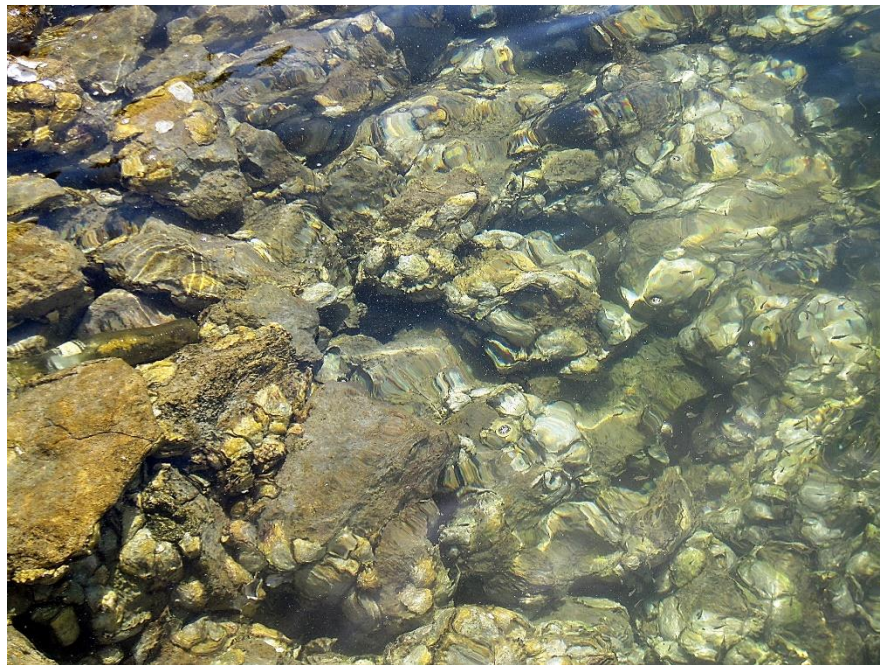




Proyecto No. 00089333: “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”

“Servicio de consultoría para evaluar la situación actual del ostión japonés en la zona marina de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno”

DETECCIÓN DE POBLACIONES ESTABLECIDAS DE OSTIÓN JAPONÉS



Fuente: Fotografía tomada por Luis Hernandez, 2018.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

Junio de 2019

“Las opiniones, análisis y recomendaciones de política incluidas en este informe no reflejan necesariamente el punto de vista del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, como tampoco de su junta ejecutiva ni de sus estados miembros.”



Título: Detección de poblaciones establecidas de ostión japonés. Servicio de consultoría para evaluar la situación actual del ostión japonés en la zona marina de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno.

Objetivo: Realizar muestreos dirigidos para detectar poblaciones establecidas del ostión japonés fuera de las zonas de cultivo autorizadas para ubicar y caracterizar puntos críticos de riesgo de dispersión.

Autores: Héctor Reyes Bonilla, Eduardo Balart Paez y Miguel Ángel Ojeda Ruiz de la Peña

Colaboradores: Dr. Fco. Omar López Fuerte, M.C. Saúl González R., Dra. Gabriela Cruz P.

Apoyo de campo: M.C. Manuel Alejandro Olán González, Biol. Mar. Diego Gijón Díaz

Modo de citar: PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2019. Detección de poblaciones establecidas de ostión japonés. Servicio de consultoría para evaluar la situación actual del ostión japonés en la zona marina de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. Proyecto 00089333 “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”. Reyes Bonilla, H., E. Balart Paez & M. A. Ojeda Ruiz de la Peña. Laboratorio de Sistemas Arrecifales, UABCS, La Paz, Baja California Sur, México. 25 pp.

Área geográfica objeto del informe: Reserva de la Biosfera El Vizcaíno.

Fecha de inicio proyecto: 20 de agosto de 2018.

Fecha de terminación proyecto: 30 de Junio de 2019.

Resumen: Para determinar la presencia de ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en los márgenes de la Laguna Ojo de Liebre, se revisaron y describieron 11 sitios donde potencialmente podría encontrarse la especie en vida libre. En 9 de estos sitios se censaron individuos en el intermareal, dentro de cuadrantes de 25 x 25 cm, con los que se determinó que puede haber un total (en las zonas revisadas) de 712,501 individuos. Además, se colectaron 240 ostiones, los cuales se encontraban principalmente sobre sustrato rocoso o artificial. El material recolectado fue trasladado al Laboratorio de Sistemas Arrecifales de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, para su respectivo procesamiento taxonómico. De este total, 95 individuos (recolectados en 10 de los 11 sitios muestreados) fueron determinados genéticamente como representativos de la especie *Crassostrea gigas*, y el resto (14 ejemplares) fueron identificados como *Saccostrea palmula*, una especie nativa del Pacífico oriental. Finalmente, se analizó información satelital y de cruceros oceanográficos para describir las condiciones ambientales generales de la Laguna Ojo de Liebre, y a las que se encuentran expuestos los organismos de cultivo y los que fueron observados en vida libre, confirmando que estas son aptas para la especie.

Vínculo con la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras: Se plantea la generación de información para conocer la situación actual del ostión japonés en un Área Natural Protegida de relevancia ecológica y económica. Se busca contar con un mejor monitoreo y

control de las actividades de acuicultura y consecuentemente preservar en paralelo la salud del ecosistema. El proyecto se vincula con el Objetivo Estratégico 1: “Prevenir, detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras”; Metas: 1.2, “Información científica y técnica, relevante, oportuna y accesible, que genere capacidades en diversos sectores para atender las prioridades relacionadas con las especies invasoras”; y 1.7, “Medidas de bioseguridad y sanitarias instrumentadas permanentemente en la introducción, manejo y uso de especies exóticas invasoras”.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	2
3 METODOLOGÍA	2
3.1 Trabajo de campo	2
3.2 Caracterización ambiental	3
4 RESULTADOS	5
4.1 Descripción e imágenes representativas de los sitios de muestreo.	7
4.2 Caracterización oceanográfica de los sitios.	18
5 REFERENCIAS.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Talla de los especímenes confirmados como <i>Crassostrea gigas</i> , recolectados en sitios con sustrato rocoso natural o artificial en la REBIVI.	7
Tabla 2. Densidad de ostiones por sitio de muestreo. En todos los casos se utilizaron tres cuadrantes de 25 x 25 cm como referencia de cálculo.	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sitios de muestreo en los que se colectaron especímenes de ostión en la Laguna Ojo de Liebre	4
Figura 2. Especímenes de Ostión japonés <i>Crassostrea gigas</i>	6
Figura 3. Sitio 1. Espinazo del Diablo. Vista general del sitio y de ostiones incrustados.....	8
Figura 4. Ostiones colectados en el sitio de colecta 1, Espinazo del Diablo	8
Figura 5. Sitio 2, Bordo (exterior) de Exportadora de Sal	9
Figura 6. Canasta de cultivo de ostión japonés abandonada en el sitio 2, Bordo (exterior) de Exportadora de Sal.....	9
Figura 7. Ostiones creciendo en la canasta de cultivo de abandonada en el sitio 2, Bordo (exterior) de Exportadora de Sal	10
Figura 8. Sitio 3, Paradero Beatriz (muelles para actividades turísticas)	10
Figura 9. Ostiones sobre roca libre en el sitio 3	11
Figura 10. Sitio 4, Puerto el Chaparrito	11

Figura 11. Ostiones sumergidos en la zona intermareal del sitio 4 (Puerto el Chaparrito).	12
Figura 12. Ostiones colectados en la zona intermareal del sitio 4 (Puerto el Chaparrito) ..	12
Figura 13. Sitio 5, Campo Don Nicho.....	13
Figura 14. Ostiones sobre islote del sitio de colecta 6, La Choyita	13
Figura 15. Sitio de colecta Los Paredones (sitio 7)	14
Figura 16. Sitio 8, La Piedra.	14
Figura 17. Sitio 9, El Alambre	15
Figura 18. Serie de tiempo de temperatura en la Laguna Ojo de Liebre.....	17
Figura 19. Perfil de temperatura en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo.	18
Figura 20. Concentración de clorofila en superficie en la Laguna Ojo de Liebre.....	19
Figura 21. Perfil de salinidad en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo....	19
Figura 22. Perfil de concentración de oxígeno en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo.	20
Figura 23. Perfil de concentración de nitratos en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo.	21
Figura 24. Perfil de concentración de fosfatos en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo	21
Figura 25. Perfil de concentración de silicatos en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo	22

1 INTRODUCCIÓN

El ostión japonés (*Crassostrea gigas*) es una especie que se caracteriza por tener una tasa de crecimiento elevada y por tolerar amplias variaciones en las condiciones medio ambientales (Cardoso *et al.*, 2007), cualidades que han favorecido su introducción y cultivo en varias regiones del mundo (Carrasco & Barón, 2010). En México, su introducción para cultivo fue hace poco más de cuatro décadas y desde entonces junto con el cultivo de camarón, constituye uno de los productos acuícolas marinos que ofrece una gran cantidad de fuentes de trabajo e ingresos (Chávez-Villalba, 2014). En la región noroeste del país, el ostión japonés ha sido cultivado a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California y en algunas zonas dentro del Golfo de California (Chávez-Villalba *et al.*, 2007; Luna-González *et al.*, 2008). Su importancia es tal, que se han impulsado proyectos de investigación y pruebas piloto para mejorar su producción y combatir las enfermedades que llegan a atacarlo durante las diferentes fases de su cultivo (Enríquez-Espinosa *et al.*, 2010, Trabal *et al.*, 2012).

No obstante, a pesar de los beneficios socioeconómicos de su cultivo, el ostión japonés se encuentra catalogado como una especie que representa un alto riesgo de invasividad para México, debido a la existencia de condiciones medioambientales adecuadas para que se establezca a lo largo de las costas (Bastida-Zavala *et al.*, 2014; Tovar-Hernández *et al.*, 2014), lo cual eventualmente generaría múltiples impactos negativos, tanto socioeconómicos como ecológicos. En este último caso, se reconoce por ejemplo su capacidad para hibridizarse con otras especies del género, colonizar extensas zonas costeras, desplazar a especies nativas de importancia comercial y afectar a diferentes especies por modificación de su hábitat (Carrasco & Barón, 2010; Zhang *et al.*, 2012; Herbert *et al.*, 2016).

