

# La almeja mano de león: una historia de desencanto y esperanza

The lion's paw scallop: a story of disenchantment and hope

Recursos Naturales y Sociedad, 2024. Vol. 10 (2): 51-64. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2024.10.10.02.0005>

Lluch-Cota, S.E.<sup>1</sup>, Carreño León, D.P.<sup>2</sup>, Cruz Hernández, P.<sup>2</sup>, Escobedo Fregoso, C.<sup>2</sup>, Galindo Sánchez, C.E.<sup>3</sup>, González Soriano, G.<sup>2</sup>, Hernández Casas, S.<sup>1</sup>, Hernández Herrera, R.<sup>3</sup>, Hernández-Saavedra, N.Y.<sup>1</sup>, Kraffe De Laubrade, E.<sup>4</sup>, Lafarga De La Cruz, F.<sup>3</sup>, López Galindo, L.L.<sup>5</sup>, Monge Quevedo, A.<sup>2</sup>, Pacheco Ayub, C.<sup>1</sup>, Pecquerie, L.<sup>4</sup>, Racotta, I.S.<sup>2</sup>, Ramírez Arce, J.L.<sup>2</sup>, Rivera Pérez, C.<sup>1</sup>, Rojo Arreola, L.C.<sup>1</sup>, Salgado García, R.L.<sup>2</sup>, Salmón Acosta, H.<sup>2</sup>, Sánchez Castrejón, E.<sup>3</sup>, Sicard, M.T.<sup>2</sup>, Tripp Valdez, M.A.<sup>2</sup>, S., Valenzuela Quiñonez, F.<sup>1</sup>, Vázquez Sánchez, R.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pesquerías, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

<sup>2</sup> Programa de Acuicultura, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

<sup>3</sup> Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, B.C.

<sup>4</sup> Laboratoire LEMAR. Univ Brest, IRD, CNRS, IFREMER, Plouzané, France

<sup>5</sup> Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California



## Resumen

La pesquería y el cultivo de almeja mano de león han tenido problemas que han impedido su producción sostenida. La pesquería pasó de 320 toneladas (2009) a tan sólo 56 (2011) y posteriormente al cierre total en 2012. A nivel comercial, el cultivo enfrenta desafíos técnicos y las experiencias han sido mayormente negativas posiblemente por falta de información científica. No obstante, prospecciones recientes y la incursión de nuevos empresarios podrían reactivar las actividades productivas próximamente. Adicionalmente, la incertidumbre asociada a la explotación de la especie podría reducirse gracias al trabajo de varios grupos de investigación, incluido el nuestro. Recientemente un grupo de colaboradores estudiamos si existen diferencias genéticas (evolutivas) en la capacidad de respuesta de diferentes poblaciones de esta almeja ante variaciones de la temperatura, o si la respuesta es genéticamente similar y las diferencias se deben únicamente al efecto del ambiente. Comparamos poblaciones de Laguna Ojo de Liebre (costa del Pacífico de la península) y Bahía de Los Ángeles (Golfo de California). Encontramos que existen diferencias genéticas entre ellas y que la población del Golfo cuenta con mayor capacidad de respuesta (a nivel molecular y del organismo) ante la variabilidad térmica. Falta estimar el riesgo asociado a eventos térmicos extremos y otros factores ambientales; estos estudios incrementarán el conocimiento sobre la especie. Estamos comprometidos a comunicar nuestros hallazgos a los actores clave del sistema productivo (administradores, pescadores y acuicultores), para ayudar a reducir la incertidumbre en sus actividades y mejorar las condiciones de sostenibilidad del recurso y del modo de vida de quienes dependen de él.

**Palabras clave:** Pesquerías, acuicultura, cambio climático, variabilidad térmica, ecofisiología.

## Abstract

The lion's paw scallop fishery and cultivation have had problems that have prevented its sustained production. The fishery went from 320 tons (2009) to 56 tons (2011) and subsequently to total closure. At a commercial level, the culture faces technical challenges and some of the experiences have been mostly negative, possibly due to lack of scientific information. Nevertheless, recent surveys and the incursion of new entrepreneurs could reactivate productive activities rapidly. Additionally, the uncertainty associated with the commercial exploitation of the species could be reduced thanks to the work of several research groups, including ours. We recently studied whether there are genetic (evolutionary) differences in the response

capacity of different populations of this scallop to variations in temperature or if the response is genetically similar and the differences are solely due to the effect of the environment. We compared populations from Laguna Ojo de Liebre (Pacific coast of the peninsula) and Bahía de Los Ángeles (Gulf of California). We found genetic differences between both populations, and that from the Gulf showed a wider response capacity (at molecular and organism level) to thermal variability. The risk associated with extreme thermal events and other environmental factors remains to be estimated; these studies will increase knowledge about the species. We are committed to communicating our findings to key actors in the production system (managers, fishermen, and aquaculturists) as a contribution to reduce uncertainty in their activities and improve the conditions of sustainability of the resource and the lifestyle of those who depend on it.

