78911.	19
Figura 5. Localización de los cinco sitios de interés del presente estudio: laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de La Paz (LAP), bahía de Loreto (LOR) y bahía de Los Ángeles (BLA).	23
Figura 6. Series de tiempo de temperatura superficial del mar para los cinco sitios de interés, promedio de largo plazo (línea negra continua) y temperaturas máximas (línea roja punteada) y mínima (punteada, azul).	29
Figura 7. Distribuciones de frecuencias de temperatura por sitio de interés.	31
Figura 8. Frecuencia de cambios abruptos de temperatura entre días consecutivos para cada uno de los sitios de interés, agrupados por intervalos de clase de magnitud de cambio (en °C).	33
Figura 9. Descomposición estacional de la serie de temperatura de laguna Ojo de Liebre, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).	34
Figura 10. Descomposición estacional de la serie de temperatura de Bahía Magdalena, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).	35
Figura 11. Descomposición estacional de la serie de temperatura de bahía de Los Ángeles, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).	36
Figura 12. Descomposición estacional de la serie de temperatura de Bahía de Loreto, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).	37
Figura 13. Descomposición estacional de la serie de temperatura de Bahía de La Paz, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).	38
Figura 14. Varianza total de las series de temperatura por sitio y contribución relativa de cada componente extraído en la descomposición estacional.	39
Figura 15. Ciclo estacional (año promedio) de temperatura en los sitios de interés. Se marca la ubicación en el año de los meses en los que se presentan las temperaturas más cálidas (rojo) y frías (azul).	40

Figura 16. Amplitud estacional en cada sitio, calculada como la diferencia entre el valor más cálido y el más frío de cada ciclo.	40
Figura 17. Series de tiempo de anomalías térmicas por sitio y el índice multivariado del ENSO (MEI). Se indican en barras verticales los periodos en que se presentaron eventos El Niño extremos (rojo intenso), moderados (rojo claro) y débiles (amarillo), así como eventos La Niña intenso (azul oscuro) y moderados (azul claro).	41
Figura 18. Tendencia lineal de largo plazo (periodo completo) en cada sitio y niveles de aumento de temperatura registrados respecto del inicio del periodo (líneas continuas) y proyecciones a 2030 y 2050 (líneas punteadas; únicamente sobre la base de la pendiente observada).	42
Figura 19. Ajuste polinomial de tres términos a las observaciones de potencial de crecimiento en almeja mano de león por González-Estrada (2003). Se indican en líneas horizontales el valor de 0 y el valor de 75j/g/h, considerado en este trabajo como límite inferior del óptimo fisiológico.	43
Figura 20. Aptitud térmica de los sitios para el desarrollo de almeja mano de león a través de la comparación de la distribución de frecuencias de temperaturas (líneas continuas) y la curva de potencial de crecimiento de la almeja (línea punteada). En barras horizontales se indica el intervalo correspondiente a valores positivos del potencial de crecimiento (amarillo), el intervalo considerado como óptimo (verde) y la parte del rango de temperatura que se encuentra por arriba del límite de tolerancia (temperatura letal media; TLM encontrado en González-Estrada, 2003; rojo).	45
Figura 21. Comparativo de la aptitud térmica de los sitios de interés para el desarrollo de la almeja mano de león, expresado como proporción del tiempo en el que se presentan temperaturas dentro de valores positivos del potencial de crecimiento (amarillo), temperaturas óptimas (verde) y extremadamente cálidas para la especie (rojos).	46
Figura 22. Aptitud térmica actual (gris) y proyectada a futuro (2030, anaranjado y 2050, rojo) expresada como proporción del tiempo a temperaturas correspondientes a valores positivos del potencial de crecimiento (panel superior) y por encima de la temperatura letal media (panel inferior).	47

Tabla	Página
Tabla 1. Número de permisos otorgados por la CONAPESCA y equipos de pesca registrados a nivel nacional para extracción de almeja mano de león (<i>Nodipected subnodosus</i>), almeja catarina (<i>Argopecten circularis</i>), almeja generosa (<i>Panopea spp.</i>) y todos los moluscos bivalvos juntos.	15
Tabla 2. Coordenadas de los cuadrantes (0.25x.25°) considerados para la extracción de los datos de temperatura superficial del mar, como representativos de los sitios de interés.	25
Tabla 3. Valores promedio, máximo y mínimo históricos y rango de valores (diferencia entre el máximo y el mínimo histórico).	30
Tabla 4. Resumen de métricas asociadas a la aptitud térmica de los sitios de interés para el desarrollo de la almeja mano de león	48

Introducción

La pesca y la acuicultura representan una fuente importante de alimento para la humanidad. La FAO estima que cerca de 3,300 millones de personas obtienen de los productos marinos del orden del 20% de su consumo proteico de origen animal (FAO, 2020). De hecho, durante las últimas décadas el consumo de pescados y mariscos ha aumentado a un ritmo mayor que el de todas las carnes de origen terrestre combinadas. La importancia de este sector para la seguridad alimentaria deriva, además de su contribución en magnitud, de su calidad como alimento (Hicks *et al.*, 2019). Los productos del mar aportan, además de proteínas, una cantidad considerable de ácidos grasos polinsaturados y micronutrientes esenciales biodisponibles, tales como vitaminas A, B y D y minerales como calcio, fósforo, iodo, zinc, hierro y selenio (Khalili Tilami y Sampels, 2018), que no se encuentran disponibles en la mayoría de los alimentos y que juegan un papel importante en la salud y en el desarrollo en edades tempranas (HLPE, 2014).

En este sentido, las variaciones en la producción de alimentos de origen acuático representan un riesgo para la seguridad alimentaria (Colombo *et al.*, 2020). Al mismo tiempo, dichas variaciones representan también un riesgo para el bienestar de las personas que dependen de la actividad pesquera y acuícola como forma de sustento. Se estima que entre 10 y el 12% de la población global depende de estas actividades como forma de vida (FAO, 2020). El riesgo es particularmente alto en regiones y localidades con pocas alternativas productivas, donde el nivel de sensibilidad a los cambios es particularmente alto, y en aquellas que se ubican en zonas donde la exposición a los cambios ambientales es mayor y éstos se manifiestan con más severidad. Cuando se combinan las condiciones de altas sensibilidad y exposición se alcanzan los mayores niveles de vulnerabilidad.

Por otro lado, la selección de sitios es un factor clave para determinar el éxito de un cultivo, los sitios aptos serán aquellos en donde los factores ambientales sean adecuados para la especie a lo largo de tiempo y que el potencial de crecimiento de los organismos sea positivo.

1.1 Cambio y variabilidad climática

El término clima se refiere formalmente al promedio de las condiciones meteorológicas de una región en periodos de al menos 30 años (OMM, 2013); sin embargo, en un sentido más amplio se puede entender como el estado que guarda el sistema, incluyendo sus variaciones y descripciones estadísticas. Entonces, podemos referirnos al clima no únicamente en términos de las condiciones meteorológicas de largo plazo (*i.e.* atmosféricas), sino también oceánicas, y no sólo en el contexto de una localidad, sino también a escala regional y hasta planetaria (IPCC, 2001).

El clima representa el resultado de la interacción entre la atmósfera (la capa de gases que rodea al planeta), la hidrosfera (el conjunto de todos los cuerpos de agua), la litosfera (la capa rocosa, continentes e islas), la criosfera (el conjunto de toda la nieve y hielo) y la biosfera (el conjunto de todo el material vivo y su entorno; Conde, 2006), que distribuyen el calor y la humedad entre las regiones del planeta. A su vez, la cantidad de calor está determinada por el balance de radiación, es decir, la diferencia entre la radiación que recibe el planeta y la que es emitida de regreso al espacio. La cantidad de radiación que llega depende de la posición del planeta respecto al sol: su distancia, la inclinación relativa de eje de rotación, la forma de su órbita, etc., mientras que la cantidad que es emitida depende de qué tanto se absorbe y, particularmente importante por su rol en mantener condiciones aptas para la vida, cuanto es retenido en la atmósfera a través de lo que llamamos efecto invernadero.

Las interacciones de todos los componentes antes mencionados resultan en variaciones del clima a diferentes escalas de tiempo y espacio. Algunas de las variaciones, como el ciclo estacional (a lo largo del año) y el circadiano (a lo largo de un día) son predecibles gracias a que dependen de los procesos regulares de traslación y rotación de la Tierra. Otras variaciones, que se relacionan con la dinámica atmosférica y oceanográfica, son irregulares y mayormente impredecibles. Estas incluyen, por ejemplo, a procesos a escalas interanual a interdecadal, tales como la oscilación de El Niño y La Niña, que representa la fuente más importante de variabilidad de Océano Pacífico (Wang y Fiedler, 2006), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO; Mantua y Hare, 2002), que domina la señal de baja frecuencia en la cuenca del Pacífico norte, o la señal del Régimen, una señal multidecadal observada en la dinámica de peces marinos pelágicos (Chávez *et al.*, 2003). Adicionalmente, existen eventos extremos de menor escala temporal, tales como las olas de calor marinas o MHW's (por sus siglas en inglés) que se caracterizan por ser episodios prolongados (escala de meses) de agua cálida anómala (Oliver *et al.*, 2019).

Los modos de variabilidad climática anteriormente descritos se consideran parte de la dinámica natural del sistema. Sin embargo, existen adicionalmente agentes asociados a la actividad humana, parte de ellos de forma directa por la modificación de la química atmosférica (emisiones de gases de efecto invernadero derivados de la quema de combustibles fósiles y otras fuentes asociadas a la actividad humana) y otros, de forma indirecta, por factores como la modificación del uso de suelo. El resultado de este forzamiento se denomina Calentamiento Global y se asocia con el incremento de la temperatura promedio del planeta, aunque sus efectos se manifiestan en diversos procesos, tales como cambios en los patrones de precipitación o deshielo, en tierra, o desoxigenación, acidificación y cambios en las corrientes en el océano, lo que conocemos como Cambio Climático (Arias *et al.*, 2021). Adicionalmente, existen evidencias de que el Cambio Climático afecta, además, la variabilidad de los sistemas, haciendo, por ejemplo, que eventos como las olas marinas de calor se hayan incrementado en frecuencia y duración

desde inicios del siglo pasado, con impactos directos sobre los ecosistemas marinos (Arafah Dalmau *et al.*, 2020).

1.2 Impactos del cambio y variabilidad climática en el medio marino

Existen diversas manifestaciones de impactos del cambio climático antropogénico en el medio marino (Benzer-Kerr *et al.*, 2022). La superficie del océano se ha calentado aproximadamente 0.88°C desde el periodo 1850–1900 a 2011–2020 (Fox-Kemper *et al.*, 2021). Las olas marinas de calor se están presentando con mayor frecuencia (aproximadamente el doble que en los 1980s) e intensidad. Por ejemplo, en el Pacífico nororiental, que incluye la región de interés de este estudio, se presentó durante 2013–2016 una condición extrema sin precedentes, donde una ola marina de calor de enormes proporciones (incrementos de temperatura de entre 2 y 5.5 °C, dependiendo de la localidad) y duración (más de 40 meses) que se encadenó con un evento El Niño intenso (Tseng *et al.*, 2017), resultando en más de cinco años con condiciones extremadamente cálidas y afectando diversas poblaciones marinas (Jiménez-Quiroz *et al.*, 2019). El pH superficial global se ha reducido en el orden de 0.003–0.026 pH por década (Gulev *et al.*, 2021), el océano ha perdido entre el 0.5–3.3% del oxígeno disuelto en los últimos 40 años (Bindoff *et al.*, 2019) y existen señales de que la estratificación se ha incrementado (Fox-Kemper *et al.*, 2021), provocando, entre otras cosas, alteraciones en los flujos verticales de temperatura, oxígeno y nutrientes.

El cambio climático antropogénico ha causado en los sistemas marinos y costeros que se presenten condiciones sin precedentes los milenios previos, impactando a los ecosistemas y sus componentes. Estos cambios generan modificaciones en la estacionalidad de procesos, tales como migraciones o ciclos reproductivos, y modificaciones en la distribución y abundancia de poblaciones (Cooley *et al.*, 2022). El calentamiento, la acidificación del océano y la pérdida de oxígeno disuelto han causado en muchas regiones cambios en la organización de comunidades ecológicas y la exposición de muchos organismos a condiciones fisiológicas subóptimas o extremas, pérdida de hábitat, disminuciones en las poblaciones y el aumento de riesgo de extirpación local y extinción de especies (Gruber *et al.*, 2021).

1.3 Enfoque ecofisiológico

La ecofisiología es el estudio de las respuestas de los organismos a las condiciones ambientales, su distribución, funcionamiento y éxito. Mediante este enfoque es posible

evaluar respuestas a diferentes niveles de integración, de poblaciones hasta celular, incluyendo supervivencia y respuestas bioenergéticas y metabólicas.

La temperatura limita la distribución y abundancia de los organismos ectotermos, afectando directa o indirectamente su supervivencia durante diferentes fases del ciclo de vida, así como los procesos fisiológicos y la salud de los organismos (Lodeiros *et al.*, 2001). Lo anterior se debe a que, por ser una variable permisiva, atraviesa barreras físicas y puede provocar efectos directos sobre la estructura de todas las macromoléculas (Hickey y Singer, 2004) e influir directamente sobre el metabolismo. Sabemos también que los organismos reaccionan, dentro de sus límites de tolerancia, a través de ajustes o cambios compensatorios o regulatorios (Pörtner, 2001).

En este sentido, para evaluar y caracterizar las respuestas de los organismos a la temperatura, un punto de partida es determinar el intervalo de tolerancia, en el cual los organismos son capaces de compensar los cambios térmicos modificando sus tasas fisiológicas. Dentro del intervalo de tolerancia, es pertinente también identificar las temperaturas óptimas, las cuales se corresponden a las mejores condiciones para los organismos, donde son más eficientes, y pueden estimarse a través del balance energético. Este balance evalúa las diferencias entre las entradas de energía al organismo a través del alimento consumido y las salidas de energía para su mantenimiento (metabolismo) y producción de desechos. La resultante corresponde a la energía libre que puede ser usada para crecimiento y reproducción. La cantidad de energía libre para crecimiento (potencial de crecimiento) es, por lo tanto, un indicador del bienestar fisiológico de los organismos. Fuera de los límites de tolerancia, existe un intervalo de resistencia donde los organismos no tienen energía libre disponible, se destruye la integridad de sus sistemas (homeostasis) y eventualmente mueren (González Estrada, 2003).

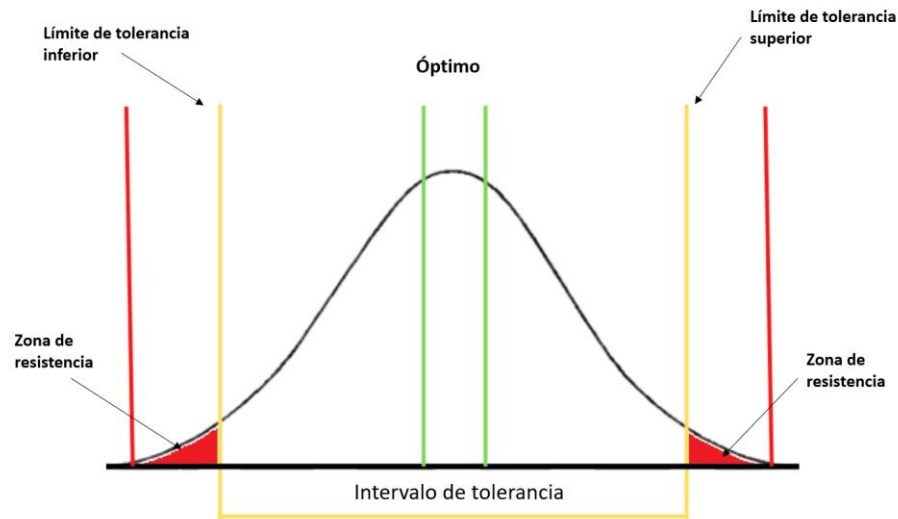


Figura 1. Representación esquemática de la respuesta de los organismos ante la temperatura.

1.4 Aspectos biológicos de la almeja mano de león

Los organismos pertenecientes a la Clase bivalvia, familia Pectinidae, se caracterizan por ser marinos y por tener conchas de dos valvas en forma de peine y al menos una de ellas en forma convexa. Los organismos juveniles forman un biso (estructura proteica) para adherirse a superficies, que generalmente se pierde con la edad, por lo que la gran mayoría son de vida libre, aunque algunos viven pegados a sustratos rocosos u otras estructuras. A diferencia de otros bivalvos, los pectínidos poseen capacidad de nado para desplazarse, gracias a su músculo abductor central único y desarrollado, que impulsa el agua a través del velum (pliegue del manto en forma de cortina) hacia el orificio situado junto a la charnela, por lo que nadan en propulsión a chorro. La familia Pectinidae agrupa a más de 350 especies actuales (González Antivia, 2001), de las cuales 15 son de importancia económica, dentro de los géneros *Aequipecten*, *Argopecten*, *Chlamys*, *Euvola*, *Pecten* y *Nodipecten* (Holguín-Quñones y García- Domínguez, 2011). Su distribución geográfica es amplia y existen representantes desde mares tropicales hasta regiones frías, tanto del Atlántico como del Pacífico.

Nodipecten subnodosus, conocida como almeja mano de león, se distribuye a lo largo de la costa occidental de Baja California Sur, desde laguna Ojo de Liebre, México, el centro y sur del golfo de California hasta las costas de Perú, siendo laguna Ojo de Liebre donde se han reportado las densidades más altas (Massó-Rojas *et al.*, 2000). Habita en lagunas, bahías y

canales profundos con fondos de cascajo, fondos arenosos y áreas coralinas hasta aproximadamente los 100 m de profundidad (Rupp *et al.*, 2011).

La almeja mano de león (Figura 2) es un organismo hermafrodita funcional. Reinecke (1996) describió el ciclo reproductivo de la especie en laguna Ojo de Liebre, el cual abarca de agosto a enero, con dos picos de desove (octubre y diciembre). En la columna de agua las larvas se pueden encontrar a finales de otoño con un pico máximo en octubre. En el ciclo de vida, los gametos son liberados al medio donde son fecundados. El estadio larvario tiene



Figura 2. Almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*). Imagen de uso libre tomada del World Register of Marine Species (WoRMS). Fuente original: Museo de historia natural de Rotterdam.

una duración de aproximadamente 22 días, donde en las primeras 12 horas se observan dos tipos de larvas: larvas trocóforas (aprox. 10 horas después de la fecundación) y veliger (aprox. 12 horas después de la fecundación). Una vez transcurrido ese periodo, las larvas presentan mancha ocular y un pie con el cual se fijan al sustrato. Una vez fijadas en el sustrato, los organismos inician su metamorfosis a juveniles cuya estructura es muy similar a la de un adulto. Esta especie vive aproximadamente 5 años (INAPESCA, 2016).