La producción de ostión japonés se destina al consumo nacional, muchas veces en mercados cercanos al sitio de cultivo ya que la relativamente corta vida de anaquel de esta especie es un impedimento para el comercio global de producto fresco a gran escala (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2001). Eventualmente, a una pequeña proporción del total de la producción de ostión se le da un valor agregado, y aparecen en los mercados ostiones enlatados, congelados y ostiones empacados al vacío (Avilés-Quevedo & Vásquez-Hurtado, 2006). A nivel internacional, el principal producto de venta es la semilla de ostión producida en laboratorio (Chávez-Villalba *et al.*, 2010).

El cultivo del ostión japonés en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno (REBIVI) está permitido (INE 2000), y se presume que los individuos generados a partir de la semilla utilizada no tienen la capacidad para reproducirse; sin embargo de manera verbal se ha reportado la presencia de algunas poblaciones de este ostión en diferentes áreas de La Laguna Ojo de Liebre, abriendo la posibilidad que, como ha ocurrido en otras regiones, algunos individuos cultivados tengan capacidad reproductiva y puedan comenzar así con la colonización y consecuente invasión de la REBIVI.

Lo anterior pone en evidencia la necesidad de conocer la situación actual del ostión japonés en la REBIVI, con respecto a su posible dispersión y su potencial reproducción fuera de los sitios autorizados para su cultivo, con los consecuentes riesgos ambientales que esto conlleva. Así pues, la generación de dicho conocimiento, permitirá proponer acciones adecuadas para su manejo, dando las pautas para hacer frente al dilema de que surge entre los beneficios que produce su cultivo y los posibles daños que podría causar su establecimiento y proliferación en la Reserva.

2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar los límites de las zonas de cultivo de *Crassostrea gigas* y determinar puntos críticos de riesgo de dispersión.
- Revisar áreas de sustrato firme dentro de la REBIVI para detectar y ubicar posibles poblaciones de *Crassostrea gigas* establecidas fuera de las zonas de cultivo autorizadas.
- Caracterizar los sitios fuera de las zonas de cultivo autorizadas de acuerdo a diferentes parámetros fisicoquímicos del agua dentro de la REBIVI.

3 METODOLOGÍA

Antes del trabajo de campo, se revisaron imágenes de satélite obtenidas de GoogleEarth (escala 5 m de pixel) y se consultó al personal de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, del Comité de Sanidad Acuícola de Baja California Sur y a pescadores locales para conocer posibles promontorios rocosos en la zona costera de las lagunas y ubicar la posición geográfica de parches de ostión que hayan sido vistos o reportados; esto sirvió para guiar las búsquedas de manera eficiente.

3.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en la búsqueda de las poblaciones del ostión japonés en 11 sitios de muestreo, empleando una embarcación menor tipo panga de 24 pies de eslora con un motor fuera de borda de 65 HP. En ocho de esos sitios (Figura 1), donde los organismos se encontraban en la zona intermareal, seis personas hicieron recorridos a pie buscando ostiones, invirtiendo en promedio una hora y media por sitio para el recorrido y la colecta. En dos lugares (La Concha y La Lagunita; Figura 1), se llevaron a cabo inmersiones con equipo de buceo libre a una profundidad máxima de 1.5 m para la colecta de ejemplares. En el sitio conocido como La Choyita los organismos observados se encontraban en la porción submareal, pero no se contaba con el equipo de buceo, por lo que no se hizo colecta de ejemplares. En cada sitio se tomaron fotografías (exceptuando en aquellos dos donde los organismos estaban completamente bajo el agua), se registró el tipo de fondo (arena, grava, rocas) y de especies (de flora y fauna) asociadas, y se usó un posicionador geográfico por satélite (GPS) para georreferenciar los sitios.

Para estimar los números de organismos presentes en los sitios con poblaciones en el intermareal, se usaron cuadrantes de 25 x 25 cm (N=3 por sitio) para determinar la densidad poblacional. Debido a la dificultad para la identificación *in situ*, y al hecho que al menos había dos especies presentes (*C. gigas* y *Saccostrea palmula*), se optó por determinar la densidad de ostiones agrupando las especies. Para el cálculo de densidad, el número de ostiones encontrado en el cuadrante con superficie de 25 x 25 cm se extrapoló a un metro cuadrado (valor de densidad estimado [ostiones/m²] = [número de ostiones / 625 cm²] x 10,000).

El último procedimiento consistió en recolectar especímenes de ostiones, con la idea de denotar cuáles y cuántas especies podían ser encontradas en los bancos, ya que no es posible determinar su identidad por observación directa en campo. Por ello en las zonas con presencia de ostión en el intermareal se colectaron entre 5 y 30 ostiones de manera manual con la ayuda de un martillo y un cincel para separarlos del sustrato (N=190), y en cada uno de los dos sitios submareales se recolectaron 25 animales, para tener un total de 240. En todos los casos, los individuos colectados se colocaron en bolsas de plástico previamente etiquetadas con los datos de colecta (sitio, día, hora, georreferencia) y fueron transportados en una hielera para su conservación hasta el laboratorio de Sistemas Arrecifales de la UABCS para su procesamiento. En todo momento se cuidó que los ostiones no estuvieran en contacto directo con el hielo para evitar la muerte prematura de los organismos.

3.2 Caracterización ambiental

Paralelamente, para caracterizar el ambiente local se hizo una búsqueda de datos georreferenciados a largo plazo de la temperatura (°C), salinidad (Unidades Prácticas de Salinidad; UPS), pH y oxígeno disuelto (mg/l), para el intervalo 2002-2017 utilizando información del satélite MODIS-AQUA (temperatura; <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) y del Atlas Mundial de los Océanos (WOA) (salinidad, oxígeno; <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/woaselect/woaselect.html>), cuyos datos provienen de medidas tomadas *in situ* en cruceros oceanográficos y otras fuentes. En el primer caso la información se presenta a una escala de 0.0825° de latitud-longitud (9 km de pixel), mientras que para el WOA se presenta de manera puntual (posiciones geográficas a una precisión mínima de 0.1° de latitud-longitud). Para compaginar la información se decidió tomar todos los registros disponibles dentro de la laguna, y promediarlos directamente. Por último, se calculó la tendencia multianual del pH usando los datos de las bases de datos citadas, y utilizando el programa CO2calc (Robbins *et al.*, 2010). Además de la información descrita, se decidió seleccionar un punto central a todos los sitios donde se encontraron ostiones, el cual sirviera como “marca genérica” que representara las condiciones de esas localidades. El punto seleccionado corresponde a los 28.8358 N, -114.1698 W (Figura 1). Finalmente, la información de campo se entregó al especialista en SIG para mapear con precisión la localización de las poblaciones introducidas y las zonas cercanas que pudiesen ser sitios de colonización por los organismos.

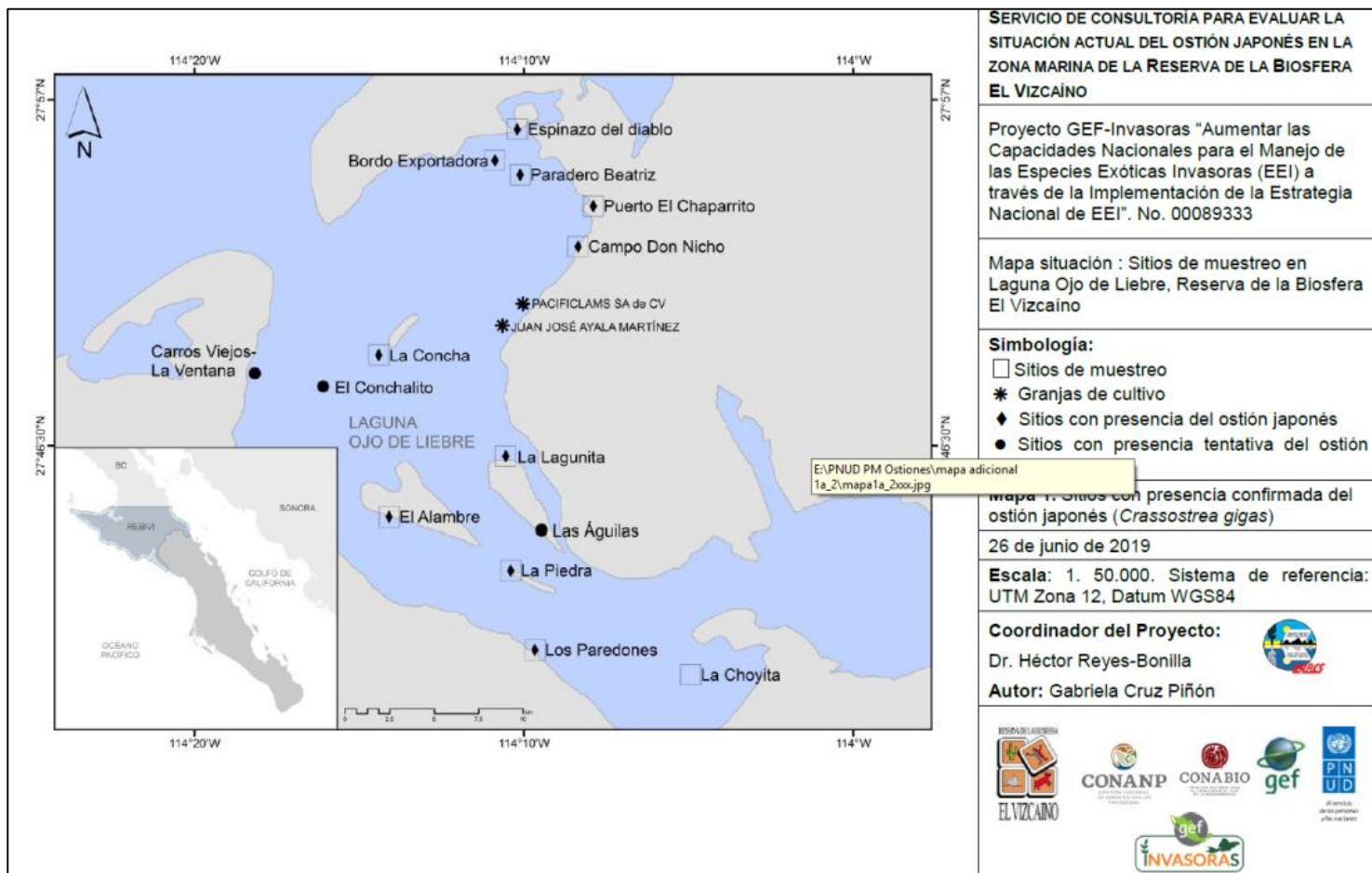


Figura 1. Sitios de muestreo en los que se colectaron especímenes de ostión en la Laguna Ojo de Liebre. *Elaboración: UABCS/G. Cruz Pinón, 2018.*

4 RESULTADOS

Durante los días 15 y 16 de septiembre de 2018, se visitaron nueve sitios con fondo rocoso en los márgenes de la Laguna Ojo de Liebre (Figura 1), y en todos ellos se localizaron ostiones. En ocho de esos nueve sitios se colectaron entre 5 y 30 especímenes, para un total de 190. La segunda visita para complementar los datos se efectuó el 11 de mayo de 2019, cuando se trabajó en La Concha y La Lagunita (Figura 1), recolectando 25 ejemplares por sitios. Así se tuvo una muestra total de 240 ejemplares.

