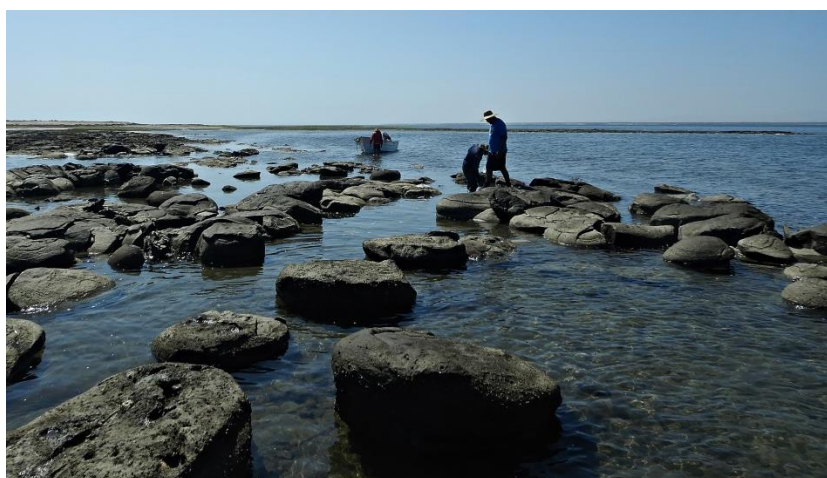




Proyecto No. 00089333: “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”

“Plan de manejo y control del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno”



Fuente: Fotografía tomada por Manuel Olán González, 2018.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

Julio 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: Plan de manejo y control del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno

Objetivos: Prevenir, detectar y reducir los riesgos de dispersión y establecimiento del ostión japonés en la REBIVI; así como establecer programas de detección temprana, control y erradicación de poblaciones silvestres de ostión japonés de la REBIVI.

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

Asesores científicos: Dr. Eduardo Balart Páez, Dr. 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. Servicio de consultoría para evaluar la situación actual del ostión japonés en la zona marina de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno – Plan de manejo y control del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en 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”. Héctor Reyes Bonilla, Eduardo Balart Páez y Miguel Ángel Ojeda Ruiz de la Peña. Laboratorio de Sistemas Arrecifales, UABCS, La Paz, Baja California Sur, México. 54 pp.

Área geográfica objeto del informe: Reserva de la Biosfera El Vizcaíno; Laguna Ojo de Liebre.

Fecha de inicio: 20 de agosto de 2018

Fecha de terminación: 30 de junio de 2019

Resumen: Este proyecto se enmarca en la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras, cuyo objetivo es: contar con un diagnóstico de la situación actual de la especie exótica ostión japonés (*Crassostrea gigas*) que sirva como base para definir las mejores estrategias para su manejo. La presencia del ostión japonés fuera de los sitios de cultivo en la REBIVI se encuentra en su fase inicial y no en un caso avanzado de invasión. Por lo que los primeros pasos para su control deberían incluir la erradicación de las poblaciones detectadas fuera de los sitios de cultivo, seguido de acciones para evitar la dispersión de semilla, o en su defecto contenerla, por ejemplo, mediante estructuras artificiales para su fijación que permitan concentrar su dispersión y evitar con ello el establecimiento en nuevos sitios de la Reserva. Para lograr dichos objetivos es indispensable la colaboración y participación de todos los actores involucrados en el cultivo del ostión japonés en la REBIVI: representantes del gobierno en sus tres niveles, productores e instituciones académicas.

Vínculo con la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras: La información aquí descrita se vincula con el Objetivo estratégico 1 *“Prevenir, detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras”*; en particular con las metas 1.4 *“Mecanismos y protocolos estandarizados de prevención en operación, para reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de 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
1.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.....	2
1.2. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	4
1.3. RASGOS MORFOLÓGICOS	6
2. ÁREA DE ESTUDIO	8
2.1. IMPACTOS DEL OSTIÓN JAPONÉS A NIVEL MUNDIAL	9
2.2. EL CASO DE MÉXICO	16
2.3. PRESENCIA DEL OSTIÓN JAPONÉS EN LA REBIVI.....	17
2.4. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE CULTIVO Y ORIGEN DE LA SEMILLA DE OSTIÓN JAPONÉS EN LA REBIVI	18
3. OBJETIVOS ESTRATÉGICOS DEL PLAN DE CONTROL Y MANEJO.....	20
4. DIAGNÓSTICO Y PROBLEMÁTICA DEL OSTIÓN JAPONÉS EN LA REBIVI	20
4.1. RECLUTAMIENTO Y ZONAS DE DISPERSIÓN	20
4.2. BIOTECNOLOGÍA REPRODUCTIVA.....	21
5. MECANISMOS PARA PREVENIR, CONTENER LA DISPERSIÓN Y DISMINUIR LA OCURRENCIA DEL OSTIÓN JAPONÉS EN LA RESERVA.....	23
5.1. SECTORES INVOLUCRADOS Y SU PARTICIPACIÓN EN CADA ACCIÓN	23
5.2. PROGRAMA DE MONITOREO	24
5.3. ACCIONES DE PREVENCIÓN: BUENAS PRÁCTICAS ACUACULTURALES Y USO DE SEMILLAS TRIPLOIDES.	29
5.4. ACCIONES DE CONTROL	31
5.5. PRODUCCIÓN MEDIANTE BUENAS PRÁCTICAS ACUÍCOLAS	32
5.6. EDUCACIÓN AMBIENTAL Y SENSIBILIZACIÓN A PRODUCTORES	33
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
6. ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	37
7. LÍNEAS ESTRATÉGICAS DE ACCIÓN PARA EL MANEJO DEL OSTIÓN JAPONÉS EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA EL VIZCAÍNO.....	38
8. BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXO 1. FORMATO DE REPORTE DE OBSERVACIÓN DE OSTIÓN JAPONÉS FUERA DE LOS SITIOS DE CULTIVO	48

Índice de Figuras

Figura 1. Países con presencia de ostión japonés (<i>Crassostrea gigas</i>)	3
Figura 2. Morfología del ostión japonés.....	7
Figura 3. Ubicación geográfica de la Reserva de la Biosfera el Vizcaíno (REBIVI) y sitios con registro de ostión japonés en la Laguna Ojo de Liebre	18
Figura 4. Artes de cultivo empleados por la empresa Cultivos del Mar del Pacífico	19
Figura 5. Métodos de cultivo en suspensión empleados por la empresa Maricultivos Paralelo 28.....	19
Figura 6. Organigrama de los sectores involucrados en el control y manejo del ostión japonés en la REBIVI	24
Figura 7. Ejemplo teórico de un diseño de muestreo para arrastres con red de zooplancton para búsqueda de larvas de ostión japonés.....	26
Figura 8. Red para zooplancton.....	28

1. Introducción

El ostión japonés (*Crassostrea gigas*) es una especie que ha sido introducida ampliamente fuera de su rango nativo debido a su aprovechamiento en la acuicultura; su gran tolerancia a las condiciones ambientales como especie euritérmica (-2 hasta 35 °C) y eurihalina (0 hasta 50 ups) y su potencial de rápido crecimiento, han permitido que la especie domine la producción acuícola de bivalvos en muchas regiones del mundo (Miossec *et al.*, 2009; FAO, 2016). En México, *C. gigas* es una especie de gran importancia en términos de producción, con los valores más altos en lo que respecta al cultivo de moluscos a nivel nacional ya que esta actividad se realiza en varios estados del país, principalmente en las costas del Océano Pacífico (Chávez Villalba, 2014).

Dado su aprovechamiento comercial, en principio no se trata al ostión japonés como una especie exótica invasora; de hecho, la Carta Nacional Acuícola publicada en 2012, considera a la ostricultura en México como una actividad consolidada sin problemas ambientales, cuyo cultivo intensivo y de alto rendimiento resulta ser una actividad económica prometedora (DOF, 2012). Sin embargo, aun cuando *C. gigas* no aparece en la Lista de las Especies Exóticas Invasoras (DOF, 2016), y es catalogada como una especie apta para cultivo comercial, la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO), si considera al ostión japonés como una especie exótica invasora con una categoría de riesgo muy alta (CONABIO, 2017).

Hasta la primera mitad del 2019, no existían reportes oficiales relacionados con la presencia de esta especie fuera de los sitios de cultivo; sin embargo, resultados recientes han corroborado la presencia de organismos en algunas zonas de la Laguna Ojo de Liebre, dentro de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno (REBIVI), fuera de las zonas de cultivo (PNUD, 2019b), así como el hecho que la mayoría de ellos estaban en estado reproductivamente activo (PNUD, 2019c). Con base en los antecedentes de dicha especie a nivel internacional como especie exótica invasora, la situación descrita podría comprometer la estabilidad ecológica y ambiental de la Reserva.

Si bien es cierto que existen programas, planes y manuales de buenas prácticas del cultivo del ostión japonés para nuestro país (principalmente para el noroeste), en ninguno de estos documentos se establecen medidas para evitar la dispersión de organismos fuera de los sitios de cultivo, ni sobre su control y erradicación, a pesar de los abundantes registros a nivel mundial que existen sobre este aspecto. El objetivo del presente documento es dar un paso en ese sentido, proponiendo, a partir de una revisión general de la biología del

ostión japonés *C. gigas* y de su potencial como organismo invasor, mecanismos de control de sus poblaciones silvestres y de remoción de los ejemplares que fueron encontrados dentro de la Reserva, en sitios de fondo duro tanto de origen natural como artificial.

1.1. Distribución geográfica

El ostión japonés (*Crassostrea gigas*) es una especie originaria del Noroeste de Asia, en la costa nororiental del Océano Pacífico y es particularmente abundante en Japón (Carrasco & Barón, 2010). Se presenta principalmente en regiones templadas, entre las latitudes 30°N - 48°N. Mientras que en Japón se le ha cultivado durante siglos, en la costa occidental de los Estados Unidos de América su cultivo inició en la década de los años 20, mientras que en México el aprovechamiento comenzó a finales de los años 70 (Chávez Villalba, 2014). Actualmente, el ostión japonés se ha introducido con fines de cultivo extensivo en alrededor de 66 países (Herbert *et al.*, 2016), de los cuales 11 se localizan en el continente americano: Canadá, EUA, México, Chile, Argentina, Ecuador, Belice, Costa Rica, Puerto Rico, Islas Vírgenes Estadounidenses y Brasil (Fig. 1). Sin embargo, se considera que la lista de introducciones está incompleta y puede no incluir llegadas accidentales originadas por la actividad naviera global (que transporta a las larvas en el agua de lastre, o a los adultos adheridos al casco de los barcos). Se conoce también que existen introducciones a pequeña escala que no han sido documentadas, en países emergentes (Chávez-Villalba, 2014).

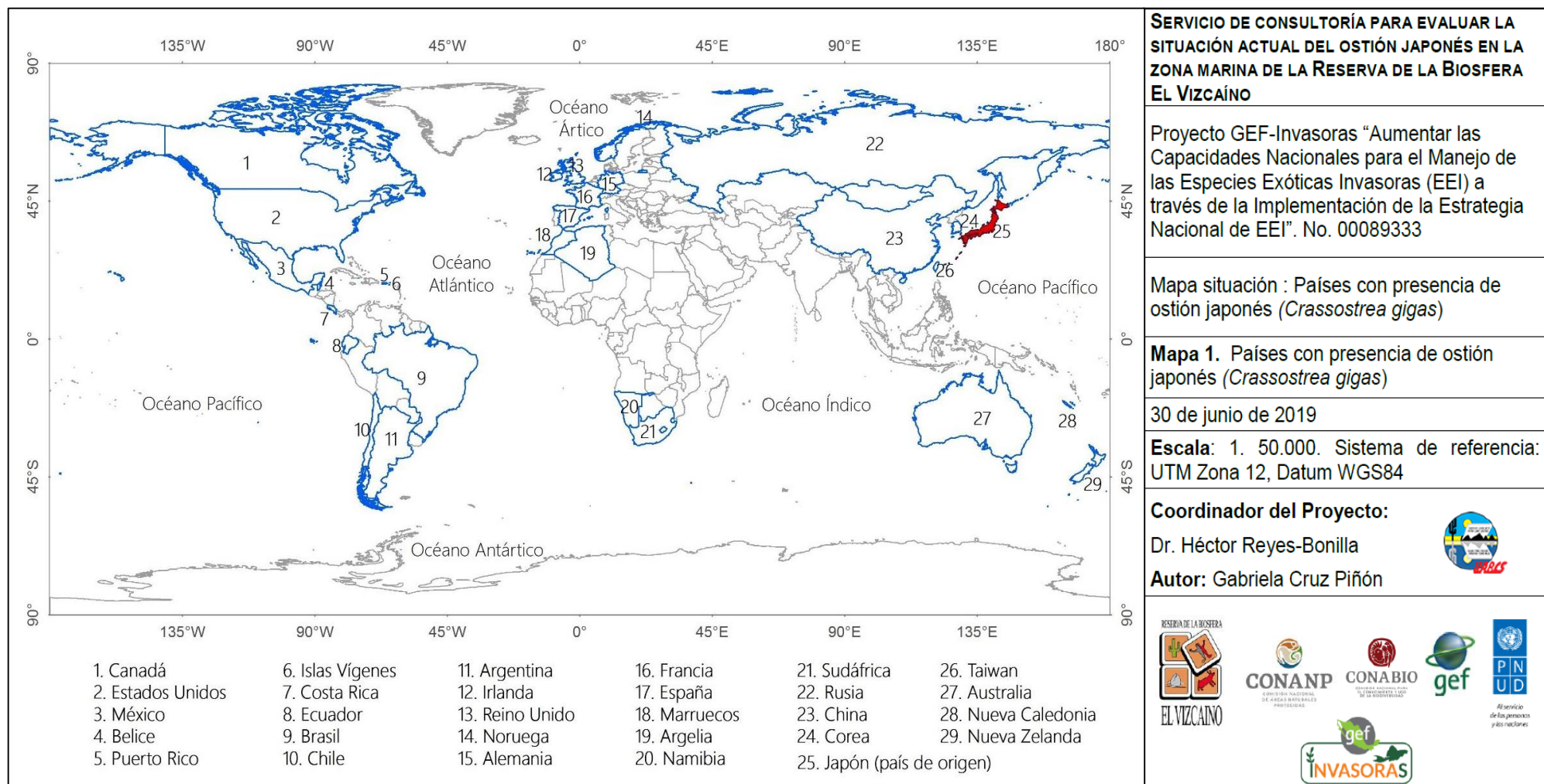


Figura 1. Países con presencia de ostión japonés (*Crassostrea gigas*). Elaboración UABCS/G. Cruz-Piñón, 2019.