**Keywords:** Fisheries, aquaculture, climate change, temperature variability, ecophysiology

### Antecedentes

Frecuentemente, cuando aumenta el mercado para recursos pesqueros que son consumidos localmente, se detona el desarrollo rápido de nuevas pesquerías comerciales, incrementando la extracción para abastecer la demanda, incluso antes de que se establezcan las normas formales de gestión.

En el mejor de los casos, la evaluación de las poblaciones permite a los manejadores identificar el tamaño de la población y definir puntos de referencia antes de que la explotación supere la capacidad de crecimiento poblacional. Sin embargo, no es raro que la reducción de la producción, e incluso de los colapsos pesqueros, ocurran antes de que se alcance a generar la información técnica indispensable para el manejo, lo que suele provocar el cierre de las pesquerías y afectar las expectativas de los pescadores. Ante los colapsos, la poca comprensión sobre las causas de la reducción de las poblaciones, como la variabilidad ambiental, los mecanismos ecológicos o la presión pesquera, dificulta frecuentemente la posibilidad de reconstruir las poblaciones con estrategias de gestión fiables y sostenibles.

En algunos casos, particularmente en recursos bentónicos (que viven en contacto con el fondo del mar), la acuicultura puede reaccionar y desarrollarse como una alternativa para satisfacer la demanda, pero, de nuevo, la falta de conocimiento sobre aspectos básicos de la biología y los requerimientos de las especies, así como de su sensibilidad ante factores ambientales adversos, reduce el interés de los productores de acuicultura y, en algunos casos, el fracaso en aventuras de cultivo genera un desencanto que puede perdurar por mucho tiempo en la



memoria de los inversionistas. La almeja mano de león es, desafortunadamente, un ejemplo perfecto de todo esto.

La almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*; Fig. 1) pertenece a la familia de los pectínidos, que agrupa actualmente a más de 350 especies, de las cuales 15 son de importancia económica.

La 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, en su extremo templado de distribución, donde se han reportado las mayores densidades. Habita principalmente en canales de lagunas y bahías con fondos arenosos a partir de los 6 m y hasta 100 m de profundidad.

Esta especie puede alcanzar tallas de hasta 22 cm de altura de concha, 1.8 kg de peso total (con concha) y un músculo abductor que puede llegar a ser hasta de poco más de

100 g que representa un pequeño filete de excelente aceptación culinaria. La duración estimada de su ciclo de vida es de hasta cinco años, con un pico reproductivo en el verano a partir del primero o segundo año de vida. Se trata de un hermafrodita funcional; es decir, presenta tanto tejido testicular como ovárico al mismo tiempo y produce tanto esperma como óvulos, aunque la autofecundación es poco probable por la coordinación temporal entre la expulsión de los dos tipos de gametos.



**Figura 1.** Almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*).

### ***De la esperanza al desencanto***

En el noroeste mexicano, la pesca de la almeja mano de león ha sido de carácter artesanal, realizada por grupos locales, sin acceso a infraestructura significativa para el procesamiento de la captura. La mayor parte de la captura se ha dado históricamente en la región conocida como Pacífico Norte, en la parte media de la costa occidental de la península de Baja California, y especialmente en las lagunas de Guerrero Negro y Ojo de Liebre.

Entre 1970 y 1990, la captura fue incipiente y no se cuenta con estadísticas pesqueras confiables, pues su registro se encuentra mezclado con el de otras especies, como las almejas catarina (*Argopecten ventricosus*) y voladora (*Euvola vogdesi*) (Morales-Hernández y Cáceres-Martínez, 1996). A partir de 1995 se empieza a registrar de forma independiente, particularmente en laguna Ojo de Liebre, donde se extrajo para tratar de atender el mercado tras las disminuciones en la producción de captura de la almeja catarina. Su producción aumentó de unas 5 toneladas (t) en 1995 a un promedio de 260 t por año en la segunda mitad de los 2000s, cuando alcanzó un valor de unos 4 millones de dólares por año. En 2009 la captura de esta especie en la región alcanzó su máximo histórico con 320 t, para posteriormente caer a 280 en 2010 y después a niveles muy bajos, coincidiendo con mortalidades masivas, aparentemente no asociadas a

la pesca. En 2011, la captura fue de tan solo 56 t 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 del músculo), afectando así a unas 300 familias de pescadores de la zona que dependían del recurso (Ruíz-Verdugo et al., 2016).