1.5 Pesquería y cultivo de almeja mano de león en el noroeste de México

Los pectínidos son objeto de explotación pesquera y desarrollo de cultivo en muchas regiones del mundo (Shumway and Parsons, 2016). En el noroeste mexicano, la pesca de la

almeja mano de león es de carácter artesanal, realizada por grupos locales sin acceso a infraestructura significativa para el procesamiento de la captura (Ponce-Díaz *et al.*, 2011).

La captura de almeja mano de león entre 1970 y 1990 se dio a volúmenes muy bajos y su registro se encuentra mezclado con el de otras especies, como las almejas catarina y voladora (Ponce Díaz *et al.* 2011). En 1995 inicia el registro de su captura comercial en laguna Ojo de Liebre, con la intención de subsanar las disminuciones en la producción de almeja catarina (*Argopecten ventricosus*). Las capturas se incrementaron de 5 ton en 1995 a un promedio de 260 ton anuales en la segunda mitad de los 2000s (equivalentes a un valor estimado de 4 millones de dólares/año). En 2009 se alcanzó un máximo histórico de 320 ton, pero para 2010 las capturas disminuyeron a 280 ton y posteriormente declinaron abruptamente, coincidiendo con mortalidades masivas no asociadas a la pesca. En 2011 fue de 56 ton y desde el 2012 se detuvo la extracción dada la afectación de la población, tanto en cantidad como calidad (salud de los organismos y aspecto músculo abductor), afectando así unas 300 familias de pescadores de la zona que dependían del recurso (Rupp *et al.*, 2011).

En los últimos años, específicamente entre 2015 y 2021, se han otorgado 18 permisos de pesca para almeja mano de león, lo que representa únicamente el 1.8% de los permisos otorgados para captura de moluscos bivalvos a nivel nacional. Muy por debajo de otras especies de interés regional, como muestra la Tabla 1, construida con datos públicos de la Comisión Nacional de pesca y Acuicultura (CONAPESCA).

El cultivo de la almeja mano de león se encuentra dominado a nivel técnico piloto (Racotta *et al.*, 2003; Freitas-Valbuena *et al.*, 2011). Se han explorado diferentes técnicas de cultivo, desde el repoblamiento de bancos hasta el cultivo intensivo que implica el manejo controlado de los individuos a altas densidades, utilizando artes de cultivo en suspensión, como las canastas perleras, las linternas japonesas y las canastas ostrícolas de plástico. Para el mantenimiento de los organismos en el mar, tanto en suspensión como en fondo, se requieren condiciones de alta calidad del agua, sin contaminación microbiológica y química.

Tabla 1. Número de permisos otorgados por la CONAPESCA y equipos de pesca registrados a nivel nacional para extracción de almeja mano de león (*Nodipetted subnodusus*), almeja catarina (*Argopecten circularis*), almeja generosa (*Panopea spp.*) y todos los moluscos bivalvos juntos.

Año	Número de permisos nuevos otorgados				Número de equipos de pesca registrados			
	Mano de león	Catarina	Generosa	Bivalvos (nacional)	Mano de león	Catarina	Generosa	Bivalvos (nacional)
2015	0	61	171	429	0	141	231	1041
2016	5	36	23	277	17	80	82	958
2017	2	69	35	314	4	177	81	1206
2018	2	59	153	400	4	121	202	2056
2019	5	45	28	285	13	89	100	781
2020	0	62	40	336	0	127	142	1365
2021	4	43	129	341	11	102	198	989

El ciclo de cultivo dura entre 430 y 540 días, y abarca la siembra inicial (30 a 60 días), la pre- engorda (100 a 120 días) y la engorda (300 a 390 días). Sin embargo, el cultivo comercial aún enfrenta dos retos mayores, la captación de semilla, cuando no se utiliza semilla producida en laboratorio, y el manejo sanitario. Las experiencias de cultivos comerciales han sido en general negativas, en buena medida por la incertidumbre asociada a enfermedades y mortalidades masivas. Resalta la enfermedad causada por organismos perforadores (poliquetos y esponjas), que afecta la forma de la concha (González-Ortíz, 2016) y, se ha sugerido, esta deformación impide que las valvas se cierren normalmente lo que deja a los organismos más expuestos al ingreso de bacterias oportunistas y estrés ambiental (Cáceres-Martínez, 2011). La prevalencia de esta enfermedad en organismos silvestres de diferentes localidades de Ojo de Liebre y Guerrero Negro tiene una distribución espacio temporal reconocible (González-Ortíz, 2016), por lo que se ha sugerido la pertinencia de explorar otros sitios con menor presencia. En este sentido, además del éxito en cultivo, es necesario evaluar la condición sanitaria, el estado fisiológico y la capacidad reproductiva de los organismos, todo ello en conjunto con un seguimiento ecosistémico de variables ambientales y aspectos tróficos en los distintos sitios potenciales.

De los 831 nuevos permisos de acuicultura, otorgados por la autoridad Federal entre 2014 y 2019, 359 (43%) corresponden se ubican en la península de Baja California y únicamente 82 (9.8%) incluyen formalmente a la almeja mano de león (6 para recolección de reproductores y el resto acuicultura de fomento), cinco de ellos otorgados a instituciones académicas y 77 a productores. La distribución espacial de estos permisos se muestra en la Figura 2. Resaltan como los de mayor interés Bahía Magdalena, laguna Ojo de Liebre y Bahía de La Paz.

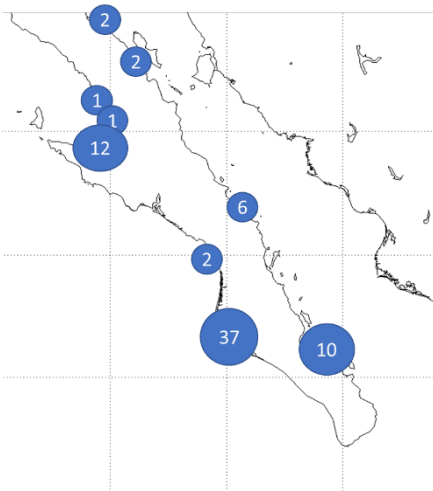


Figura 3. Distribución espacial de nuevos permisos otorgados para el cultivo de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en el Estado de Baja California Sur entre 2014 y 2019. Figura construida a partir de datos públicos de la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura, CONAPESCA (https://nube.conapesca.gob.mx/datosabiertos/Permisos_Concesiones_Acuicultura.csv).

Antecedentes

4.1 Variabilidad ambiental en el noroeste

Se han realizado diversos esfuerzos para caracterizar la variabilidad de la temperatura superficial del mar en el noroeste mexicano. Lluch-Belda *et al.* (2003) describieron modos de variabilidad para la parte sur de la Corriente de California y sus conexiones con la cuenca del Pacífico Norte. Lluch-Cota *et al.* (2010) integraron material publicado (p.ej. Lavín *et al.*, 2003; Lluch-Belda *et al.*, 2009), análisis de datos físicos, químicos y ecológicos y utilizaron modelos acoplados para describir patrones de variabilidad del golfo de California a escalas interanual, interdecadal y la tendencia de largo plazo. Otros estudios han buscado las señales de cambio climático en las tendencias de la temperatura superficial. Lluch-Cota *et al.* (2013) identificaron que, hasta el momento en que se consideró en el estudio (1910 a 2012), la costa occidental de la península de Baja California no mostraba una tendencia clara mientras que el golfo de California exhibía una tendencia modesta de enfriamiento durante los últimos 20 a 25 años.

Respecto a la caracterización térmica de los cinco sitios de interés, se ha puesto énfasis en el uso de datos de alta resolución temporal. Sicard *et al.* (2006) analizaron dos diferentes fuentes de información, registros de alta frecuencia recabados a través de termógrafos *in situ* (Sicard *et al.*, 2012) y reconstrucciones derivadas de observaciones satelitales, para dos

localidades: laguna Manuela, al norte de laguna Ojo de Liebre y Rancho Bueno, dentro del complejo lagunar de bahía Magdalena. Entre los principales resultados se encontró que a) laguna Manuela presenta temperaturas más bajas que Rancho Bueno y que la distribución de frecuencias de la primera presenta una distribución asimétrica, cargada a la izquierda (temperaturas bajas), mientras que la segunda es más amplia y ligeramente bimodal; b) no existe una correlación significativa entre las dos fuentes de información; c) en ambos sitios, la mayor parte del tiempo el cambio de temperatura entre horas consecutivas es menor a 1°C, pero entre días consecutivos los valores más frecuentes son de cerca de 1°C en laguna Manuela y de 2°C en Rancho Bueno. El trabajo resalta la importancia de utilizar fuentes de información de resolución más fina que la mensual, pero reconoce las limitaciones que existen por falta de registros de alta resolución derivados de termógrafos.

Ponce-Díaz *et al.* (2003) realizaron un análisis similar, pero enfocado a la zona de Bahía Asunción, B.C.S., al sur de laguna Ojo de Liebre. El estudio estuvo también basado en diferentes fuentes de información, incluidos registros de alta frecuencia (Sicard *et al.*, 2012) y reconstrucciones basadas en datos satelitales, y se describen el ciclo circadiano y sus variaciones a lo largo del año, las desviaciones interanuales para el periodo 1992–2000 y la variabilidad a escala decadal sobre la base de valores anuales promedio del periodo 1959–1997. Resaltan, también, la necesidad de generar y considerar datos de alta frecuencia y amplia cobertura temporal.

Específicamente para laguna Ojo de Liebre, Álvarez-Borrego *et al.* (1992) instalaron y analizaron la información de termógrafos analógicos en tres puntos de los canales de la laguna, mantenidos durante más de un año (enero de 1985 a marzo de 1986). Describieron una amplitud anual observada de 13.5°C y detectaron como eventos de surgencia en la costa de la península llegan a disminuir la temperatura de la laguna hasta en aproximadamente 4°C.

Dentro del golfo de California, Morales-Sotero (2015) analizó las variaciones de temperatura en Bahía de Los Ángeles y comparó datos obtenidos durante las campañas de campo (observación de tiburón ballena) con datos derivados de satélite. Encontraron buena correspondencia entre ambas fuentes de información y definieron que, a la escala a la que se realizó el trabajo, los datos satelitales son un buen indicador de la dinámica de la temperatura en el sitio. Identificaron que la temperatura superficial del mar presenta valores máximos de julio a septiembre y oscilan entre 29.5-32.3°C, mientras que las temperaturas mínimas se presentan de noviembre a enero y oscilan entre 16.5-24°C.

Lluch-Belda *et al.* (2000) analizaron la temperatura superficial del mar bahía Magdalena a partir de registros hechos durante los muestreos de CICIMAR-I.P.N. desde 1981 hasta 1998, junto con otros datos previos comparables. El análisis permitió comparar la congruencia entre la señal de temperatura en el interior de la laguna con datos de mar abierto, encontrando que el interior de la bahía es consistentemente más cálido que el exterior (0.89°C promedio). Encontraron valores mínimos de temperatura en los meses de enero-

febrero y máximos en agosto-septiembre, con mayor coherencia entre sitios dentro de la laguna durante condiciones frías y mayor heterogeneidad espacial durante la parte cálida del año. A través de un análisis de componentes principales, los autores encontraron que la mayor parte de la señal interanual de variabilidad se relaciona con la influencia del exterior y un componente menor con variación propia de la bahía.

Herrera-Cervantes *et al.* (2020) analizaron la variabilidad espacio temporal de temperatura y concentración de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite (a escala mensual y espacial de 4x4km) para bahía de La Paz, encontrando que la dinámica del ENSO explica gran parte de las variaciones a escala interanual y que la relación entre temperatura y clorofilas es particularmente alta durante la fase cálida del ENSO (eventos de El Niño). Estos resultados son consistentes con la caracterización realizada por Bernal *et al.* (2001), basada en el análisis de múltiples variables oceánicas y atmosféricas.

4.2 Estudios en mano de león

Existen relativamente pocos estudios alrededor de la almeja mano de león (*N. subnodosus*). En una búsqueda exhaustiva realizada recientemente como parte del proyecto donde se ubica la presente tesis (Lluch-Cota, comunicación personal), se encontraron únicamente 110 documentos, de los cuales 31 corresponden a tesis, 74 a artículos científicos y el resto a capítulos de libro y memorias en extenso. La Figura 4 resume las temáticas generales abordadas en dichos documentos a lo largo de casi tres décadas.

Una parte importante de los estudios (19%) se refieren a aspectos biológicos y ecológicos generales, la mayoría integrados por Rupp *et al.* (2011), quienes revisaron dichos aspectos sobre los pectínidos *N. nodosus* y *N. subnodosus*. En este trabajo se analizó ampliamente la distribución geográfica, morfología y anatomía, ciclo de vida, hábitat y aspectos relacionados a poblaciones. Adicionalmente, en la base se localizan algunos estudios sobre reproducción (Arellano Martínez *et al.*, 2004; 2011; Barrios Ruiz *et al.*, 2003; Palacios *et al.*, 2005; Gutiérrez Villaseñor, 1996) y alimentación (Mathieu-Ressuge *et al.*, 2019, 2020; Velasco Blanco, 1997).

Otro 16% de los estudios se enfocan a aspectos de genética, tanto para la caracterización de poblaciones silvestres (p.ej. Vargas-Bravo, 2019), como de la influencia genética en aspectos biológicos (p.ej. Galindo-Torres, 2019) y aplicaciones para la producción (p.ej. Maldonado Amparo *et al.*, 2016; Morelos, 2015, Ibarra *et al.*, 2006).

Por su impacto, tanto en la abundancia de poblaciones silvestres, como en el fracaso de acciones de cultivo, una parte importante del esfuerzo de investigación (10%) ha estado enfocado específicamente al estudio de enfermedades y la sensibilidad de la especie. Se ha evaluado el impacto que tienen organismos perforadores como los poliquetos y las

esponjas en la salud de la almeja mano de león (p.ej. González Ortiz *et al.*, 2016), así como la vulnerabilidad que presenta ante patógenos como bacterias del género *Vibrio* que provocan enfermedad y mortalidades masivas en los sistemas de cultivo (p.ej. Ramírez Castillo, 2005). Sin embargo, a la fecha no se conocen a ciencia cierta las causas y mecanismos asociados a las mortandades masivas, tanto en poblaciones naturales como en cultivo.

Los temas de cultivo y manejo pesquero concentran el 30% de los trabajos publicados. Incluyen, para acuicultura, desde ensayos de cultivo de larvas y juveniles en laboratorio (Carbajal-Rascón, 1987), técnicas de producción en ambiente controlado (López-Sánchez, 2003; Villegas-Carrasco, 2004; Garzón-Favela, 2011), de nutrición acuícola (Ortiz Cuel, 1994; Lora Vilchis, 2004), pruebas de diferentes técnicas de cultivo (p.ej. Freitas *et al.*, 2001; Diarte Plata, 2007). En cuanto a pesquerías, existen menor cantidad de trabajos y abarcan análisis del crecimiento en poblaciones silvestres (Velázquez Abunader *et al.*, 2016), reconstrucción histórica de la actividad (Ruiz Verdugo *et al.*, 2016; Ponce Díaz *et al.*, 2011) y propuestas de esquemas de manejo pesquero (p.ej. Castillo Futema, 2016).

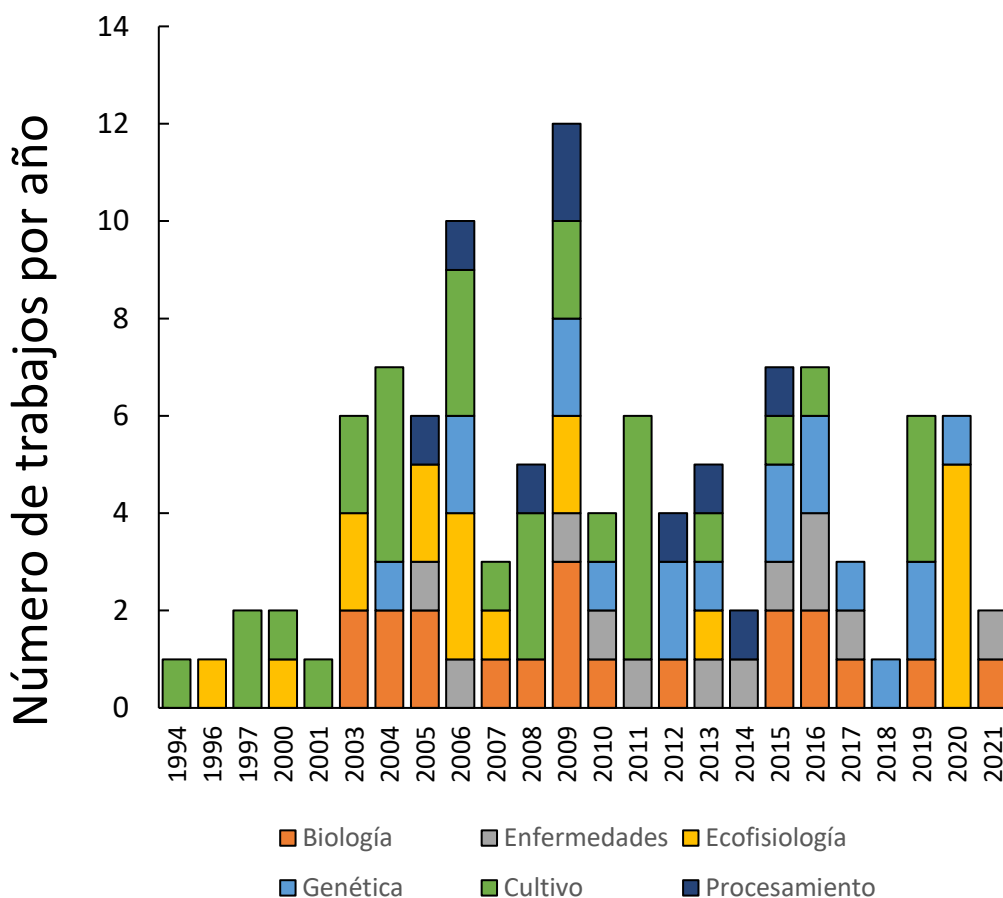


Figura 4. Número de trabajos publicados sobre almeja mano de león entre 1994 y 2021. Base integrada por personal del proyecto CONACYT 78911.

El 8% de estudios sobre almeja mano de león se ha enfocado a la bioquímica *post mortem* y técnicas de mantenimiento y procesamiento del producto (principalmente el callo) para su más eficiente comercialización (p.ej. Ocaño-Higuera, 1999; 2003; Ocaño-Higuera *et al.*, 2006; Pacheco Aguilar *et al.*, 2008; 2019).