1.2. Características biológicas

El ostión japonés es una especie estuarina, generalmente asociada a sustratos de fondo firme, rocas, escombros y conchas, que se distribuye desde la zona intermareal hasta profundidades superiores a los 40 m (FAO, 2016). En cuanto a su reproducción, se considera como una especie hermafrodita protándrica, por lo que maduran primero como machos y luego como hembras. En zonas con disponibilidad de alimento y condiciones ambientales favorables (salinidad y temperatura), en la fase adulta las hembras dominan la proporción sexual, mientras que, en áreas con menor disponibilidad alimenticia, estas estarán dominadas por machos, por lo que cuando el alimento escasea ya sea de manera natural o artificial (por ejemplo, cuando se encuentran en situación de hacinamiento), las ostras hembras pueden transformarse en machos (FAO, 2016; CONABIO, 2017). La fecundación es externa y la gametogénesis comienza alrededor de los 10 °C y en salinidades de entre 15 y 32 UPS. El desove ocurre a temperaturas superiores a los 20 °C y raramente por debajo de 18°C (Hebert *et al.*, 2016). La especie es muy fecunda, con hembras de 8–15 cm de largo produciendo de manera individual entre 50 y 200 millones de huevos en un solo desove. Las larvas son planctotróficas y se dispersan a través de la columna de agua; su concha mide 70 µm en la etapa prodisoconcha I (concha secretada por la glándula de la concha en la larva), y cuando alcanzan los 300 µm se establecen en el fondo usando el pie larval, donde se arrastran en búsqueda de una ubicación apropiada para terminar la metamorfosis y fijarse (Troost, 2010). Este proceso puede tomar entre dos y tres semanas, dependiendo de la temperatura del agua, la salinidad y la disponibilidad de alimentos (Padilla, 2010; Troost, 2010), por lo que los individuos pueden distribuirse en amplias áreas al ser transportados por las corrientes oceánicas. Las larvas maduras se adhieren permanentemente al sustrato, preferentemente sólido, mediante una secreción de cemento de una glándula en el pie. Una vez asentados, los ostiones se transforman en juveniles. La tasa de crecimiento es muy rápida en buenas condiciones. En el noroeste de México, donde la temperatura del agua es templada, alcanzan la talla comercial (que va de 8 a 12 cm) en un periodo de entre siete a nueve meses de cultivo, a partir de semilla de 3 a 5 mm de longitud (Mazón, 1996); sin embargo, en sitios con condiciones menos favorables tardar en alcanzar su tamaño de mercado entre 18 y 30 meses.

La alta demanda de bivalvos a nivel mundial ha llevado a importantes desarrollos tecnológicos para la cría de estos moluscos (Rasmussen & Morrissey, 2007), siendo la poliploidía una de las biotecnologías más empleadas en la última década para el mejoramiento genético de moluscos bivalvos, ya que es una de las mejores alternativas a

corto plazo para incrementar la producción y, consecuentemente, las ganancias económicas (Maldonado-Amparo *et al.*, 2016).

¿Cómo se induce a la triploidia y tetraploidia?

La poliploidía se refiere a un estado genético que puede ser producido artificialmente a través de la manipulación de embriones, generando individuos que tienen conjuntos adicionales de cromosomas más allá de los 2 normales, pudiendo ser triploides (con 3 cromosomas) y tetraploides (con 4 cromosomas; Rasmussen & Morrissey, 2007). La presencia de tres juegos completos de cromosomas homólogos en los organismos triploides afecta la sinapsis, dando como resultado la producción de organismos con una esterilidad total o parcial (Maldonado-Amparo *et al.*, 2016).

La triploidía ha sido inducida por al menos dos diferentes tipos de tratamientos: físicos y químicos (Melo *et al.*, 2015). Los tratamientos físicos comprenden choques de temperatura (tanto fríos como calientes) y presión hidrostática (6000 a 8000 psi), mientras que los químicos involucran el uso de compuestos como la citocalasina-B o 6-dimetilaminopurina (Maldonado-Amparo *et al.*, 2016). El objetivo es prevenir la división citoplasmática, que tendría como consecuencia una reducción cromosómica. El resultado es que durante la “singamia” se fusiona el pronúcleo femenino diploide con el pronúcleo masculino haploide, permitiendo la formación de un cigoto triploide (Beaumont & Fairbrother, 1991).

Tanto los tratamientos físicos como los químicos actúan de forma similar en evitar la división citoplasmática. La temperatura promueve que se disuelvan las fibras de uso cromático que separa los cromosomas dentro de la célula, evitando así la formación del cuerpo polar al no ocurrir la división cromosómica. Por su parte, la presión hidrostática inhibe la formación o extrusión de los cuerpos polares por la presión ejercida sobre la pared celular del ovocito (Allen *et al.*, 1989). Los químicos actúan inhibiendo la polimeración de la actina que produce el anillo contráctil para la formación de los cuerpos polares.

En la actualidad, los tratamientos químicos son el método más utilizado ya que han resultado ser los más efectivos en inducir un alto porcentaje de triploides (Maldonado-Amparo *et al.*, 2016).

La inducción a la triploidía en los ostiones suele ser exitosa, con resultados que van desde 16% hasta 100% de esterilidad (Maldonado-Amparo *et al.*, 2016). Particularmente para *C. gigas* se estimó que la fecundidad de un triploide se reduce entre 92 y 98% con relación a

la de los diploides (Guo & Allen, 1994). En cuanto al crecimiento, existen estudios comparativos en *C. gigas* con organismos triploides *versus* diploides, donde se ha observado que los triploides presentan incrementos porcentuales en biomasa húmeda del 29% al 80% sobre los diploides (Callam *et al.*, 2016), esto debido a que los animales canalizan la energía que se dedicaría a la reproducción, hacia biomasa propia y mayor crecimiento; por esto, los triploides se convierten en una ventaja para los acuacultores al generar una producción mayor y más rápida, con el mismo número de organismos.

Una alternativa potencial para la producción de triploides, que desafortunadamente puede ser problemática y costosa, es el cruce de animales tetraploides con diploides, que normalmente produce una progenie completamente triploide, lo que podría ser más viable que los triploides inducidos mecánicamente, ya que los embriones no tendrían que sufrir el mismo estrés y daño que ocurre durante la inducción mecánica (Rasmussen & Morrissey, 2007).

Los tetraploides son inducidos de manera similar a los triploides, pero durante una etapa más avanzada del desarrollo embrionario. Para la inducción de la tetraploidía se han realizado principalmente tres métodos. El primer método involucra la producción incidental de tetraploides, inhibiendo la extrusión del primer cuerpo polar en ovocitos derivados de reproductores diploides, no obstante, se ha demostrado que los embriones producidos por este método no alcanzan a sobrevivir a semilla o talla adulta (Maldonado-Amparo *et al.*, 2016). El segundo método consiste en la inhibición de la primera división celular (mitosis I) de ovocitos derivados de reproductores diploides, fecundados con espermatozoides haploides, el cual tampoco ha demostrado resultados satisfactorios. Finalmente, el tercer método consiste en utilizar ovocitos producidos por organismos triploides, los cuales son fecundados con espermatozoides de organismos diploides, inhibiendo la extrusión del primer cuerpo polar pero permitiendo la liberación del segundo cuerpo, generando con esto tetraploides viables a talla adulta (Guo & Allen, 1994).

1.3. Rasgos morfológicos

De acuerdo con Coan y Valentich-Scott (2012), la concha del ostión japonés es sólida, inequivalva, extremadamente rugosa, aflautada y laminada con márgenes filosos; la valva inferior (izquierda) es profundamente cóncava con lados casi verticales algunas veces; la superior (valva derecha) es plana o ligeramente convexa, apoyándose dentro de la izquierda; los lados son desiguales, con picos y umbos protuberantes, tendiendo a ser oblongas, pero son muy distorsionadas e irregulares (Fig. 2). A veces la forma de la concha varía debido al sustrato donde se desarrollan. El color suele ser blanquecino con estrías

moradas y puntos que radian desde el umbo. El interior de la concha es blanco, con un solo músculo aductor que puede ser algunas veces oscuro (pero nunca negro).

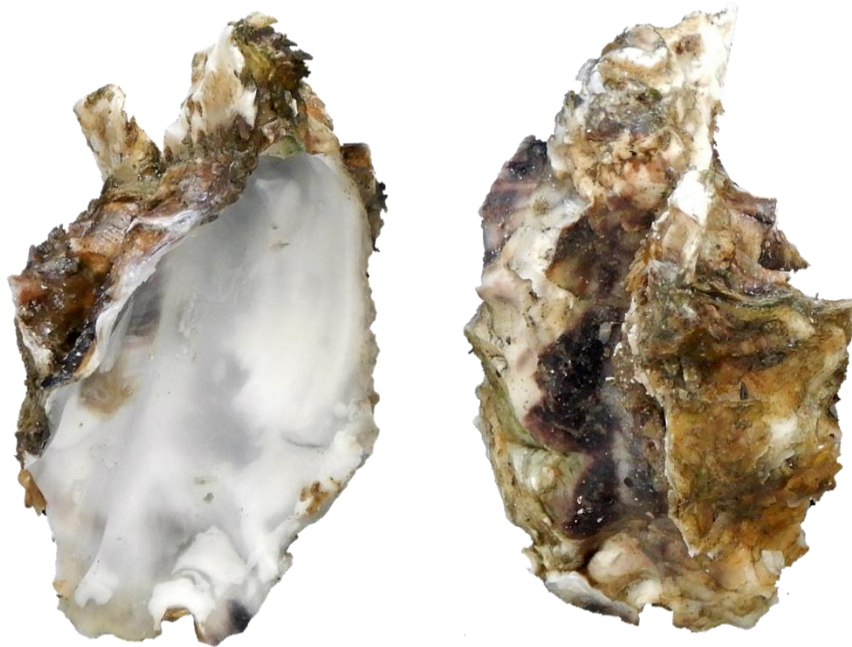


Figura 2. Morfología del ostión japonés. *Elaboración UABCS/M. Olán-González, 2019*

2. Área de estudio

La Reserva de la Biosfera el Vizcaíno (REBIVI) se localiza en el extremo norte del estado de Baja California Sur dentro de los límites políticos del municipio de Mulegé. Se limita al norte por el paralelo 28 que divide los estados de Baja California Sur y Baja California; por la costa occidental el Océano Pacífico, desde la Laguna Guerrero Negro, hasta el remate del estero El Dátil, por la costa oriental desde el paralelo 28 hasta Santa Rosalía; al sureste la frontera es irregular y va de este a oeste por la carretera transpeninsular y luego pasa por la Laguna San Ignacio y la Barra San Juan (CONANP, 2000). Es una de las áreas protegidas más grandes de México con 2,546,790 hectáreas de las cuales 2,183, 351 hectáreas son zona de amortiguamiento y 363,438 hectáreas se encuentran como zonas núcleo. Cabe mencionar que la Reserva incluye 5 km de franja costera del Mar Territorial de ambas costas (Fig. 3). Esta Reserva cuenta con tres áreas distintas: las sierras y las planicies (que conforman las cuencas del Vizcaíno), y la zona costera con cerca de 450 kilómetros de playas. Es el lugar más importante en el mundo para proteger a la población de ballena gris ya que allí lleva a cabo la crianza y apareamiento, siendo éstas las etapas más importantes y delicadas de su ciclo biológico. La REBIVI fue decretada el 30 de noviembre de 1988 y en diciembre de 1993, fue enlistada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) como Bien de Patrimonio Mundial Natural, el cual comprende la Laguna Ojo de Liebre, la Laguna San Ignacio y los alrededores. La región cuenta con diversos ecosistemas marinos incluyendo manglares, praderas de pastos marinos, bosques de algas pardas (“kelps”), fondos arenosos, lodosos y de sustrato rocoso; tal variedad de hábitats favorece notable diversidad de organismos que aprovechan la disponibilidad de sustratos adecuados para sufijación (como es el caso de diferentes bivalvos), o donde obtienen protección y alimentación, por lo que son zonas muy adecuadas para la reproducción. La alta biodiversidad regional también tiene un importante componente en el renglón de servicios ambientales, y permite que se desarrollen algunas de las pesquerías más importantes del estado.

La Laguna Ojo de Liebre también forma parte de la Reserva de la Biosfera Complejo Lagunar Ojo de Liebre, el cual abarca una superficie total de 79, 328.98 hectáreas, de las cuales 10, 931.15 hectáreas no se sobreponen a la REBIVI, y están localizadas en el extremo suroeste del municipio de Ensenada, Baja California.

La acuicultura marina se realiza en las lagunas Guerrero Negro y Manuela, y está administrada mediante permisos de Acuicultura de Fomento y/o Concesiones de Acuicultura Comercial. De acuerdo con el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Baja

California, estos cuerpos de agua están certificados para la exportación de productos marinos de cultivo, que garantizan la condición sanitaria óptima, tanto en la producción como en el manejo de sus productos (CONANP, 2016). La actividad principal consiste en el crecimiento y engorda de semilla de ostión japonés (*C. gigas*) y ostión Kumamoto (*C. gigas* var. *sikamea*) en la zona intermareal utilizando sistemas de preengorda en canastas sobre líneas madre, y de engorda mediante el cultivo en camas. El cultivo se lleva a cabo durante todo el año; la presentación y la venta es fresco-vivo (SEPESCA/BAJA CALIFORNIA. 2015).

2.1. Impactos del ostión japonés a nivel mundial

a) Impactos ecológicos

Cambios inducidos por C. gigas en ecosistemas estuarinos y competencia por espacio con bivalvos nativos

El ostión japonés es un fuerte competidor por espacio, lo que se ve facilitado por su comportamiento gregario y porque los individuos pueden desarrollarse muy rápido una vez que encuentran suficiente de sustrato duro (Troost, 2009). Al establecerse, los nuevos lechos de ostión japonés convierten las antiguas comunidades de sustrato blando en comunidades de sustrato duro, generando un efecto negativo directo sobre la infauna e indirecto sobre los organismos que se alimentan de dichos organismos.

En el noroeste de Europa se han documentado cambios importantes debido a la presencia de *Crassostrea gigas*. En Países Bajos, por ejemplo, su asentamiento y fijación a lo largo del estuario Oosterschelde resultó en la formación de grandes y densos arrecifes de ostiones silvestres a partir de la década de los ochenta (Troost, 2010). Por medio de evaluaciones de stock y reconstrucciones, el gobierno holandés estimó que en los 118 km² de planicies intermareales del país, la cobertura de camas de ostión aumentó de 0.25 km² en 1980 a 8.1 km² en 2003 (Dankers *et al.*, 2006). Estos nuevos arrecifes de *C. gigas* se han desarrollado principalmente sobre sustratos duros artificiales (por ejemplo, diques y embarcaderos), pero en el medio natural se han construido formando parcelas sobre antiguos sitios de ocurrencia y pesca del ostión plano europeo (*Ostrea edulis*), especie nativa de la zona. En sitios particulares de la costa holandesa, como diques y rompeolas, la cobertura de ostión aumentó de 0-10% en 1985, a 50-60% en 2002, llegando a ocupar 90% del fondo en algunos lugares (AquaSense, 2003). Además, dentro de este periodo, la competencia del ostión japonés sobre las especies locales causó disminución marcada de los stocks comerciales del mejillón azul (*Mytilus edulis*), y del berberecho común (*Cerastoderma edule*); esta situación dio lugar no solo a un problema ecológico, sino ocasionó impacto económico sobre el sector pesquero local (Dankers *et al.*, 2006).