A pesar de que aún hoy día el mercado sigue demandando este producto, y que de hecho se ha vuelto tendencia gastronómica regional, la captura comercial se encuentra lejos de poder abastecer la demanda y no aparece en la carta nacional pesquera desde el 2012.

En cuanto al cultivo, la experiencia en el pasado ha sido también de desencanto.

El cultivo de la mano de león se ha logrado satisfactoriamente a nivel técnico piloto. 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. Sin embargo, la eficiencia de los artes de cultivo en términos de crecimiento depende fuertemente del sitio y las condiciones ambientales asociadas, como la disponibilidad de alimento, la dinámica del cuerpo de agua, la presencia de depredadores, el tipo de sedimento, entre otros. En este sentido, la selección de sitio representa un reto mayor para la actividad.

A nivel comercial, el cultivo aún enfrenta dos retos mayores: el abastecimiento de semilla y el manejo sanitario. Respecto al primero, la captación de semilla del medio es extremadamente variable e impredecible y la alternativa, la producción de semilla en laboratorio, se ha logrado sólo de manera parcial (Maeda-Martínez y Lodeiros-Seijo, 2016). El primer lote de semillas que se obtuvo de almeja mano de león fue en el Centro Reprodutor de Especies Marinas del Estado de Sonora (CREMES) en 1993 con unas 50,000 semillas. En 1997, se obtuvieron las primeras



20,000 semillas en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), y el proceso de maduración de la tecnología pudo continuarse hasta alcanzar una producción de aproximadamente dos millones de semillas en el 2001. Hoy día, CIBNOR es uno de los centros que tiene mayor dominio en la producción de semilla. Sin embargo, la demanda por las mismas es limitada. En parte por el segundo gran reto, relacionado con el rendimiento en cultivo debido a ciclos prolongados de cultivo de 1 a 2 años, la incidencia de patógenos y la presencia de depredadores, entre otros. Por ende, 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 y cierto grado de mantenimiento de los cultivos (e.g. limpieza y desdobles).

Las experiencias de la implementación de cultivos comerciales de la almeja mano de león han sido en

general negativas, en buena medida por la incertidumbre asociada a enfermedades y mortalidades masivas potencialmente acentuadas por eventos climáticos. En el cultivo de esta especie resalta la enfermedad causada por organismos perforadores (poliquetos y esponjas), que afecta la forma de la concha y su efectividad como protección, presumiblemente dejando a los organismos más expuestos al ingreso de bacterias oportunistas y al estrés ambiental (González-Ortiz, 2016). Adicionalmente, se trata de un cultivo de ciclo relativamente largo, de entre 430 y 540 días, y abarca la siembra inicial (30 a 60 días), la preengorda (100 a 120 días) y la engorda (300 a 390 días). Es decir, para lograr individuos de talla comercial es necesario mantener a los organismos en el mar por periodos prolongados, con el riesgo que esto implica, por las razones anteriormente expuestas.

### ***Del desencanto a la esperanza***

No todas son malas noticias. Resultados de prospecciones recientes y la incorporación de nuevos empresarios acuícolas están abriendo una ventana de esperanza para reactivar tanto la actividad pesquera como el cultivo en un futuro relativamente cercano.

En un comunicado de prensa del Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (IMIPAS), antes Instituto Nacional de la Pesca (INAPESCA), a mediados del 2023 (INAPESCA, 2023) se anunció que, sobre la base de prospecciones recientes que muestran señales de recuperación de las poblaciones de almeja mano de león en la región Pacífico norte, el Instituto ha formulado un plan de manejo para la recuperación de la pesquería que establecerá los lineamientos para un aprovechamiento ordenado y sustentable, en beneficio de las organizaciones pesqueras en la región.