Finalmente, el 16% de los trabajos se refieren a estudios de corte ecofisiológico, principalmente en apoyo al desarrollo acuícola. Algunos trabajos han analizado el efecto de variables como salinidad (Roldán-Carrillo *et al.*, 2005) y la velocidad de flujo del agua (García-Esquivel *et al.*, 2000) en la fisiología de la almeja mano de león, pero la gran mayoría de ellos han estado enfocados a aspectos particulares derivados del efecto de la temperatura, por ejemplo, en la maduración y el desove (López Sánchez, 2009), la composición bioquímica (Palacios *et al.*, 2005; 2007) y a la determinación de temperaturas óptimas y límites de tolerancia térmica (p.ej. Purce *et al.*, 2020). Respecto a estos últimos, son de particular interés para la presente investigación los trabajos de González-Estrada (2003) y Sicard-González (2006). En el primer caso, el autor determinó tanto los límites de tolerancia térmica (entre 8°C y 28°C) como la temperatura óptima de crecimiento (alrededor de los 22°C). En el segundo se encontró que organismos expuestos a temperatura oscilante presentan un mejor desempeño en potencial de crecimiento y otras métricas fisiológicas, respecto de individuos mantenidos en condiciones de temperatura constante.

4.3 Selección de sitios de cultivo

A pesar de que existen varios trabajos que evalúan supervivencia y rendimientos de la almeja mano de león en localidades particulares (bahía Tortugas; Angel-Dapa *et al.*, 2015, bahía Magdalena; Racotta *et al.*, 2003; 2008; Palacios *et al.*, 2007; Loreto; Ramírez-Arce, 2009; La Paz; Barrios-Ruiz *et al.*, 2003), son pocos los trabajos en los que se han realizado comparaciones objetivas entre sitios. Koch *et al.* (2015) compararon, a través de la traslocación de organismos entre La Paz y Rancho Bueno, dentro de bahía Magdalena, el rendimiento en supervivencia y crecimiento. Los autores sugieren que los organismos provenientes del golfo de California son mejores candidatos para el cultivo y que, por las condiciones de mayor disponibilidad de alimento y menor duración de la temporada de calor, la costa del Pacífico presenta mayor aptitud para el desarrollo del cultivo. En un análisis complementario, Purce *et al.* (2020) evaluaron además que la condición fisiológica de los organismos del golfo fue mejor que la de los del Pacífico, tanto en potencial de crecimiento como en otras métricas. Por su parte, Sicard *et al.* (2006) evaluaron la aptitud térmica (*i.e.* el potencial de un sitio para el desarrollo del cultivo de una especie, en términos del régimen térmico) de dos sitios de la costa occidental, laguna Manuela, al norte de laguna Ojo de Liebre, y Rancho Bueno, al interior de bahía Magdalena, a través de la comparación de los rangos térmicos de desempeño fisiológico de diversos bivalvos, incluida la almeja

mano de león, con las distribuciones de frecuencia de la temperatura, y reconocieron la importancia de considerar, para este fin, fuentes confiables de información a las resoluciones temporales adecuadas.

Justificación

Las condiciones de aridez, escasas agua y la pobre infraestructura de comunicaciones y transporte que prevalecen en gran parte del territorio del Estado de Baja California Sur, hacen especialmente importante invertir esfuerzo de investigación en buscar opciones de desarrollo económico y social, basado en actividades social y ecológicamente sustentables. La pesquería y el cultivo de almeja mano de león representan para diversas comunidades costeras de Baja California Sur una opción, gracias a que el producto, especialmente su callo, es ampliamente aceptado en el mercado, tanto para consumo local como para exportación. Sin embargo, tanto la pesquería como el cultivo han resultado ser inviables en el mediano plazo, debido a problemas asociados con cambios en abundancia y mortalidades masivas por causas mayormente desconocidas.

Resulta imperativo para la reactivación de la explotación pesquera aumentar el acervo de información ecológica que permita definir con mayor confianza la planeación de la actividad y el diseño de medidas de manejo pesquero. Por su parte, la enorme incertidumbre que limita el desarrollo acuícola se relaciona, al menos en parte, con la falta de información técnica que permita definir cuáles sitios dentro de la región tienen un mayor potencial para el desarrollo de los cultivos, para reducir la probabilidad de eventos de mortalidad y para incrementar los rendimientos.

Hipótesis

Bajo el criterio de condiciones de temperatura y su variabilidad, los sitios de la costa occidental de la península de Baja California representarán una mejor opción para el desarrollo del cultivo de la almeja mano de león que los del golfo de California.

Objetivos

2.1 Objetivo general

Caracterizar la variabilidad térmica de las principales localidades donde habita la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en las costas del Estado de Baja California Sur, México, así como su aptitud térmica para el desarrollo de la especie.

2.2 Objetivos particulares

2.2.1 Caracterizar la temperatura superficial del mar y su variabilidad temporal en cinco localidades de la Península de Baja California: laguna Ojo de Liebre, bahía Magdalena, bahía de Los Ángeles, bahía de Loreto y bahía de La Paz.

2.2.2 Evaluar la aptitud térmica para el desarrollo de poblaciones silvestres o cultivadas de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en cinco sitios de interés a lo largo de la costa del Estado de Baja California Sur.

Material y métodos

5.1 Área de estudio

El noroeste (Figura 5) es la región más importante del país en términos pesqueros, gracias a la presencia de recursos masivos y de alto valor comercial, que dependen de altos niveles de producción biológica (Lluch Cota, 2009; Jiménez Esquivel *et al.*, 2018). Esta región incluye la costa occidental de la península de Baja California y el golfo de California. La costa occidental de la península de Baja California hospeda pesquerías industriales a una escala relativamente pequeña, como la anchoveta, la sardina y el atún, y diversas ribereñas basadas en recursos de alto valor comercial e importancia social, como la langosta, el abulón y otros moluscos. Por su parte, las pesquerías industrializadas del golfo de California incluyen a los pelágicos menores, que contribuye con hasta el 70% de producción nacional de productos pesqueros en algunos años, la de camarón, que aporta alrededor del 90% de la producción total del litoral del Pacífico de este valorado recurso (García-Caudillo y Gómez-Palafox, 2005) y una intensa actividad artesanal basada en una amplia gama de recursos (Herrera-Cervantes, 2007).

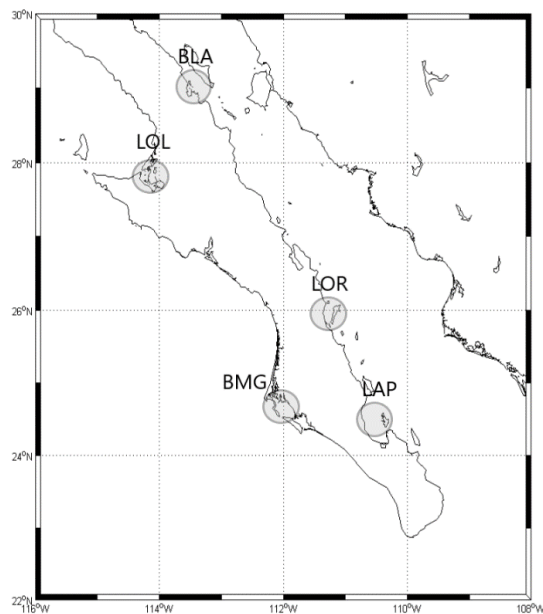


Figura 5. Localización de los cinco sitios de interés del presente estudio: laguna Ojo de Liebre (LQL), bahía Magdalena (BMG), bahía de La Paz (LAP), bahía de Loreto (LOR) y bahía de Los Ángeles (BLA).

La explotación pesquera e intentos de cultivo de moluscos bivalvos en el Estado de Baja California Sur, se ha practicado en los principales cuerpos costeros a lo largo del litoral, mismos que son el objeto de estudio del presente trabajo:

Laguna Ojo de Liebre forma parte de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno-Ojo de Liebre, se localiza al sur de otras dos lagunas costeras del área: laguna Manuela y laguna Guerrero Negro, en un área desértica con muy baja precipitación pluvial (Álvarez y Granados, 1992). La laguna Ojo de Liebre es un ecosistema lagunar-antiestuarino grande y poco profundo, con 48 km de largo, 9 km de ancho, una superficie total de 46,000 hectáreas y de 5 a 12 m de profundidad.

Bahía Magdalena se localiza en la costa suroccidental de la península de Baja California. Está comunicada con mar abierto a través de una amplia boca de acceso de 5.6 km de ancho con 40 m de profundidad máxima, ubicada entre Punta de Entrada (Isla Magdalena) y Punta Redonda (Isla Margarita). En esta área se encuentran bosques de manglar que proporcionan refugio y alimento a diversas comunidades, incluyendo poblaciones importantes de moluscos bivalvos que se explotan comercialmente (Sicard González, 2006).

Bahía de Los Ángeles se ubica en la costa noroccidental del golfo de California, en la región de las grandes islas, frente a isla Ángel de la Guarda. Tiene alrededor de 16 Km de largo por 6.4 Km de ancho, con una pendiente batimétrica suave y profundidades de hasta 50 m en gran parte de su extensión. La boca conecta a la bahía con el canal de Ballenas, una de las regiones oceanográficamente más dinámicas del golfo.

Bahía de Loreto es un parque nacional que se localiza en la parte centro-este del estado de Baja California Sur, con una extensión de más de 200,000 ha (CONANP, 2002) dentro del área se localizan las islas Coronados, del Carmen, Danzante, Montserrat y Santa Catalina, además de varios islotes.

Bahía de La Paz se localiza en el lado oeste del golfo de California, su tamaño aproximado es de 80 km de largo y 35 km de ancho, formada por una península estrecha proyectada hacia el norte y el complejo insular Espíritu Santo- La Partida. Se conecta al golfo de California por bocas, al norte por Boca Grande, amplia y profunda, y al este por el canal de San Lorenzo, somero y estrecho (Hernández Tlapale, 2015).

5.2 Fuentes de información

5.2.1 Información ambiental

El presente estudio se basa en el análisis de datos de temperatura superficial del mar a resolución temporal diaria y espacial a 0.25 x 0.25 grados. Los datos se extrajeron de la página de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration-EUA) como archivos

globales (océano mundial), con 365 capas (una por día del año), en formato netcdf. Se trata de datos derivados de satélite y procesados (interpolados). A partir de la base completa, los archivos se muestrearon para extraer los píxeles correspondientes a cada uno de los cinco sitios costeros de interés y construir series de tiempo a través de una rutina en ambiente R (Tabla 2). Cada serie consta de 14,235 registros, abarcando del 01 de enero de 1982 al 31 de diciembre del 2020.

Tabla 2. Coordenadas de los cuadrantes (0.25 x 0.25°) considerados para la extracción de los datos de temperatura superficial del mar, como representativos de los sitios de interés.

	LOL	BMG	BLA	LOR	LAP
Longitud (N)	28	24.75	29.5	26	24.5
Latitud (W)	114.5	112	113.75	111.25	110.75

La congruencia entre la variabilidad a escala de cuenca y cada una de las series de los sitios de interés se evaluó a través de la extracción de la serie mensual del índice multivariado del ENSO (MEI), disponible en la página del Physical Sciences Laboratory de la NOAA para el periodo 1979 a 2020. El índice considera seis variables: la presión del nivel del mar, los componentes zonales y meridionales del viento superficial, la temperatura superficial del mar, la temperatura del aire superficial y la fracción total del cielo cubierto por las nubes. Los valores positivos del MEI representan la fase positiva del ENSO (El Niño), mientras que los valores negativos representan la fase fría de ENSO (La Niña).

5.2.2 Información ecofisiológica

El desempeño fisiológico de la especie en el dominio de la temperatura se evaluó a partir de la digitalización de las estimaciones de potencial de crecimiento realizadas por González-Estrada (2003). De la misma fuente se tomó el valor de 28°C como límite de tolerancia térmica, el cual se corresponde con la mayor parte de las estimaciones de temperatura letal media (TLM) a diferentes temperaturas de aclimatación. Para las determinaciones de potencial de crecimiento y la tolerancia térmica de la especie, González-Estrada (2003) realizó una serie de experimentos donde se emplearon un total de 4,500 juveniles de almeja mano de león. Los organismos se obtuvieron a partir de reproductores proporcionados por una empresa ubicada en laguna Manuela B.C.S., cerca de laguna Ojo de Liebre.

Los organismos se criaron en el laboratorio de larvicultura de especies marinas del CIBNOR, donde se mantuvieron a 22°C, durante su desarrollo y crecimiento hasta alcanzar una talla de aproximadamente 7mm de altura de la concha, para posteriormente ser utilizados en los experimentos. El potencial de crecimiento se estimó a través del balance energético a distintas temperaturas (15, 18, 22, 26 y 30°C).

5.3 Caracterización térmica de los sitios de interés

5.3.1 Promedio, máximas y mínimas históricas

Las cinco series de tiempo se procesaron en hoja de cálculo convencional para estimar el valor promedio del periodo total (39 años) y se registraron los valores máximo y mínimo de cada serie, para conocer el rango de valores totales.

5.3.2 Distribución de frecuencias

Se construyeron distribuciones de frecuencia de cada una de las series, acumulando el número de registros correspondientes a 44 intervalos de clase de 0.5°C, desde 11.5 hasta 33. Se utilizaron los mismos intervalos de clase para las cinco series.

5.3.3 Cambios entre días consecutivos

Con la finalidad de evaluar qué tan frecuentes son los cambios abruptos de temperatura a corto plazo, se calcularon, para cada serie, las diferencias (en valores absolutos) entre días consecutivos y estas se agruparon en intervalos de clase de 0.5°C. Se consideraron cambios abruptos aquellos mayores a 0.5°C.

5.3.4 Descomposición estacional

Se evaluó a qué escalas temporales se presenta la mayor variabilidad, a través de una descomposición aditiva de las series de tiempo de temperatura superficial del mar de cada uno de los sitios mediante la función *decompose()* de la paquetería stats (ver. 3.6.2) del ambiente de programación R. La rutina utiliza el modelo:

$$Y(t) = \text{tendencia} + \text{estacionalidad} + \text{residual}$$

que permite primero identificar y aislar el componente de tendencia interanual (*trend*) a través de un promedio móvil simétrico, en este caso de 365 términos (un año). Posteriormente se extrae el componente estacional mediante el promediado de cada uno de los días del año para el periodo completo y finalmente se calcula el residual (la parte de señal no explicada) mediante la resta de los componentes estacional y de tendencia de la serie original.

5.3.4.1 Peso relativo por componente

Dado que se utilizó una descomposición de tipo aditiva, donde la serie original es la suma aritmética directa de los componentes estimados, sabemos que la varianza total de la serie se reparte en los tres componentes. Se calculó la varianza de la serie original a través de la fórmula $\sigma^2 = (\sum (x-\mu)^2) / N$, donde x es cada uno de los 14,235 registros de la serie, μ es el valor promedio de la serie y N es el número de registros. Igualmente, se calculó la varianza para cada uno de los componentes y se compararon sus contribuciones relativas. Cabe reconocer que la suma de las varianzas de los componentes no fue exactamente igual a la

varianza de la serie porque, al estimarse a través de promedios móviles, los valores de N no son idénticos para todos los componentes y la serie original; sin embargo, se logró explicar más del 98%.

5.3.5 Componente estacional

Se calculó el ciclo estacional a través del promedio de cada uno de los días del año, para los 39 años con observaciones, a partir de la serie original.

5.3.5.1 Comparativo de fase

Se analizó visualmente la distribución temporal, dentro del año promedio, de los meses más fríos y de los más cálidos. Con este fin, se tomó la decisión de considerar como fríos a aquellos meses donde la temperatura se ubicó por debajo del primer cuartil del recorrido del rango total de temperatura del ciclo, y de forma similar, los más cálidos por encima del tercer cuartil.

5.3.5.2 Comparativo de amplitud

Se calculó la amplitud como la diferencia absoluta entre los valores máximo y mínimo del ciclo estacional, expresado en °C.

5.3.6 Componente interanual

Mediante la extracción del ciclo estacional de cada una de las series originales, se calcularon series de anomalías diarias de temperatura, que resumen el comportamiento interanual sin efecto de la estacionalidad y permiten analizar la variabilidad interanual.

5.3.6.1 Congruencia con un indicador de actividad tropical

De forma exploratoria, se compararon visualmente las series de anomalías diarias con el índice multivariado de la oscilación del Niño (MEI), que se encuentra a escala mensual, y se utilizó la clasificación estándar de eventos del Climate Prediction Center de la NOAA para observar el comportamiento durante eventos intensos, moderados y débiles que ocurrieron en el periodo de estudio.

5.3.6.2 Tendencia de largo plazo

Se calculó la tendencia de largo plazo, más allá de la variabilidad interanual, a través de modelos de regresión lineal para cada serie y se registraron las pendientes, mismas que sirvieron de base para extrapolar la tendencia al futuro. Esta estrategia tiene la limitante de que asume que la tasa de cambio de temperatura, estimada a partir de un periodo definido (en este caso entre 1982 y 2020) refleja el comportamiento de más largo plazo hacia el pasado y que se mantendrá en el futuro. Mientras que es evidente que, dado que existe la variabilidad interdecadal, es factible que el supuesto no se cumpla, se consideró su uso con fines netamente exploratorios y descriptivos.

5.4 Aptitud térmica de los sitios para el desarrollo de la almeja mano de león

5.4.1 Curva de desempeño fisiológico de la almeja mano de león

A partir de las observaciones de potencial de crecimiento por González-Estrada (2003), se ajustó un modelo polinomial de tercer grado de la forma: $PC = aT^3 + bT^2 + cT + d$, donde PC es el potencial de crecimiento calculado y T es la temperatura (°C). Se decidió utilizar el modelo polinomial en lugar de ajustar alguno de los modelos más tradicionalmente utilizados para definir curvas de desempeño térmico (TPC, temperature performance curve; Padfield *et al.*, 2021) debido a que no se cuenta con estimaciones de desempeño correspondientes a temperaturas bajas que permitan un ajuste confiable. Sin embargo, la curva resultante permite las comparaciones objeto del presente trabajo. Las comparaciones entre sitios se realizaron a través de dos criterios de desempeño, uno objetivo, cuando el potencial de crecimiento es positivo y el otro arbitrario, considerado como valores óptimos cuando el PC se ubicó por encima del valor de 75 j/g/h.