En el área del Mar de Wadden (Países Bajos), *C. gigas* ha colonizado áreas de sustrato duro donde otras especies originalmente aparecían en altas densidades (Schmidt *et al.*, 2008; Fey *et al.*, 2009), dando lugar a que las camas naturales de mejillones hayan sido transformadas en lechos mixtos con combinaciones de ostiones y mejillones (Troost, 2010). En esta área, la tasa de cambio de la cobertura cubierta por poblaciones de ostiones en la zona intermareal aumentó un 25% (a 5.5 km²) por año a mediados de la primera década de este siglo (Smaal *et al.*, 2005; Dankers *et al.*, 2006).

Otros casos documentados se presentaron en el Lago Grevelingenmer (Países Bajos), donde un primer asentamiento de *C. gigas* fue observado en 1987 (Drinkwaard, 1999) y antes de dos décadas, la especie se convirtió en uno de los bivalvos dominantes (Sisternans *et al.*, 2005), mientras que en la isla de Amrum (Alemania), *C. gigas* fue encontrado por primer vez sobre camas de mejillones en 1995, y para el año 2004, su abundancia había aumentado tanto que casi todos los lechos de mejillones de la zona habían sido colonizados (Nehls *et al.*, 2006). Otro efecto negativo de la especie es que grandes áreas de la zona intermareal fueron cubiertas por arrecifes de conchas que presentaban densidades de hasta 700 ind/m² (Markert *et al.* 2010). La creación de este nuevo sustrato duro sobre hábitats que previamente eran suaves (arena y limo) dio como resultado un cambio significativo en la composición comunitaria local, y en la función del sistema.

La introducción de esta especie en Nueva Zelanda, Nuevo Gales del Sur y Australia, ha dimensionado el potencial de desplazamiento de especies nativas en pocos años, ya que el ostión japonés, que se convirtió rápidamente en el ostión cultivado dominante, desplazó al ostión de roca (*Saccostrea glomerata*) por medio de la competencia por espacio de establecimiento y por su superior ritmo de crecimiento (Troost, 2010).

En el continente americano, los efectos debidos a la formación de arrecifes de ostión no han sido tan negativos, siendo los pastos marinos los que han sufrido mayor afectación, aunque otras especies se han visto beneficiadas. Se sabe que en la costa occidental de los Estados Unidos, las instalaciones para el cultivo de *C. gigas* han tenido impactos sobre los pastos marinos debido al sombreado y al cambiar el tamaño de grano de la arena, lo que a su vez ha afectado a las comunidades bentónicas asociadas al sitio de cultivo como resultado de la competencia directa por espacio ya que las canastas se colocan sobre el fondo (Herbert *et al.*, 2016). Interesantemente, el cultivo de ostión japonés aumentó las tasas de crecimiento de pastos ligeramente, pero dio lugar a una menor densidad de estos (30% menos que el valor original). Como resultado de lo anterior, los impactos en los

sistemas estuarinos de esta región a han obligado a los gobiernos estatales a restringir el uso algunos métodos de cultivo con el fin de reducir la perturbación bentónica y proteger a su vez a los pastos marinos nativos (Tallis *et al.*, 2009).

En otro estudio realizado en la región noroeste de Estados Unidos (Bahía Willapa, Washington), los autores también encontraron que la densidad y brotes del pasto marino *Zostera marina* disminuyeron proporcionalmente con el aumento de *C. gigas*, esto debido a la competencia por el espacio del fondo entre las estructuras de cultivo y las praderas. El daño fue tal que se denotó una pérdida de hasta el 20% de cobertura del pasto, lo cual a su vez impactó el reclutamiento larval de muchas especies que usan esas fanerógamas como sitio de protección. Finalmente, a partir de un modelo numérico se observó que a bajas densidades, *C. gigas* tiene poco impacto sobre el pasto, sin embargo una cobertura del 50% del fondo por los ostiones resulta impenetrable para los pastos marinos, causando mortalidad (Wagner *et al.*, 2012).

En Argentina, después de más de 20 años de su introducción, el ostión japonés se ha establecido en vida libre en Bahía Anegada (al norte de la Patagonia), sin embargo, cubre un porcentaje muy pequeño de área ($\leq 0.5\%$) de su zona intermareal (Escapa *et al.*, 2004): los autores han atribuido la falta de éxito a la ausencia de sustrato duro, condición que resulta de la alta descarga de sedimento proveniente de ríos que desembocan en la bahía. Aunque en la zona submareal no se detectaron efectos negativos como resultado de la invasión del ostión japonés, se observó que aves migratorias como el chorlito doble collar (*Charadrius falklandicus*), el chorlo dorado americano (*Pluvialis dominica*), el playero rojo (*Calidris canutus*), y el patamarilla menor (*Tringa flavipes*), presentaron mayores densidades en zonas con camas de ostión en comparación con otras zonas similares pero con fondos blandos, lo cual puede ser resultado de una alta disponibilidad de organismos que prefieren la tridimensionalidad de sustrato que ofrecen las conchas del ostión, sobre los sitios con fondos planos, y que favorecen altas tasas de alimentación de las aves. En resumen, el impacto de *C. gigas* también puede traducirse a ecosistemas aledaños al mar.

En la isla de Cortés, Columbia Británica, Canadá, las poblaciones de ostión japonés coexisten regionalmente con camas de pasto marino (*Zostera marina*), pero este último se encuentra típicamente ausente directamente en el mar donde estas camas de ostión se encuentran presentes (Kelly *et al.*, 2008). La estructura de los ensamblajes neotónicos y epibénticos (riqueza y abundancia), asociados con las camas de ostiones, fueron significativamente menores en comparación con las comunidades presentes en las camas de *Zostera marina*. Por otra parte, *C. gigas* ha sido capaz de lograr modificar el régimen

termal de su hábitat y proporcionar refugios para aquellas especies que de otro modo podría sufrir desecación (Padilla, 2010).

Consecuencias del ostión japonés para la actividad de filtración

Los bivalvos filtradores se alimentan principalmente de diferentes componentes del fitoplancton, no obstante, también pueden hacerlo de otras partículas disponibles en la columna de agua, siempre y cuando sean lo suficientemente grandes para ser retenidas por las branquias y que no sean demasiado grandes o evasivas, como material orgánico particulado muerto o ciertas especies de zooplancton (Lehane & Davenport, 2004). Al respecto, Troost *et al.* (2009) mostraron que las diferencias en las corrientes ciliares para la alimentación (por inhalación) en *C. gigas*, *Mytilus edulis* y *Cardium edule* son pequeñas a pesar de las diferencias en la morfología y tallas de cada una de dichas especies. Por lo anterior, es probable que estas diferencias no afecten la ingesta de alimentación entre la especie introducida (*C. gigas*) y las especies nativas, y por ende favorezcan el fenómeno de competencia interespecífica, donde normalmente la especie introducida se ve beneficiada dada su mayor tasa de crecimiento, concha más robusta, y gran tamaño.

Por otra parte, dado que los ostiones crean con sus conchas estructuras más levantadas sobre el sustrato y por lo tanto dan lugar a mayor rugosidad que la generada por los mejillones y berberechos, esto puede afectar los niveles de turbulencia y disminuir con ello las reacciones de escape del zooplancton, con lo que la especie exótica alcanza mayores flujos de captura de alimento y tasa de ingesta por sobre los bivalvos nativos. Si se toma en cuenta además que la gran capacidad de filtración de *C. gigas* puede verse por qué es un excelente competidor (Troost, 2010). Este autor indica que aunque la dieta de *C. gigas* y los bivalvos nativos del norte de Europa parecen no ser idénticas, todos filtran partículas de tamaños similares del agua circundante. Por ello, incluso si no compiten directamente por las mismas fuentes de alimentos, si existe interferencia entre sí, por lo que la presencia de *C. gigas* reduce los niveles de alimentos disponibles para las especies nativas, afectando su crecimiento y éxito reproductivo.

Consecuencias de los cambios inducidos por el ostión japonés para otros niveles tróficos

El aumento de la presión sobre la filtración en el estuario Oosterschelde (Holanda) debido a un aumento en el stock de *C. gigas*, afectó a la comunidad local de zooplancton. Con esto se demostró que en suficiente cantidad, los ostiones pueden ejercer un control trófico del sistema en dirección “abajo-arriba”; es decir, su consumo altera la abundancia y composición del fitoplancton, lo que a su vez modifica la abundancia de los siguientes niveles alimenticios superiores a través de un efecto de cadena, es decir: zooplancton → peces → peces y focas que comen peces (Troost, 2010). Es interesante anotar también que

el efecto de filtración que ejercen las poblaciones de ostión japonés se ha visto como un aspecto positivo de la presencia de la especie, situación que se discutirá adelante.

Por otra parte, en el Mar de Wadden y estuarios de Holanda los bivalvos nativos son altamente depredados por varias especies de aves como el eider común (*Somateria mollissima*), los ostreros (*Haematopus ostralegus*) y las gaviotas (*Larus argentatus*). No obstante, *C. gigas*, al ser una especie con concha muy gruesa, se ve afectado en mucho menor grado por este tipo de interacción ecológica. Dado que el ostión japonés apenas es consumido por las aves en Países Bajos, la expansión de esta especie tiene dos efectos: por un lado puede amenazar el suministro de alimento para las aves playeras si ellos reemplazan (parcial o totalmente) a los bivalvos nativos, y por otra, al aportar recursos alimenticios a solo ciertas especies depredadoras puede resultar en un desbalance de las comunidades ornitológicas locales. Finalmente y de acuerdo a Scheiffarth *et al.* (2007), se pueden dar efectos fuertes para las aves playeras que se alimentan de manera preferencial u obligatoria de especies nativas como los mejillones (*Mytilus edulis*), si las poblaciones de estos se ven colonizadas y por ende mezcladas con ejemplares de *C. gigas* reduciendo sus densidades por debajo de un nivel crítico, ya que entonces, los consumidores requerirían de más tiempo para la búsqueda y manejo de su presa (mejillones), lo cual se traduce en un flujo inferior de energía al organismo que puede a la larga disminuir su éxito individual (años de vida) y reproductivo (número de crías).

Efectos esperados asociados al cambio climático

En el Mar de Wadden, oeste de Holanda, el calentamiento global ha disminuido la frecuencia de inviernos severos, lo que ha modificado la dinámica de reclutamiento y depredación de bivalvos. Por una parte, ha aumentado la abundancia de invertebrados bentónicos depredadores de semillas de bivalvos nativos como el mejillón (*M. edulis*), la ostra plana (*Ostrea edulis*) y la almeja báltica (*Limecola balthica*) en el intermareal inferior. En paralelo, debido a que el reclutamiento exitoso de estos bivalvos depende de las bajas temperaturas durante los inviernos (cuando disminuye la abundancia de invertebrados bentónicos). En conjunto, ambos factores han causado la disminución en la abundancia de los bivalvos nativos. Sin embargo, este efecto no se ha denotado que ocurra sobre ejemplares de *C. gigas* introducidos al medio natural (Beukema & Dekker, 2005), sugiriendo que el calentamiento global eventualmente irá favoreciendo el éxito de reclutamiento de *C. gigas* en verano y la supervivencia de sus larvas y juveniles en el invierno siguiente, lo que llevaría a un aumento en su población, mientras que al mismo tiempo es posible que la abundancia de bivalvos nativos disminuya aún más debido a la competencia con el ostión japonés.

Por otra parte, diversos estudios de modelación climática han llegado a la conclusión que la elevación de la temperatura en el norte de Europa favorecerá la invasión local de *C. gigas*, ya que sitios donde el mar es demasiado frío ($< 14^{\circ}\text{C}$) durante varios meses del año, en el futuro no presentarán esas condiciones y por ello permitirán el mayor reclutamiento de la especie exótica (Thomas *et al.*, 2016; Rinde *et al.*, 2017)

En regiones más cercanas a México, el efecto del cambio climático también se ha manifestado sobre *C. gigas*, aunque esto ha sido de manera negativa. Desde la década pasada, en sistemas acuaculturales de la costa oeste de Canadá y Estados Unidos se empezó a detectar daños en las semillas y mayores tasas de mortalidad, y se pensaba que eso era resultado de la acción de algún patógeno (Solomieu *et al.*, 2015). No obstante, estudios oceanográficos (Feely *et al.*, 2008) y posteriores análisis (Barton *et al.*, 2012) mostraron que una de las principales causas de la mortalidad de la semilla de ostión fue la alta acidez del agua oceánica, que por efectos de cambio climático, llega a ser corrosiva para el carbonato de calcio a profundidades inferiores a los 70 metros.

Por otra parte, un estudio reciente (Kahru *et al.*, 2018) mostró como en las últimas dos décadas la productividad primaria de la región occidental de Norteamérica está bajando notablemente, y ello acarreará problemas para la nutrición de los ostiones en años futuros. Finalmente, McClatchie *et al.* (2010) y Stramma *et al.* (2010) han mostrado las tendencias negativas en la concentración de oxígeno en la costa occidental del continente americano, que son más intensas en la región entre la costa externa de la Península de Baja California y Canadá. Dado que el ostión japonés se puede ver seriamente afectado en su metabolismo por la hipoxia o anoxia (Le Moullac *et al.*, 2007), la sobrevivencia de las semillas de ostión japonés puede verse comprometida, con el consecuente impacto económico (Cooley & Doney, 2009).

b) Impactos económicos

Impactos negativos

La introducción o transferencia accidental del ostión japonés a bahías y esteros en Europa (Nuevo Gales del Sur), ha derivado en el colapso de parte de la industria ostrícola ya que afectó por competencia por espacio a las poblaciones de ostión de roca (*Saccostrea commercialis*), dando lugar a una baja en la producción. Además, una vez presente el problema, la industria con apoyo del gobierno estableció programas de manejo para erradicar y limitar la expansión de *C. gigas* (FAO, 2009), pero desafortunadamente estos han representado costos tan elevados, que su aplicabilidad es limitada. En otros países de Europa, la competencia con *C. gigas* ha dado como resultado disminuciones en las poblaciones de especies comerciales de mejillones y otros organismos (Herbert *et al.*,

2016), y eso ha dañado a grupos específicos de pescadores, disminuyendo su ingreso. Finalmente, los arrecifes de ostiones en general suelen ser evitados por los pescadores porque las conchas pueden causar daños severos a las redes de pesca.