Por su parte, si bien muchos productores acuícolas sufrieron el desencanto de la mano de león, existen otros que están

reingresando a las filas de la esperanza. Sabemos, por ejemplo, que de los 831 permisos de acuicultura otorgados por la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA) entre 2014 y 2019 (la información confiable más reciente), cerca del 10% incluyen a la mano de león (junto con otras especies), 6% para recolección de reproductores y 4% son de acuicultura de fomento.

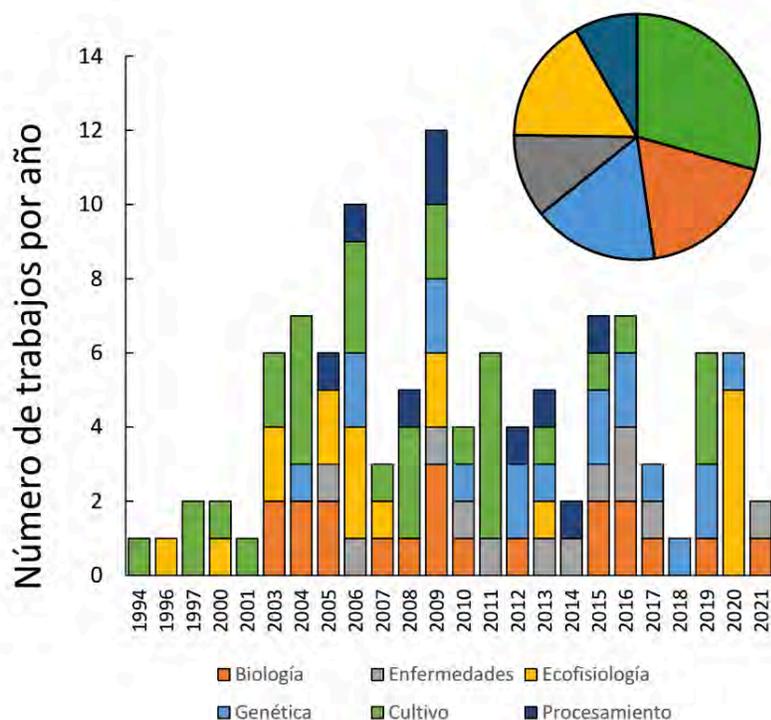
Con el fin de no repetir la historia de desencanto, la pregunta central ante estas nuevas perspectivas es ¿cómo reducir la incertidumbre tanto en el manejo de la pesquería como en el éxito de los cultivos? La respuesta está, evidentemente, en la disponibilidad de conocimiento técnico y científico.

Hasta hace poco se habían realizado una cantidad relativamente modesta de estudios alrededor de la almeja mano de león (*N. subnodosus*). Una búsqueda reciente de toda la literatura generada durante casi tres décadas (Joachin-

Mejia, 2022), tanto en revistas científicas y libros de circulación como en literatura gris arrojó únicamente 110 documentos (un libro especializado, 74 artículos científicos, 31 tesis y el resto son capítulos de libro y memorias en extenso). La mayor parte de estos trabajos se realizaron en Centros Públicos de Investigación, como el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE), el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y el CIBNOR, así como en universidades estatales autónomas de Baja California (UABC), Baja California Sur (UABCS), la Universidad de Sonora (UNISON), o bien por el INAPESCA (hoy IMIPAS) (Fig. 2).

En la actualidad, estamos viviendo un repunte en el esfuerzo de investigación respecto de esta especie y sabemos que viene en los próximos años un aumento significativo de publicaciones, gracias al trabajo de varios grupos de investigación.

El nuestro es uno de esos grupos, enfocado a las respuestas fisiológicas ante el Cambio Climático y organizado alrededor de un proyecto de investigación financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT 78911, Ciencia de Frontera 2019), donde la pregunta rectora de investigación fue si existen diferencias de naturaleza genética (evolutiva) en la capacidad de respuesta de diferentes grupos poblacionales de esta almeja ante variaciones de la temperatura, o si la capacidad de respuesta es genéticamente similar y las diferencias observadas entre poblaciones se deben únicamente al efecto del ambiente. La respuesta a esta pregunta ayuda a resolver cuestionamientos de naturaleza más aplicada, como si tendrán la misma capacidad de respuesta ante el cambio climático (incluido el aumento de frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos), todas las poblaciones de almeja mano de león del noroeste de México o si es viable utilizar individuos de cualquier banco silvestre para establecer cultivos en cualquier localidad de la región.