5.4.2 Cruce de curva de desempeño fisiológico y la distribución de temperaturas por sitio

A partir de las distribuciones de frecuencia de temperaturas registradas en cada uno de los sitios (ver 6.3.2), se estimó la proporción de valores que se correspondían a los rangos de temperatura indicados por el modelo de preferencia térmica de la especie (valores positivos de PC y valores por encima de los 75j/g/h). Igualmente, se calculó la frecuencia de ocurrencia temperaturas por encima de los 28°C, definido por González-Estrada (2003) como el límite de tolerancia a partir de la evaluación de la temperatura letal media (TLM).

5.4.3 Comparativo de aptitud entre sitios

Se compararon las frecuencias acumuladas para cada intervalo de desempeño fisiológico entre sitios, expresadas como proporción del tiempo total, como un indicador de la aptitud del sitio para la presencia de la almeja. De esta forma, la mayor aptitud se corresponde con los mayores valores de $PC > 0$ y $PC > 75j/g/h$ (óptimo) y menores de riesgo (por encima de la tolerancia; $> 28^\circ C$). Por el contrario, los sitios con menor aptitud son aquellos donde la proporción del tiempo en condiciones adecuadas es baja y la de valores por encima de la TLM es alta.

5.4.4 Exploración de escenarios futuros de aptitud

Como ejercicio adicional se exploraron dos escenarios de aptitud a futuro, basados en cálculos similares a los descritos en 6.4.3, pero desplazando (en el dominio de la temperatura) la distribución de frecuencias de cada uno de los sitios en la magnitud indicada por la pendiente de la regresión lineal de la tendencia de largo plazo (ver 6.3.6.2) de cada una de las series. Se definieron como ventanas temporales las proyecciones a 2030 y 2050.

Resultados

6.1 Caracterización térmica de los sitios de interés

Las series de tiempo de temperatura superficial del mar para los cinco sitios de interés para el periodo entero de estudio, desde enero de 1982 hasta diciembre del 2020 mostraron que las temperaturas de bahía de La Paz y bahía de Loreto son más cálidas que las de bahía de Los Ángeles, bahía Magdalena y laguna Ojo de Liebre. Las localidades de la costa occidental de la Península presentan temperaturas promedio menores que las del golfo de California,

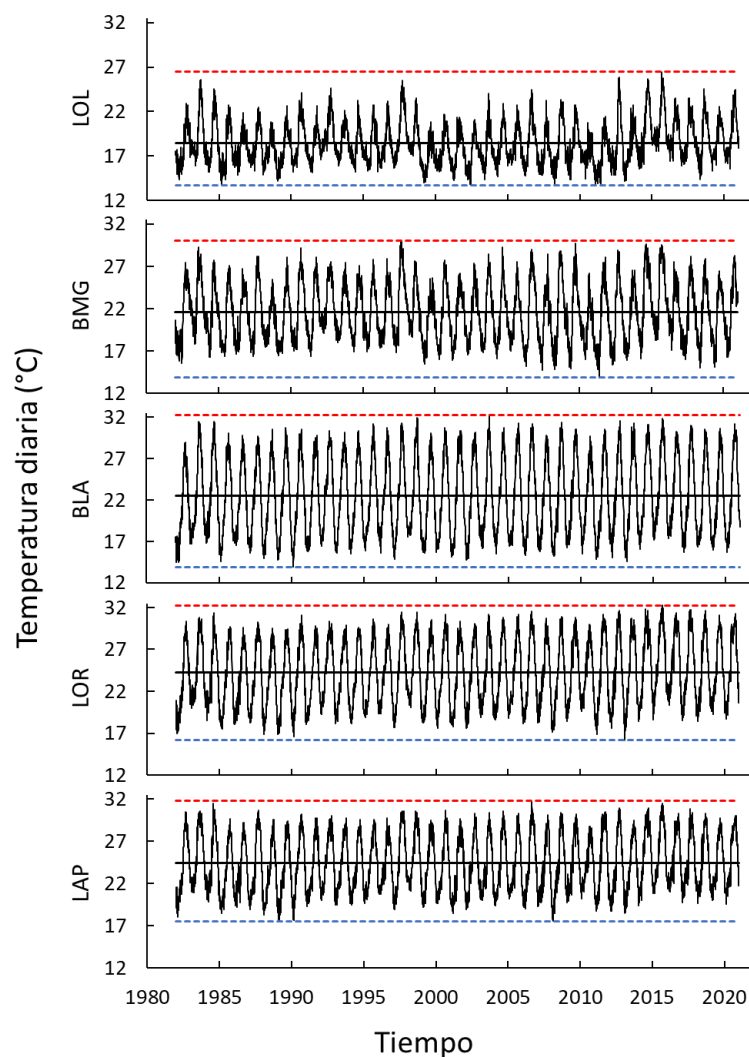


Figura 6. Series de tiempo de temperatura superficial del mar para laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP). Se indica el promedio de largo plazo (línea negra continua) y las temperaturas máximas (línea roja punteada) y mínima (punteada, azul).

con el promedio más bajo en laguna Ojo de Liebre (19.4°C) mientras que el promedio más alto lo encontramos en bahía de La Paz (25.3°C) y en ambas costas las menores temperaturas se presentaron en las localidades más norteñas (Figura 6, Tabla 3). En contraste, los valores de máximo y mínimo histórico no mostraron el mismo patrón entre costas o latitudes, en bahía de Los Ángeles la temperatura máxima histórica fue de 32.3°C, seguida de bahía de Loreto(32.1 °C), bahía de La Paz(31.7 °C), bahía Magdalena (30.6 °C) y por último laguna Ojo de Liebre (26.4 °C), en cuanto a las temperaturas mínimas históricas bahía de Los Ángeles presentó la temperatura más baja (12.8 °C), seguida de laguna Ojo de Liebre (13.1 °C), bahía Magdalena (15.2 °C), bahía de Loreto (17.4 °C) y finalmente bahía de La Paz (17.5 °C).

Resalta que el mayor rango de valores (diferencia entre el máximo y mínimo histórico) se presentó en bahía de Los Ángeles(19.5°C), muy superior al del resto de los sitios. El menor rango de valores se presentó en bahía de La Paz (14.2°C)

Tabla 3. Valores promedio, máximo y mínimo históricos y rango de valores (diferencia entre el máximo y el mínimo histórico) en laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP).

	Promedio	Máxima	Mínima	Rango
LOL	19.4	26.4	13.1	15.5
BMG	22.4	30.2	15.2	15.0
BLA	22.7	32.3	12.8	19.5
LOR	24.5	32.1	17.4	14.7
LAP	25.3	31.7	17.5	14.2

Las distribuciones de frecuencia de las temperaturas se obtuvieron tras agrupar los datos de cada serie en intervalos de clase de 0.5°C (Figura 7). Destacan dos observaciones, primero, que la distribución fue unimodal únicamente en el caso de laguna Ojo de Liebre (LOL), que muestra un arreglo asimétrico cargado hacia valores fríos del rango, mientras que para el resto de las distribuciones se identificó una distribución bimodal, con las modas más separadas en bahía de Los Ángeles (BLA), seguida de bahía de Loreto (LOR), bahía de La Paz (LAP) y bahía Magdalena (BMG). Una segunda observación es la diferencia en la concentración de los datos alrededor de las modas, en especial entre laguna Ojo de Liebre y bahía de Los Ángeles, donde en la primera la mayoría de los valores se encontraron

concentrados alrededor de la moda, mientras que en la segunda estuvieron repartidos más homogéneamente entre todos los intervalos de clase del rango de temperaturas.

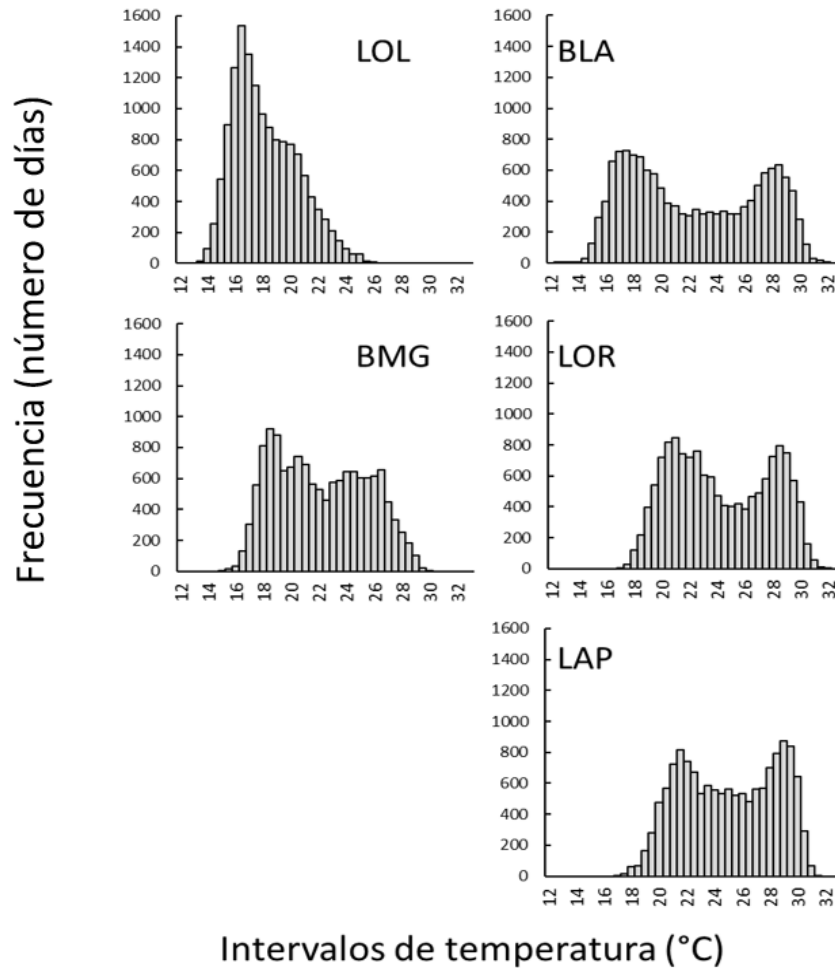


Figura 7. Distribuciones de frecuencia de temperatura para laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP). El número total de días fue de 14,325.

El cambio de temperatura entre días consecutivos fue, en la gran mayoría de los casos, menor a 0.5°C. En una pequeña proporción de las veces (entre 1393 y 2127 de 14,234 casos) el cambio entre días fue mayor, sin diferencias importantes entre sitios. Sin embargo, en los intervalos mayores, de cambios de entre 1 y 1.5, de 1.5 a 2 y mayores de 2°C, las frecuencias fueron de entre tres y cuatro órdenes de magnitud menores que el total de

casos y bahía de Los Ángeles presenta valores de cerca del doble que todos los demás sitios (Figura 8).

Las Figuras 9 a 13 muestran las series de tiempo de los componentes derivados de la descomposición estacional. A través de este método fue posible comparar la contribución relativa de cada uno de los componentes a la variabilidad total de la temperatura en cada sitio. El panel superior de la Figura 14 muestra la varianza total de cada una de las series originales, donde resalta que bahía de Los Ángeles presentó el valor más alto, alrededor del doble de las varianzas de los otros sitios, y la menor se presenta en laguna Ojo de Liebre. El panel inferior muestra la contribución relativa de cada componente a la varianza total, donde se observa que en laguna Ojo de Liebre la contribución del ciclo estacional es poco menos del 70%, el 15% se explica por la tendencia interanual y el 17% se concentra en los residuales. En contraste, en bahía de Los Ángeles más del 93% de la varianza se puede atribuir al ciclo estacional y menos del 2% a la tendencia interanual.

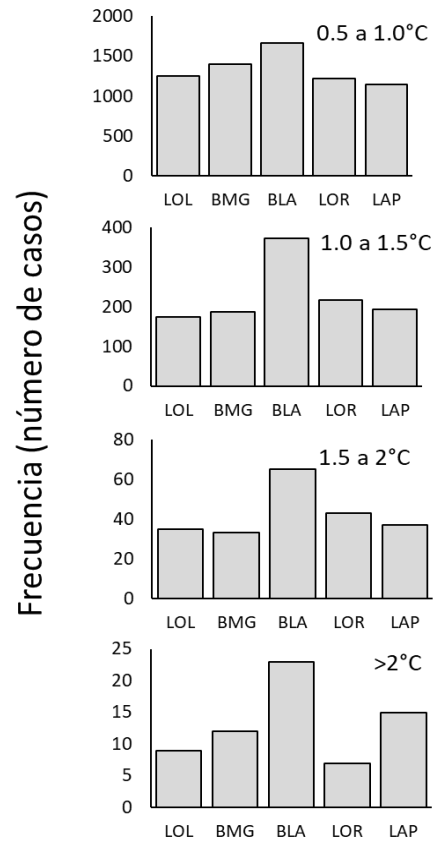


Figura 8. Frecuencia de cambios de temperatura mayores a 0.5°C entre días consecutivos para laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP), agrupados por intervalos de clase de magnitud de cambio (en °C).

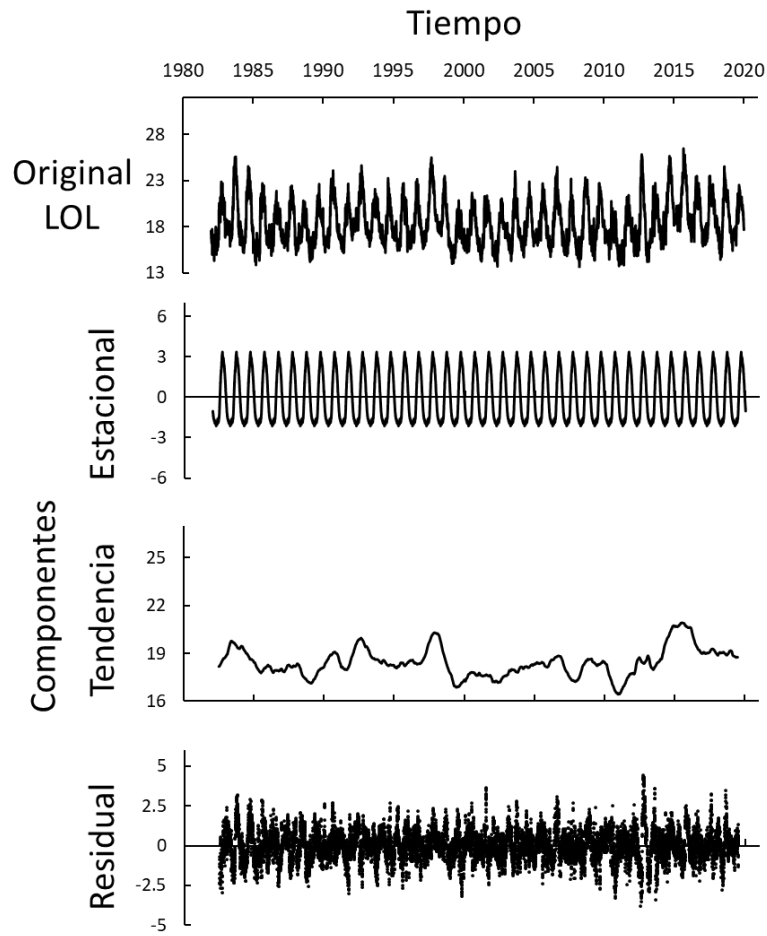


Figura 9. Descomposición estacional de la serie de temperatura de laguna Ojo de Liebre, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).

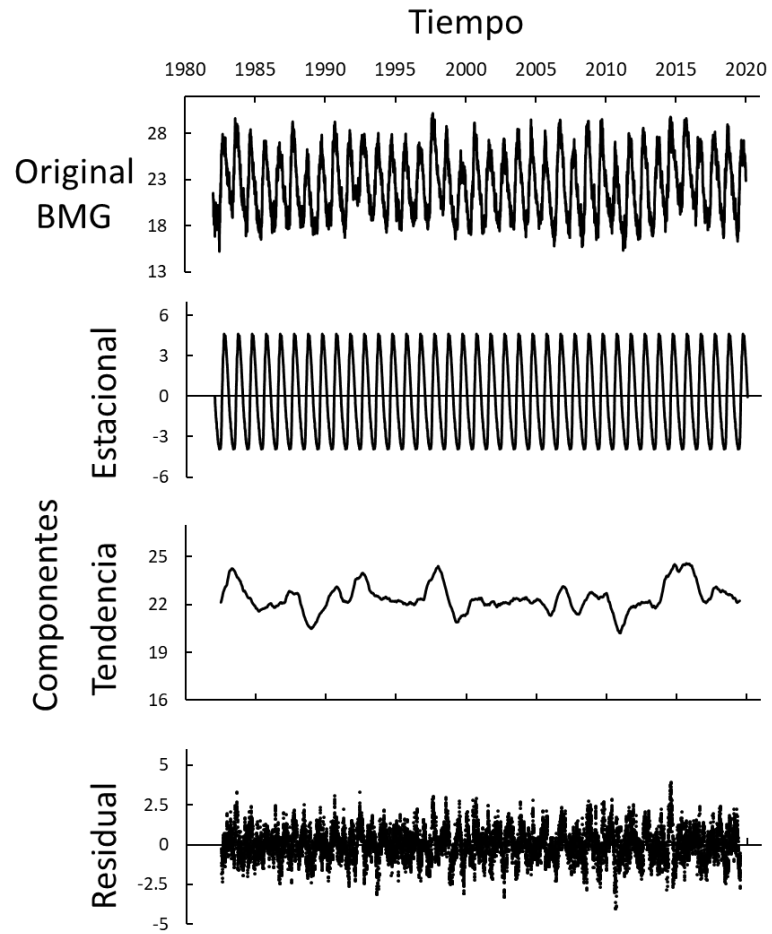


Figura 10. Descomposición estacional de la serie de temperatura de bahía Magdalena, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).