Beneficios

Considerando que solamente 5.25% de la producción mundial de *C. gigas* proviene de su distribución geográfica nativa, la introducción de esta especie ha tenido un impacto económico positivo a nivel planetario, el cual equivale a \$3.7 mil millones de dólares cada año (FAO, 2005-2019). En varios países, la introducción de esta especie ha resultado en el establecimiento de una industria sustentable, con ganancias tanto para los acuicultores como para el personal involucrado en actividades asociadas a la actividad (e.g. proveedores de equipo). Los impactos económicos indirectos derivados del cultivo de *C. gigas* han sido tanto positivos como negativos, por ejemplo, en la década de los años 70 en Europa se suscitó una crisis ostrícola derivada de una enfermedad que prácticamente acabó con las poblaciones de *C. angulata* (ostra portuguesa), la cual se resolvió con la introducción del ostión japonés, evitando así el colapso de la industria ostrícola (Goulletquer & Héral, 1992; NRC, 2004).

En México, los estados con producción acuacultural continua son Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa, en aunque se registran capturas ocasionales en Guerrero, Jalisco, Nayarit, Oaxaca y Tabasco (DOF, 2012). La producción de ostión japonés se destinaba al consumo interno, 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). Además, a una pequeña proporción del total de la producción de ostión se le daba un valor agregado, y se presentaban en los mercados en forma de ostiones enlatados, congelados o empacados al vacío (Avilés-Quevedo & Vásquez-Hurtado, 2006). Estas formas de comercialización han ido sustituyéndose por otras más modernas, y es importante indicar que aunque la literatura científica y oficial no lo mencione, en las entrevistas y talleres con los productores se nos hizo saber que actualmente la mayor parte de la producción de ostión japonés en Baja California Sur, se destina al mercado internacional, evidencia clara del buen manejo del producto desde la óptica sanitaria.

En términos de producción, a nivel nacional, BCS es el estado con la producción de ostión japonés más constante, ya que entre 2006 y 2014 registra el cultivo de ostión japonés; seguido de Baja California y Sonora, con ocho años de registros. Para los estados de Sinaloa, Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Tabasco, la producción ha sido intermitente y no supera los seis años de registros. Por otro lado, en términos de volumen, Baja California es

el estado con la producción más alta con un promedio anual de 7,879 toneladas e ingresos económicos que ascienden a U\$6,498,902.74. Para dar una escala comparativa, otros estados con menor producción como Sinaloa, Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Tabasco, en conjunto han alcanzado 391.163 toneladas en total entre los años 2006 a 2014. (CONAPESCA, 2019).

Finalmente, con base en el Registro y Estadística Pesquera y Acuícola de SAGARPA-CONAPESCA, el volumen y valor de la producción por acuicultura para el complejo lagunar Laguna Ojo de Liebre y Laguna Manuela, en el periodo 2006 a 2013 está representada casi en su totalidad por ostión japonés (*C. gigas*), con un promedio anual de 165 toneladas en peso desembarcado y un valor de \$156,695 dólares.

c) Impactos a la salud pública

En lo que respecta a los impactos en la salud pública del ostión japonés podría decirse que no existen evidencias como tal, aunque en pláticas informales con pescadores de la REBIVI, ellos mencionan que ha habido casos de riesgo para los humanos con respecto a las heridas que pueden causar sus conchas filosas en los pies o en cualquier otra parte que entre en contacto con el cuerpo. Otro potencial efecto indirecto podría presentarse en el caso de un evento de florecimiento algal nocivo (marea roja) en la laguna, durante el cual el ostión podría bioacumular y ser vector de los diferentes efectos a la salud humana que tienen las diferentes especies de microalgas productoras de mareas rojas. No obstante, hasta la fecha no se tienen reportes de este tipo de casos en particular

2.2. El caso de México

Como se ha observado muchos países han reportado impactos asociados al cultivo del ostión japonés, sin embargo, en el caso de México existe un rezago significativo en cuanto a la investigación de los efectos potenciales de esta especie. Es importante señalar que desde su introducción a principios de los años 70 y hasta la fecha, no se ha reportado ningún impacto ecológico en México sobre el ostión japonés fuera de las zonas destinadas para su cultivo.

A pesar de lo anterior, y bajo la perspectiva del principio precautorio, Low-Pfeng *et al.* (2012) mencionaron la falta de estudios taxonómicos, de biología reproductiva, ecológicos, y económicos de las especies introducidas en esta zona del país, con particular atención a *C. gigas*. Los autores mencionan que se debe generar una línea base de información sobre esta especie en sus zonas de cultivo, para las decisiones de manejo y

generar recomendaciones que sean consistentes con la evidencia científica y los intereses del sector involucrado en la actividad.

2.3. Presencia del ostión japonés en la REBIVI

La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno y la Reserva de la Biosfera Complejo Lagunar Ojo de Liebre, son las únicas áreas naturales protegidas en México donde se cultiva el ostión japonés (CONANP, 2000). El aprovechamiento en la región es una actividad económicamente muy relevante, por lo que desde la creación de las Reservas se permitió el cultivo para beneficiar a los residentes locales, y se buscó que esta actividad se realizara de manera compatible con los objetivos de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de estas Áreas Naturales Protegidas. La regla base fue que el aprovechamiento acuacultural podrá realizarse siempre y cuando no implique daños al hábitat, en especial a sitios de reproducción, alimentación o crianza de especies.

En lo que respecta a la REBIVI, las reglas administrativas del Programa de Manejo, en su Capítulo II, Regla 4, menciona que se requerirá permiso por parte de la SEMARNAT para la realización de pesca y acuacultura de fomento, pesca y acuacultura didáctica, así como pesca y acuacultura comercial. En cuanto al desarrollo acuícola, en el Capítulo VI, Regla 88, se establece que sólo se podrán realizar cultivos con especies existentes en la región y que la única especie exótica permitida es el ostión japonés (CONANP, 2000). Hoy en día existen una serie de permisos otorgados a productores dentro de la REBIVI y cuya información se encuentra disponible para su consulta pública (https://acuasesor.conapesca.gob.mx/transparencia_permisos.php). A la fecha, el número asciende a 80 permisos, la mayoría de estos multiespecíficos, permitiendo que el poseedor cultive no solo ostión japonés sino otras especies como almeja Catarina (*Argopecten ventricosus*), callo de hacha (*Atrina maura*), almeja chocolata (*Megapitaria* spp.), mano de león (*Nodipecten subnodosus*), almeja generosa (*Panopea globosa*) y callo de hacha largo (*Pinna rugosa*).

Por otra parte, en el Capítulo X, Regla 51 del Programa de Manejo de la Laguna Ojo de Liebre, se menciona que las actividades de acuacultura deberán realizarse únicamente con especies de bivalvos nativos, así como de ostión japonés y de su variedad Kumamoto, debido a que ambos tipos de organismos han sido cultivados con anterioridad al establecimiento de las áreas protegidas. La limitante que la ley establece es que la semilla utilizada deberá cumplir con las certificaciones de la autoridad competente de conformidad con las disposiciones legales aplicables; y que, a fin de evitar la fertilidad y reproducción de la especie, los organismos deberán ser triploides, es decir, que no se

puedan reproducir y extenderse en el ecosistema de la Reserva, por lo que así no se pondría en riesgo la biodiversidad de la misma (CONANP, 2016). No obstante, tal como se ha demostrado en otros documentos basados en prospecciones de campo y análisis morfológicos y genéticos (PNUD 2019b; PNUD 2019c), en 2018 se confirmó no solo la presencia de esta especie en vida libre en diferentes sitios de la Laguna Ojo de Liebre (Fig. 3), sino que además el estudio histológico demostró que los animales están activos reproductivamente (PNUD, 2019c)

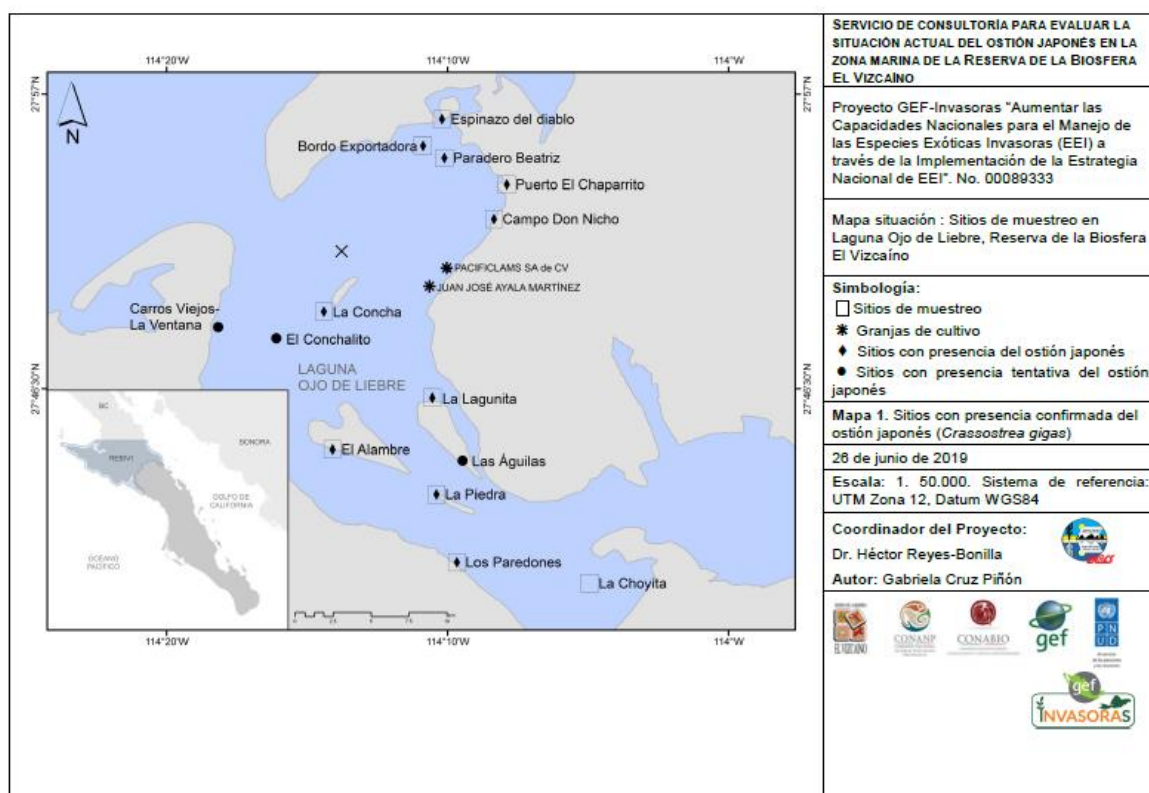


Figura 3. Ubicación geográfica de la Reserva de la Biosfera el Vizcaíno (REBIV) y sitios con registro de ostión japonés en la Laguna Ojo de Liebre. *Elaboración UABCS/G. Cruz-Piñón, 2019.*

2.4. Descripción de los métodos de cultivo y origen de la semilla de ostión japonés en la REBIV

Actualmente, en la REBIV el cultivo de ostión japonés se realiza únicamente por dos empresas: CULTIVOS DEL MAR DEL PACIFICO, S.A. DE C.V., y MARICULTIVO PARALELO 28 S.A. DE C.V., las cuales se localizan a escasa distancia entre sí en la Laguna Ojo de Liebre. No obstante, las empresas utilizan métodos y procedimientos diferentes de producción. Una de ellas emplea el método de flotación (Fig. 4), mientras que la otra tiene a los ostiones en camas de varilla cerca del fondo (Fig. 5). En cuanto al origen de la semilla,

ambos productores afirman recibirla de la compañía Acuacultura Robles y que la semilla que utilizan es triploide. Es importante señalar que la producción de cada empresa depende de la disponibilidad de larvas o semillas que ofrece la citada compañía.



Figura 4. Artes de cultivo empleados por la empresa Cultivos del Mar del Pacífico. Se observa el uso de canastas en suspensión con cable ajustable (izquierda) y el empleo de bolsas ostrícolas sobre bastidores (derecha). *Elaboración: UABCS/S. González Romero, 2018.*



Figura 5. Métodos de cultivo en suspensión empleados por la empresa Maricultivos Paralelo 28. A la izquierda se muestran las canastas sobresaliendo en momentos de marea baja, y a la derecha aparecen los flotadores y marcas que señalan el inicio de las líneas de cajas de cultivo. *Elaboración: UABCS/S. González Romero, 2018.*

Si bien es cierto que el ostión japonés al igual que en muchos países alrededor del mundo se introdujo de manera consciente a la REBIVI con fines acuaculturales, los antecedentes mundiales sobre su potencial desarrollo como especie invasora, así como el alto riesgo que representa para México (CONABIO, 2017); hacen necesaria la elaboración de un Plan de control y manejo de la especie al interior de la REBIVI, con especial atención en la Laguna Ojo de Liebre donde la especie ya se registra fuera de los sitios de cultivo, pero sin hacer a un lado los sitios potenciales, cuyo monitoreo constante podría evitar nuevos establecimientos.

3. Objetivos estratégicos del plan de control y manejo.

1. Prevenir, detectar y reducir los riesgos de dispersión y establecimiento del ostión japonés en la REBIVI.
2. Establecer programas de detección temprana, control y erradicación de poblaciones silvestres de ostión japonés de la REBIVI.

4. Diagnóstico y problemática del ostión japonés en la REBIVI

De acuerdo con el trabajo de PNUD (2019b), la presencia de *C. gigas* en la Laguna Ojo de Liebre está limitada a ciertas zonas de fondo duro, ya sea de origen natural o antropogénico. La abundancia estimada de los ejemplares encontrados en la laguna es menor a 750,000 individuos, cifra que es inferior a la que una sola compañía coloca en el mar para su engorda cada año en sus polígonos de trabajo. Además, se sabe que esta no es la única especie de ostión presente en la región de estudio. En estas condiciones, podría considerarse que la presencia del ostión japonés aún no representa una amenaza sobre los ecosistemas locales en la Reserva; conclusión que fue apoyada por los productores y las autoridades de la REBIVI durante el taller llevado a cabo en conjunto el día 19 de junio de 2019.

De acuerdo a lo anterior, si la ocurrencia en vida libre de *C. gigas* en la REBIVI es considerada como una invasión, el proceso estaría apenas en su fase inicial. Esta situación abre una serie de opciones de control de la especie, para evitar que la situación empeore en corto o mediano plazo.

En este documento se sugiere que los primeros pasos para su control deberían incluir dos estrategias, por una parte la implementación de acciones para evitar la dispersión de semilla en el medio o en su defecto contenerla, y en segundo lugar, llevar a cabo la erradicación de los ejemplares detectados en vida libre. Para lograr lo anterior, es indispensable la colaboración y la participación de todos los actores involucrados en el cultivo del ostión japonés en la REBIVI, de los representantes del gobierno en sus tres niveles, de las agencias financiadoras y de las instituciones académicas.