**Figura 2.** Número de estudios relacionados con la almeja mano de león. La figura muestra que aproximadamente una quinta parte de los estudios realizados hasta 2021 abordaron aspectos biológicos y ecológicos generales, como distribución geográfica, morfología y anatomía, ciclo de vida, reproducción, alimentación, hábitat y dinámica poblacional (color naranja), un 16% se refieren a estudios de corte ecofisiológico (mostaza), principalmente en apoyo al desarrollo acuícola, otro 16% está enfocado a genética (azul claro), incluyendo tanto la caracterización de poblaciones silvestres como algunas aplicaciones para la producción acuícola y un 8% de los estudios se refieren a la bioquímica post mortem y técnicas de mantenimiento y procesamiento del producto (principalmente el callo) para su más eficiente comercialización (azul oscuro). Los temas de cultivo y manejo pesquero (verde) concentran poco menos de una tercera parte de los trabajos publicados, e incluyen ensayos de cultivo de larvas y juveniles en laboratorio, técnicas de producción en ambiente controlado, nutrición acuícola, pruebas de diferentes técnicas de cultivo, para acuicultura, y análisis del crecimiento en poblaciones silvestres, reconstrucción histórica de la actividad pesquera y propuestas de esquemas de manejo, en el caso de las pesquerías. A pesar de que el restante 10% de trabajos publicados ha estado enfocado específicamente al estudio de enfermedades y la sensibilidad de la especie (gris), incluyendo la detección y evaluación de efectos de organismos perforadores como los poliquetos y esponjas y la presencia y sensibilidad ante patógenos como bacterias del género *Vibrio*, no fueron suficientes para esclarecer a ciencia cierta las causas y mecanismos asociados a las mortandades masivas de la mano de león, tanto en poblaciones naturales como en cultivo.

Una primera pregunta que abordamos fue si existen diferencias ambientales entre sitios que nos hicieran esperar diferencias poblacionales en la respuesta ante la variabilidad de la temperatura. Tomamos como casos de estudio las dos localidades más contrastantes de donde teníamos registro de

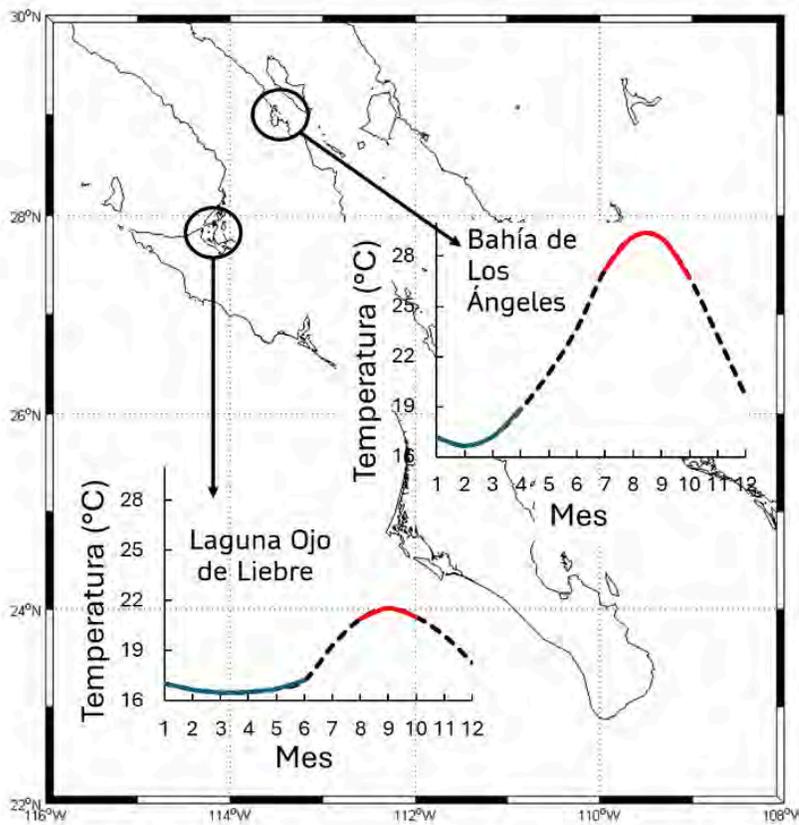
la presencia de poblaciones silvestres: Laguna Ojo de Liebre, en la parte central de la costa occidental de la península de Baja California y Bahía de Los Ángeles, en la parte centro norte de la costa oriental de la península, dentro del Golfo de California (Fig. 3). En términos generales, las temperaturas en la costa oeste de la península son más bajas y menos variables que en el Golfo de California. En Laguna Ojo de Liebre encontramos temperaturas promedio de 19.4°C, y un rango histórico (mínima - máxima) entre los 13.1 y los 26.4°C, mientras que en Bahía de Los Ángeles la temperatura promedio se encontró en 22.7°C con una amplitud histórica de 19.5°C, de 12.8 a 32.3°C. La varianza total de las series de temperatura es de más del doble en Bahía de Los Ángeles que en Laguna Ojo de Liebre, principalmente por una mucho mayor amplitud del ciclo estacional (Joachin-Mejia, 2022).