Todos los ejemplares fueron revisados morfológicamente tomando en cuenta las diagnósticas presentadas por Keen (1971) y Coan & Valentich-Scott (2012); sin embargo, la mayoría mostraba deformaciones en la concha debidas a que los individuos fueron recolectados de sitios donde había gran densidad y por ello los animales estaban en competencia por el espacio, mientras que otros eran pequeños o fueron encontrados fijos a sustratos irregulares, lo que deformó la concha. Como consecuencia, mediante rasgos morfológicos sólo se pudo determinar como ostión japonés (*Crassostrea gigas*) a 19 ejemplares, encontrados en cuatro de los sitios muestreados: sitio 1 (Espinazo del Diablo; Figura 3), sitio 2 (Bordo Exterior Exportadora de Sal; Figura 5), sitio 7 (Los Paredones; Figura 15) y sitio 8 (La Piedra; Figura 16). Las imágenes de esos los ostiones identificados positivamente por el grupo de trabajo, y de seis más que potencialmente eran de la especie de interés, fueron enviadas para identificación al Dr. Paul Valentich Scott del Museo de Historia Natural de Santa Bárbara (Estados Unidos), uno de los principales especialistas mundiales en taxonomía de bivalvos del Pacífico oriental. Dicho experto coincidió en la confirmación que hicimos de los 19 ejemplares; respecto a los seis potenciales, el experto no pudo corroborar su identidad debido a la dificultad de evidenciar ciertos caracteres diagnósticos en las imágenes.

Los 19 individuos determinados morfológicamente como *C. gigas* presentaban las siguientes características morfológicas que se muestran en las figuras 2 (a, b, c, d): 1) una concha sólida, inequivalva, rugosa, aflautada y laminada; 2) la valva izquierda (inferior) era profundamente cóncava con lados algunas veces casi verticales; 3) la valva derecha (superior) era plana y/o ligeramente convexa, apoyándose dentro de la izquierda; 4) los lados eran desiguales, con picos y umbos relativamente protuberantes, tendiendo a ser oblongas pero muy distorsionadas e irregulares, salvo en aquellas que se encontraban incrustadas en el sustrato rocoso, por lo que la forma de la concha fue variable según el sustrato en el que se encontraban; 5) el color era blanquecino con estrías transversales moradas y puntos que radiaban del umbo; y 6) el interior de la concha era blanco, con un solo músculo.

Los mismos 19 ostiones morfológicamente identificados como *C. gigas* se disectaron para obtener muestras de las gónadas; los tejidos se colocaron en histocasetes y se conservaron en etanol comercial (95%) para su posterior análisis con el que se determinó su condición reproductiva. De acuerdo con los resultados obtenidos (PNUD México, 2019), de esos 19

ejemplares, 11 eran diploides (7 hembras y 4 machos), resultaron tener sexos bien definidos y estaban reproductivamente activos presentando diversas etapas de madurez gamética mientras que los 8 restantes aparecieron en estadio “indiferenciado”, es decir, sin gametos presentes en las gónadas. No es posible afirmar si esos individuos habían desovado con anticipación, o bien si aún eran organismos no reproductivos (esto último es factible ya que los animales tenían tallas pequeñas).

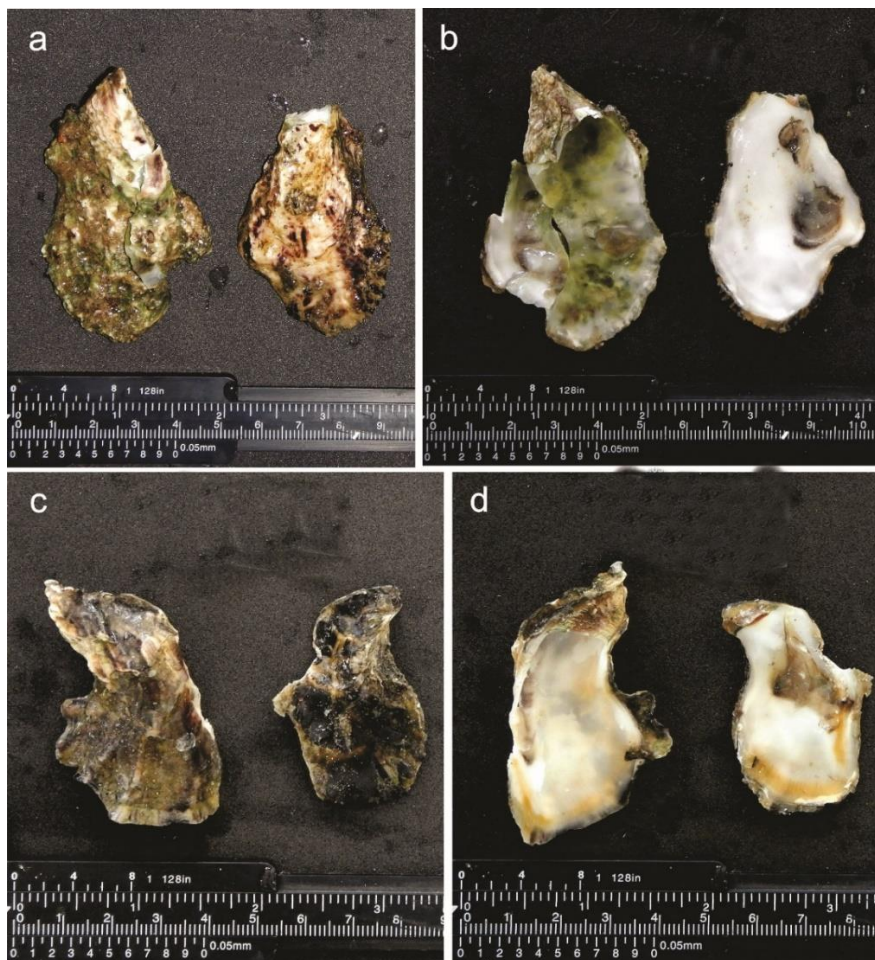


Figura 2. Especímenes de Ostión japonés (*Crassostrea gigas*). 2a, c. Vista externa. 2b, d. vista interna. *Elaboró: UABCS/ F. O. López-Fuerte, 2018.*

El resto de los ostiones recolectados durante la primera visita (165 en total) carecían de una o varias de las características diagnósticas mencionadas, y según la literatura consultada pudieran pertenecer a alguna de las siguientes especies: *Crassostrea corteziensis* (ostión de placer), *C. columbiensis* (ostión negro de Columbia Británica), *Hyotissa quercina* (ostión esponjoso) y *Saccostrea palmula* (ostión de mangle). Ninguna de ellas es introducida, todas son residentes nativas de la costa del Pacífico americano.

Para mejorar el nivel de identificación, los citados 19 especímenes junto con otros 90, colectados en los 10 sitios con presencia de ostión, fueron analizados genéticamente para determinar su especie, y el análisis confirmó que efectivamente 95 de ellos pertenecían al ostión introducido *Crassostrea gigas*, mientras que los 14 restantes eran ostiones nativos de la especie *Saccostrea palmula* (PNUD México, 2019). Cabe señalar que en un sitio (La Choyita), situado en la parte más interna de la Laguna, se observaron ostiones pero no se hicieron colectas porque los organismos se encontraban en la porción submareal y no se contaba con equipo de buceo para trabajar.

En relación a aspectos morfométricos de las poblaciones silvestres, a partir de los 19 individuos que fueron morfológicamente identificados como *C. gigas*, se calculó un tamaño promedio (y desviación típica) de 6.82 ± 1.44 cm de longitud total (Tabla 1); que, tomando en cuenta la tasa de crecimiento para la especie indicada por Chávez-Villalba (2014) para Bahía Magdalena (localidad situada 300 km al sur) que fue de 0.209 a 0.283 mm/día, y la que mencionan Islas Olivares *et al.* (1982) para Laguna Manuela (20 km al norte de Ojo de Liebre), que fue de 1.0 cm/mes, ambas arrojan una edad máxima estimada menor a 1 año de edad.

Tabla 1. Talla de los especímenes confirmados morfológicamente como *Crassostrea gigas*, recolectados en sitios con sustrato rocoso natural o artificial en la REBIVI (N= número de individuos).