4.1. Reclutamiento y zonas de dispersión

El ostión japonés se desarrolla principalmente en ambientes costeros con poca dinámica oceánica, como lagunas costeras, bahías y ensenadas, y se le puede encontrar desde la

zona intermareal hasta la submareal. Para su asentamiento prefiere sustratos firmes, ya sean rocas, cantos rodados, conchas y en el caso de que no se presenten dichos sustratos, puede fijarse y desarrollarse en sustratos artificiales incluyendo muelles y rompeolas (FAO, 2005-2019).

Las dos lagunas costeras que se encuentran en la costa del Pacífico de la REBIVI, San Ignacio y Ojo de Liebre, tienen un margen constituido principalmente por diferentes tipos de sedimentos arenosos, y en ambas el sustrato rocoso resulta ser escaso y ocupa una superficie muy pequeña en proporción a la extensión total de los cuerpos lagunares. En estas circunstancias se esperaría que una población de *C. gigas* en vida libre se encontrara en condiciones difíciles para ser exitosa y expandir su distribución local. Sin embargo, en el caso particular de Ojo de Liebre se presenta una superficie considerable de sustrato artificial, asociado al muelle de carga y otras instalaciones de la Compañía Exportadora de Sal, donde se ha colocado concreto como parte de las instalaciones portuarias y grandes cantidades de roca caliza a manera de rompeolas a lo largo del muelle. Dichos sustratos, junto con los sitios con fondo rocoso natural, constituyen los 10 sitios actualmente colonizados por la especie exótica (Fig. 3).

Finalmente, dado que el tiempo de residencia del agua en la laguna es de 14 días y que la larva de ostión puede permanecer hasta 20 días en la columna de agua (Chávez Villalba, 2014), podría existir la posibilidad que los juveniles de *C. gigas* pudieran salir de la Laguna Ojo de Liebre y ocupar sitios rocosos como los que abundan sobre la costa del Pacífico de la REBIVI. Afortunadamente, consultas personales con pescadores y cooperativistas residentes de las islas cercanas a la laguna (Natividad, Cedros), así como de algunas localidades como Bahía Tortugas y Punta Eugenia, indicaron que no hay presencia de ningún tipo de ostión en esas zonas (PNUD, 2019b). En resumen, la dispersión de la especie hacia otras zonas parece estar limitada, quizá por las condiciones mucho más frías y menos saladas que presenta la Corriente de California en relación con la Laguna Ojo de Liebre.

4.2. Biotecnología reproductiva

El ostión japonés presenta una elevada tasa de fecundidad (Troost, 2010), lo cual es una de las causas principales del potencial de dispersión de esta especie. Por esa razón, los principales esfuerzos de control en los lugares en que *C. gigas* ha causado efectos nocivos se han enfocado precisamente a tratar de evitar la dispersión fuera de los sitios de cultivos. La forma más sencilla de lograr esto es produciendo en laboratorio organismos triploides (estériles) mediante programas de mejoramiento genético (FAO, 2009). Sin

embargo, se ha observado que algunos organismos triploides producidos en laboratorio, pueden presentar una reversión cromosómica en tallas grandes (Guo *et al.*, 1996); es decir, recuperan su capacidad reproductiva y por ello logran generar descendencia que se dispersa naturalmente con las corrientes y da lugar a los efectos negativos que esto conlleva sobre el ecosistema y las especies nativas. Dado este fenómeno, se ha sugerido que en vez de emplear ostiones triploides, la solución para evitar la reproducción es la utilización de semillas provenientes de la cruce de individuos tetraploides con animales diploides, lo que genera triploides 100% estériles (FAO, 2009),

En contraste con las ventajas de la biotecnología reproductiva para contener al ostión en los sitios de cultivo, se encuentran los costos asociados a la producción de semilla 100% estéril. En la actualidad (mayo de 2019), el precio de la larva fijadora diploide por millón (producida en el laboratorio de Acuacultura Robles, La Paz, BCS), es de \$2,750.00 pesos, mientras que para la larva triploide es de \$3,000.00 pesos; en el caso de las semillas (con un tamaño de 4 a 5 mm), el millar tiene un costo de \$90.00 y \$100.00 pesos para la semilla diploide y triploide, respectivamente. En resumen, la diferencia económica es mínima y por ello la regla del ANP sobre el uso de organismos triploides para los cultivos parece estar bien justificada. El problema radica en que, según lo indican los productores locales, el laboratorio privado tiene problemas para obtener reproductores viables y mantenerlos, y como resultado la disponibilidad de semilla triploide es muy baja, lo que los lleva ocasionalmente a comprar organismos con potencial reproductivo.

En adición, aun cuando la diferencia de costos es mínima, el gasto se va acumulando y puede llegar a ser significativo para los productores, quienes se ven obligados a trasladar el precio hacia los consumidores, haciendo al producto ligeramente menos competitivo en el mercado internacional. La sugerencia, misma que ya ha sido presentada a los productores, es darle un valor agregado al producto mediante el uso de etiquetas ecológicas (ecoetiquetas), que garanticen que los ostiones son triploides y producidos sin ninguna afectación al medio ambiente, y de esta manera puedan comercializarse hacia un mercado particular que puede pagar más por un producto de calidad. Esta propuesta ayudaría a evitar la dispersión de la especie exótica, y además podría mejorar el funcionamiento de los negocios. Las certificaciones ecológicas para moluscos marinos existen, pero para alcanzar esa meta es necesaria una acción conjunta de sectores gubernamentales (estatales, federales y municipales) y de productores, para que en conjunto se asegure el valor agregado por el uso de dichas etiquetas.

5. MECANISMOS PARA PREVENIR, CONTENER LA DISPERSIÓN Y DISMINUIR LA OCURRENCIA DEL OSTIÓN JAPONÉS EN LA RESERVA

5.1. Sectores involucrados y su participación en cada acción

Actores clave

Es una práctica común que los programas de manejo y conservación dentro de cualquier Área Natural Protegida se realicen de manera unilateral por acción gubernamental, por lo que en muchas ocasiones resultan incompatibles ya sea con los programas de otros sectores o incluso con los objetivos de desarrollo económico. Es por ello que se hace necesario socializar los programas, de tal forma que estos sean integrativos en beneficio de los ecosistemas considerando a todos los sectores involucrados, y que no se olvide la necesidad de mantener el nivel de vida y la continuidad de las actividades productivas de los residentes del ANP. En particular en la REBIVI, para lograr esta sinergia es necesario buscar un acercamiento de CONANP, con múltiples actores (Fig. 6), entre ellos las instituciones federales de desarrollo productivo como la Secretaría de Pesca, Acuicultura y Desarrollo Agropecuario (SEPADA), el Comité de Sanidad Acuícola de Baja California Sur A.C. (CSABCS), y productores locales. Por otra parte, la información que ofrezcan las universidades y centros de investigación que trabajan en la región es fundamental para ofrecer la mejor información actualizada sobre los aspectos de interés, que pudieran tener que ver por ejemplo con la mejora de los organismos de cultivo y con el efecto del cambio climático en la región. Esta sinergia basada en el concepto de la gobernanza permitirá alcanzar consensos entre todos los interesados a partir de un intercambio de ideas multidireccional para llegar a acuerdos para el manejo adecuado de la especie en la REBIVI, y sobre todo será importante porque el trabajo conjunto podrá hacer uso de la experiencia y los recursos materiales y humanos de todos los sectores, en beneficio tanto de la biodiversidad del ANP como de la sociedad.

En adición, y como uno de los resultados más sobresalientes del ejercicio de socialización del proyecto, en común acuerdo entre el director de la Reserva (M.C. Everardo Mariano Meléndez) y los productores, existe la iniciativa de constituir un Subconsejo Asesor Acuícola, el cual apoyaría al ya existente Subconsejo Científico de Cambio Climático y Especies Invasoras (Fig. 6), para la toma de decisiones sobre estos temas. La idea es que organizados de este modo, los productores puedan aportar activamente sus ideas para el manejo del ostión dentro de la REBIVI, y además expresar sugerencias, participar activamente en la celebración de acuerdos y ayudar al establecimiento de lineamientos, bases y reglas de operación que aseguren un manejo sustentable y de mínimo impacto de especies comerciales, y en particular del ostión japonés.

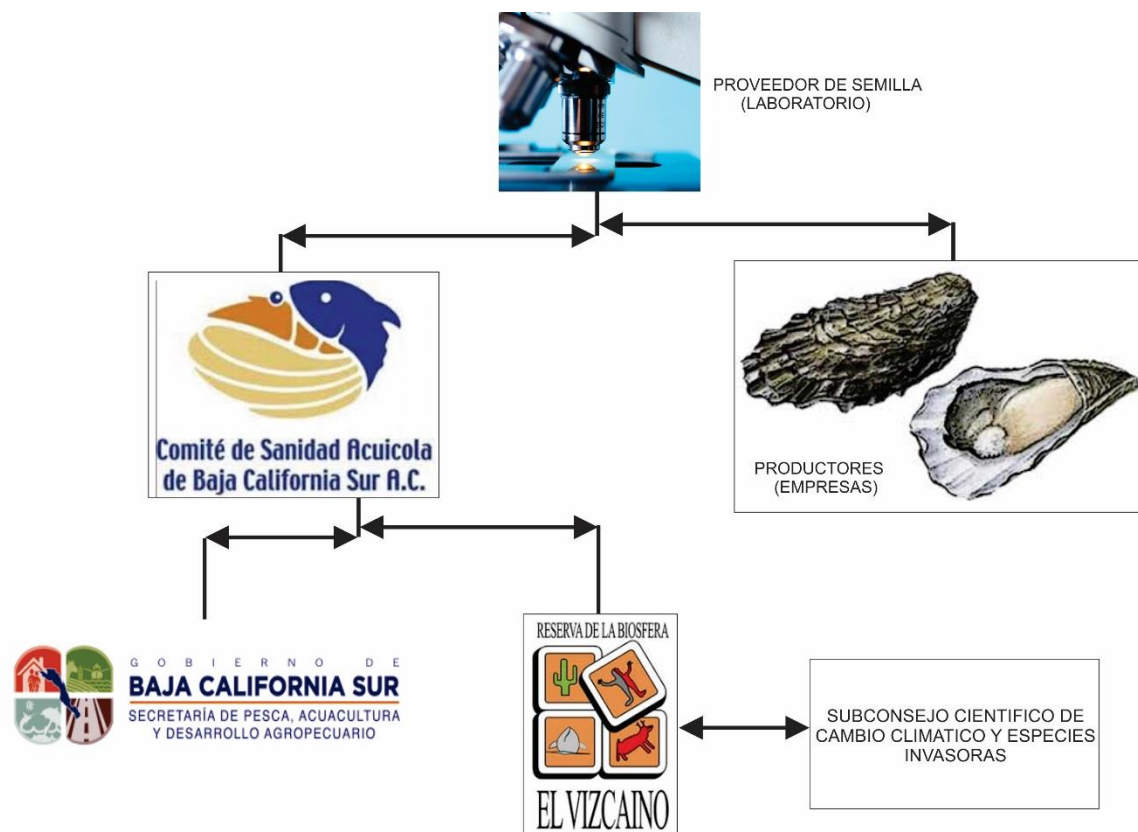


Figura 6. Organigrama de los sectores involucrados en el control y manejo del ostión japonés en la REBIV. *Elaboración: UABCS/Fco. O. López-Fuerte 2019.*

Información científica y técnica

La generación de información científica-técnica es fundamental para garantizar y aumentar las capacidades del ANP por parte de su equipo operativo. Por ello, se recomienda que se tomen en consideración los estudios de línea base de la especie dentro de la REBIV elaborados por la Universidad Autónoma de Baja California Sur (PNUD, 2019 a, b). Así como también el presente plan de control y manejo, en el que se particulariza sobre las medidas de control (erradicación), prevención y monitoreo de la dispersión del ostión japonés en la REBIV, mediante procesos de certificación de la semilla que se va a utilizar (es decir, que se confirme su esterilidad), así como mantener una vigilancia activa de una posible dispersión ya sea de larvas o semilla que eventualmente pudiera “escapar” de las artes de cultivo.

5.2. Programa de monitoreo

Con base en la situación actual del ostión japonés en la REBIV, se propone la realización de un plan de monitoreo anual de las zonas de sustrato rocoso con el fin de denotar si las

abundancias de los ostiones cambian en el tiempo. El estudio puede ser conducido por parte del equipo técnico de la REBIVI, en colaboración con los productores y quizá con el apoyo de organizaciones civiles y agencias de gobierno, que auxilien en la obtención de los fondos necesarios para la actividad. A partir de la sugerencia de los productores, este trabajo debe realizarse idealmente de manera trimestral al menos en los sitios identificados con presencia del ostión japonés (incluyendo otros que puedan ser identificados posteriormente). El objetivo de las revisiones de campo es detectar la permanencia de las poblaciones y definir su densidad poblacional, para que con estas dos fuentes de información se logre saber el nivel de estabilidad de las supuestas poblaciones establecidas, y tener un elemento más para evaluar su efecto potencial sobre las comunidades naturales. En paralelo con esta acción, se recomienda al menos realizar un muestreo anual para la colecta de organismos adultos (mayores a 6 cm de largo), con el fin de revisar su actividad reproductiva y confirmar si ésta se mantiene activa.

Así mismo, se recomienda crear una red de sitios de monitoreo bimensual para rastrear la ocurrencia de larvas en la columna de agua al interior de la Laguna Ojo de Liebre. Esto debe hacerse empleando arrastres de plancton en una serie de puntos elegidos (aleatoria o sistemáticamente) dentro de la laguna (Fig. 7); la elección dependerá de la cantidad de recurso disponible para desarrollar la acción: si la cantidad es adecuada se recomienda analizar la región de forma detallada, mientras que en caso contrario, el muestreo aleatorio sería el mejor. No es necesario hacer los arrastres específicamente cerca de los sitios de presencia de ostión en cultivo o en sustratos rocosos, ya que la dinámica de las mareas y las corrientes es tal que en corto tiempo es capaz de dispersar a los nuevos organismos en toda la laguna. El financiamiento para la parte de campo de este estudio es relativamente bajo, aunque el procesamiento de la información deberá hacerlo una institución académica, ya sea bajo contrato o como parte de un proyecto de investigación.

Durante las discusiones del taller, los productores anotaron correctamente que la presencia de individuos reproductivamente activos e incluso la presencia de larvas, no son indicadores demasiado precisos del potencial de dispersión Del ostión japonés; la razón de ello es que la clave para que un organismo se establezca depende de las condiciones ambientales del punto de fijación larval, en donde ocurre la metamorfosis a juvenil. De este modo, la búsqueda de organismos juveniles en la zona de estudio es fundamental. Para ello se deberán emplear colectores de semilla de ostión en múltiples sitios y preferentemente alrededor de aquellos puntos donde se han encontrado poblaciones de *C. gigas* en vida libre, y además en las cercanías de las instalaciones de las zonas de cultivo. Afortunadamente la inversión necesaria para realizar esta investigación es muy baja, y los representantes del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras en La Paz,

informaron el 28 de junio al director de la Reserva que ellos podían hacerse cargo del costo material.