A partir de esta información, nuestra segunda pregunta fue si existían o no diferencias genéticas (linajes diferentes) entre las poblaciones de mano de león provenientes de estas dos localidades con condiciones ambientales contrastantes. Utilizando herramientas genéticas, nuestros resultados indicaron una elevada divergencia poblacional; es decir, son linajes que han evolucionado de manera independiente desde hace miles de generaciones.

del ecológico (expresión de la plasticidad fenotípica; es decir, la capacidad de cambiar sus características físicas, fisiológicas o comportamentales en respuesta a estímulos ambientales).

Se desovaron en laboratorio adultos silvestres de cada una de las localidades por separado, generando así larvas de grupos experimentales representativos de cada sitio. Tras dos meses y medio en laboratorio, los individuos alcanzaron una talla de semilla (3-5 mm) y ambos lotes se llevaron a crecer bajo las mismas condiciones en campo (Laguna Ojo de Liebre). Después de aproximadamente 4 meses, ya en su etapa juvenil (3-5 cm), las almejas se regresaron al laboratorio para realizar los experimentos.

Evaluamos la temperatura letal media de individuos recién llegados de campo (la temperatura a la que, después de un cierto tiempo de exposición, muere el 50% de los animales de prueba), a través de un experimento



**Figura 3.** Mapa indicando los sitios de origen de las poblaciones estudiadas y el ciclo anual de temperatura (calculado sobre el periodo base de 1982 a 2020)

Exploramos entonces si esta diferencia genética se reflejaba en la capacidad de respuesta de los organismos ante condiciones térmicas adversas, para lo cual planteamos una serie de experimentos en laboratorio. Inicialmente generamos un lote de organismos experimentales que nos permitiera aislar el efecto genético (diferencias evolutivas en la capacidad de respuesta)



donde se registró la mortalidad en un periodo de 96 h a temperaturas de entre 5 y 35°C.

Encontramos que las almejas de la población de Bahía de Los Ángeles presentaron una mayor resistencia a temperaturas altas que las de Laguna Ojo de Liebre (32.13°C y 30.58°C, respectivamente).

Con el objetivo de comprender mejor el efecto de la variabilidad de la temperatura y comparar la capacidad de respuesta de ambas poblaciones dentro del rango de tolerancia de la especie, realizamos un experimento donde mantuvimos a individuos de ambos lotes experimentales (de las dos localidades) por 30 días en tres regímenes de variabilidad térmica diferentes: a temperatura constante (21°C), sometidos a oscilaciones regulares de temperatura de un ciclo por día, con valores mínimos de 17°C y máximos de 25°C y un régimen de cambios aleatorios de temperatura cada hora, también en el intervalo entre 17 y 25°C. Al término de

ese periodo, los organismos fueron expuestos a un cambio agudo de temperatura, llevándolos de una temperatura de 21 a 28°C en pocas horas.

Al término del periodo de simulación de los regímenes térmicos y también tras el reto agudo, medimos las tasas metabólicas (respiración, ingestión, excreción y asimilación) de forma individual para estimar el equilibrio entre la cantidad de energía ingerida y la utilizada para mantener sus funciones corporales y actividades físicas (balance energético). En términos generales, encontramos muy poca diferencia entre poblaciones, tanto en la tasa respiratoria, que sirve como indicador de cuánta energía gasta el organismo para su mantenimiento, como en el potencial de crecimiento, que representa la energía “adicional” que el organismo puede canalizar al crecimiento y a la reproducción, una vez atendidas las funciones de mantenimiento. No detectamos grandes diferencias en la respuesta de los animales entre los tres tratamientos térmicos.

Tras el reto agudo, la respuesta general de ambas poblaciones, sin diferencia entre ellas, fue el aumento de la tasa respiratoria y la disminución del potencial de crecimiento, reflejando condiciones de estrés en las cuales se reconoce que aumenta el gasto energético para su mantenimiento.