SITIO	Longitud		Anchura		N
	Promedio (cm)	Desviación típica (cm)	Promedio (cm)	Desviación típica (cm)	
1. Espinazo del Diablo	7.375	1.711	5.900	0.908	4
2. El Bordo de Exportadora de Sal	6.733	1.591	4.522	0.418	9
7. Los Paredones	6.100	0.624	4.133	0.145	3
8. La Piedra	7.600	1.356	1.442	0.331	3

4.1 Descripción e imágenes representativas de los sitios de muestreo.

De manera general en el recorrido de campo se denotó que, al igual que la mayoría de las lagunas costeras del país, el margen costero de la Laguna Ojo de Libre está constituido por diferentes tipos de sedimentos arenosos con granos finos y muy finos. Dichas áreas representan el hábitat de especies de valor comercial como la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*), el callo de hacha (*Pinna rugosa*), y la almeja chocolate (*Megapitaria squalida*), entre otras. La flora acuática, está representada principalmente por praderas de fanerógamas (pastos marinos) y en menor medida de algunos mantos de macroalgas (especialmente algas cafés y rojas), los cuales generan una elevada cantidad de materia orgánica, misma que al descomponerse es utilizada en la trama trófica por diversos organismos que habitan al interior de la laguna. En comparación, el sustrato rocoso es muy escaso en proporción a la extensión de la laguna; además, buena parte del

mismo es de origen artificial, colocado principalmente en el sitio como parte de la infraestructura de la Compañía Exportadora de Sal. Entre estas zonas se incluye el bordo externo limítrofe de la salinera y el muelle de carga de la sal, donde se ha colocado concreto como parte de las instalaciones portuarias, y grandes cantidades de rocas de tipo caliza a manera de rompeolas.

Sitio 1. Espinazo del Diablo

Este fue uno de los cuatro sitios donde se confirmó morfológica y genéticamente la presencia de la especie *C. gigas* en la Laguna Ojo de Liebre. Los márgenes de la zona intermareal y submareal de este sitio presenta un sustrato rocoso blando a manera de bloques, el cual se encuentra cubierto por ostiones incrustados firmemente en el sustrato (Figura 3), dadas las características físicas (porosidad) del mismo. La superficie estimada de la zona con presencia de ostiones fue de 250 m de largo por 4 m de ancho (aproximadamente 100 m² totales), y puede verse en la Figura 3 que los organismos aparecen solo en la zona intermareal. La longitud promedio estimada de los ejemplares recolectados pertenecientes a la especie *C. gigas* fue de 7.375 ± 1.711 , que es la más elevada de todas las evaluadas en los sitios visitados. El sustrato que presenta presencia de ostiones se encuentra en un proceso de litificación hacia roca consolidada mediante diagénesis; por el contrario, el sustrato que no presenta ostiones está sufriendo erosión debido a la acción conjunta de mareas y vientos. Lo anterior posiblemente sea evidencia de la elevación del nivel del mar que se ha observado en la laguna en décadas recientes, de acuerdo a observaciones de las autoridades de la Reserva.

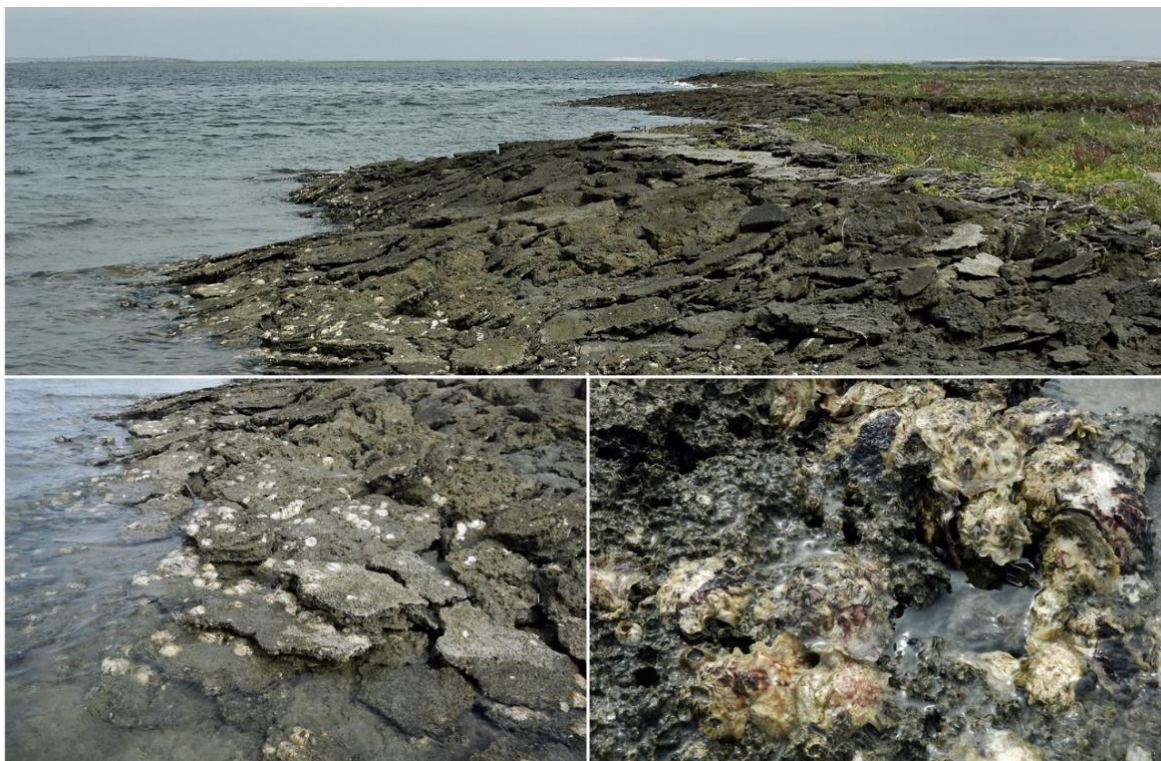


Figura 3. Sitio 1, Espinazo del Diablo. Vista general del sitio y de ostiones incrustados.
Fuente: UABCS/M. Olán González, 2018.



Figura 4. Ostiones colectados en el sitio de colecta 1, Espinazo del Diablo. *Fuente: UABCS/L. Hernandez Moreno, 2018.*

Sitio 2. Bordo (exterior) de Exportadora de Sal.

En este sitio también fue confirmada la presencia de *C. gigas*. El sustrato está constituido por rocas calizas con una extensión aproximada de dos kilómetros, pero los ostiones confirmados como *C. gigas* solo aparecen en una pequeña franja de 3 m de espesor (6,000 m² aproximadamente) (Figura 5). Las rocas depositadas a lo largo de este bordo se unen al muelle para las operaciones de carga de la sal hacia Isla Cedros y que en temporada de observación de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) funciona como muelle turístico. Por observaciones de canastas de cultivo abandonadas (las cuales fueron dejadas en posición; Figura 6 y 7) y comentarios de personal de CONANP, nos enteramos que en el pasado en esta zona se mantenían cultivos de ostión japonés de manera artesanal, aunque en la actualidad el bordo se encuentra libre de esa actividad. La talla promedio de los especímenes confirmados como *C. gigas* y recolectados aquí fue de 6.733 ± 1.591 cm.



Figura 5. Sitio 2, Bordo (exterior) de Exportadora de Sal. *Fuente: UABCS/L. Hernandez Moreno, 2018.*



Figura 6. Canasta de cultivo de ostión japonés abandonada en el sitio 2, Bordo (exterior) de Exportadora de Sal. Fuente: UABCS/L. Hernandez Moreno, 2018.

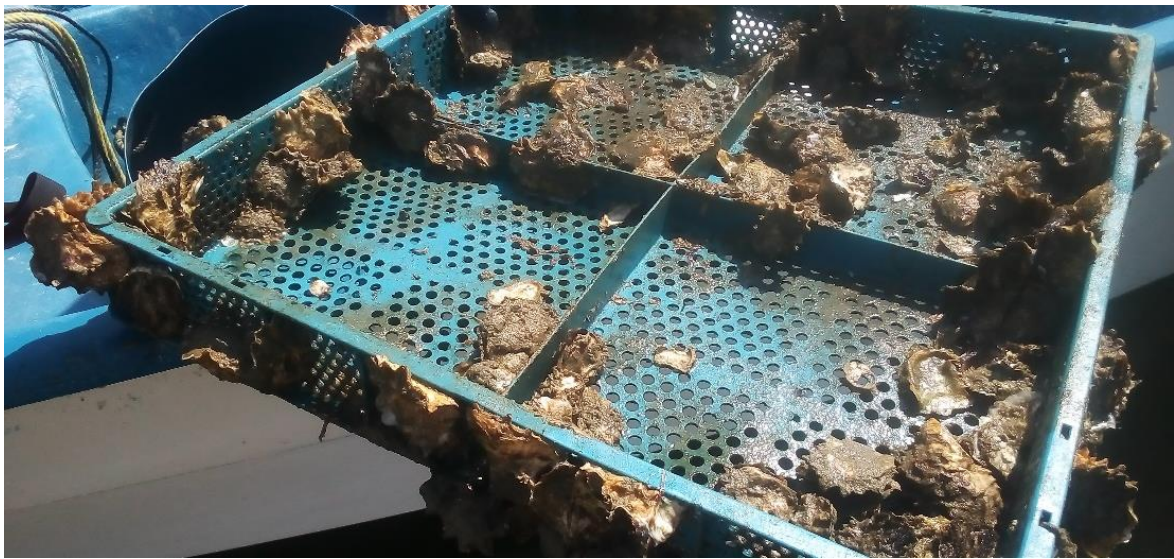


Figura 7. Ostiones creciendo en la canasta de cultivo abandonada en el sitio 2, Bordo (exterior) de Exportadora de Sal. Fuente: UABCS/L. Hernandez Moreno, 2018.

Sitio 3. Paradero Beatriz

Este sitio forma parte del muelle de la Exportadora de Sal y está constituido de piedra caliza. En temporada de avistamiento de la ballena gris, el paradero se utiliza para el embarque y desembarque de turistas. La extensión del paradero es aproximadamente 25 m de largo y 2 m de espesor (50m²). La distancia al Puerto El Chaparrito es de aproximadamente un kilómetro, y a diferencia de ese sitio, donde la densidad de ostiones es notable, aquí la densidad es baja (Tabla 2). Los análisis genéticos permitieron confirmar que los ejemplares presentes pertenecen a la especie *C. gigas*.