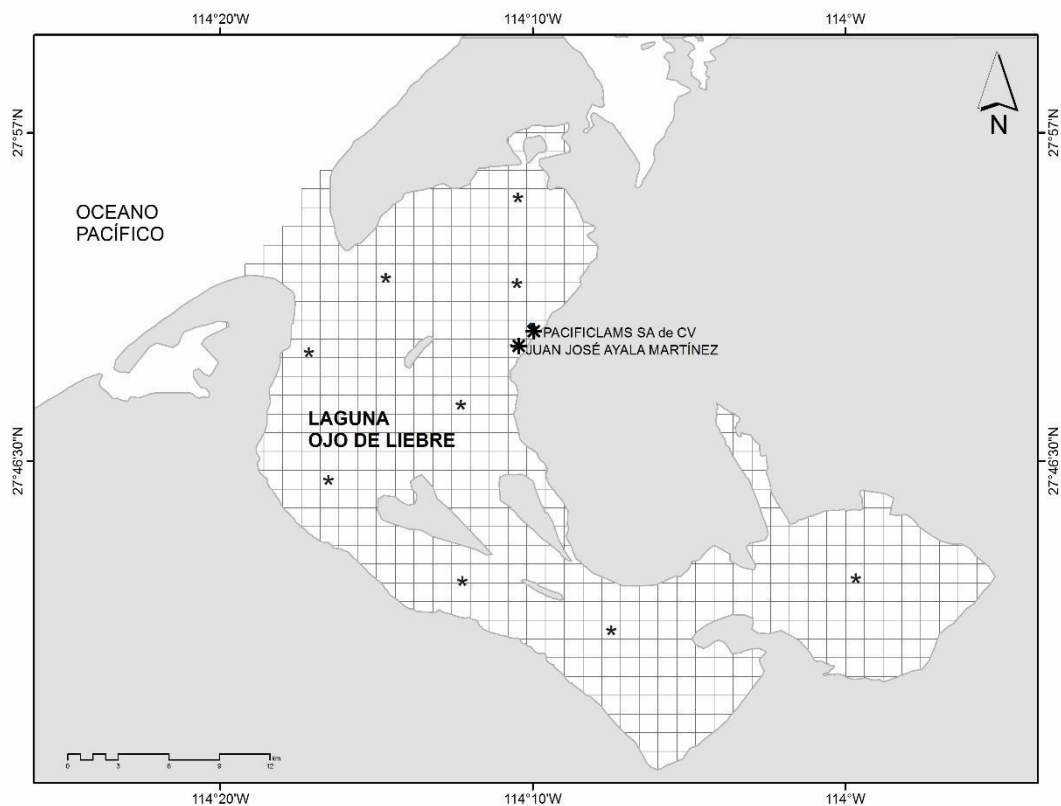


Figura 7. Ejemplo teórico de un diseño de muestreo para arrastres con red de zooplancton para búsqueda de larvas de ostión japonés. Los sitios de recolecta (marcados con asteriscos) se definirían a partir de un muestreo piloto previo. *Elaboración: UABCS/ G. Cruz-Piñón, 2019.*

Metodología para el monitoreo

Búsqueda y localización de juveniles y adultos

- Se recorrerán cada tres meses los sitios con presencia previa de *C. gigas* y otros donde haya reportes de algún sector sobre la ocurrencia de ostiones en la laguna. En cada sitio se realizarán recorridos a pie paralelos a la línea de costa en la zona intermareal, y si es necesario, se revisará mediante buceo libre la zona submareal inmediata (cuando haya indicios de presencia de sustrato rocoso o algún otro medio para fijación).
- Durante cada visita se deberá indicar en la libreta de campo la fecha, nombre del sitio, coordenadas y nombre del observador y los datos recolectados.
- Los datos a tomar son de dos tipos: 1) anotar para el sitio la presencia del ostión japonés y de otros ostiones, o bien la ausencia de los mismos; y 2) cuantificar la densidad de individuos por medio del tendido de 5 cuadrantes de 50 x 50 cm por sitio. Estos deben ser colocados de manera aleatoria en el banco de ostión, y en cada una de esas unidades de muestreo se contará el número de organismos presentes.
- La información generada deberá transcribirse a una base de datos electrónica. Posteriormente, con apoyo de instituciones académicas se podrá tener el análisis de los cambios temporales en densidad de ostiones en cada sitio, y comparar estadísticamente los resultados con el fin de denotar áreas con exceso o con muy baja cantidad de organismos, y además conocer las tendencias temporales de las poblaciones introducidas.
- También se recomienda tomar al menos en una ocasión por sitio, muestras de los ostiones observados para corroborar su identidad taxonómica en laboratorio, ya sea con base en la morfología o con técnicas moleculares.

Colecta de muestras de agua para la búsqueda de larvas

- Cada dos meses, en cada sitio elegido aleatoria o sistemáticamente, se deberá recolectar una muestra de agua de un volumen de 250 ml, utilizando una red para plancton (Fig. 8) con abertura de malla de 100 μ m, la cual deberá ser arrastrada por una embarcación (panga) por cinco minutos a una velocidad no mayor de cinco nudos (9 km/h). La idea es que a partir de ese muestreo se puedan filtrar al menos 100 litros de agua de mar con el fin de obtener larvas de ostiones, si estos se hallan presentes. El volumen de agua final que queda en el fondo de la red (250 ml) tiene como objetivo el que los especímenes se conserven en buen estado para proceder a su identificación.
- En los sitios donde no pueda arrastrarse la red porque son muy someros o hay estructuras o algún otro tipo de obstáculo, se harán pasar 100 litros de agua de mar

a través de la red utilizando un balde o cubeta, y tomando el líquido directamente al lado de la embarcación.

- Se recomienda medir la salinidad y temperatura superficial del agua en cada sitio de muestreo, con sensores multiparámetros, o con termómetros de cubeta y salinómetros ópticos.
- Cada muestra se transferirá a un recipiente de plástico, que deberá ser etiquetado indicando fecha y lugar de muestreo. Luego, el líquido con los organismos dentro se preservará con formol al 4%, y se llevará a un laboratorio para su procesamiento
- Para proceder a la separación de las larvas de ostión japonés y su identificación, se tomarán alícuotas de entre 5 y 10 mL, las cuales serán vaciadas en una caja de Petri y luego observadas en un microscopio estereoscópico a un aumento de al menos 40 X.



Figura 8. Red para zooplancton. Tomado de: *Catálogo fotográfico de SondaraSolutions®*

Colocación de colectores para semilla de ostión japonés

- Se sugiere construir colectores *ad hoc* para el monitoreo. Las técnicas, tamaños de malla y de los módulos, materiales y sustratos de fijación a elegir, deberán ser consensuados con los productores locales, quienes conocen con mucha precisión el comportamiento de su recurso.
- Una estrategia podría ser colocar los colectores en sargas de al menos 4 unidades, cada una separada entre sí al menos 50 cm y que represente un distinto nivel de profundidad. Las unidades se cuelgan en un sistema que incluye una boya superficial y una base de cemento (“peso muerto”) fija al sustrato duro o arenoso, o bien con el sistema afianzado al fondo arenoso con anclas de tornillo acero galvanizado y de 1 m de largo. Se sugiere colocar entre 20 y 30 unidades (dos por sitio con presencia de ostiones, y dos frente a cada polígono de cultivo), las cuales deberán permanecer en su sitio por dos meses. De este modo se podrá saber si la fijación larval está siendo exitosa y en dado caso el posible origen de los organismos reclutados.

- Cada bimestre los colectores se recogerán y sustituirán por nuevos. Los materiales que estuvieron en el mar serán llevados a instituciones de investigación para su procesamiento.
- En el laboratorio se abrirá cada bolsa colectora y se contarán todos los juveniles de ostión que sean encontrados como reclutas. Ese material será fijado en formol y entregado a expertos para confirmar su identidad como ostión japonés, o perteneciente a otra especie.
- La misma institución académica se encargará de realizar los análisis numéricos y estadísticos que evidencien los lugares con mayor y menor concentración de reclutas de *C. gigas*, si estos se presentan.

5.3. Acciones de prevención: buenas prácticas acuaculturales y uso de semillas triploides.

El uso de sistemas de acuicultura intensivos y enfocados a especies de alto valor comercial puede aumentar los riesgos ambientales; por ello, es necesario establecer prácticas acuícolas responsables y específicas a cada zona. Particularmente para el cultivo de ostión japonés, existen prácticas sostenibles alineadas al Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO (CCRF), que consisten en a) limitar las áreas concesionadas al cultivo dentro las bahías y esteros para no sobrepoblar las aguas; b) el uso de organismos triploides o tetraploides (estériles) para evitar la reproducción y su consecuente fijación en zonas adyacentes al área de cultivo minimizando la probabilidad de desplazamiento de especies nativas; y c) una mayor concientización y capacitación sobre los controles sanitarios asociados al cultivo (FAO, 2009).

En adición, la utilización de semillas triploides es actualmente el único método para contener al ostión japonés en los sitios de cultivo (Maldonado Amparo, 1998). Con base en lo anterior, y previendo el impacto ecológico que provocaron los cultivos de esta especie en otras partes del mundo, el empleo de este tipo de semilla (estériles) debería ser un requisito obligatorio para los productores que quieran instalarse dentro de la Reserva. Lo anterior está estipulado en la Regla 51 del Programa de Manejo de la REBICOL; mismo que deberá homologarse en el Programa de Manejo de la REBIVI, en donde en este momento no se menciona nada al respecto.

En el caso de los cultivos ubicados en la Laguna Ojo de Liebre, si bien los productores indican que la semilla del ostión japonés que utilizan es triploide, en pláticas directas con su personal operativo se constató que se estaba utilizando semilla diploide, debido principalmente a la disponibilidad a lo largo del año y su menor costo, combinación que

daba un mejor balance de ganancia económica a corto plazo para los productores, pero con un elevado costo para el ecosistema a mediano y largo plazo.

Para promover entre los productores el uso de semillas triploides, además del valor agregado que puede darse a esta estrategia (ver sección 4.2), existen otras ventajas que estos deberán conocer; por ejemplo, se ha notado que los ejemplares triploides crecen más rápido (aumentando el número de cosechas al año) y toleran mejor los cambios ambientales que la semilla diploide, hechos que constituyen ventajas de producción respecto al resto de productores (Garnier-Géré *et al.*, 2002; Chávez Villalba, 2014). Así, esta práctica resulta una estrategia de éxito desde el punto de vista de producción, con mayor cantidad de biomasa por el mismo número de organismos, y desde la perspectiva del control de una especie introducida, ya que garantiza (dentro de lo posible) que los animales no podrán reproducirse ni dispersarse fuera de su zona de cultivo.

Para lograr lo anterior se proponen tres vías. Primeramente, aprovechar que el Programa de Manejo de la REBIVI está en proceso de actualización, para incluir como obligatoria la regla de utilizar organismos triploides como condición para el otorgamiento del permiso de cultivo. Para alcanzar esa meta, la dirección de la Reserva será la encargada de llevar el tema ante el Consejo Asesor y llevar a cabo consultas con el fin de dar a conocer las razones de la decisión, y recibir propuestas sobre el contenido y aplicabilidad de la regla.

Por otro lado, los representantes de Gobierno Estatal sugirieron que en conjunto con las autoridades correspondientes de CONAPESCA a nivel federal y del Comité de Sanidad Acuícola de Baja California Sur, se podría conminar al laboratorio que provee las semillas y larvas (Acuicultura Robles) a que en el caso de los cultivos de la REBIVI, la compañía tenga como regla que la venta de estos insumos biológicos a los productores quede restringida al uso de organismos triploides. Una tercera opción puede ser que el Comité de Sanidad Acuícola lleve a cabo revisiones de los insumos biológicos a distribuirse en la Reserva, de manera que así como se certifica la calidad sanitaria del producto, se revisen sus características como organismo triploide. Esta actividad está dentro de las atribuciones legales del Comité. Como fortalecimiento y para asegurar el éxito de esta propuesta se deberá trabajar para dar solidez a las atribuciones legales en el tema y, en paralelo, con actividades de capacitación y sensibilización en el uso de semillas y larvas triploides para fomentar su aceptación entre todos los actores en mención.

5.4. Acciones de control

Las medidas propuestas ciertamente podrían garantizar el control de una posible invasión (dispersión). No obstante, sería recomendable que para que las medidas de contención antes mencionadas sean efectivas, los organismos que ya están fuera de los sistemas de cultivo sean erradicados. Actualmente, la abundancia de ostiones fuera de los sitios de cultivo no es muy alta y puede considerarse como manejable (conclusión que fue apoyada por los productores durante el taller de consulta). Una forma efectiva para erradicar dichos ostiones podría ser a través de una campaña de extracción (manual) en todos los sitios donde se comprobó la existencia del ostión japonés (Fig. 3), la cual podría ser apoyada con fondos federales (por ejemplo, el Programa de Empleo Temporal de SEMARNAT), o bien otorgando permisos de pesca de fomento para su extracción. Sin embargo, en opinión de los productores y representantes del Gobierno Estatal, esta actividad debe analizarse con más cuidado. Así, se sugiere que antes de la extracción se realicen los monitoreos suficientes para demostrar que los organismos realmente son parte de una población estable y por ende permanecen en los sitios durante largos plazos de tiempo; si este no es el caso, la extracción de ejemplares representaría un esfuerzo humano y económico innecesario. Otro argumento en este sentido es que el ostión en sus densidades actuales podría ser un beneficio en el sentido que estaría filtrando plancton y aclarando las aguas, lo cual favorecería el desarrollo del fitoplancton.

Por otra parte, el personal de gobierno manifestó que antes de eliminar los ejemplares sería necesario hacer dos consideraciones. Primero, que el status legal del recurso está en duda, dado que es una especie reservada para la acuicultura y por ende no existen permisos de pesca formal. Por otro lado, se requiere un análisis desde la óptica de la sanidad acuícola para conocer en detalle el grado de salud y por ende, de calidad del producto para su consumo. La preocupación principal proviene del hecho que la mayor extensión de espacio ocupado por *C. gigas* se presenta en el Bordo de la Compañía Exportadora de Sal, donde los animales pudieran estar expuestos a la influencia de los químicos o metales relacionados con el proceso de obtención de la sal.

Dado que ambos puntos expresados por los actores locales son válidos, la sugerencia final es realizar los estudios propuestos antes de tomar la decisión final sobre el destino de los organismos que actualmente se encuentran en vida libre en la Laguna Ojo de Liebre.

Metodologías para el control de la dispersión del ostión japonés

Independientemente de las acciones que se realicen (o no) para retirar a los individuos de ostión japonés ya establecidos en la Laguna Ojo de Liebre, es importante definir alternativas para evitar nuevos establecimientos.