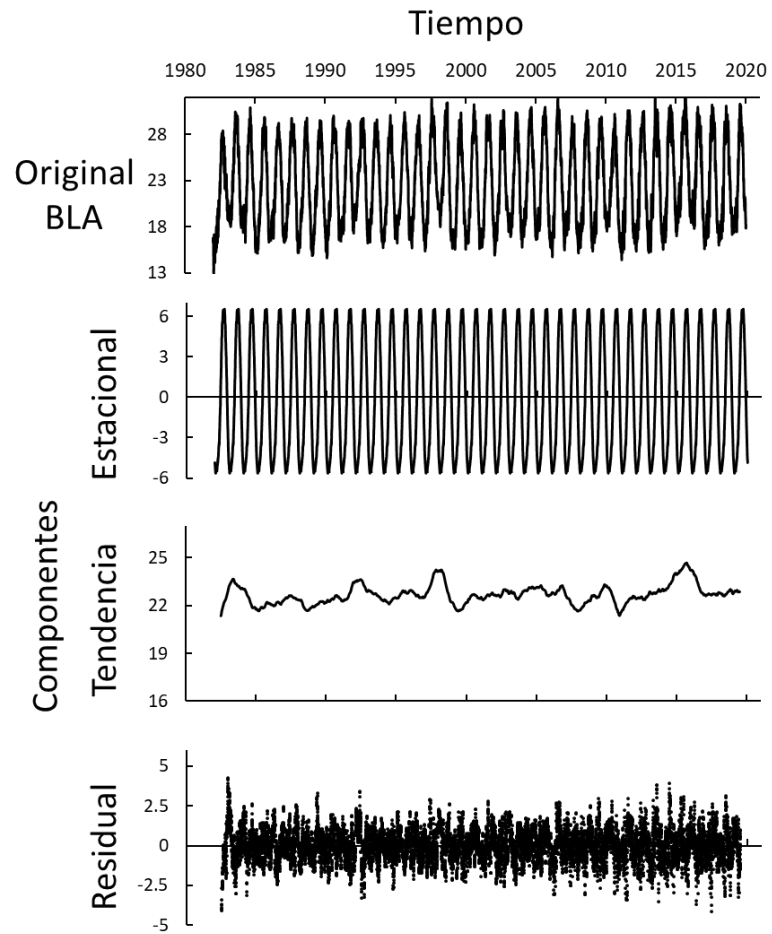


Figura 11. Descomposición estacional de la serie de temperatura de bahía de Los Ángeles, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).

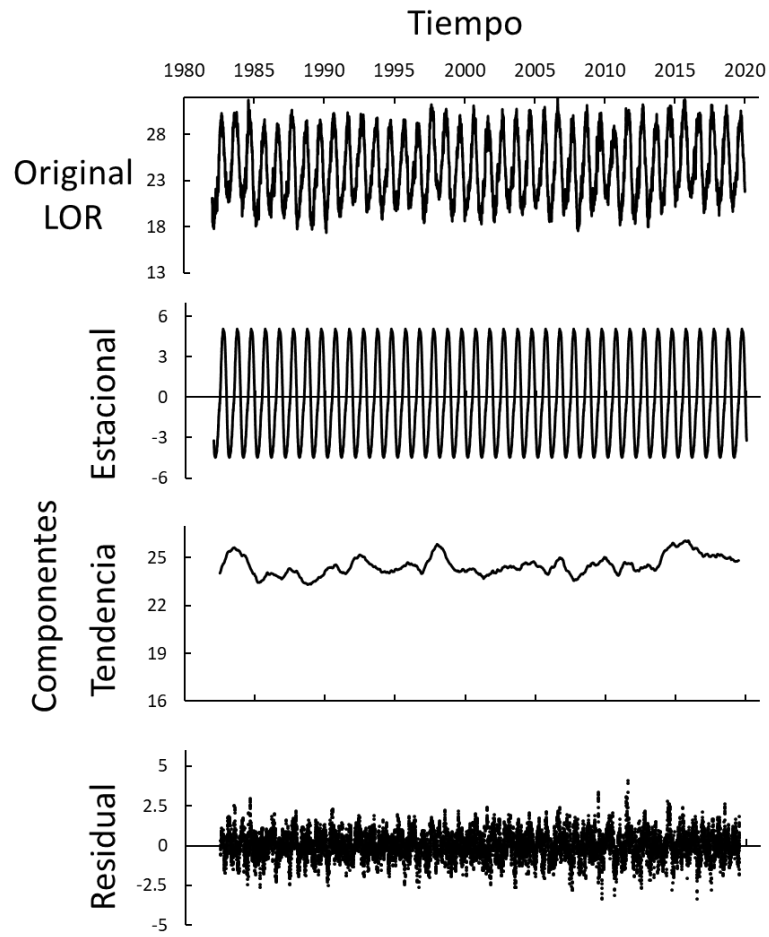


Figura 12. Descomposición estacional de la serie de temperatura de bahía de Loreto, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).

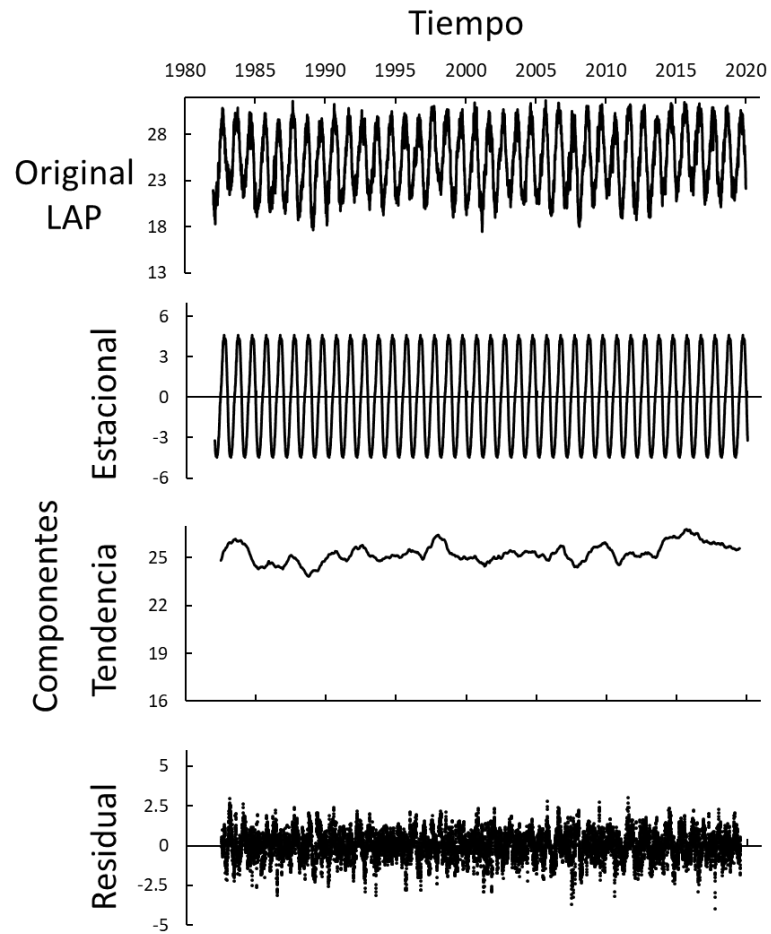


Figura 13. Descomposición estacional de la serie de temperatura de bahía de La Paz, B.C.S. en componentes estacional, tendencia (interanual) y ruido (residuales).

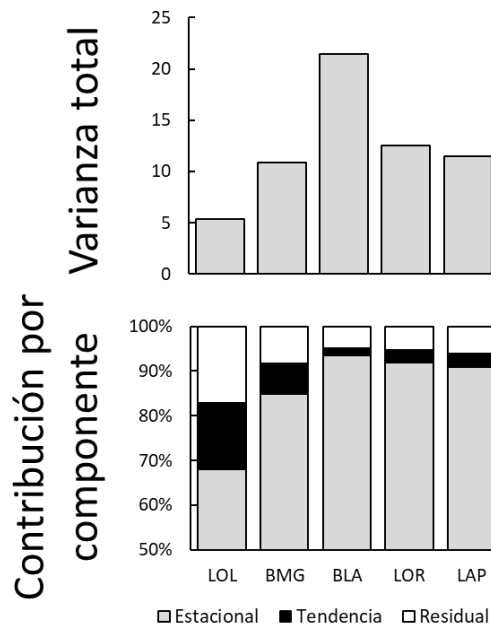


Figura 14. Varianza total de las series de temperatura de laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP) y contribución relativa de cada componente extraído en la descomposición estacional.

El ciclo estacional, que en todos los casos concentró la mayor parte de la variación, presentó patrones diferentes entre ambas costas de la península. En términos de la fase (Figura 15), para la costa occidental de la Península, la parte más fría del año se presentó entre febrero y junio y la parte cálida entre agosto y octubre (laguna Ojo de Liebre) y agosto y noviembre (bahía Magdalena), lo que no se corresponde con el ciclo estacional teórico donde, para el hemisferio norte, los mínimos se esperan en los meses de invierno (21 de diciembre a 20 de marzo) y los cálidos en verano (21 de junio a 23 de septiembre). En el interior del golfo de California, los meses fríos se ubican entre enero y abril y la parte cálida entre julio y agosto, más cercano al ciclo estacional astronómico. En términos de amplitud (diferencia entre el mes más cálido y el más frío; Figura 16), los valores menores se localizaron en la laguna Ojo de Liebre (5°C), fueron similares entre bahía Magdalena, bahía de Loreto y bahía de La Paz (entre 8 y 10°C) y mucho mayores en bahía de Los Ángeles (más de 12.5°C).

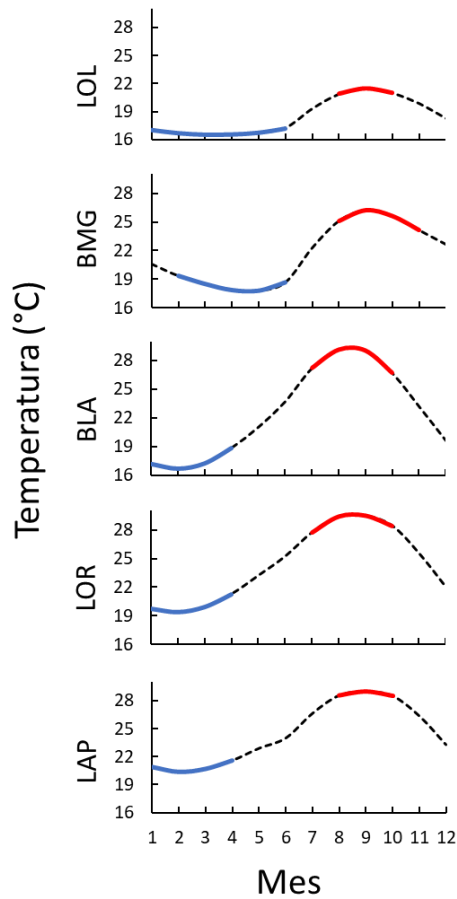


Figura 15. Ciclo estacional (año promedio) de temperatura en laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP). Se marca la ubicación en el año de los meses en los que se presentan las temperaturas más cálidas (rojo) y frías (azul).

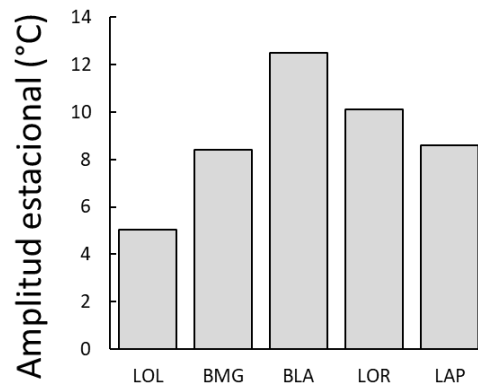


Figura 16. Amplitud estacional, calculada como la diferencia entre el valor más cálido y el más frío de cada ciclo, en laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP).

En contraste con las fuertes diferencias observadas en las métricas antes descritas, especialmente en el ciclo estacional, las series mostraron un comportamiento similar en las variaciones extremas en la escala interanual. La Figura 17 muestra las series de anomalías térmicas diarias (resultantes de extraer el ciclo estacional a las series originales) junto con el índice multivariado del ENSO (MEI). Se identificaron en todos los sitios que el mayor calentamiento anómalo ocurre durante los eventos El Niño fuertes de 1982-83, 1997-98 y 2015-16, así como las anomalías más frías durante los eventos La Niña de 1989, 1998 y 2011. Cabe reconocer, sin embargo, que existen diferencias entre sitios en cuanto a la magnitud de respuesta ante eventos El Niño moderados y débiles. Ante el evento de 1992-93, por ejemplo, la respuesta fue más intensa en las localidades de la costa occidental, mientras que el evento de 2010 sólo se detectó en las localidades del golfo de California. En todo caso, la gráfica permite aseverar que la variabilidad interanual en los cinco sitios está principalmente controlada por la dinámica tropical a escala de cuenca, relacionada con la actividad de la oscilación de El Niño y La Niña.

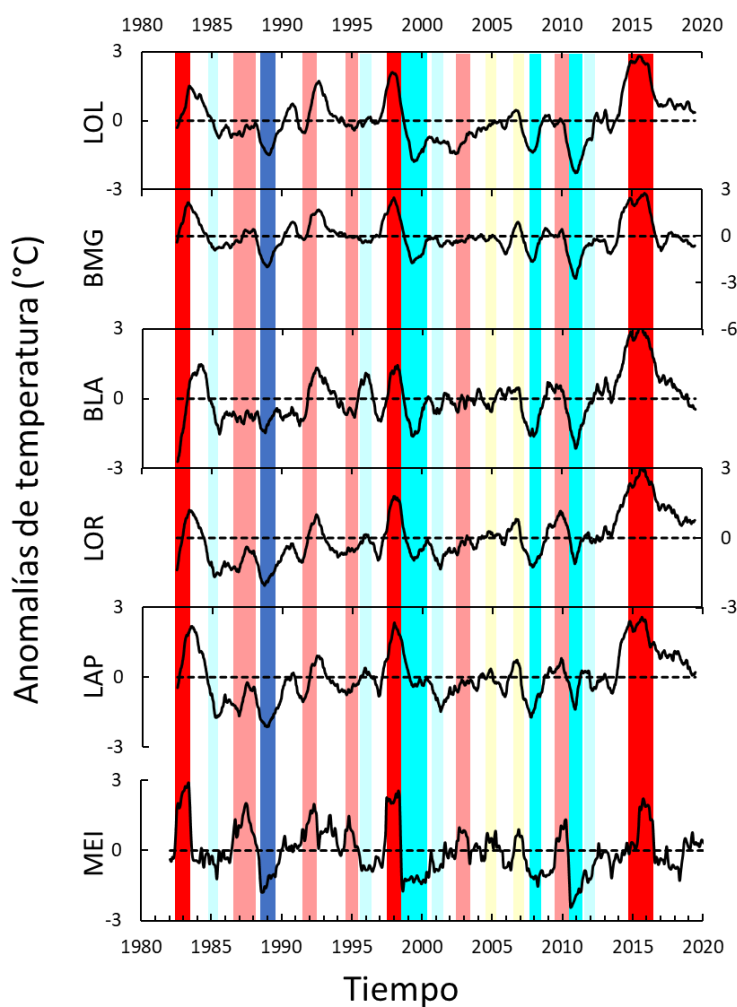


Figura 17. Series de tiempo de anomalías térmicas por sitio y el índice multivariado del ENSO (MEI). Se indican en barras verticales los periodos en que se presentaron eventos El Niño extremos (rojo intenso), moderados (rojo claro) y débiles (amarillo), así como eventos La Niña intenso (azul oscuro) y moderados (azul claro).

Las pendientes de los modelos de regresión lineal indicaron que el cambio de temperatura en el tiempo fue mayor en las localidades del golfo de California que en los de la costa occidental de la Península, con aumentos durante el periodo de estudio del orden de 1.5°C en bahía de Loreto, 0.96°C en bahía de Los Ángeles y 0.91°C en bahía de La Paz, mientras que en laguna Ojo de Liebre y bahía Magdalena fueron de 0.45 y 0.17°C, respectivamente (Figura 18; se muestran también proyecciones, basadas en las mismas pendientes, a 2030 y 2050).

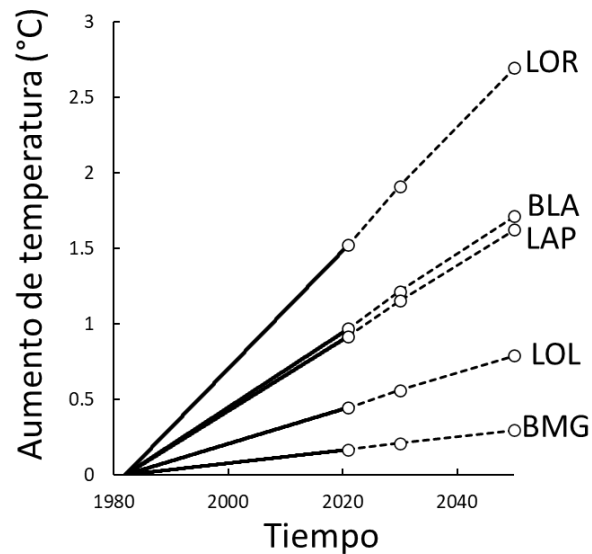


Figura 18. Tendencia lineal de largo plazo (periodo completo) en cada sitio y niveles de aumento de temperatura registrados respecto del inicio del periodo (líneas continuas) y proyecciones a 2030 y 2050 (líneas punteadas; únicamente sobre la base de la pendiente observada) para laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP).

6.2 Aptitud térmica de los sitios para el desarrollo de la almeja mano de león

La aptitud de los sitios para el desarrollo de la almeja se basó en las estimaciones de potencial de crecimiento (PC) en almeja mano de león por González-Estrada (2003). La Figura 19 muestra las observaciones mencionadas junto con un modelo polinomial ajustado: $PC = -0.0901T^3 + 3.1136T^2 - 11.047T - 213.96$, que, dado que trata de un polinomio de tres términos y que el número de datos es pequeño, se alcanzó una $R^2=0.9985$. El modelo proyecta el máximo de PC en 92.76 j/g/h, a los 21.1°C y un intervalo de temperaturas con valores por encima de $PC=75$ j/g/h, definido arbitrariamente en este trabajo como indicativo de condiciones óptimas, entre los 18.4 y 23.6°C. El modelo también proyecta valores positivos del PC a partir de los 14.3°C y hasta los 26.5°C, intervalo que se puede considerar como adecuado para el desarrollo de la especie.

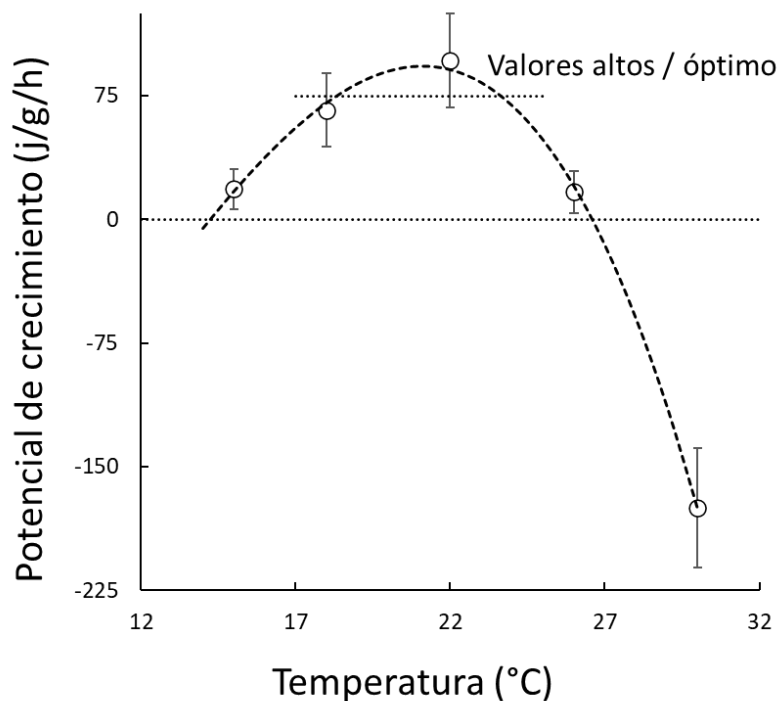


Figura 19. Ajuste polinomial de tres términos a las observaciones de potencial de crecimiento en almeja mano de león por González-Estrada (2003). Se indican en líneas horizontales el valor de 0 y el valor de 75j/g/h, considerado en este trabajo como límite inferior del óptimo fisiológico.