Figura 8. Sitio 3, Paradero Beatriz (muelles para actividades turísticas). *Fuente: UABCS/L. Hernandez Moreno, 2018.*



Figura 9. Ostiones sobre roca libre en el sitio 3 (Paradero Beatriz). *Fuente: UABCS/L. Hernandez Moreno, 2018.*

Sitio 4. Puerto El Chaparrito

Este sitio lo constituye el muelle de carga de sal, el cual tiene una extensión aproximada de dos kilómetros y está constituido por acumulación de roca caliza (Figura 10). A pesar del tamaño de la estructura, solo en los primeros 500 metros de este muelle (medidos a partir del sitio de desembarque y hacia mar adentro) se encuentra una gran densidad de ostiones (Tabla 2) que, de acuerdo a los análisis genéticos, pertenecen a las especies *C. gigas* y *Saccostrea palmula* (Figuras 11 y 12). Los animales se distribuyen desde la zona intermareal hasta una profundidad máxima de 1 m, ocupando una superficie aproximada de 1,000 m².



Figura 10. Sitio 4, Puerto El Chaparrito. *Fuente: UABCS/L. Hernandez Moreno, 2018.*

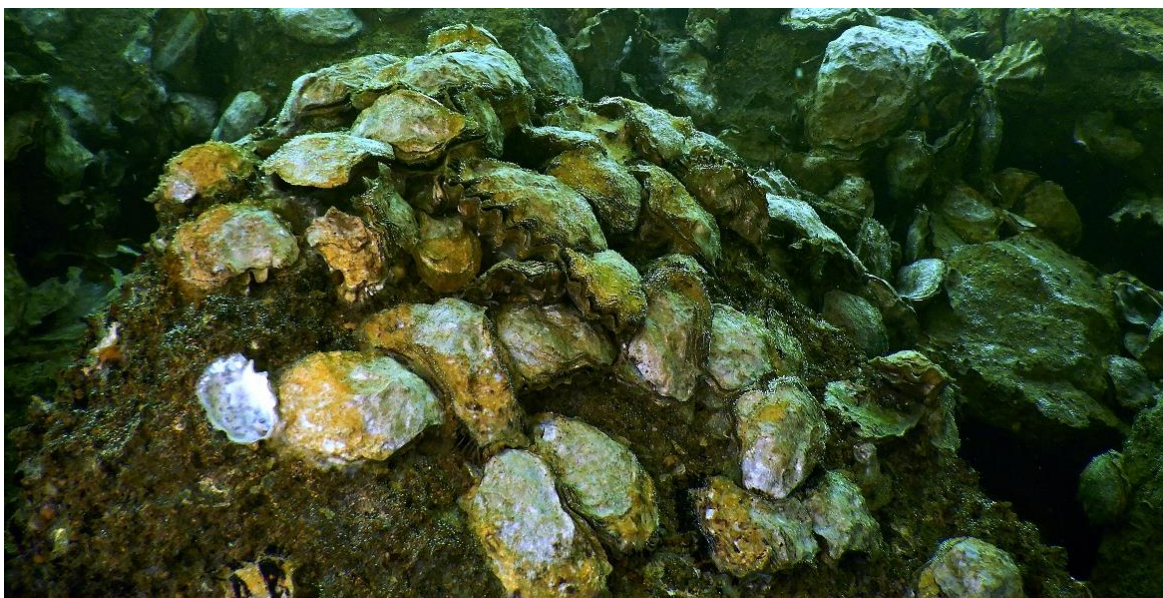


Figura 11. Ostiones sumergidos en la zona intermareal del sitio 4, Puerto El Chaparrito. *Fuente: UABCS/M. Olán González, 2018.*



Figura 12. Ostiones colectados en la zona intermareal del sitio 4, Puerto El Chaparrito. *Fuente: UABCS/L. Hernandez Moreno, 2018.*

Sitio 5. Campo Don Nicho

Este sitio está constituido por parches de sustrato rocoso en la zona intermareal arreglados de manera irregular (Figura 13). Aquí fue donde hubo la menor cantidad de ostiones, aunque el sustrato parece ser adecuado para su asentamiento y crecimiento. Es posible que la poca exposición a corrientes y mareas al interior de la laguna, donde la temperatura es ligeramente más alta, podría estar condicionando el posible reclutamiento de los ostiones. La superficie estimada fue de 100 x 4 m (400 m²). Los análisis genéticos corroboraron la presencia de *C. gigas* y *Saccostrea palmula*.



Figura 13. Sitio 5, Campo Don Nicho. *Fuente: UABCS/M. Olán González, 2018.*

Sitio 6. La Choyita

Este sitio presenta características muy similares al sitio 1 (Espinazo del Diablo), con un sustrato rocoso en proceso de litificación a manera de bloques y pequeños islotes (Figura 14). Su tamaño estimado fue de 250 x 3 m (750 m²). Se observó una alta densidad de ostiones, pero no se recolectó material ya que no se contaba con equipo de buceo y la mayoría de ejemplares estaba debajo del nivel de marea (Tabla 2). Será necesario realizar un muestreo por medio de sumersiones para verificar la identidad de los ostiones observados.



Figura 14. Ostiones sobre islote del sitio de colecta 6, La Choyita. *Fuente: UABCS/L. Hernandez Moreno, 2018.*

Sitio 7. Los Paredones

La zona intermareal del sitio está compuesta de cantos rodados, mientras que en los límites entre la zona supralitoral e intermareal se encuentran bloques de rocas a lo largo de la costa (Figura 15). Los ostiones (confirmados tanto morfológica como genéticamente como *C. gigas*) se encuentran entre el límite superior de la zona intermareal y límite inferior de la zona supralitoral, presentando densidades bajas y tallas pequeñas (promedio de 6.10 ± 0.624 cm de longitud total para los identificados como ostión japonés). Aunque el sustrato parece adecuado, la ubicación parece no promover el reclutamiento y crecimiento de los individuos; para determinar las causas probables de dichas observaciones será necesario realizar estudios futuros que permitan identificar las características limitantes. La superficie del sitio es de alrededor de 150 x 2 m (300 m²).



Figura 15. Sitio 7, Los Paredones. Fuente: UABCS/M. Olán González, 2018.

Sitio 8. La Piedra.

Este es el cuarto sitio donde se confirmó genética y morfológicamente la ocurrencia del ostión japonés en vida libre. El área es relativamente pequeña (200 m de largo por 8 m de ancho; 1,600 m²); está constituida por rocas sedimentarias de gran tamaño, las cuales están conectadas con una barra arenosa hacia los márgenes de la laguna (Figura 16); aunque la densidad de ostiones es relativamente baja (Tabla 2), la talla de estos era considerable (7.60 ± 1.36 cm de largo).



Figura 16. Sitio 8, La Piedra. Fuente: UABCS/M. Olán González, 2018.

Sitio 9. El Alambre

El margen costero de esta localidad está compuesto por conglomerados, asociados a un sustrato arenoso (Figura 17). La presencia de ostiones puede considerarse importante ya que estos se encuentran a lo largo de todo el sitio, aunque en baja densidad (Tabla 2); según la determinación genética, los ostiones corresponden a las especies *C. gigas* y *S. palmula*. La superficie ocupada por los organismos es de unos 200 x 2 m (400 m²).



Figura 17. Sitio 9, El Alambre. *Fuente: UABCS/M. Olán González, 2018.*

Finalmente, en el mes de mayo de 2019 se visitaron dos sitios más (La Concha y La Lagunita), donde no se pudieron tomar imágenes porque los animales estaban en zonas sumergidas. Por observación, se denotó que La Concha presenta un sustrato rocoso y plano donde los ostiones forman una “costra” superficial, aunque en algunos puntos las conchas de animales muertos se han acumulado y permiten formar un pequeño relieve sobre el fondo (no más de 30 cm de altura). En el caso de La Lagunita, el fondo no es rocoso sino presenta parches de roca rodeados de extensas áreas de arena. Los ostiones crecen sobre las rocas, pero han comenzado a colonizar los fondos blandos ya que las conchas de organismos muertos caen en la arena y en algunos casos representan sitios de crecimiento posterior de otros ostiones, posiblemente de cohortes más jóvenes.

Es importante resaltar que, debido a la compleja forma de los ejemplares, que aumenta la probabilidad de cometer errores de identificación en el campo, no fue posible determinar la abundancia específica de la especie invasora; ya que como se mencionó previamente, además del ostión japonés al menos se confirmó la presencia de *S. palmula*. Será necesario realizar un seguimiento más puntal de las poblaciones para obtener resultados concretos. No obstante, en la Tabla 2 se presenta un estimado de la densidad de ostiones de ambas especies en común, para los 9 sitios muestreados en el intermareal.

Tabla 2. Densidad de ostiones por sitio de muestreo. En todos los casos se utilizaron tres cuadrantes de 25 x 25 cm como referencia de cálculo.

Sitio*	Densidad (individuos/m ² ; promedio y desviación típica)	Superficie con presencia de ostiones (m ²)	Número total estimado de ostiones en el sitio	Distancia entre el punto medio de las granjas y los sitios de muestreo (km)
1. Espinazo del Diablo	149.33 ± 24.44	1,000	149,000	9.40
2. Bordo Exportadora de Sal	53.33 ± 24.44	6,000	319,980	7.87
3. Paradero Beatriz	32.00 ± 16.00	50	1,600	7.12
4. Puerto el Chaparrito	309.33 ± 80.53	1,000	30,933	6.91
5. Campo Don Nicho	10.66 ± 9.24	400	4,264	4.85
6. La Choyita	106.66 ± 24.44	750	79,995	20.29
7. Los Paredones	21.33 ± 9.24	300	6,399	16.92
8. La Piedra	24.00 ± 8.00	1,600	38,400	12.87
9. El Alambre	204.00 ± 80.30	400	81,600	11.93

*En los sitios La Lagunita y La Concha no se midió la densidad de ostiones presentes.

Como se muestra, los sitios con las mayores densidades resultaron ser aquellos que presentaban sustrato rocoso en su zona intermareal (Tabla 2), resaltando Puerto El Chaparrito (sitio 4), seguido de El Alambre (sitio 9), el Espinazo del Diablo (sitios 1) y La Choyita (sitio 6). Aparentemente, la densidad de ostiones no parece estar relacionada con la distancia a las granjas, ya que los sitios más lejanos a los sistemas de cultivos presentan densidades mayores a otros mucho más cercanos (Figura 1; Tabla 2).