La instalación de colectores para el monitoreo también representa una forma sencilla de control. Para este caso, las estructuras artificiales (“arrecifes”, sistemas de colectores o sargas; Mazón, 1996) permiten concentrar la fijación de larvas, de donde los reclutas (“semillas”) puedan ser directamente retiradas sin representar grandes esfuerzos. Los métodos y materiales para la construcción de arrecifes artificiales son muy variados, pero generalmente se emplean estructuras con amplia superficie de fijación (es decir, con una forma geométrica redonda), que se emplazan en grupos sobre sustratos arenosos y en sitios donde no representen accidentes para la navegación o afecten zonas de pesca (Lagunas Vázquez *et al.*, 2017). También pueden usarse bolsas de malla o de red, que se rellenan de vegetación seca (que funciona como un filtro para las larvas que atraviesan la bolsa), o bien, fragmentos de conchas de diversas especies (del mismo ostión japonés, de ostión nativo, almeja voladora o almeja catarina), las cuales están en amplia disponibilidad en la región. Este tipo de sustrato es aprovechado por las semillas que se fijan directamente sobre el carbonato. El tercer sistema son las sargas (cuerdas o collares); para construirlas, las conchas deberán pasar por un proceso de selección, en donde se lavan y son sometidas a periodos prolongados de sol para eliminar cualquier resto de fauna asociada (poliquetos, otros moluscos). La elaboración de las sargas requiere tener las conchas con una perforación al centro, y estas se van colocando en una serie de seis a siete unidades a lo largo de un cabo de polipropileno de 2.20 m, el cual pasa por el orificio en cada concha; estas deben estar separadas por lazadas con la idea de dejar una distancia aproximada de 10 cm entre ellas. Finalmente se forman unidades con 10 sargas que pueden integrarse a su vez en manojos de hasta 40 sargas, las cuales se transportan a los sitios de fijación.

Al igual que para el monitoreo, las estructuras deben ser revisadas cada dos o tres meses y reemplazadas en caso de que ocurra fijación de la especie. Dado que estos procedimientos están diseñados para reducir el reclutamiento en el medio natural, los ejemplares encontrados deberán ser destruidos, siguiendo las recomendaciones para la disposición de material biológico que sugiera la academia y el Comité de Sanidad Acuícola Estatal.

5.5. Producción mediante buenas prácticas acuícolas

En la actualidad existen diferentes manuales relacionados ya sea directamente con el cultivo de ostiones o de manera general para bivalvos; por ejemplo, en este último caso existe el “Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Moluscos Bivalvos para la Inocuidad Alimentaria” (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, 2003), el

cual tiene como objetivo principal cumplir específicamente con las atribuciones en materia de inocuidad de alimentos derivados de la acuicultura, a fin de que los productores de estos organismos cuenten con un instrumento que les sirva de guía para la reducción de riesgos en sus granjas acuícolas, de tal forma que se garantice que los productos finales tengan y mantengan las especificaciones requeridas para el consumo humano y que los procesos de producción sean amigables con el medio. Otra obra similar a la antes mencionada es la publicada por Cáceres Martínez & Vásquez Yeomans (2014) “Manual de buenas prácticas para el cultivo de moluscos bivalvos”, el cual busca constituirse en un instrumento efectivo y eficiente para el exitoso desarrollo de los cultivos de moluscos de forma responsable, sostenible y amigable con el ambiente y en beneficio de la población.

Otra fuente informativa es el “Manual de Operación y Manejo Biológico del Cultivo de Ostión”, publicado por Zarain Herzberg & Villalobos Fernández (2012), dirigido particularmente para los productores de ostras del estado de Sinaloa, y el Manual de Buenas Prácticas en Granjas Ostrícolas de San Quintín, Baja California (Tapia Vázquez *et al.*, 2008), el cual surgió como resultado del diagnóstico realizado por el Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California (CESAIBC), mediante el cual se analizó cada una de las etapas del método de cultivo establecido por los productores en Bahía San Quintín. En esta obra se incluyeron entrevistas y experiencias obtenidas a través de cursos y talleres con los titulares de las empresas y con sus trabajadores, lo cual permitió identificar los puntos críticos, que debían ser considerados mediante la aplicación de buenas prácticas. En general todos estos manuales consisten en atender un conjunto de recomendaciones, normas y actividades, que permitan la obtención de productos inocuos, sin causar efectos significativos a los cuerpos de agua en que se lleven a cabo los cultivos, minimizando así los posibles efectos ambientales asociados a las actividades acuaculturales.

5.6. Educación ambiental y sensibilización a productores

A diferencia de otras especies exóticas invasoras, el ostión japonés está estrechamente relacionado con pocos actores (productores y autoridades: Fig. 6) ya que una gran parte de la población local no participa directamente en la actividad; por ello, más que una campaña de educación ambiental es necesaria una estrategia de sensibilización entre los actores antes mencionados dentro de la REBIVI. Es importante que la Dirección de la REBIVI tenga una participación preponderante, que coadyuve en la promoción y el reforzamiento de su imagen de figura ambiental y con ello fortalecer la relación con los productores y pescadores quienes eventualmente podrían ser los que reporten nuevos

establecimientos de la especie. Así mismo, se deberá poner a disposición de ellos la utilización de hojas de reporte (Anexo 1) e incluso instruirlos en el uso de la herramienta que brinda la página de red “Naturalista” (de CONABIO) para de esa manera reportar observaciones sobre especies invasoras vía celular o computadora y obtener posteriormente la confirmación por expertos sobre la identificación taxonómica. En cuanto a la sensibilización, esta deberá basarse en la información obtenida por estudios científicos recientes (PNUD, 2019b, 2019c), buscando concientizar a los productores para evitar el uso de semilla diploide. La sensibilización a productores puede tener dos perspectivas, por un lado, deberán conocer los efectos negativos sobre el medioambiente que causan las poblaciones que “escapan” de los sitios de cultivo, mediante la presentación de casos de estudios en otras regiones. Además, será de gran relevancia que conozcan las ventajas que conlleva el uso de ostiones triploides, tanto en términos económicos como en beneficio del ecosistema.

6. Conclusiones y recomendaciones

- ✓ El consenso alcanzado en el taller de análisis de la situación actual del ostión japonés *Crassostrea gigas* en la Laguna Ojo de Liebre, en el cual participaron administradores del ANP, productores, representantes de gobierno municipal, estatal y federal, y los autores y revisores de este documento, es que aunque no haya duda de que existen organismos en vida libre en la zona, su cantidad aún es pequeña y sus sitios potenciales de establecimiento son escasos. En consecuencia puede decirse que la especie no representa en este momento un problema real de invasión en la laguna. No obstante, los asistentes a la reunión coincidieron en que este es un buen momento para iniciar un programa de monitoreo que evidencie la dinámica de la población residente, y además desarrollar una serie de estudios complementarios que aclaren el potencial invasivo de la especie en la región de interés.
- ✓ Las propuestas de manejo que se presentan en este documento deberán darse a conocer en los próximos meses a los diferentes actores relacionados con el cultivo del ostión japonés en la REBIVI, con el fin de respetar los principios de gobernanza que sostiene la administración del ANP. Es deseable que en su momento, este documento también sea direccionado al Subconsejo Asesor Acuícola de la Reserva, una vez que este cuerpo asesor sea formalmente establecido.
- ✓ La mejor estrategia para evitar cualquier probabilidad de invasión por parte del ostión japonés en la REBIVI es el uso exclusivo de semillas triploides. Para asegurar esta condición, deben buscarse estrategias donde organizaciones como el Comité de Sanidad Acuícola de Baja California Sur puedan comprobar que los organismos presenten estas características antes de su sembrado.
- ✓ El uso de organismos 100% estériles presenta varios beneficios; permitiría realizar cultivos con nulo o mínimo impacto ecológico sobre la laguna, favorecería el mayor rendimiento de los cultivos, y además podría usarse como una forma de alcanzar un “sello verde” que aumentara el precio de mercado del producto local.
- ✓ Se recomienda el monitoreo constante de las poblaciones de *C. gigas* establecidas dentro de la laguna, por medio de conteos de su abundancia y distribución de organismos adultos, la presencia de larvas en el cuerpo de agua, la cuantificación de reclutas en sistemas de colectores, y con análisis del grado de madurez sexual de los organismos recolectados en el campo.
- ✓ Dado que había reticencia por parte de varios sectores a la eliminación de los organismos ya establecidos en el medio, se recomienda el establecimiento de sitios de reclutamientos artificiales para la fijación de larvas y juveniles de ostión

japonés, con lo cual los organismos podrán ser dispuestos adecuadamente y ello ayudaría a tener un mejor control de la dispersión local.

- ✓ Se recomienda impulsar la creación de un manual de buenas prácticas específico para los productores de la Reserva y zonas aledañas, apoyado en este documento y de otros que ya existen, todo con el fin de mantener la actividad productiva con el mejor nivel de calidad sanitaria e inocuidad, y al mismo tiempo garantizando el buen estado ambiental de la Reserva.

6. Estimación de costos

ACTIVIDAD	COSTOS (pesos mexicanos)	DESCRIPCIÓN
Evaluación de sitios de presencia comprobada de ostión japonés por medio de censos de abundancia	75,000	Recorridos cada 3 meses. Pago de combustible, jornales, renta de embarcación.
Red de colecta de plancton	8,500	Por pieza
Visitas a la laguna para colecta de larvas en el plancton	50,000	Recorridos bimestrales a lo largo de la Laguna Ojo de Liebre, y ejecución de arrastres de zooplancton.
Adquisición de las estructuras para fijación de ostión japonés	40,000	Canastas/bolsas ostrícolas
Establecimiento de estructuras para fijación de ostión japonés	10,000	Compra de estructuras al inicio de la siembra y pago de jornales
Visitas a los sitios de interés para levantar colectores, colocación de nuevos y limpieza de estructuras	50,000	Una visita cada dos meses Pago de combustible, jornales, renta de embarcación
Disposición de los organismos recolectados para su destrucción	5,000	Transporte hacia el relleno sanitario
Capacitación de los recursos humanos encargados de la recolección y limpieza	50,000	Pago de jornales, sueldo de instructor, renta de espacio para llevar a cabo los talleres donde se preparará a las personas para el manejo del equipo de toma de datos para estimación de densidad de organismos, para la toma de muestras de plancton, y para la colocación de colectores de semilla
Papelería	3,000	Libretas de campo, lápices
Material de campo	15,000	GPS, guías de identificación, herramientas (martillo, cincel, guantes, etc).

7. Líneas estratégicas de acción para el manejo del ostión japonés en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno

Estrategia	Acciones	Temporalidad	Actores involucrados	Resultados esperados	Indicadores de éxito
Prevención	Fomentar el uso de semilla triploide	Corto plazo	Proveedores de semilla, Productores, Comisión de Sanidad Acuícola de BCS	Minimizar la reproducción de <i>C. gigas</i> y por lo tanto evitar en lo posible una invasión exitosa	Sitios libres de ostión japonés. En su caso, sitios con densidad < 1 ind/m ²
	Comprobación del uso de organismos estériles	Mediano plazo	Comisión de Sanidad Acuícola de BCS, Productores	Minimizar la reproducción de <i>C. gigas</i> , de modo que los organismos queden contenidos a las granjas de cultivo y así evitar su dispersión	Número de sitios libres de ostión japonés Mayor rendimiento productivo (los animales triploides crecen más rápidamente, y alcanzan mejor estado físico)
	Detección temprana de larvas de <i>C. gigas</i> por medio de la búsqueda de larvas en el medio	Corto plazo	Comisión de Sanidad Acuícola de BCS, Productores, CONAPESCA, REBIVI, Academia,	Comprobar la existencia de la fase dispersiva de <i>C. gigas</i> en sitios fuera de las granjas de cultivo	Número de larvas por sitio
Control	Extracción de ostión japonés en sitios ya establecidos	Corto plazo	Productores, personal, REBIVI	Controlar, disminuir y/o erradicar la presencia de <i>C. gigas</i> en la REBIVI	Biomasa/número de individuos de <i>C. gigas</i> recolectados por sitio. Cabe señalar que esta acción no tuvo consenso por parte de productores y gobierno estatal, por lo que

					debe tomarse solo como una sugerencia.
	Establecimiento de sitios de reclutamiento artificiales para la fijación de larvas y juveniles de ostión japonés	Corto plazo	Productores, personal REBIVI, Academia	Controlar la dispersión de los organismos fuera de los sitios de cultivo por medio de la eliminación sistemática de las semillas de <i>C. gigas</i> .	Sitios libres de ostión japonés. Número de estructuras colonizadas por individuos de <i>C. gigas</i>
	Limpieza de estructuras artificiales para la fijación de larvas y juveniles de ostión japonés	Revisiones periódicas cada dos meses después de su instalación, para la limpieza	Productores, personal REBIVI	Controlar la dispersión y extracción de los organismos fuera de los sitios de cultivo.	Número de estructuras revisadas y limpiadas de <i>C. gigas</i> . Número de individuos de <i>C. gigas</i> desprendidos de las estructuras.
Manejo	Monitoreo permanente	Estimaciones de densidad de organismos en los sitios de ocurrencia, cada tres meses, con particular atención después de la temporada de siembra	Productores, personal REBIVI, Academia	Evaluación de diferentes sitios de la laguna para revisar el estado de las poblaciones nominalmente establecidas	Sitios libres de ostión japonés, o mantener densidades menores a 1 ind/m ² . Reporte por parte de residentes locales, sobre la posible ocurrencia de ostiones japonés en vida libre en diversos sitios de la REBIVI. Análisis de la capacidad reproductiva de los organismos.

Confirmación con medios
genéticos o morfológicos
de la ocurrencia de *C. gigas*
en vida libre.

Si las poblaciones locales
de ostión japonés
demuestran ser exitosas y
permanentes, iniciar un
programa de erradicación
de ejemplares.