Tras comparar el modelo ajustado a los datos de PC con las distribuciones de frecuencia de temperatura de cada uno de los sitios (Figura 20), fue posible cuantificar la aptitud de los sitios, en función de la cantidad de tiempo en que las temperaturas se corresponden con los intervalos fisiológicos definidos (Figura 21). Se observa que temperaturas que corresponde a valores positivos del PC se presentan el 99% del tiempo en laguna Ojo de Liebre, 91% en bahía Magdalena, 73% en bahía de Los Ángeles, 68% en bahía de Loreto y 63% en bahía de La Paz. Las temperaturas que corresponden al intervalo definido como condiciones óptimas ocurre el 51% del tiempo en bahía Magdalena, seguida de bahía de Loreto (49%) y laguna Ojo de Liebre (42%) y en menor proporción en bahía de La Paz (40%) y bahía de Los Ángeles (33%). Por su parte, la métrica que puede ser considerada como riesgo, que es la frecuencia con que se presentaron temperaturas por arriba de los 28°C (valor identificado por González-Estrada, 2003 como temperatura letal media), es mayor en bahía de La Paz (30%), seguido por bahía de Loreto (25%) y bahía de Los Ángeles (19%), en bahía Magdalena es de 4% y no se registraron en laguna Ojo de Liebre temperaturas superiores a ese valor en todo el periodo observado.

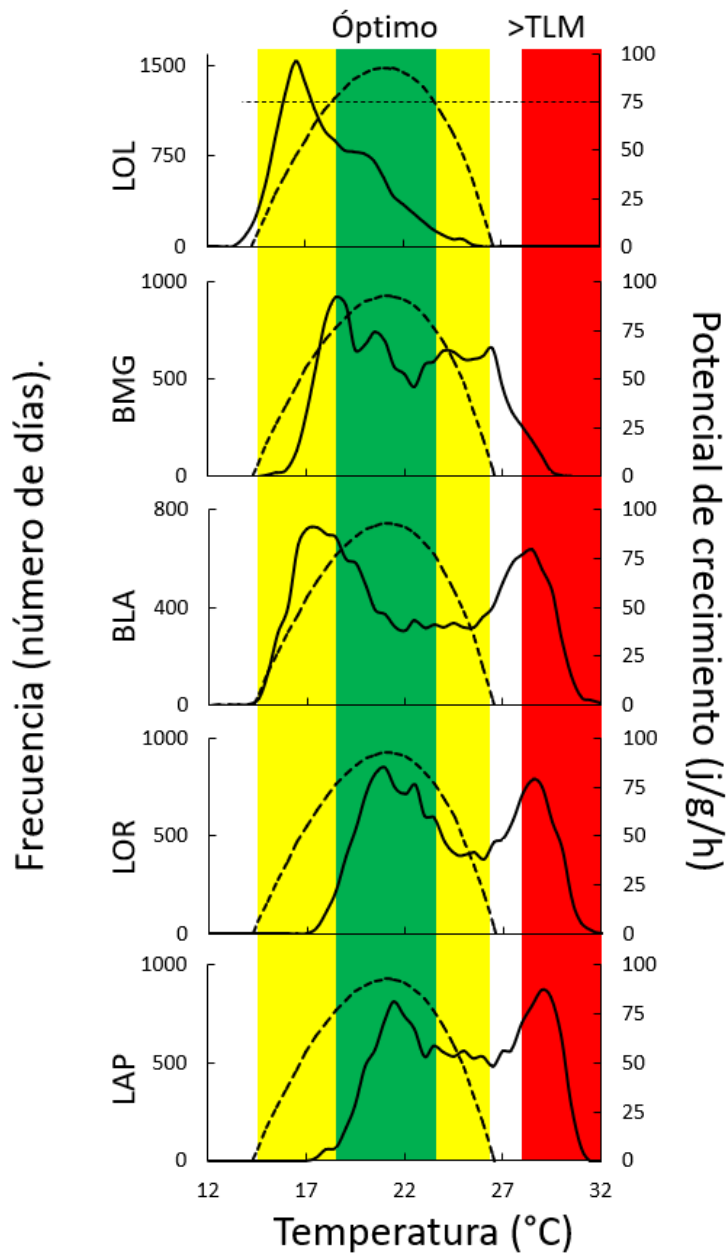


Figura 20. Aptitud térmica de laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP), para el desarrollo de almeja mano de león. Las líneas continuas muestran las distribuciones de frecuencia de las temperaturas y la línea punteada la curva de potencial de crecimiento de la almeja. En barras horizontales se indica el intervalo correspondiente a valores positivos del potencial de crecimiento (amarillo), el intervalo considerado como óptimo (verde) y la parte del rango de temperatura que se encuentra por arriba del límite de tolerancia (temperatura letal media; TLM encontrado en González-Estrada, 2003; rojo).

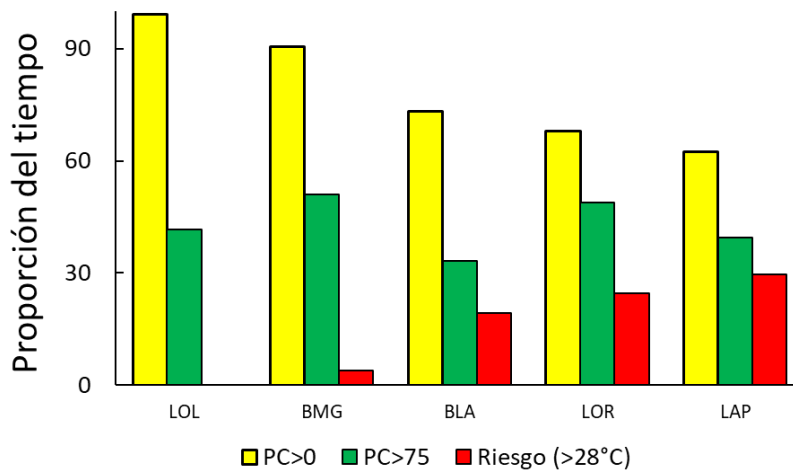


Figura 21. Comparativo de la aptitud térmica de entre los sitios: laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP), expresado como proporción del tiempo en el que se presentan temperaturas dentro de valores positivos del potencial de crecimiento (amarillo), temperaturas óptimas (verde) y extremadamente cálidas para la especie (rojos).

Como ejercicio exploratorio, se proyectó además la aptitud futura de los sitios a dos momentos, 2030 y 2050, después de desplazar las distribuciones de frecuencia de temperaturas en la magnitud indicada por la pendiente de la tendencia (ver Figura 18). Los resultados (Figura 22) sugieren que, a la tasa de cambio térmico de largo plazo observada en el periodo 1982 a 2020, la frecuencia de ocurrencia de temperaturas correspondientes a un PC positivo se mantendría en laguna Ojo de Liebre en 98%, tanto al 2030 como al 2050. En bahía Magdalena no habría cambios (91%) para ambos cortes de tiempo, mientras que en bahía de Los Ángeles se reduciría de 73 a 68% (2030) y 63% (2050), en bahía de Loreto de 68% a 56% (2030) y 53% (2050) y en bahía de La Paz de 63 a 55% (2030) y 52% (2050). De forma similar, las bajas pendientes en los sitios de la costa occidental resultan en que el riesgo de que se presenten temperaturas por arriba de los 28°C se mantiene cercana a 0 para laguna Ojo de Liebre y en 4% para bahía Magdalena, a ambos cortes de tiempo, mientras que las pendientes más pronunciadas en el golfo provocan que aumente de 19 a 27 y 32% (para 2030 y 2050, respectivamente, en bahía de Los Ángeles), de 25 a 38 y 41% en bahía de Loreto y de 30 a 37 y 41% en bahía de La Paz.

La Tabla 4 muestra un resumen de los resultados más relevantes para la evaluación de la aptitud de los sitios para el desarrollo de almeja mano de león, y se indican en un código de colores de semáforo los valores de las diferentes métricas.

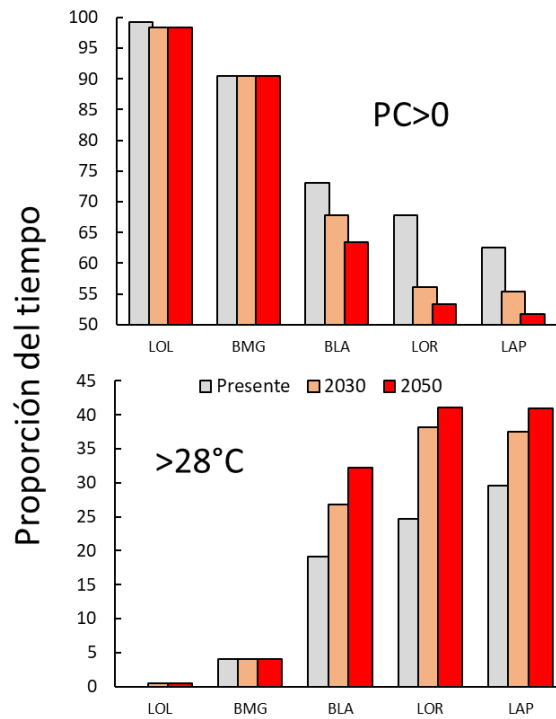


Figura 22. Aptitud térmica actual (gris) y proyectada a futuro (2030, anaranjado y 2050, rojo) expresada como proporción del tiempo a temperaturas correspondientes a valores positivos del potencial de crecimiento (panel superior) y por encima de la temperatura letal media (panel inferior), para laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP).

Tabla 4. Resumen de métricas asociadas a la aptitud térmica de laguna Ojo de Liebre (LOL), bahía Magdalena (BMG), bahía de Los Ángeles (BLA), bahía de Loreto (LOR) y bahía de La Paz (LAP) para el desarrollo de la almeja mano de león. Los colores representan categorías arbitrarias de valores comparativamente adecuados (verde), intermedios (amarillo) y menos adecuados (rojo) para el desarrollo del cultivo.

	LOL	BMG	BLA	LOR	LAP
Rango de temperatura	12.8	16.2	18.3	16.0	14.2
Cambios abruptos entre días (>1°C)	276	232	460	267	246
Varianza	5.3	10.9	21.5	12.5	11.5
Amplitud estacional	5.0	8.4	12.5	10.1	8.6
PC>0	99	91	73	68	63
PC>75	42	51	33	49	40
Riesgo (>28°C)	0	4	19	25	30
PC>0 (a 2050)	98	91	63	53	52
Riesgo (a 2050)	0	4	32	41	41

Discusión

7.1 Sobre los resultados

A través de esta investigación se encontraron resultados que contrastan en algunos aspectos con la hipótesis originalmente planeada y la soportan en otros. Originalmente se propuso que las condiciones térmicas promedio en los sitios ubicados dentro del golfo de California son más adecuadas para el desarrollo de poblaciones de almeja mano de león que las de la costa occidental de la Península, pero que el riesgo de que la temperatura sobrepasara los límites adecuados para el crecimiento y supervivencia es mayor dentro del golfo, especialmente durante eventos interanuales anómalos.

De acuerdo con el ejercicio de integración, la costa occidental del Estado de Baja California Sur presenta condiciones de temperatura (incluida su variabilidad) más adecuadas para el desarrollo de poblaciones silvestres y cultivos de almeja mano de león, que el golfo de California. Las temperaturas en ambas localidades de la costa occidental nunca superaron el límite de tolerancia de la especie y la mayor parte del tiempo (más del 90%) corresponden con condiciones adecuadas para el crecimiento. Adicionalmente, en la costa occidental se presentan cambios de temperatura menos drásticos que los de los sitios del golfo de California, tanto a escala estacional como entre días. De los sitios dentro del golfo, bahía de

Los Ángeles presentó más frecuentemente (73% contra 68% en bahía de Loreto y 63% en bahía de La Paz) temperaturas que se corresponden con las adecuadas para el crecimiento del organismo y una menor frecuencia de temperaturas por encima de la tolerancia térmica de la especie (19% contra 25% en bahía de Loreto y 30% en bahía de La Paz); en este sentido, se dibuja como la localidad del golfo con mayor aptitud. Sin embargo, los niveles de variabilidad, tanto a escala entre días como a lo largo del año, son mayores. Una valoración más fina de la aptitud de los sitios se podría lograr después de evaluar, a través de experimentos ecofisiológicos, el efecto que tiene la variabilidad de la temperatura en el desempeño de los organismos, tanto a corta escala (horas-días) como a mediano plazo (semanas y diferentes condiciones extremas presentadas en la historia térmica de los sitios). Sicard (2006) observó que, durante condiciones de temperatura constante, aun cuando ésta se corresponda con el óptimo fisiológico, la energía libre para crecimiento es menor que durante condiciones oscilantes, demostrando que la variabilidad de la temperatura diaria afecta positivamente la condición fisiológica. Sin embargo, desconocemos si otras variaciones, diferentes a los ciclos regulares con los que Sicard (2006) retó a las almejas, tendrían o no un efecto contrario. Purce *et al.* (2020) demostraron que existe un efecto de la época del año en el crecimiento de la almeja, lo que resulta particularmente relevante si consideramos las diferencias que existen entre amplitudes estacionales entre sitios, con mayores amplitudes en las localidades del golfo que las de la costa occidental. Resulta importante, por lo tanto, evaluar también los impactos de diferentes amplitudes del ciclo estacional y de anomalías térmicas a escalas interanuales.

Las conclusiones respecto de la aptitud de los sitios son reforzadas por la exploración de potenciales condiciones a futuro. De acuerdo con las proyecciones basadas en la tendencia reciente de incremento de temperatura por sitio, las localidades de la costa occidental, que catalogamos como más aptas, tendrían un menor cambio de las del golfo. Es decir, Bahía de La Paz (LAP), Bahía de Loreto (LOR) y Bahía de los Ángeles (BLA) muestran una tendencia que las sacaría aún más de los niveles de temperatura adecuados para las especies. Los supuestos de este ejercicio son que la tendencia observada en el periodo analizado es real y que se mantendría para las siguientes décadas. Este tipo de ejercicios son comunes cuando se pretenden proyectar los potenciales impactos del cambio climático. Sin embargo, existen elementos que deben tomarse en cuenta para la interpretación de los resultados. El método es sensible al periodo y tipo de datos utilizados para calcular la pendiente de la recta de regresión. Las tendencias encontradas en el presente trabajo, que indican valores positivos en todos los casos y mayores para los sitios en el interior del golfo, contrastan con lo reportado por Lluich-Cota *et al.* (2013), quienes encontraron que básicamente no existe tendencia para la región de la costa occidental y una ligera tendencia al enfriamiento en el interior del golfo. Cabe reconocer que, por un lado, el método utilizado en el trabajo mencionado permite que el periodo para el cual se calcula la pendiente se autodefina por su diferencia estadística con periodos previos, a diferencia de este trabajo donde el periodo fue fijado para contener todo el periodo de estudio. Y por el otro lado, la cobertura temporal

en Lluch-Cota *et al.* (2013) no incluyó la segunda mitad de los 2010s, que presenta, de acuerdo con la Figura 16 del presente estudio, el mayor calentamiento en todas las regiones desde los 1980s hasta la fecha. Otra diferencia entre ambos estudios es que en este caso se calcularon las tendencias para localidades específicas, mientras que el trabajo antes citado promedió grandes áreas del océano. Ante cualquier ejercicio de proyección climática es indispensable considerar las premisas, supuestos y limitaciones de los modelos utilizados para su correcta interpretación.

La distribución espacial del interés de cultivo, a juzgar por las localidades para las cuales se han otorgado permisos por parte de la autoridad Federal durante los últimos años, no se corresponde con la aptitud térmica de los sitios evaluada en el presente trabajo. Resalta que, de los 73 permisos otorgados en el estado de Baja California Sur, 20 (casi el 30%) se localizan en sitios dentro del golfo de California, y 10 de ellos en bahía de La Paz, donde el riesgo de sobrepasar la temperatura letal media es mayor. Cabe reconocer, como se discute en la sección siguiente, que la aptitud evaluada en el presente trabajo se basa en estudios ecofisiológico de potencial de crecimiento y límites de tolerancia de organismos producidos a partir de reproductores provenientes de la costa occidental y que es posible que los límites de tolerancia de poblaciones provenientes del interior del golfo se encuentren a mayor temperatura. En este sentido, la recomendación sería no utilizar dentro del golfo organismos nacidos en o producidos a partir de reproductores de la costa occidental. En cualquier caso, resulta evidente que un aspecto crítico para el éxito del cultivo es conocer los límites de tolerancia de los organismos que se pretendan cultivar.

Del 70% restante de los permisos, la gran mayoría (50% del total de permisos) se otorgaron para diferentes localidades de la zona de bahía Magdalena. Aunque la aptitud de laguna Ojo de Liebre es ligeramente mayor a la de bahía Magdalena, es posible que esta decisión sea acertada si se considera que en laguna Ojo de Liebre es donde se han presentado las mayores incidencias e impactos de eventos de mortandades masivas, probablemente por enfermedades. Si lo anterior es cierto, dado que ignoramos si existe o no presencia de los mismos patógenos en bahía Magdalena y, si existe, cuál es su dinámica y peligrosidad, la recomendación en este caso sería enfocar esfuerzos a su detección y monitoreo de patógenos y parásitos que afecten a la almeja mano de león. Esta recomendación es válida para cualquier intento de cultivo y en cualquiera de los sitios.