Por otra parte, las cifras de individuos por metro cuadrado pueden parecer elevadas (con un promedio de 101 ind/m² para los nueve sitios), pero en realidad no lo son. De acuerdo a Chávez-Villalba *et al.* (2010), en un cultivo normal con organismos de tallas de 6 cm, la densidad baja de cultivo es de 75 individuos por caja de 55 x 55 cm; es decir, 248 ind/m² (casi el triple del promedio observado en la Laguna Ojo de Liebre). Para las densidades medianas (150 ostiones por caja) o altas (300 por caja), la cifra asciende a 496 y 992 ind/m², respectivamente. En resumen, las densidades no parecen representar un problema en sí mismas.

Tomando en cuenta la superficie total de los sitios visitados y la densidad promedio, ambos valores se multiplicaron para estimar el número total de ostiones por sitio; la cifra final fluctúa entre 1,600 organismos en Paradero Beatriz y 319,980 en el bordo de Exportadora de Sal (Tabla 2), dando un gran total entre los nueve sitios de 712,501 animales. Para poner esta cifra en perspectiva, es el equivalente a 1,435 cajas de cultivo a una densidad media (496 ind/m²), lo que equivale a 287 módulos de cinco cajas (el arreglo normal en facilidades acuaculturales; Chávez-Villalba, 2014), y a solamente siete líneas de cultivo de 200 m de largo, con módulos espaciados cada 5 m (40 módulos). Esta última cifra es muy inferior a la que se maneja en un cultivo típico, con al menos 50 líneas

(Chávez-Villalba, 2014). Finalmente, dada la dificultad inherente para la identificación de los ostiones a nivel especie en el campo, y a que el muestreo para la identificación no se realizó de forma aleatoria sino tomando ejemplares de fácil acceso o bien eligiendo aquellos que presentaran características morfológicamente afines a las que sirven para diagnosticar a *C. gigas*, en realidad no es posible determinar la proporción de los ostiones vistos en campo que pertenecían a esta última especie. En este sentido, por opinión del personal de campo, se presenta la hipótesis que un máximo del 30% de los individuos podría pertenecer a la especie exótica; sin embargo, es necesario llevar a cabo un muestreo más fino y sistemático para determinar esto.

En resumen, el trabajo de campo en la Laguna Ojo de Liebre demuestra que además de la ocurrencia de la especie nativa *S. palmula*, se ha confirmado la presencia de organismos en vida libre de *C. gigas*, pero su distribución está muy localizada a zonas rocosas y de sustratos artificiales, y su abundancia es baja considerando la extensión de la laguna (superior a las 206,000 ha, según el Plan de Manejo; INE, 2000). Por lo anterior, se sugiere considerar al ostión japonés como una especie exótica en etapa inicial de vida libre. La cantidad relativamente pequeña de animales y el hecho que principalmente están colonizando sustratos artificiales hace difícil pensar que la especie esté causando daños al ecosistema local, aunque puede haber afectado a las especies del bentos en los casos que ha ocupado fondos rocosos naturales. La confirmación de la presencia de *C. gigas* fuera de las áreas de cultivo obliga a la planeación de una estrategia que incluya tanto un sistema de erradicación, así como acciones para el fomento de buenas prácticas entre los productores, quienes actualmente adquieren semilla diploide de los laboratorios. Es clave que tanto las empresas que producen los organismos como las que los utilizan para engorda y comercialización final, tomen conciencia del problema potencial que esta actividad puede causar en la Reserva y desarrollen acciones que minimicen el riesgo de dispersión de la especie hacia ambientes naturales.

4.2 Caracterización oceanográfica de los sitios.

La primera información presentada es el historial térmico en la Laguna Ojo de Liebre (Figura 18). Puede observarse que hasta antes de 2014 los valores fluctuaban cerca de los 19°C, pero en 2015 se elevaron notablemente como resultado del evento de Oscilación Sureña de El Niño, el más fuerte desde 1997. Para los años posteriores el promedio de temperatura sigue siendo más alto que el normal, ya que en ningún mes el valor bajó de 20°C. Condiciones excesivamente cálidas (superiores a 25°C) no son aceptables para el ostión japonés ya que ello causa severas mortalidades y daños económicos a los acuicultores (Chávez-Villalba *et al.*, 2010). No obstante, si está entre 21 y 25 °C se favorece la reproducción de la especie (Duterte *et al.*, 2010), de tal modo que es posible que después de 2014 la situación haya sido más aceptable para que los organismos diploides (si están presentes en los cultivos) fueran más fecundos, o que la sobrevivencia de las larvas aumentara.

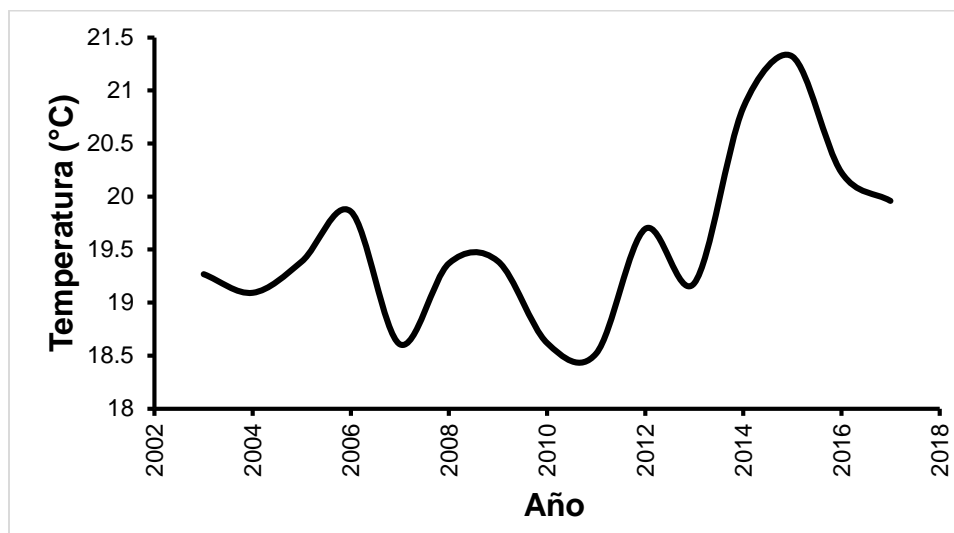


Figura 18. Serie temporal sobre oscilaciones de temperatura en la Laguna Ojo de Liebre entre los años 2002 al 2018. *Elaboró: UABCS/Héctor Reyes Bonilla, 2018.*

Es importante denotar que la figura anterior muestra cómo el promedio de temperatura en la laguna ha ido aumentando gradualmente en la zona de estudio, quizá como evidencia de una tendencia positiva relacionada con el cambio climático global. Esto no se puede afirmar con una serie de tiempo tan corta, pero llama la atención hacia la conducción de un estudio más fino al respecto, y hacia las consecuencias que ello podría tener para facilitar el éxito de *C. gigas* como especie invasora.

Por otro lado, el perfil promedio de la temperatura superficial 2000-2013 muestra que la porción superficial de la laguna (entre 0 y -20 m) mantiene un valor muy similar cercano a 18°C, y baja gradualmente (Figura 19). La termoclina parece estar un poco más profunda en los sitios cercanos a los cultivos que en el promedio general de la laguna, quizá porque la primera es una zona más somera. Los valores mostrados en la figura están dentro de los niveles normales de tolerancia de *C. gigas*, por lo que no parece que sea un factor que pueda afectar negativamente a los cultivos, pero además puede indirectamente favorecer su establecimiento en vida libre.

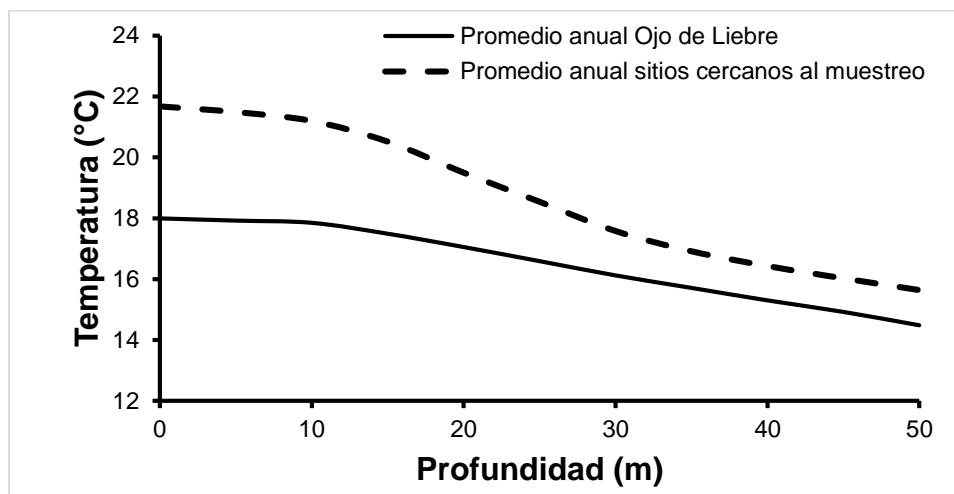


Figura 19. Perfil de temperatura en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo. *Elaboró: UABCS/Héctor Reyes Bonilla, 2018.*

En relación con la concentración de clorofila en superficie, los valores históricos fluctúan alrededor de 2.5 mg/m^3 pero tienen una caída notoria en los años 2015-2016, y una recuperación ligera en 2017 (Figura 20). La productividad primaria se comporta de manera inversa con la temperatura oceánica ya que la primera variable va ligada a los fenómenos de surgencia local, los cuales enfrían el agua superficial. Sin embargo, la concentración reciente del pigmento es suficientemente alta para indicar una producción primaria aceptable en la zona, que favorece el crecimiento de los ostiones filtradores de plancton. Cabe señalar que para esta variable no se presentan perfiles dado que la información satelital es exclusivamente superficial.