8. Bibliografía

- Aguirre-Muñoz, A., Buddemeier, R. W., Camacho-Ibar, V., Carriquiry, J. D., Ibarra-Obando, S. E., Massey, B. W., Smith, S.V. & Wulff, F.** 2001. Sustainability of coastal resource use in San Quintin, Mexico. *AMBIO*. 30(3): 142-150.
- AquaSense.** 2003. De sublittorale hard-substraat levensgemeenschappen in de Oosterschelde. Uitgebreide omschrijving van de ontwikkelingen in de periode 1985–2002 AquaSense, commissioned by the National Institute of Coastal and Marine Management (RWS-RIKZ) (2003). Report 1973–2. 32 pp.
- Allen, S. K. Jr., Downing, S. L., & Chew, K. K.,** 1989. Hatchery manual for producing triploid oysters. Washington Sea Grant Program, University of Washington Press. 27 pp.
- Avilés-Quevedo, S. & Vázquez-Hurtado, M.** 2006. Fortalezas y debilidades de la acuicultura en México. p. 69-86 En: P. Guzmán Amaya y D. Fuentes Castellanos. Pesca, acuicultura e investigación en México. México, Cámara de Diputados, Comisión de Pesca, CEDRSSA.
- Barton, A., Hales, B., Waldbusser, G. G., Langdon, C., & Feely, R. A.** 2012. The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: Implications for near-term ocean acidification effects. *Limnology and Oceanography*. 57(3): 698-710.
- Beaumont, A. R., Fairbrother, J. E.** 1991. Ploidy manipulation in Mollusca shellfish: a review. *Journal of Shellfish Research*. 10(1): 1-18.
- Beukema, J. J., & Dekker, R.** 2005. Decline of recruitment success in cockles and other bivalves in the Wadden Sea: possible role of climate change, predation on postlarvae and fisheries. *Marine Ecology Progress Series*. 287: 149-167.
- Cáceres Martínez, J. & Vázquez Yeomans, R.** 2014. Manual de buenas prácticas para el cultivo de moluscos bivalvos. OIRSAOSPESCA, 117 p.
- Callam, B. R., Allen Jr, S. K. & Frank-Lawale, A.** 2016. Genetic and environmental influence on triploid *Crassostrea virginica* grown in Chesapeake Bay: Growth. *Aquaculture*. 452, 97-106.
- 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.
- Cáceres-Martínez, J. & Vázquez Yeomans, L.** 2003. Manual de buenas prácticas de producción acuícola de moluscos bivalvos para la inocuidad alimentaria. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SAGARPA. 160 p.

- Chávez-Villalba, J.** 2014. Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiológica*. 24(3): 175-190.
- Coan, E.C. & Valentich Scott, P.** 2012. Bivalve seashells of tropical west America: Marine bivalve mollusks from Baja California to Northern Peru. Vol. 1. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara. 596 p.
- Cooley, S. R., & Doney, S. C.** 2009. Anticipating ocean acidification's economic consequences for commercial fisheries. *Environmental Research Letters*. 4(2): 024007.
- CONABIO.** 2017. Análisis de riesgo Rápido de *Crassostrea gigas*. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.
- CONANP.** 2000. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera El Vizcaino. CONANP, México. 244 p.
- CONANP.** 2016. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Complejo Lagunar Ojo de Liebre. CONANP, México. 156 p.
- CONAPESCA.** 2019. Sistema de seguimiento de trámite y de comprobación de apoyos otorgados. Fecha de consulta: 25 de mayo de 2019.
<https://transparenciacuicola.conapesca.gob.mx/reporte2.php>
- Crooks, J. A., Crooks, K. R. & Crooks, A. J.** 2015. Observations of the non-native Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in San Diego County, California. *California Fish and Game*. 101: 101-107.
- Dankers, N. M. J. A., Meijboom, A., De Jong, M. L., Cremer, J. S. M., Dijkman, E. M., Fey-Hofstede, F. E., Smaal, A., Craeymeersch, J., Brummelhuis, E., Steenbergen, J. & Baars, J. M. D. D.** 2006. De ontwikkeling van de Japanse oester in Nederland (Waddenzee en Oosterschelde) (No. C040/06). IMARES.
- Drinkwaard, A. C.** 1999. Introductions and developments of oysters in the North Sea area: a review. *Helgoland Marine Research*. 52: 301-308.
- DOF.** 2012. Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Publicado 6 de junio de 2012.
- DOF.** 2012. Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Publicado 28 de noviembre de 2016.
- DOF.** 2016. Acuerdo con el que se determina la lista de las especies exóticas invasoras para México. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Publicado 7 de diciembre de 2016.
- Escapa, C. M., Isacch, J. P., Daleo, P., Alberti, J., Iribarne, O. O., Borges, M. E., ... & Lasta, M.** 2004. The distribution and ecological effects of the introduced Pacific oyster

- Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in northern Patagonia. *Journal of Shellfish Research*. 23(3): 765-773.
- FAO.** 2009. Species fact sheet: *Crassostrea gigas*. Available online at http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Crassostrea_gigas/en
- FAO.** 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200 pp.
- FAO** 2005-2019. Cultured Aquatic Species Information Programme *Crassostrea gigas*. Programa de información de especies acuáticas. Texto de Helm, M.M. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. Actualizado 13 April 2005. [Citado 27 June 2019].
- Feely, R. A., Sabine, C. L., Hernandez-Ayón, J. M., Ianson, D., & Hales, B.** 2008. Evidence for upwelling of corrosive "acidified" water onto the continental shelf. *Science*. 320(5882): 1490-1492.
- Fey, F., Dankers, N., Steenbergen, J. & Goudswaard, K.** 2009. Development and distribution of the non-indigenous Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) in the Dutch Wadden Sea. *Aquaculture International*. 18: 45-59.
- Garnier-Géré, P. H., Naciri-Graven, Y., Bougrier, S., Magoulas, A., Héral, M., Kotoulas, G., Hawkins, A. & Gérard, A.** 2002. Influences of triploidy, parentage and genetic diversity on growth of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* reared in contrasting natural environments. *Molecular Ecology*. 11(8): 1499-1514.
- Goulletquer, P., & Héral, M.** 1992. Aquaculture of *Crassostrea gigas* in France. In The Ecology of *Crassostrea gigas* in Australia, New Zealand, France and Washington State, pp. 12 – 19. University of Maryland Sea Grant publication UM-SG-TS-92.07, Maryland Sea Grant College, College Park, MD. 25 pp.
- Guo, X. & Allen, S. K. Jr.** 1994. Viable tetraploids in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by inhibition polar body I in eggs from triploids. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*. 3(1): 42-50
- Guo X., Debrosse, G. A. & Allen, S. K. Jr.** 1996. All triploid oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by mating tetraploids and diploids. *Aquaculture*. 142: 149–161.
- Herbert, R. J. H., 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 and Conservation*. 25(14): 2835-2865.
- Kahru, M., Jacox, M. G., & Ohman, M. D.** 2018. CCE1: Decrease in the frequency of oceanic fronts and surface chlorophyll concentration in the California Current System during the 2014–2016 northeast Pacific warm anomalies. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 140: 4-13.

- Kelly, J. R., Proctor, H., & Volpe, J. P.** 2008. Intertidal community structure differs significantly between substrates dominated by native eelgrass (*Zostera marina* L.) and adjacent to the introduced oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in British Columbia, Canada. *Hydrobiologia*. 596(1): 57-66.
- Lagunas-Vázquez, M., Almendárez-Hernández, M. A., Beltrán-Morales, L. F. & Ortega-Rubio, A.** 2017. Propuesta metodológica para medir la sustentabilidad costera local en zonas áridas: su aplicación en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. *Estudios Sociales* (Hermosillo). 27(50): <http://dx.doi.org/10.24836/es.v27i50.422>
- Lehane, C. & Davenport, J.** 2004. Ingestion of bivalve larvae by *Mytilus edulis*: experimental and field demonstrations of larviphagy in farmed blue mussels. *Marine Biology*. 145(1): 101-107.
- 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(5): 357-366.
- Maldonado-Amparo, R.** 1998. Crecimiento y supervivencia del ostión triploide del Pacífico *Crassostrea gigas* en la fase de engorda, desarrollado bajo condiciones tropicales y contaminadas. Instituto Tecnológico del Mar. Tesis de Maestría en Ciencias. ITG, Guaymas. 55 p.
- Maldonado-Amparo, R., Verdugo, C. A. R., Ibarra, A. M., Rueda-Puente, E. O., Sánchez, C. L. D. T. & Félix, F. R.** 2016. Poliploidía en moluscos De importancia comercial. *European Scientific Journal*. 12(33): 69-102.
- Markert A, Wehrmann A, & Kronke I.** 2010. Recently established *Crassostrea* reefs versus native *Mytilus* beds: differences in ecosystem engineering affects the macrofaunal communities (Wadden Sea of Lower Saxony, southern German Bight). *Biological Invasions*. 12: 15–32
- Mazón, S.J.M.** 1996. Cultivo del ostión japonés *Crassostrea gigas*. p. 625-650. En: Casas Valdéz, M & Ponce, Díaz, .G. eds. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. CIBNOR, La Paz.
- McClatchie, S., Goericke, R., Cosgrove, R., Auad, G., & Vetter, R.** 2010. Oxygen in the Southern California Bight: multidecadal trends and implications for demersal fisheries. *Geophysical Research Letters*. 37 (19): <https://doi.org/10.1029/2010GL044497>
- Melo, E. M. C., Gomes, C. H. A., Silva, F. C., Suhnel, S., Melo, C. M. R.** 2015. Chemical and physical methods of triploidy induction in *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). *Boletim do Instituto de Pesca, Sao Paulo*. 41(4): 889-898.
- Miossec, L., Le Deuff, R. M., and Goulletquer, P.** 2009. Alien species alert: *Crassostrea gigas* (Pacific oyster). ICES Cooperative Research Report No. 299. 42 pp.

- Nehls, G., Diederich, S., Thieltges, D.W., Strasser, M.** 2006. Wadden Sea mussel beds invaded by oysters and slipper limpets: competition or climate control? *Helgoland Marine Research*. 60: 135–143.
- NRC (National Research Council).** 2004. Nonnative oysters in the Chesapeake Bay. NRC – Ocean Studies Board, National Academies Press, Washington, DC. 325 pp.
- Padilla D.K.** 2010 Context-dependent impacts of a non-native ecosystem engineer, the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Integrative and Comparative Biology*. 50: 213–225.
- PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).** 2019a. Caracterización de los sistemas de cultivo de ostión japonés *Crassostrea gigas*, en la zona marina de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. 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. 28 pp.
- PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).** 2019b. 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.
- PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).** 2019c. 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. Servicio de consultoría para evaluar la situación actual del ostión japonés en la zona marina de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. 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. 17 pp.
- Rasmussen, R. S., & Morrissey, M. T.** 2007. Biotechnology in aquaculture: transgenics and polyploidy. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 6(1): 2-16.
- Rinde, E., Tjomsland, T., Hjermann, D. Ø., Kempa, M., Norling, P., & Kolluru, V. S.** 2017. Increased spreading potential of the invasive Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) at

- its northern distribution limit in Europe due to warmer climate. *Marine and Freshwater Research*. 68(2): 252-262.
- Scheiffarth, G., Ens, B., Schmidt, A.** 2007. What will happen to birds when Pacific Oysters take over the mussel beds in the Wadden Sea? *Wadden Sea Newsletter* 33:10–14.
- Schmidt A., Wehrmann A. & Dittmann S.** 2008. Population dynamics of the invasive Pacific oyster *Crassostrea gigas* during the early stages of an outbreak in the Wadden Sea (Germany). *Helgoland Marine Research*. 62: 367–376.
- SEPESCA/BAJA CALIFORNIA.** 2015. Programa Estatal de Pesca y Acuicultura - COPLADE Baja California. 2015-2019. 46 pp.
- Smaal, A. C., Stralen, M. & van Craeymeersch, J. A. M.** 2005. Does the introduction of the pacific oyster *Crassostrea gigas* lead to species shifts in the Wadden Sea? In the Comparative Roles of Suspension-Feeders in Ecosystems, pp. 277-289. Dame, R. F & Olenin, S. (eds.). NATO Science Series IV, Earth and Environmental Sciences, Vol. 47. Springer, Dordrecht. 359 pp.
- Sisttermans, W. C. H., Hummel, H., Van Hoesel, O. J. A., Markusse, M. M., Rietveld, M. & VanSoelen, E.** 2005. Het macrobenthos van de Westerschelde, de Oosterschelde, hetVeerse meer en het Grevelingenmeer in het najaar 2004. NIOO-CEME, Yerseke, theNetherlands.
- Solomieu, V. B., Renault, T., & Travers, M. A.** 2015. Mass mortality in bivalves and the intricate case of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 131 (1): 2-10.
- Stramma, L., Schmidtko, S., Levin, L. A., & Johnson, G. C.** 2010. Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 57(4): 587-595.
- Tallis, H. M., Ruesink, J. L., Dumbauld, B., Hacker, S., & Wisenart, L. M.** 2009. Oysters and aquaculture practices affect eelgrass density and productivity in a Pacific Northwest estuary. *Journal of Shellfish Research*. 28(2): 251-262.
- Tapia-Vázquez, O., González-Alcalá, H., Saénz-Gaxiola, L.M. & García-Hirales R.** 2008. Manual de buenas prácticas en granjas ostrícolas de San Quintín, Baja California, México. Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California, A.C. 36 pp.
- Thomas, Y., Pouvreau, S., Alunno-Bruscia, M., Barillé, L., Gohin, F., Bryère, P., & Gernez, P.** 2016. Global change and climate-driven invasion of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) along European coasts: a bioenergetics modelling approach. *Journal of Biogeography*. 43(3): 568-579.
- Tronske, N. B., Parker, T. A., Henderson, H. D., Burnaford, J. L., & Zacherl, D. C.** 2018. Densities and zonation patterns of native and non-Indigenous oysters in Southern California Bays. *Wetlands*. 38(6): 1313-1326.

- Troost, K., Kamermans, P. & Wolff, W. J.** 2008. Larviphagy in native bivalves and an introduced oyster. *Journal of Sea Research*. 60(3): 157-163.
- Troost, K.** 2009. Pacific oysters in Dutch estuaries. Causes of success and consequences for native bivalves., Department of Marine Biology, the Netherlands. University of Groningen, the Netherlands.
- Troost K., Gelderman E., Kamermans P., Smaal A.C., & Wolff W.J.** 2009. Effects of an increasing filter feeder stock on larval abundance in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands). *Journal of Sea Research*. 61:153–164.
- Troost K.** 2010. Causes and effects of a highly successful marine invasion: Case-study of the introduced Pacific oyster *Crassostrea gigas* in continental NW European estuaries. *Journal of Sea Research*. 64: 145–165.
- Wagner, E., Dumbauld, B. R., Hacker, S. D., Trimble, A. C., Wisehart, L. M., & Ruesink, J. L.** 2012. Density-dependent effects of an introduced oyster, *Crassostrea gigas*, on a native intertidal seagrass, *Zostera marina*. *Marine Ecology Progress Series*. 468: 149-160.
- Zarain-Herzberg, M. & Villalobos-Fernández, C.** 2012. Manual de operación y manejo biológico del cultivo de ostión (CONACYT-FOMIX-126285). Centro de Ciencias de Sinaloa. Culiacán, México. 51 p.

Anexo 1. Formato de reporte de observación de ostión japonés fuera de los sitios de cultivo

Con el fin de facilitar la participación de los productores en los monitoreos y el registro de nuevos avistamientos se propone el siguiente formato; no obstante, el personal de la REBIVI deberá validar la información y, en su caso, homologar el registro con las bases de CONABIO.

Observador (Nombre):	
Número de individuos observados:	Lugar de observación (Nombre):
Coordenadas (UTM):	Sitio:
	Descripción del sitio
Comentarios:	