Otro componente del crecimiento que estudiamos fue la formación de concha, que es controlada por un conjunto particular de proteínas y que, se reconoce, dependen de las condiciones ambientales. A pesar de que la expresión de la mucina (una de las proteínas clave en este proceso) en el manto (el tejido responsable del proceso de formación de concha) no fue significativamente diferente entre las poblaciones de ambos sitios, sí detectamos diferencias en la capacidad de calcificación ante el modo irregular de variabilidad térmica, siendo menor en los juveniles de Laguna Ojo de Liebre y sugiriendo, por lo tanto, que esta población tiene una menor capacidad de respuesta ante

la variabilidad de la temperatura que la de Bahía de Los Ángeles, en términos de la formación de concha.

Otro indicador de la condición del organismo es el balance energético a nivel celular basado en los niveles de tres moléculas clave que reflejan la necesidad de energía: el adenosín trifosfato (ATP), adenosín difosfato (ADP) y adenosín monofosfato (AMP). En condiciones óptimas se espera un balance entre la energía que se consume y la que se produce en forma de ATP. Sin embargo, cuando un organismo experimenta cambios extremos de temperatura, este equilibrio se rompe porque el mantenimiento demanda más energía de la que se produce. Nuestras observaciones arrojaron que, si bien ambas poblaciones presentaron un desbalance en la homeostasis celular en respuesta a valores extremos de temperatura, algunos de los indicadores a nivel celular sugieren que la población de Bahía de Los Ángeles está mejor adaptada para conservar energía ante condiciones de mayor variabilidad estacional en la temperatura que la población de Laguna Ojo de Liebre.

Uno de los mecanismos de respuesta ante factores de estrés a los que se ha puesto mayor atención en años recientes se relaciona con la actividad de un grupo particular de proteínas conocidas como chaperonas o proteínas de choque térmico (HSP, por sus siglas en inglés). Estas proteínas ayudan a mantener la estabilidad celular ante condiciones adversas, ya que asisten en el plegamiento correcto de otras proteínas y participan en la reparación o degradación de aquellas que han sido dañadas. En el proyecto pudimos medir la activación de diferentes tipos de proteínas de choque térmico (HSP40, dos tipos de HSP70 y HSP90), observamos que no difiere sustancialmente entre las dos poblaciones ante las oscilaciones térmicas del bioensayo. Sin embargo, ante el incremento agudo de temperatura vimos una mayor expresión de dos de ellas, la HSP70 y la HSP90 en los organismos de la población de Bahía de Los Ángeles, lo que

nos indicó que una mejor adaptación de esta población ante condiciones térmicas adversas.

En contraste, algunas mediciones de transcriptómica (cómo y cuánto se expresan los genes ante diferentes condiciones ambientales) sí mostraron diferencias entre poblaciones. Si bien, en ambas poblaciones detectamos patrones de expresión asociados al metabolismo energético y el sistema inmune en respuesta a la variabilidad térmica, cada población presentó respuestas particulares, especialmente asociadas al metabolismo de carbohidratos y aminoácidos, que sugieren que la población de Bahía de Los Ángeles tiene un mayor potencial de plasticidad fenotípica que la de Laguna Ojo de Liebre.

Además de las diferencias genéticas, encontramos diferencias en los procesos epigenéticos (activación y desactivación de los genes) que modifican la respuesta ante diferentes condiciones



ambientales. En el proyecto determinamos que esta almeja sí cuenta con genes que participan en este proceso, aunque su expresión es menor respecto a otras especies de moluscos. Al analizar a los individuos de ambas poblaciones, pero crecidos en las mismas condiciones, encontramos respuestas similares en la expresión de los genes involucrados en la metilación. Sin embargo, tras la exposición de los organismos a un reto agudo de temperatura, la expresión de genes involucrados en la metilación fue menor en almejas de Laguna Ojo de Liebre en comparación con las de Bahía de Los Ángeles.

En resumen, hasta el momento podemos decir que existen diferencias genéticas en la capacidad de respuesta ante condiciones térmicas adversas entre ambas poblaciones, derivadas de la adaptación evolutiva a las condiciones de variabilidad propias de cada sitio. En general, notamos

que la población del interior del Golfo de California (Bahía de Los Ángeles), históricamente expuesta a mayores niveles de variabilidad de temperatura, cuenta con una mayor capacidad de respuesta, y se establecieron algunas bases sobre los mecanismos que intervienen, desde el nivel molecular hasta el organismo como un todo.