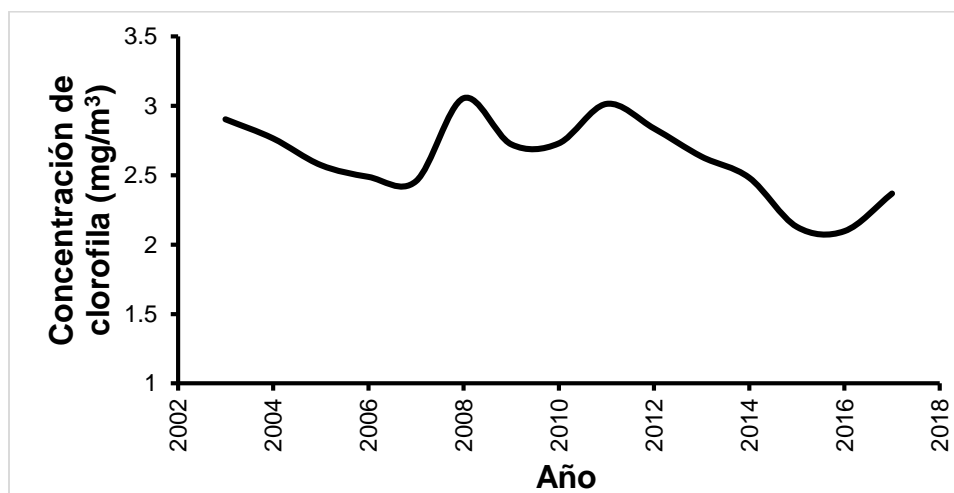


Figura 20. Serie temporal sobre la concentración de clorofila en superficie en la Laguna Ojo de Liebre. *Elaboró: UABCS/Héctor Reyes Bonilla, 2018.*

Como se observa en la Figura 21, la salinidad en la laguna mantiene una cierta estabilidad hasta las zonas más profundas, fluctuando alrededor de los 33.65 UPS. En contraste, en las zonas cercanas a los sitios de presencia de ostiones, las condiciones son distintas, con salinidades > 33.8 UPS en superficie, aunque gradualmente esos valores se van pareciendo a los generales dentro de la laguna. En todos los casos, la salinidad encontrada está dentro de los valores esperados en una zona de influencia marina y con relativamente baja evaporación como es la Laguna Ojo de Liebre en la REBIVI.

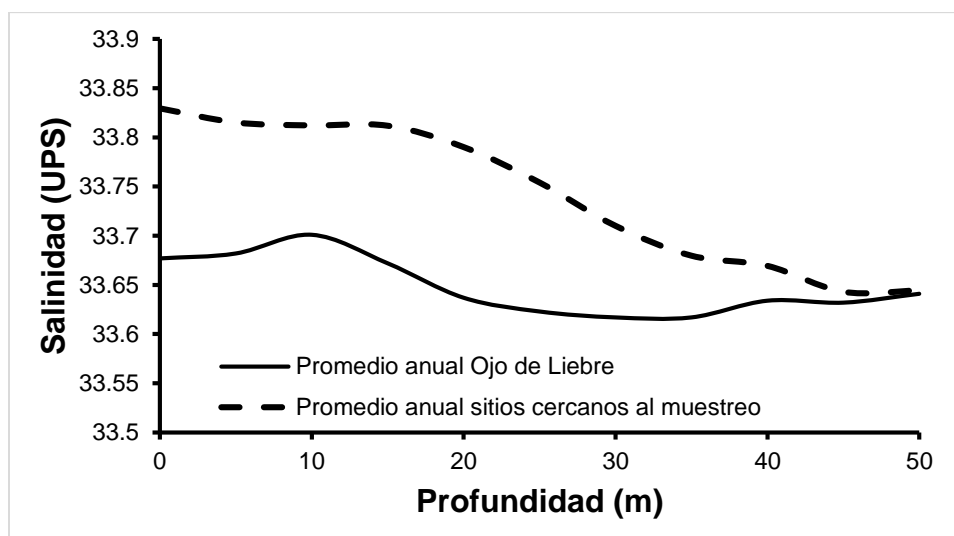


Figura 21. Perfil de salinidad en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo. *Elaboró: UABCS/Héctor Reyes Bonilla, 2018.*

Por otro lado, en el caso del oxígeno disuelto el perfil a escala de la laguna muestra que en la superficie se tienen cifras promedio ligeramente superiores a 5.3 mg/l, entre los -20 y -30 metros aumenta hasta 5.5, y posteriormente baja de manera un tanto abrupta por efecto de respiración a profundidades mayores de 35 m (Figura 22). En contraste, en los sitios cercanos a las zonas de observación de ostiones el agua está más oxigenada cerca de la superficie (que es la zona de habitación del ostión japonés), y a partir de los 25 m comienza a bajar para casi igualarse al promedio lagunar. Considerando que el ostión japonés puede sobrevivir bien en condiciones desde 3 mg/l hasta saturación de oxígeno (Le Moullac *et al.*, 2007), y de manera semejante al caso de la salinidad, las condiciones de oxígeno de la Laguna Ojo de Liebre son muy adecuadas para la presencia de ostiones, lo cual explica el éxito relativo de la actividad económica local.

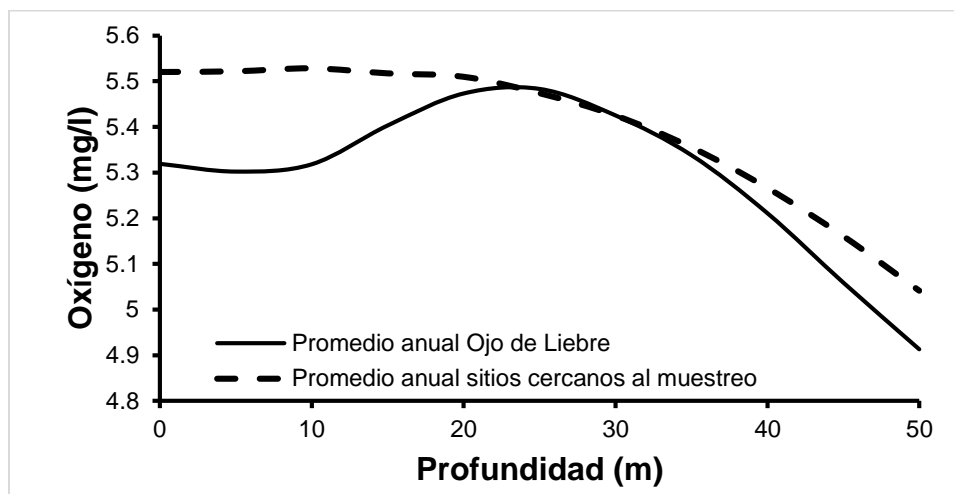


Figura 22. Perfil de concentración de oxígeno en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo. *Elaboró: UABCS/Héctor Reyes Bonilla, 2018.*

Para el caso de los nitratos, uno de los principales nutrientes necesarios para el fitoplancton, la Figura 23 indica que en toda la laguna hay valores muy bajos desde superficie hasta los -30 metros, y posteriormente empiezan a subir como producto de la actividad bacteriana. La baja concentración de este nutriente indica que aunque sea aportado por el océano durante las mareas vivas, es rápidamente consumido en el interior de la laguna. El resultado podría indicar que los ostiones de la Reserva pueden tener alguna deficiencia en la cantidad de proteína corporal, algo que será consultado con los productores en fechas próximas.

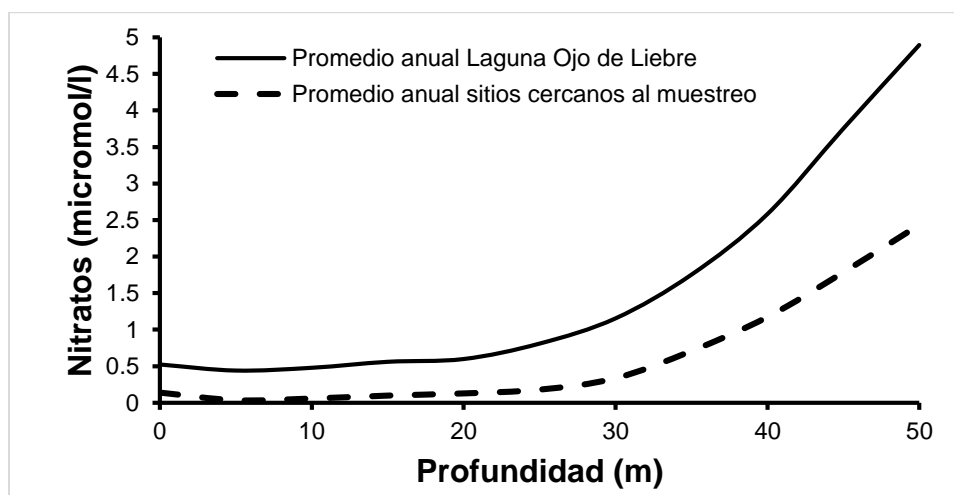


Figura 23. Perfil de concentración de nitratos en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo. *Elaboró: UABCS/Héctor Reyes Bonilla, 2018.*

Los fosfatos tuvieron valores prácticamente idénticos en el promedio lagunar y en los sitios de ocurrencia de ostiones (Figura 24). La concentración inicial (entre 0.4 y 0.5 micromol/l) es muy similar a la que se observa para los nitratos (Figura 23), situación un tanto llamativa dado que en condiciones normales el nitrógeno es un elemento varias veces más común en el océano que el fósforo. Este evento indica que las aguas de la laguna son muy adecuadas para el desarrollo del fitoplancton y por ende, para el crecimiento de los ostiones ya que el fósforo es un elemento necesario para la generación de energía en forma de adenosina trifosfato (ATP), para la construcción de la molécula de ADN y por ende, para el crecimiento celular.