7.2 Sobre los alcances del trabajo

Una de las limitaciones más importantes para realizar estudios de caracterización térmica de sitios particulares, como el caso del presente trabajo, es la disponibilidad de datos adecuados. En este trabajo se identificaron cuatro consideraciones al respecto. La primera es que los datos de temperatura superficial del mar no son exactamente iguales a los

enfrentados por los organismos en el fondo marino. Al utilizar datos de superficie, el análisis asume que, por tratarse de cuerpos de agua relativamente someros y bien mezclados verticalmente (la almeja mano de león habita preferentemente en zonas de canales), las diferencias entre superficie y fondo son relativamente despreciables. Sin embargo, es claro que en la medida de lo posible se deben generar datos tomados *in situ*, en las zonas específicas donde se ubican los bancos o cultivos, y utilizarlos para evaluar la validez del supuesto antes mencionado o, en su caso, realizar las correcciones estadísticas que correspondan. Desafortunadamente, para este estudio este proceso no fue posible, dado que actualmente se están registrando las temperaturas a través del proyecto de investigación en el que se participa y será hasta la recta final del mismo que se cuente con más de un año de observaciones y sea viable una comparación o corrección.

La segunda consideración se relaciona con la resolución temporal de la información. En la literatura es frecuente encontrar discusiones sobre el compromiso entre la amplia cobertura temporal y la alta resolución espacial. Por ejemplo, Sicard *et al.* (2006) discuten que, si bien los datos de reconstrucciones derivadas de satélites permiten evaluar diferencias entre años (en su caso composiciones mensuales), el trabajar con promedios mensuales subestima la amplitud de variaciones térmicas y, por lo tanto, impide ver una gran parte de la señal de variabilidad a la que están sometidos los organismos. Concluyen que una correcta evaluación de la aptitud del sitio requiere incorporar datos de alta frecuencia, aunque existen pocas series de datos con estas características (Ponce-Díaz *et al.* 2003). Específicamente para la costa de Baja California Sur, Sicard *et al.* (2012) a través de colaboraciones y apoyo de diversos investigadores, empresarios y agencias, lograron integrar y hacer pública la única base de datos de registros de temperatura de alta frecuencia para la zona. Dicha base no ha sido actualizada y es previsible que existan muchas series de tiempo que no han sido añadidas; sin embargo, aun cuando se lograra integrar nueva información, parece imposible que se logre contar con series suficientemente largas y continuas como para permitir la caracterización de la variabilidad tanto de alta frecuencia (días a meses) como de baja frecuencia (interanual a interdecadal).

Por lo reciente que fue su puesta en línea y el acceso abierto, los estudios basados en los datos diarios derivados de satélite, como los utilizados aquí, son aún escasos. Hasta el momento, el presente trabajo es el primero en utilizarlos para la exploración de la aptitud ecológica de localidades de la región. Evidentemente, no es posible a partir de ellos describir la señal de cambios durante el ciclo circadiano, pero, si bien se entiende que será necesario en el futuro explorar la correlación entre series locales y los datos diarios derivados de satélite, al menos es claro que al incluir la variabilidad entre días y una mayor resolución de lo que ocurre a lo largo del año, se está capturando mucha mayor señal de variabilidad que la que se podría representar con promedios mensuales.

La tercera consideración que se identificó es que en el presente estudio se aborda la aptitud de los sitios únicamente en términos de la temperatura y su variabilidad. Aunque es claro

que para los ectotermos la temperatura es un factor de primer orden, que afecta el desarrollo de los individuos y la dinámica de las poblaciones, los es también que no es la única variable ambiental que puede fungir como factor limitante. Sabemos, por ejemplo, que otros moluscos bentónicos, en particular el abulón, han estado expuestos a eventos de hipoxia en zonas cercanas a laguna Ojo de Liebre. Estos eventos han sido incluso propuestos como explicación de importantes reducciones de biomasa silvestre y afectaciones a la producción pesquera (Low *et al.*, 2021). Desafortunadamente, los registros *in situ* de concentración de oxígeno disuelto son extremadamente escasos en la región y resulta imposible incluir esta variable en estudios ecológicos retrospectivos. Por otro lado, Mathieu-Resuge *et al.* (2019, 2020) subrayan la importancia de considerar la variabilidad espacial y temporal de las fuentes de alimento para la almeja mano de león, para comprender las consecuencias fisiológicas de las variaciones ambientales. Sin duda, la disponibilidad, variabilidad y calidad del alimento son un factor que merece investigación y monitoreo. Finalmente, y quizá más importante para el desarrollo de cultivos de almeja mano de león o sus pesquerías de forma estable en el tiempo, es la identificación y seguimiento de agentes patógenos causantes de cambios en crecimiento o supervivencia. El análisis de todos estos factores otorgaría una mayor certidumbre al momento de definir la aptitud de los sitios y, por lo tanto, deben formar parte de las agendas de investigación ecológica y en apoyo a los cultivos y explotación pesquera.

Finalmente, la cuarta consideración es que una limitante clara del presente trabajo deriva del origen de la información ecofisiológica considerada. El modelo polinomial que sirve de base para la comparación de aptitud entre sitios se ajustó únicamente a estimaciones de potencial de crecimiento realizadas por González Estrada (2003), quien trabajó con organismos producidos en laboratorio, en condiciones controladas y conocidas, pero a partir de reproductores provenientes de laguna Manuela, BCS, al norte de laguna Ojo de Liebre. En este sentido, es factible que los valores ecofisiológicos (positivos del potencial de crecimiento, límite de tolerancia y óptimo) no se correspondan con los de todas las poblaciones de almeja mano de león del rango de distribución. De hecho, estimaciones preliminares y experiencias de traslocación para cultivo sugieren que las poblaciones del interior del golfo podrían presentar una mayor resistencia a las altas temperaturas y menor aptitud metabólica a temperaturas bajas, en comparación con las poblaciones de la región Pacífico norte (Koch *et al.*, 2015; Purce *et al.*, 2020). En este sentido, los resultados de este trabajo deben ser considerados con cautela y no como una guía definitiva para la selección de sitios para cultivo. Para tener mayor certidumbre, será necesario, a través de estudios de laboratorio, someter a organismos del golfo a retos térmicos y cruzar nuevamente los rasgos de actividad fisiológica con los análisis de temperatura aquí realizados. Afortunadamente, las rutinas y hojas de cálculo se encuentran sistematizadas para facilitar la actualización de las estimaciones de aptitud de los sitios en la medida que se incluya nueva información.

El presente trabajo aporta, con las consideraciones arriba mencionadas, elementos para la toma de decisiones, aunque sólo en términos de los efectos de la temperatura y sus variaciones. Evidentemente, la selección de un sitio para actividad acuícola o pesquera depende sólo parcialmente de los factores ambientales y una definición técnica formal de aptitud debe incorporar además diversos factores de orden social y económico.

De forma paralela a la evaluación de aptitud de los sitios para el cultivo o pesquería de almeja mano de león, el alcance del presente trabajo incluye la aportación de elementos para otros estudios, especialmente para el diseño de experimentos en laboratorio, en el campo de la ecofisiología, o bases para la construcción de modelos de diferente naturaleza, desde ecosistémicos acoplados (por ejemplo Rose *et al.*, 2015) y de nicho (por ejemplo Petatán-Ramírez *et al.*, 2019) hasta bioenergéticos, basados en el individuo (por ejemplo el modelo DEB; Nisbet *et al.*, 2012).

Conclusiones

- La costa occidental del estado de Baja California Sur presenta condiciones térmicas más adecuadas para el desarrollo de poblaciones silvestres y cultivos de almeja mano de león que el golfo de California.
- Dentro del golfo de California, bahía de Los Ángeles presenta mejores condiciones de temperatura para el crecimiento y menor riesgo de sobrepasar los límites de tolerancia de la especie que bahía de Loreto o bahía de La Paz, aunque su mayor variabilidad diaria y a lo largo del año, podrían afectar el desempeño de la especie.
- Las pendientes de las tendencias de incremento de temperatura a largo plazo observadas durante los últimos 40 años sugieren que las diferencias en aptitud entre la costa occidental y el golfo se incrementarán en el futuro. Los sitios del golfo, particularmente La Paz y Loreto, muestran un calentamiento más acelerado que el de la costa occidental.
- No se recomienda cultivar a esta especie dentro del golfo de California utilizando organismos originarios de la costa occidental.
- El presente trabajo aporta elementos para la toma de decisiones en materia de selección de sitios de cultivo para la almeja mano de león. Sin embargo, éstos deben ser puestos en el contexto de las limitaciones de la información utilizada y complementados con otros criterios, especialmente prevalencia de enfermedades, disponibilidad de alimento y oxígeno disuelto y factores socioeconómicos.
- La información generada puede también servir como insumo para el diseño de experimentos en laboratorio y la construcción de modelos.

Recomendaciones

Es recomendable que una vez que se cuente con registros de alta frecuencia (horaria), recabados en los sitios y profundidades en que se distribuyen los bancos de almeja mano de león, tanto en laguna Ojo de Liebre como en bahía de Los Ángeles, se realice una validación del uso de los datos diarios derivados de satélite. Para este fin, será pertinente: a) evaluar cuánta variabilidad se encuentra asociada a la escala intradiaria y evaluar si su importancia es comparable a la de los cambios entre días, meses y años. b) relacionar, a resolución diaria, los datos derivados de termógrafos y de satélite y calificar su correlación, como medida de certidumbre. Igualmente, evaluar si existe un factor de corrección (fijo o variable a lo largo del tiempo, por ejemplo, entre estaciones del año) que permita extrapolar los datos de termógrafos sobre la base de los datos de satélite. c) Hasta donde sea posible, integrar registros de diferentes localidades y fechas a los análisis antes mencionados, utilizando una versión actualizada de la base de datos reportada por Sicard *et al.* (2012).

En segundo término, se recomienda realizar estudios ecofisiológicos para evaluar: a) si existen diferencias significativas en los límites de tolerancia y preferencias térmicas entre individuos de diferentes localidades, particularmente entre provenientes de bancos del golfo de California y la costa occidental de la península de Baja California. De existir diferencias, resultará pertinente volver a estimar los valores de aptitud de los sitios y expresarla en función del origen de los organismos que se pretenda cultivar. b) si la variabilidad de la temperatura tiene un efecto importante en el desempeño fisiológico de los organismos, a fin de establecer si las métricas utilizadas para evaluar la aptitud de los sitios deben considerar dicho componente. c) si existen factores ambientales que interactúen con la temperatura o puedan llegar a ser más críticos que esta y que varíen significativamente entre sitios o en el tiempo, para en la medida de lo posible incorporarlos a la evaluación. Sobre la base de la información revisada para este estudio, se sugiere poner particular atención al oxígeno disuelto.

Bibliografía

- Ángel-Dapa, M. A., Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vázquez, B. P., Acosta-Salmón, H., Saucedo, P. E. (2015). Comparative analysis of the reproductive strategy of lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* in Baja California Sur, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(3): 616-620. 10.3856/vol43-issue3-fulltext-25
- Arafeh-Dalmau, N., Schoeman, D. S., Montaña-Moctezuma, G., Micheli, F., Rogers-Bennett, L., Olguin-Jacobson, C., Possingham, H. P. (2020). Marine heat waves threaten kelp forests. *Science*, 367(6478): 635-635. 10.1126/science.aba5244
- Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vázquez, B. P., Ruíz-Verdugo, C., Pérez de León, E., Cervantes-Duarte, R., Domínguez-Valdéz, P. M. (2011). Growth and reproduction of the lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* in a suspended culture system at Guerrero Negro lagoon, Baja California Sur, Mexico. *Aquaculture Research*, 42(4): 571-582.
- Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vázquez, B. P., Villalejo-Fuerte, M., García-Domínguez, F., Elorduy-Garay, J. F., Esliman-Salgado, A., Racotta, I. S. (2004). Reproduction of the lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835 (Bivalvia: Pectinidae) from laguna Ojo de Liebre, BCS, México. *Journal of Shellfish Research*, 23(3): 723-730.
- Arias, P. A., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R. G., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M. D., Plattner, G. K., Rogelj, J. (2021). Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002.
- Barrios-Ruiz, D., Chávez-Villalba, J., Cáceres-Martínez, C. (2003). Growth of *Nodipecten subnodosus* (Bivalvia: Pectinidae) in La Paz Bay, Mexico. *Aquaculture Research*, 34(8): 633-639.
- Bernal, G., Ripa, P., Herguera, J. (2001). Oceanographic and climatic variability in the lower Gulf of California: links with the tropics and North Pacific. *Ciencias Marinas*, 27(4): 595–617. 10.7773/cm.v27i4.498
- Bezner Kerr, R., Hasegawa, T., Lasco, R., Bhatt. I., Deryng, D., Farrell, A., Gurney-Smith, H., Ju, H., Lluch-Cota, S. E., Meza, F. (In press). Food, Fibre, and other Ecosystem Products. Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V. (Eds.). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Bindoff, N. L., Cheung W. W. L., Kairo J. G., Arístegui J., Guinder V. A., Hallberg R., Hilmi N., Jiao N., Karim M. S., Levin L., Donoghue S. O., Purca Cuicapusa S. R., Rinkevich B., Suga T., Tagliabue A., Williamson P. (2019): Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. In: IPCC

Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner H.-O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegría A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B., Weyer N.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, Y, USA, pp. 447–587. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.007>.

- Borrego, S. A., Guzmán, S. A. G. (1992). Variación espacio-temporal de temperaturas en un hábitat de invierno de la ballena gris: laguna Ojo de Liebre. *Ciencias Marinas*, 18(1): 151-165.
- Cáceres-Martínez, J. (2011). Parasitología. pp. 257-271. En: Maeda-Martínez A.N., Lodeiros-Seijo C. (eds.). *Biología y cultivo de los moluscos pectínidos del género *Nodipecten**. Editorial Limusa, México
- Carvajal-Rascon, M. A. (1987). Cultivo larvario de la almeja mano de león (*Lyropecten Subnodosus*, Sowerby, 1833), a partir del crecimiento y maduración gonadal de los reproductores. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Guaymas, México.
- Castillo-Futema, D. I. (2018). Insustentabilidad de la extracción de la almeja mano de león en la localidad de Guerrero Negro, BCS.
- Caudillo, J. M. G., Palafóx, J. V. G. (2005). La pesca industrial de camarón en el Golfo de California: situación económico-financiera e impactos socio-ambientales. Conservación Internacional, Región Golfo de California.
- Chavez, F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E., Ñiquen, M. (2003). From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299: 217-221.
- Colombo, S. M., Rodgers, T. F. M., Diamond, M. L., Bazinet, R. P., Arts, M. T. (2020). Projected declines in global DHA availability for human consumption as a result of global warming. *Ambio*, 49: 865–880. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01234-6>.
- CONANP. (2002). Programa de Manejo Parque Nacional Bahía de Loreto, México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México, D.F. 195pp.
- Conde, C. (2006). México y el cambio climático global. Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Divulgación de la Ciencia.
- Cooley, S., Schoeman, D., Bopp, L., Boyd, P., Donner, S., Ito, S. I., Kiessling, W., Martinetto, P., Ojea, E., Racault, M. F. (in press). Oceans and Coastal Ecosystems and their Services. Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Lösckke, S., Möller, V., (Eds.) (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In Press.
- Diarte-Plata, G. (2007). Cultivo experimental de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835) en la costa norte de Sinaloa, México. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. FAO Rome. 25 pp.
- Fox-Kemper, B., Hewitt, H. T., Xiao C., Adalgeirsdottir, G., Drijfhout, S. S., Edwards, T. L., Golledge N. R., Hemer, M., Kopp, R. E., Krinner, G., Mix, A., Notz, D., Nowicki, S., Nurhati, I. S., Ruiz, L., Sallee, J. B., Slangen, B. A., Yu, Y. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of*

Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

- Freites, L., Himmelman, J. H., Babarro, J. M., Lodeiros, C. J., Vélez, A. (2001). Bottom culture of the tropical scallop *Lyropecten (Nodipecten) nodosus* (L.) in the Golfo de Cariaco, Venezuela. *Aquaculture International*, 9(1): 45-60.
- Freites-Valbuena, L. F., Mazón- Suástegui, J. M., Maeda- Martínez, A., Koch, V., Osuna-García, M., Ruiz-Verdugo, C. A., García- Domínguez, F. A., De la Roche, J. P., Mazoni, G., Rupp, G. S., Lodeiros- Seijo C. (2011). Preengorde, cultivo intermedio y engorde de los pectínidos *Nodipecten nodosus* y *N. subnodosus* spp., pp:313-344. En: Maeda-Martínez A. N., Lodeiros-Seijo C. (eds.). *Biología y cultivo de los moluscos pectínidos del género Nodipecten*. Editorial Limusa, México
- Galindo-Torres, P. E. (2019). Transcriptómica asociada a la diferenciación sexual y al arresto meiótico en *Nodipecten subnodosus*. Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- García-Esquivel, Z.; Pares-Sierra, G.; García-Pamenes, L. (2000). Effect of flow speed and food concentration on the growth of juvenile scallops *Nodipecten subnodosus*. *Ciencias marinas*, 26: 621-641.
- Garzón-Favela, J. A. (2011). Efecto de la temperatura en el crecimiento y supervivencia de juveniles de almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835) durante la preengorda en laboratorio (Tesis).
- González- Antivia, C. R. (2001). Mercados y comercialización de pectínidos. pp. 461-468. En: Maeda- Martínez A. N. (ed.). *Los Moluscos y Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*. Editorial Limusa, México.
- González-Estrada, F. (2003). Temperaturas letales y temperatura óptima para crecimiento en una población de almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835). Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- González-Ortiz, L. (2016). Poliquetos (Annelida:Polychaeta) y esponjas (Porifera:Demospongiae) perforadores de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en la laguna Ojo de Liebre, Guerrero Negro, Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Gruber, N., Boyd, P.W, Frolicher, T.L. Vogt, M. (2021). Biogeochemical extremes and compound events in the ocean. *Nature*, 600: 395–407. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03981-7>
- Gulev, S. K., Thorne, P. W., Ahn, J., Dentener, F. J., Domingues, C. M., Gerland, S., Gong, D., Kaufman, D. F., Nnamchi, H. C., Quaas, J., Rivera, A., Sathyendranath, S., Smith, S. L., Trewin, B., von Shuckmann, K., Vose, R. S. (2021). Changing State of the Climate System. In Masson- Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. In press).