Hasta dónde esto les confiere a las poblaciones del Golfo de California una mejor perspectiva de supervivencia a largo plazo ante los embates del cambio climático depende, además de la capacidad de respuesta, de las tendencias ambientales en cada sitio.

Cruzando información sobre el historial térmico de los sitios a lo largo de la costa de la península de Baja California con mediciones fisiológicas de laboratorio y de crecimiento en cultivo, confirmamos que las localidades en la costa del Pacífico (Bahía Magdalena y el complejo lagunar Ojo de Liebre-Guerrero Negro-Manuela) tienen una mayor aptitud para el cultivo de almeja mano de león que localidades de Golfo de California (Bahías de Los Ángeles, Loreto y La Paz) y corren un menor riesgo ante eventos climáticos extremos.

Por supuesto, hace falta complementar la estimación del riesgo asociado a eventos térmicos extremos con el derivado de otros factores ambientales, como la disponibilidad de alimento, los eventos de reducción drástica de oxígeno en el agua, la acidificación del océano, la presencia de depredadores y especies invasoras y la prevalencia de enfermedades y patógenos.

Tenemos también información de cómo el modo de variabilidad (regular, constante e irregular) afecta los diferentes procesos fisiológicos, pero seguimos trabajando para reunir otras piezas del rompecabezas, como indicadores de estrés oxidativo (el desequilibrio entre la producción de radicales libres que pueden dañar al organismo y la capacidad de éste para contrarrestar dichos efectos nocivos mediante antioxidantes), los cambios

en la composición bioquímica en los diferentes tejidos y la movilización interna de moléculas combustibles. Más aún, estamos analizando los resultados de un segundo bioensayo donde esperamos poder entender la influencia del nivel de variabilidad en el disparo de los mecanismos de respuesta.

Confiamos en que a medida que todos estos resultados sean publicados en literatura científica, junto con aquellos de los otros grupos de investigación involucrados en el estudio de la mano de león, se alentará la construcción aún más acelerada de conocimiento sobre la especie. Igualmente, estamos convencidos de que al comunicar lo que estamos aprendiendo a los actores clave del sistema productivo, incluidos administradores de los recursos, pescadores y acuicultores, ayudaremos a reducir la incertidumbre en sus actividades y mejorar las condiciones de sostenibilidad del recurso y del modo de vida de quienes dependen de él.

### Bibliografía y referencias

- González-Ortíz, 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. Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 144pp.
- INAPESCA. Comunicado de prensa 3 de mayo del 2023. En: <https://www.gob.mx/inapesca/prensa/> (consultado el 12/11/2023).
- Joachin-Mejia, N.G. 2022. Caracterización del hábitat térmico de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en el noroeste mexicano. Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 65pp.
- Maeda-Martínez, A.N. y C. Lodeiros-Seijo. (Eds.). 2011. Biología y Cultivo de los Pectínidos del Género *Nodipecten*. LIMUSA. México. 400pp.
- Morales-Hernández, R. y C. Cáceres-Martínez. 1996. *Pesquería de Almeja Mano de León*. 87-100. En: Casas-Valdez, M. y G. Ponce-Díaz. (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur, Vol. 1. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, BCS. México. 350pp. <http://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/888>
- Ruíz-Verdugo, C.A., V. Koch, E. Félix-Pico, A.I. Beltrán-Lugo, C. Cáceres-Martínez, J.M. Mazón-Suastegui, M. Robles-Mungaray y J. Cáceres-Martínez. 2016. *Chapter 29 - Scallop Fisheries and Aquaculture in Mexico*. 1111-1125. En: S.E. Shumway and G.J. Parsons (Eds.). *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* Vol. 40. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-444-62710-0.00029-8



## Cita

Lluch-Cota, S.E., D.P. Carreño León, P. Cruz Hernández, C. Escobedo Fregoso, C.E. Galindo Sánchez, et al., La almeja mano de león: una historia de desencanto y esperanza. **Recursos Naturales y Sociedad**, 2024. Vol. 10 (2): 51-64. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2024.10.10.02.0005>

*Sometido: 1 de julio de 2024*

*Aceptado: 17 de septiembre de 2024*

*Editor asociado: Dr. Arturo Sánchez Paz*

*Editor ejecutivo: Dr. Arturo Sánchez Paz*

*Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández*

**Portada:** pexels-inspiredimages-157515.jpg