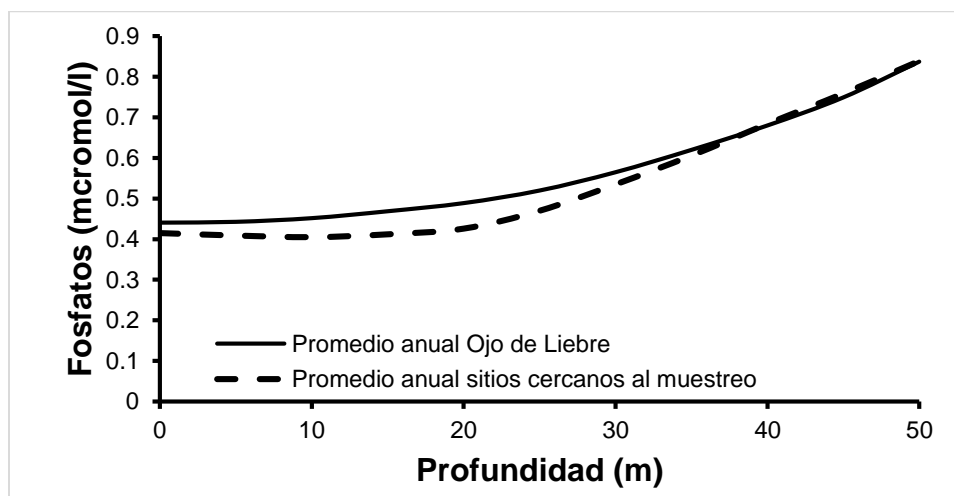


Figura 24. Perfil de concentración de fosfatos en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo. *Elaboró: UABCS/Héctor Reyes Bonilla, 2018.*

Finalmente, los silicatos resultaron ser muy similares en concentración en toda la laguna y aparecen en altas concentraciones (Figura 25). El silicio es un elemento traza para los animales, pero es un indicador indirecto de la densidad de un componente clave del fitoplancton: las diatomeas pelágicas y ticoplanctónicas, las cuales son parte de la alimentación del ostión dentro de los cultivos. La alta cantidad del ion indica de nuevo que las aguas de la Laguna Ojo de Liebre son adecuadas para el cultivo de moluscos.

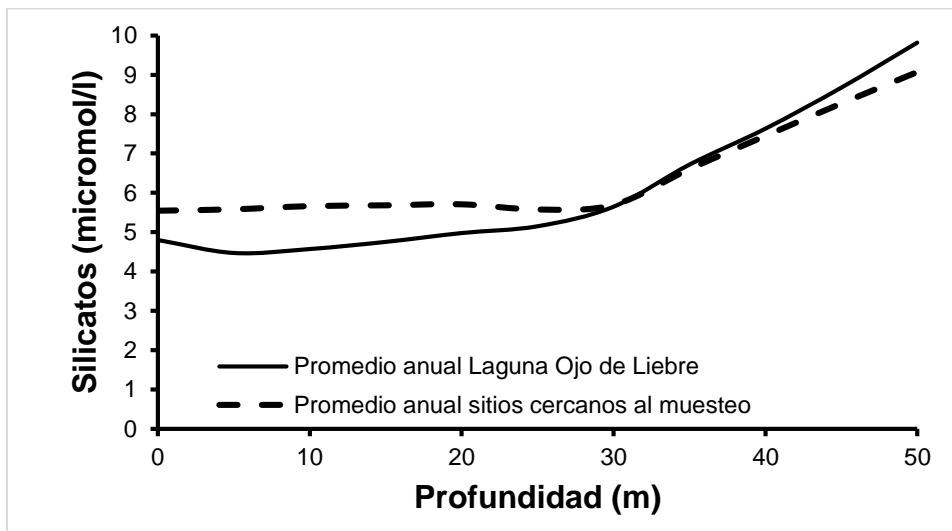


Figura 25. Perfil de concentración de silicatos en la Laguna Ojo de Liebre y en un punto genérico situado en el centroide aproximado de los sitios de muestreo. *Elaboró: UABCS/Héctor Reyes Bonilla, 2018.*

En resumen, las condiciones oceanográficas de la Laguna Ojo de Liebre, y en particular de los sitios cercanos a donde los ostiones de vida libre fueron localizados, son adecuadas y en su caso, podrían ser favorables para inducir el éxito de colonización de organismos resultantes de reproducción entre individuos confinados al cultivo.

5 REFERENCIAS

- Aguirre-Muñoz, A., Buddemeier, R. W., Camacho-Ibar, V., Carriquiry, J. D., Ibarra-Obando, S. E., Massey, B. W. & Wulff, F. 2001. Sustainability of coastal resource use in San Quintin, Mexico. *AMBIO*, 30: 142-149.
- Avilés-Quevedo, S. & Vázquez-Hurtado, M. 2006. Fortalezas y debilidades de la acuicultura en México. In: Guzmán-Amaya, P. & Fuentes-Castellanos, D.F. (Compiladores). Pesca, acuicultura e investigación en México. Comisión de Pesca de la Cámara de Diputados LIX Legislatura, México. 69-86 p. ISBN: ISBN 970-9764-05-5
- Bastida-Zavala, J. R., de León-González, J. A., Carballo-Cenizo J. L. & Moreno-Dávila, B. 2014. Invertebrados bénticos exóticos: esponjas, poliquetos y ascidias. In: Mendoza, R & Koleff, P. (Eds.). *Especies acuáticas invasoras en México*. CONABIO, México. 317-326 p. ISBN: 978-607-8328-04-8.
- Cardoso, J. F., Langlet, D., Loff, J. F., Martins, A. R., Witte, J. I., Santos, P. T., & van der Veer, H. W. 2007. Spatial variability in growth and reproduction of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) along the west European coast. *Journal of Sea Research*, 57: 303-315.
- Carrasco, M. F., & Barón, P. J. 2010. Analysis of the potential geographic range of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) based on surface seawater temperature satellite data and climate charts: the coast of South America as a study case. *Biological Invasions*, 12: 2597-2607.
- Chávez-Villalba, J. 2014. Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiológica*, 24: 175-190.
- Chávez-Villalba, J., Arreola-Lizárraga, A., Burrola-Sánchez, S., & Hoyos-Chairez, F. 2010. Growth, condition, and survival of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultivated within and outside a subtropical lagoon. *Aquaculture*, 300: 128-136.
- Chávez-Villalba, J., Villelas-Ávila, R., & Cáceres-Martínez, C. 2007. Reproduction, condition and mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in Sonora, México. *Aquaculture Research*, 38: 268-278.
- Coan, E.C. & Valentich Scott, P. 2012. Bivalve seashells of tropical west America: Marine bivalve mollusks from Baja California to Northern Peru. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara.
- Dutertre, M., Beninger, P. G., Barillé, L., Papin, M., & Haure, J. 2010. Rising water temperatures, reproduction and recruitment of an invasive oyster, *Crassostrea gigas*, on the French Atlantic coast. *Marine Environmental Research*, 69: 1-9.
- Enríquez-Espinoza, T. L., Grijalva-Chon, J. M., Castro-Longoria, R., & Ramos-Paredes, J. 2010. *Perkinsus marinus* in *Crassostrea gigas* in the Gulf of California. *Diseases of Aquatic Organisms*, 89: 269-273.
- Herbert, R. J., Humphreys, J., Davies, C. J., Roberts, C., Fletcher, S., & Crowe, T. P. 2016. Ecological impacts of non-native Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) and management measures for protected areas in Europe. *Biodiversity & Conservation*. 25: 2835-2865.

- Islas-Olivares, R., Guardado, V., & Pérez, A. M.** 1982. Crecimiento y sobrevivencia del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en la Laguna Manuela: B.C., México. *Ciencias Marinas*, 8: 47-54.
- Instituto Nacional de Ecología (INE).** 2000. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. México, D.F. 242 p.
- Keen, A. M.** 1971. Sea shells of tropical west America; marine mollusks from Baja California to Peru. 2nd ed. Stanford University Press.; 1064 pp., 22 pls.
- Le Moullac, G., Quéau, I., Le Souchu, P., Pouvreau, S., Moal, J., René Le Coz, J., & François Samain, J.** (2007). Metabolic adjustments in the oyster *Crassostrea gigas* according to oxygen level and temperature. *Marine Biology Research*, 3: 357-366.
- Luna-González, A., De Jesús Romero-Geraldo, M., Campa-Córdova, Á., Orduña-Rojas, J., Valles-Jiménez, R., & Ruíz-Verdugo, C. A.** 2008. Seasonal variations in the immunological and physiological parameters of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultured in Bahía de Macapule (Sinaloa, Mexico). *Aquaculture Research*, 39: 1488-1497.
- PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).** 2019. Confirmación de la identidad de los ejemplares de ostión japonés recolectados en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, y revisión de su estado reproductivo. Proyecto GEF 00089333 “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”. Reyes Bonilla, H., E. Balart Paez & M. A. Ojeda Ruiz de la Peña. Laboratorio de Sistemas Arrecifales, UABCS, La Paz, Baja California Sur, México. 25 pp.
- Robbins, L.L., Hansen, M.E., Kleypas, J.A. & Meylan, S.C.** 2010. CO2calc—A user-friendly seawater carbon calculator for Windows, Max OS X, and iOS (iPhone): U.S. Geological Survey Open-File Report 2010–1280, 17 p. Página web: <https://pubs.usgs.gov/of/2010/1280/>
- Tovar-Hernández, M. A., Yáñez-Rivera, B., Villalobos-Guerrero, T. F., Aguilar-Camacho, J. M. & Ramírez-Santana, I. D.** 2014. Invertebrados marinos exóticos en el Golfo de California. In: Low Pfeng, A., Quijón, P. A. & Peters Recagno, E. M. (eds.). *Especies invasoras acuáticas: Casos de estudio en ecosistemas de México*. SEMARNAT, INECC, Prince Edward Island, México. 381-410 p. ISBN: 978-1-304-90189-7.
- Trabal, N., Mazón-Suástegui, J. M., Vázquez-Juárez, R., Asencio-Valle, F., Morales-Bojórquez, E., & Romero, J.** 2012. Molecular analysis of bacterial microbiota associated with oysters (*Crassostrea gigas* and *Crassostrea corteziensis*) in different growth phases at two cultivation sites. *Microbial Ecology*, 64:555-569.
- Zhang, Y., Wang, Z., Yan, X., Yu, R., Kong, J., Liu, J., & Guo, X.** 2012. Laboratory hybridization between two oysters: *Crassostrea gigas* and *Crassostrea hongkongensis*. *Journal of Shellfish Research*, 31: 619-625.