- Gutiérrez-Villaseñor, C. E. (1996). Acondicionamiento de *Lyropecten subnodosus* (Sowerby, 1835): efecto de la temperatura y ración alimenticia. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California.
- Hernández-Tlapale, C. (2015) Patrones de comportamiento en los movimientos verticales y horizontales del dorado (*Coryphaena hippurus* Linnaeus 1758) en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
- Herrera-Cervantes, H., Lluch-Cota, S. E., Cortés-Ramos, J., Farfán, L., Morales-Aspeitia, R. (2020). Interannual variability of surface satellite-derived chlorophyll concentration in the bay of La Paz, Mexico, during 2003–2018 period: the ENSO signature. *Continental Shelf Research*, 209: 104254. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104254>.
- Herrera-Cervantes, H., Lluch-Cota, D. B., Lluch-Cota, S. E., Gutiérrez-de-Velasco, S. (2007). The ENSO signature in sea-surface temperature in the Gulf of California. *Journal of Marine Research*, 65: 89-605.
- Hickey, D. A., Singer, G. A. (2004). Genomic and proteomic adaptations to growth at high temperature. *Genome biology*, 5(10): 1-7.
- Hicks, C. C., Cohen, P. J., Graham, N. A. J., Nash, K. L., Allison, E. H., D’Lima, C., Mills, D. J., Roscher, M., Thilsted, S. T., Thorne-Lyman A. L., MacNeil, A. (2019). Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies. *Nature*, 574(7776): 95-98. doi:10.1038/s41586-019-1592-6.
- HLPE. (2014). Sustainable fisheries and aquaculture for food security and nutrition. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, FAO, Rome. 1-115 pp.
- Honguin-Quiñones O. E., García- Domínguez F. A. (2011) Sistemática y Características biogeográficas de *Nodipecten Subnodosus* (Swoerby, 1835) y *N. nodosus* (Linnaeus, 1758) (Mollusca: Bivalvia: Pectinidae) pp.1-9 . En: Maeda-Martínez A. N., Lodeiros-Seijo C. (eds). Biología y cultivo de los moluscos pectínidos del género *Nodipecten*. Editorial Limusa, México
- Ibarra, A. M., Petersen, J. L., Famula, T. R., May, B. (2006) Characterization of 35 microsatellite loci in the Pacific lion-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*) and their cross-species amplification in four other scallops of the Pectinidae family. *Molecular Ecology Notes*, 6, p. 153-156.
- Jiménez-Esquivel, V., López-Sagástegui, C., Cota-Nieto, J. J., Mascareñas-Osorio, I. (2018). Comunidades costeras del noroeste mexicano haciendo ciencia. Relaciones. *Estudios de historia y sociedad*, 39(153): 129-165.
- Jiménez-Quiroz, M. D. C., Cervantes-Duarte, R., Funes-Rodríguez, R., Barón-Campis, S. A., García-Romero, F. D. J., Hernández-Trujillo, S., Hernández-Becerril, D. U., González-Armas, R., Martell-Dubois, R., Cedeira-Estrada, S., Fernández Méndez, J.I., González Ania L.V., Vásquez-Ortiz, M., Barrón-Barraza, F. J. (2019). Impact of “the blob” and “El Niño” in the SW Baja California Peninsula: plankton and environmental variability of bahia Magdalena. *Frontiers in Marine Science*, 6: 25.
- IPCC, 2021: Annex VII: Glossary [Matthews, J. B. R., Möller, V., van Diemen, R., Fuglestedt, J.S., Masson-Delmotte, V., Méndez, C., Semenov, S., Reisinger, A. (eds.)]. In Climate Change 2021: The Physical

Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 2215–2256, doi:10.1017/9781009157896.022.

- Khalili-Tilami, S., Sampels, S. (2018). Nutritional Value of Fish: Lipids, Proteins, Vitamins, and Minerals. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(2): 243-253. doi:10.1080/23308249.2017.1399104.
- Koch, V., Rengstorf, A., Taylor, M., Mazón-Suástegui, J. M., Sinsel, F., Wolff, M. (2015). Comparative growth and mortality of cultured Lion's Paw scallops (*Nodipecten subnodosus*) from Gulf of California and Pacific populations and their reciprocal transplants. *Aquaculture Research*, 46(1): 185-201.
- Lavín, M. F., Palacios-Hernández, E., Cabrera, C. (2003). Sea surface temperature anomalies in the Gulf of California. *Geofísica Internacional*, 42(3): 363–375.
- Lluch-Belda, D., Del-Monte-Luna, P., Lluch-Cota, S.E. (2009). 20th century variability of the Gulf of California SST. *California Cooperative Fisheries Investigations Reports*, 50: 147-154.
- Lluch-Belda, D., Hernández-Rivas, M.E., Saldierna-Martínez, R., Guerrero-Caballero, R. (2000). Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S. *Oceanides*, 15(1): 1-23.
- Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B., Lluch-Cota, S. E. (2003). Scales of interannual variability in the California Current System: associated physical mechanisms and likely ecological impacts. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 44: 76-85.
- Lluch-Cota S. E.; Tripp-Valdéz M., Lluch-Cota D. B. (2013). Recent Trends in sea surface temperature off Mexico. *Atmósfera*, 26(4): 537-546.
- Lluch-Cota, S. E., Parés-Sierra, A., Magaña-Rueda, V. O., Arregín-Sánchez, F., Bazzino, G., Herrera-Cervantes, H., Lluch-Belda, D. (2010). Changing climate in the Gulf of California. *Progress in Oceanography*, 87: 114-126.
- Lodeiros, C., Maeda-Martínez, A., Freitas, L., Uribe, E., Lluch-Cota, D. B., Sicard, M. T. (2001). Ecofisiología de pectínidos iberoamericanos. Los Moluscos Pectínidos de Ibero América: Ciencia y Acuicultura. Cap. 4: 77-88.
- López-Sánchez, J. A. (2003). Tasas de filtración y aclaramiento en la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835) a dos tallas, en función de la temperatura y cantidad del alimento. Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- López-Sánchez, J. A. (2009). Temperatura y monoaminas en la actividad reproductiva de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835). Tesis de Doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Lora-Vilchis, M. C., Robles-Mungaray, M., Doktor, N., Voltolina, D. (2004). Food Value of Four Microalgae for Juveniles of the Lion's Paw Scallop *Lyropecten subnodosus* (Sowerby, 1833). *Journal of the World Aquaculture Society*, 35: 297-304.

- Low, N. H., Micheli, F., Aguilar, J. D., Arce, D. R., Boch, C. A., Bonilla, J. C., Bracamontes M.A., De Leo G., Díaz, E., Enríquez, E., Hernández, A., Martínez, R., Mendoza, R., Miranda, C., Monismith, S., Ramade, M., Rogers-Bennett, L., Romero, A., Salinas, C., Smith A.E., Torre J., Villavicencio G., Woodson, C. B. (2021). Variable coastal hypoxia exposure and drivers across the southern California Current. *Scientific reports*, 11(1): 1-10.
- Maldonado-Amparo, R., Ruíz-Verdugo, C. A., Ibarra, A. M., Rueda-Puente, E. O. (2016). Poliploidía En Moluscos De Importancia Comercial. A Review. *European Scientific Journal*, 12: 69-102.
- Mantua, N.J., Hare, S.R. (2002). The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography*, 58: 35–44. <https://doi.org/10.1023/A:1015820616384>
- Massó-Rojas, A., Morales-Bojórquez, E., Talavera-Mayer, J. (2000). La pesquería de almeja mano de león, Baja California. Sustentabilidad y pesca responsable en México, evaluación y manejo. Instituto Nacional de Pesca, México, 349-366.
- Mathieu-Resuge, M., Kraffe, E., Le Grand, F., Boens, A., Bideau, A., Lluch-Cota, S.E., Racotta, I. S., Schaal, G. (2019). Trophic ecology of suspension-feeding bivalves inhabiting a north-eastern Pacific coastal lagoon: Comparison of different biomarkers. *Marine Environmental Research*, 145: 155-163.
- Mathieu-Resuge, M., Le Grand, F., Schaal, G., Lluch-Cota, S. E., Racotta, I. S., Kraffe, E. (2020). Specific regulations of gill membrane fatty acids in response to environmental variability reveal fitness differences between two suspension-feeding bivalves (*Nodipecten subnodosus* and *Spondylus crassisquama*). *Conservation Physiology*, 8(1): coaa079.
- Morales-Sotero, V. (2015). Variables físico-biológicas y su relación con la presencia del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en Bahía de los Ángeles, Baja California, México. Tesis de Maestría. CICESE.
- Morelos, R. M., Ramírez, J. L., García-Gasca, A., Ibarra, A. M. (2015). Expression of the myostatin gene in the adductor muscle of the Pacific lion-paw scallop *Nodipecten subnodosus* in association with growth and environmental conditions. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, vol: 323(4): 239-255.
- Nisbet, R. M., Jusup, M., Klanjscek, T., Pecquerie, L. (2012). Integrating dynamic energy budget (DEB) theory with traditional bioenergetic models. *Journal of Experimental Biology*, 215(6): 892-902.
- Ocaño-Higuera, V. M. (2003). Efecto de la temperatura sobre la fisiología antemortem y la bioquímica *postmortem*, calidad y vida de anaquel del músculo abductor en la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*). Tesis de doctorado. Hermosillo, Sonora, México: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.
- Ocaño-Higuera, V. M., Maeda-Martínez, A. N., Lugo-Sánchez, M. E., Pacheco-Aguilar, R. (2006). *Postmortem* biochemical and textural changes in the adductor muscle of catarina scallop stored at 0 C. *Journal of Food Biochemistry*, 30(4): 373-389.
- Ocaño-Higuera, V. M. (1999). Caracterización parcial del comportamiento bioquímico *postmortem* y desarrollo de productos a partir del callo de almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) y almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) de Baja California, México. Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

- Oliver, C. J., Burrows, M. T., Perkins-Kirkpatrick, S.E., Benthuyssen, J.A., Honday, A. J., Holbrook, N. J., Moore, P. J., Thomsen, M.S., Wernberg, T., Smale, D. A. (2019). Projected Marine Heatwaves in the 21st century and the Potential for Ecological Impact. *Frontiers in Marine Science*, 6: 734. doi: 10.3389/fmars.2019.00734.
- Ortiz-Cuel G. (1994). Efecto de la relación alimenticia y la densidad de cultivos sobre el desarrollo de la larva de *Lyropecten subnodosus*. Ensenada, Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Ortiz, L. G., Alcántara, P. H., Juárez, R. V., Guzmán, E. Q., Garza, M. E. G., de León González, J. Á. (2017). Variación espacial y temporal de la infestación de la concha por *Polydora spp.* (Spionidae: Polychaeta) sobre la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en la laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4): 845-852.
- Pacheco-Aguilar, R., Ocaño-Higuera, V. M., Maeda-Martínez, A. N., García-Sánchez, G., Jiménez-Ruiz, E. I., Márquez-Ríos, E., Ruiz-Cruz, E. (2014). Activity water and sorption behavior after citric acid pretreatment in dried scallop meat (*Nodipecten subnodosus*).
- Pacheco-Aguilar, R., Márquez-Ríos, E., Lugo-Sánchez, M. E., García-Sánchez, G., Maeda-Martínez, A. N., Ocaño-Higuera, V. M. (2008). *Postmortem* changes in the adductor muscle of Pacific lions-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*) during ice storage. *Food chemistry*, 106(1): 253-259.
- Padfield D., O'Sullivan H., Pawar S. (2021). rTP C and nls.multstart: A new pipeline to fit thermal performance curves in R. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(6): 1138-1143. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13585>
- Palacios, E., Racotta, I. S., Arjona, O., Marty, Y. (2007). Lipid composition of the pacific lion-paw scallop, *Nodipecten subnodosus*, in relation to gametogenesis: 2. Lipid classes and sterols. *Aquaculture*, 266: 266-273.
- Palacios, E., Racotta, I. S., Kraffe, E., Marty, Y., Moal, J., Samain, J. F. (2005). Lipid composition of the giant lion's-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*) in relation to gametogenesis: I. Fatty acids. *Aquaculture*, 250(1-2): 270-282.
- Petatán-Ramírez, D., Ojeda-Ruiz, M. A., Sánchez-Velasco, L., Rivas, D., Reyes-Bonilla, H., Cruz-Piñón, G., Morzaria-Luna, H. M., Cisneros-Montemayor, A. M., Cheung, W. W., Salvadeo, C. (2019). Potential changes in the distribution of suitable habitat for Pacific sardine (*Sardinops sagax*) under climate change scenarios. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 169: 104632. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.07.020>.
- Ponce-Díaz G., Massó-Rojas, A., Félix-Pico, E. F., Morales-Zárate, M. V., García, N., Lodeiros-Seijo, C., Lluch-Cota S. E. (2011). *Nodipecten spp.* Como recurso pesquero pp.11-26. En: Maeda-Martínez A.N., Lodeiros-Seijo, C. (eds.). *Biología y cultivo de los moluscos pectínidos del género Nodipecten*. Editorial Limusa, México.
- Ponce-Díaz G., Lluch-Cota S. E., Bautista-Romero J. J., Lluch-Belda D. (2003). Multiscale characterization of the sea temperature in an area of abalone Banks (*Haliotis spp.*) Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 29(3): 291–303.

- Pörtner, H. (2001). Climate change and temperature-dependent biogeography: oxygen limitation of thermal tolerance in animals. *Naturwissenschaften*, 88: 137–146.
<https://doi.org/10.1007/s001140100216>
- Purce, D. N., Donovan, D. A., Maeda-Martínez, A. N., Koch, V. (2020). Scope for growth of cultivated Pacific and Gulf of California populations of lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus*, and their reciprocal transplants. *Latin american journal of aquatic research*, 48(4): 538-551.
- Racotta, I. S., Palacios, E., Ibarra, A. M., Ramírez, J. L., Arcos, F., Arjona, O. (2008). Comparative biochemical composition of ploidy groups of the lion-paw scallop (*Nodipecten subnodosus* Sowerby) supports the physiological hypothesis for the lack of advantage in triploid mollusc's growth in food-rich environments. *Marine Biology*, 153(6): 1245-1256.
- Racotta, I. S., Ramírez, J. L., Ibarra, A. M., Rodríguez-Jaramillo, M. C., Carreño, D., Palacios, E. (2003). Growth and gametogenesis in the lion-paw scallop *Nodipecten (Lyropecten) subnodosus*. *Aquaculture*, 217(1-4): 335-349.
- Ramírez-Árce, J. L. (2009). Evaluación de la ventaja productiva y grado de esterilidad en triploides de almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (Sowerby 1835) como una alternativa para el cultivo en el Parque Nacional Bahía de Loreto, Golfo de California. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Ramírez-Castillo, E. R. (2005). Caracterización de la respuesta inmune de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835) (Pectinidae). Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Reinecke-Reyes, M. A. (1996). Madurez y desove de la almeja mano de león *Lyropecten subnodosus*, Sowerby, 1835. (Bivalvia: Pectinidae) en Laguna Ojo de liebre, B. C. S. México. Centro Regional de Investigación Pesquera, La Paz. *Boletín Pesquero*, 3: 17-20.
- Robinson, S. M., Parsons, G. J., Davidson, L. A., Shumway, S. E., Blake, N. J. (2016). Scallop aquaculture and fisheries in Eastern North America. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, 40: 737-779. Elsevier.
- Roldán-Carrillo, L. M., Maeda-Martínez, A., Massó-Rojas, A., Sicard-González, M. T. (2005). Salinity tolerance and resistance of the pacific lion's paw scallop (*Nodipecten subnodosus*) and the relationships with species distribution and density in a coastal lagoon. *Journal of Shellfish Research*, 24(2): 353-361.
- Rose, K. A., Fiechter, J., Curchitser, E. N., Hedstrom, K., Bernal, M., Creekmore, S., Haynie, A., Ito, S. I., Lluch-Cota, S., Megrey, B. A. (2015). Demonstration of a fully-coupled end-to-end model for small pelagic fish using sardine and anchovy in the California Current. *Progress in Oceanography*, 138: 348-380.
- Ruiz-Verdugo, C. A., Koch, V., Félix-Pico, E., Beltrán-Lugo, A. I., Cáceres-Martínez, C., Mazon-Suastegui, J. M., Robles-Mugaray M., Cáceres-Martínez, J. (2016). Scallop fisheries and aquaculture in Mexico. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, 40: 1111-1125. Elsevier.

- Rupp G. S., Valdéz-Ramírez M. E., Lameda-Fonseca M. (2011). Ecología y Biología pp.25-58 . En: Maeda-Martínez A. N., Lodeiros-Seijo C. (eds.). Biología y cultivo de los moluscos pectínidos del género *Nodipecten*. Editorial Limusa, México.
- Sicard-González M. T., Maeda-Martínez A. N., Lluch-Cota S., Lodeiros C., Roldán-Carrillo L. M., Mendoza-Alfaro R. (2006). Frequent monitoring of temperature: an essential requirement for site selection in bivalve aquaculture in tropical-temperate transition zones. *Aquaculture Research*, 37. 1040-1049; doi:10.1111/j.1365-2109.2006.01527.
- Sicard-González, M.T. (2006). Efecto de la oscilación térmica en la fisiología de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*, Sowerby, 1835). Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Sicard-González, M. T., Tripp-Valdéz, M. A., Ocampo, L., Maeda-Martínez, A. N., Lluch-Cota, S. E. (2012). Coastal sea surface temperature records along the Baja California Peninsula. *CICIMAR Océánides*, 27(2): 65-69.
- Tseng, Y.H., Ding, R., Huang, X. (2017). The warm Blob in the northeast Pacific—the bridge leading to the 2015/16 El Niño. *Environmental Research Letters*, 12: 054019.
- Vargas-Bravo M. (2018). Genómica poblacional de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en las costas de la península de Baja California, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Velasco-Blanco, G. (1997). Cultivo larvario a nivel piloto del callo de hacha (*Atrina maura*, Sowerby) y de almeja mano de león (*Lyropecten subnodosus* Sowerby) con dos especies de microalgas. Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Velázquez-Abunader, I., López-Rocha, J. A., Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vázquez, B. P. (2016). Estimation of growth parameters in a wild population of lion-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*) in Bahía de Los Angeles, Baja California, Mexico. *Hidrobiológica*, 26: 133-142.
- Villegas-Carrasco, M. (2004). Evaluación de los cultivos larvarios de almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835), realizados en el Laboratorio de Larvicultura de Especies Marinas del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, de 1998 a 2003 (Doctoral dissertation, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B. C. S., México).
- Wang, C., Fiedler, P.C. (2006). ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4): 239-266. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.004>.

Sitios de internet

Climate Prediction Center- NOAA. (<https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/>). Clasificación estándar de eventos El Niño y La Niña. Consultada en marzo 2022.

Documentación de la función decompose() en ambiente R. (<https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.2/topics/decompose>). Consultada en diciembre 2021.

INAPESCA-Instituto Nacional de la Pesca(<https://www.gob.mx/inapesca>) Acuicultura de la almeja mano de león. Consultado en junio 2022.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration-EUA). (<https://psl.noaa.gov/thredds/catalog/Datasets/noaa.oisst.v2.highres/>). Datos diarios de temperatura superficial del mar. Consultada en agosto 2021.

OMM. (2013). Tiempo. Organización Meteorológica Mundial. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/themes/weather/index_es.html.

Physical Sciences Laboratory-NOAA. (<https://psl.noaa.gov/enso/mei/>). Índice multivariado del ENSO (MEI). Consultada en junio 2022.