

Aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en Tabasco para formación de perlas y artesanías

C O L E C C I Ó N
JOSÉ N. ROVIROSA
Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo

José Manuel Piña Gutiérrez
Rector

Sandra Aguilar Hernández
*Directora de la División Académica
Multidisciplinaria de Los Ríos*

Aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en Tabasco para formación de perlas y artesanías

Pedro E. Saucedo-Lastra

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
La Paz, B.C.S., México

Alfonso Castillo-Domínguez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
División Académica Multidisciplinaria de los Ríos
Tenosique, Tabasco, México

Carolina Esther Melgar-Valdes

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
División Académica Multidisciplinaria de los Ríos
Tenosique, Tabasco, México



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

Saucedo Lastra, Pedro E., autor

Aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en Tabasco para formación de perlas y artesanías / Pedro E. Saucedo Lastra, Alfonso Castillo-Domínguez, Carolina Esther Melgar-Valdes. -- Primera edición. -- Villahermosa, Tabasco : Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2015

133 Páginas : Ilustrado. -- (Colección: José N. Roviroso. Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo).

Incluye referencias bibliográficas (p. 123-130)

ISBN: 978-607-606-396-5

1. Ostras – cultivo \ 2. Artesanías en ostras. I. Castillo-Domínguez, Alfonso, autor \ Melgar-Valdes, Carolina Esther, autor

L.C. SH365 .M4 S28 2015

Catalogador: PMZ

Primera edición, 2015

D.R. © Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Av. Universidad s/n. Zona de la Cultura
Colonia Magisterial, C.P. 86040
Villahermosa, Centro, Tabasco.

Esta obra fue dictaminada con arbitraje doble ciego por especialistas en el tema y y su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores. Queda prohibida su reproducción total, por cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y manipulación sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor y el Código Penal en materia de derechos de la propiedad intelectual. Se permite su reproducción parcial siempre y cuando se cite la fuente.

ISBN: 978-607-606-396-5

Gerardo Hernández García: Diseño general de la obra; Diseño del logotipo del proyecto "Alternativas de aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en el estado de Tabasco; Fotografías páginas: 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 y 45

Douglas McLaurin Moreno: Fotografías páginas: 27, 76 y 77,

Pedro Saucedo Lastra: Diseño de Fotografía página 29; Diseño de imagen página 81; Fotografías páginas: 31, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 67, 69, 72, 74, 78, 82, 85, 86, 87, 88, 114, 11 y 116

Alfonso Castillo Domínguez: Fotografías páginas: 89, 90, 93, 94, 95, 96 y 98

Carolina Esther Melgar Valdes: Fotografías páginas: 93, 94, 96 y 98

Diego Saucedo Ortega: Diseño Fotografía página 29

Héctor Acosta Salmón: Fotografías páginas: 51 y 67

Nohany Córdova Arroyo: Fotografías páginas: 53, 54, 55 y 56

Hugo Ruíz Rubio: Fotografía página 77

Manuel Mendoza Carranza: Fotografía página 93

José Manuel Mazón Suástegui: Fotografía página 115

Andrés Granados Amores: Diseño Fotografía página 117

Francisco Morales Hoil: Apoyo editorial

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México

GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN**

FUNDACIÓN PRODUCE TABASCO, A.C.

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA MULTIDISCIPLINARIA DE LOS RÍOS

COLABORADORES

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S.

Dr. Héctor Acosta Salmón
Dr. José Manuel Mazón Suástegui
M. en C. Horacio Bervera León
M. en C. Tizoc Moctezuma Cano

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, Tenosique, Tabasco Cuerpo Académico Producción, Manejo y Conservación de Recursos Acuáticos

Dr. Carlos Alberto Cuenca Soria
Dra. Martha Alicia Perera García
M. en C. Raúl Enrique Hernández Gómez
Biól. Orlando Pantoja Martín

Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, Tenosique, Tabasco

Rosa Irma Valenzuela Cámara

PRESENTACIÓN

El presente documento se originó como parte del proyecto titulado “Alternativas de aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en el estado de Tabasco”, el cual fue impulsado por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca (SEDAFOP) del Gobierno del Estado de Tabasco, y financiado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Fundación Produce Tabasco, A.C. (FPT). El proyecto se desarrolló de 2009 al 2013. Se reportan los resultados de las experiencias de un programa exitoso de colaboración entre el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., de La Paz, Baja California Sur, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, en Tenosique, Tabasco, en relación a un programa de capacitación para inducir la formación de medias perlas (mabes), perlas sin núcleo tipo *keshi* y productos de valor agregado como artesanías elaboradas a partir de la concha y las mismas perlas. El documento tiene como objetivo difundir los conocimientos científicos obtenidos entre tomadores de decisiones del estado de Tabasco, con el fin de promover su posible escalamiento tecnológico a nivel piloto. De manera particular, se busca aplicar esta tecnología en las comunidades rurales o grupos sociales del estado, donde el cultivo de perlas puede ser una actividad innovadora, amigable con el ambiente, y promotora de desarrollo socioeconómico. Esto, a partir de un esquema que fácilmente se puede integrar a la vida productiva de los lugareños de acuerdo a sus necesidades reales de trabajo y remuneración digna.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los funcionarios de la SEDAFOP, SAGARPA y FPT por su visión y apoyo en la ejecución de las diferentes etapas del proyecto que originó este documento. Nuestra gratitud al Dr. José Manuel Mazón Suástegui, al Dr. Hector Acosta Salmón y al M. en C. Horacio Bervera León (CIBNOR) por apoyar incondicionalmente el desarrollo de todas las etapas del proyecto. Igualmente, valoramos el apoyo de los miembros del Laboratorio de Aprovechamiento de Recursos Acuáticos de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR-Villahermosa), por la realización de los muestreos de los bancos naturales de los municipios de la zona norte, centro y sur de Tabasco; gracias al Dr. Manuel Mendoza Carranza y su grupo de trabajo: Lucero Díaz Martínez, Juan Juárez Flores y Arturo Álvarez Merino. Un reconocimiento especial al Dr. Carlos Alfonso Álvarez González de la UJAT-División Académica de Ciencias Biológicas, por proporcionar parte de la información sobre biología reproductiva de la almeja gorda. Reconocemos también a los directivos de la Universidad Tecnológica del Usumacinta en Emiliano Zapata y la UJAT-DAMR por las facilidades brindadas en la organización de los talleres de perlicultura. A los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Acuicultura que han colaborado desde el principio: Gamaliel Álvarez Jiménez, Omar A. Silvano Gómez, Abimael Magaña Marín y Salustino López Sandoval, gracias por su interés en las almejas y las perlas. Al M. en C. Tizoc Moctezuma Cano por su contribución al análisis técnico-financiero relativo a la producción de perlas y artesanías en Tabasco. También damos las gracias al Lic. Gerardo Hernández García (CIBNOR) y al Dr. Rubén Araya Valencia (Universidad de Antofagasta, Chile), por la

revisión externa para mejora de estilo, expresión, gramática y ortografía, así como al M. en C. Douglas McLaurin (Perlas del Mar de Cortez, Guaymas, Sonora) por las fotografías proporcionadas. Finalmente, agradecemos el apoyo recibido de la UJAT para la impresión de este libro mediante el proyecto Ecología Poblacional y Estrategias de Aprovechamiento de Almejas Dulceacuícolas en la Cuenca Media del Río Usumacinta, Tenosique, Tabasco, con la Clave UJAT-2014-IB-54.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	21
2. ANTECEDENTES SOBRE EL CULTIVO DE PERLAS EN BIVALVOS MARINOS Y DULCEACUÍCOLAS	25
2.1. <i>Bivalvos marinos</i>	15
2.2. <i>Bivalvos dulceacuícolas</i>	29
2.3. <i>Tipos de perlas</i>	32
3. ESPECIES DE ALMEJAS DULCEACUÍCOLAS PRESENTES EN TABASCO	35
Almeja gorda, <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	35
Almeja gallito, <i>Rangia cuneata</i>	37
Almeja voladora, <i>Potamilus alata</i>	38
Almeja negra, <i>Polymesoda arctata</i>	39
Almeja gigante, <i>Anodonta</i> sp.	40
Almeja, <i>Nephronaias mexicanus</i>	41
Almeja chocolata, <i>Megapitaria</i> sp.	42
Almeja venus, <i>Mercenaria campechensis</i>	43
Mejillón curvo, <i>Ischadium recurvum</i>	44
Mejillón de perla Nicklin's, <i>Megalonaias nicklineana</i>	45
4. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS Y BIOLÓGICAS	47
4.1. <i>Generalidades y taxonomía</i>	47
4.2. <i>Anatomía externa</i>	48
4.3. <i>Anatomía interna</i>	50
4.4. <i>Reproducción y ciclo de vida</i>	52
4.5. <i>Situación demográfica: distribución y abundancia</i>	57
5. RELAJACIÓN COMO TERAPIA PRE-OPERATORIA PARA LA FORMACIÓN DE PERLAS	65

6. TÉCNICA DE IMPLANTE PARA FORMACIÓN DE MEDIAS PERLAS	71
6.1. Instrumentos	71
6.2. Fundamentos de la técnica	72
6.3. Convalecencia post-operatoria y cuidado de almejas implantadas	73
6.4. Cosecha y montaje de mabes	76
6.5. Producción de mabes en el marco del proyecto CIBNOR-UJAT	78
7. TÉCNICA DE INJERTO PARA FORMACIÓN DE PERLAS TIPO KESHI	79
7.1. Fundamentos del proceso de formación de perlas naturales	79
7.2. Fundamentos de la técnica de formación de perlas esféricas	80
7.3. Fundamentos de la técnica de formación de perlas tipo keshi sin núcleo	84
7.4. Convalecencia post-operatoria y cuidado de almejas injertadas	87
7.5. Producción de perlas tipo keshi en el marco del proyecto CIBNOR-UJAT	89
7.6. Análisis de estrategias de injerto para optimización de técnica	89
8. USO DE LA CONCHA PARA ELABORACIÓN DE ARTESANÍAS	91
8.1. Antecedentes del uso de la concha por el hombre	91
8.2. Catálogo de piezas de artesanía del proyecto CIBNOR-UJAT	92
8.3. Acreditación del proyecto “Alternativas de aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en el estado de Tabasco”	96
9. ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE PERLAS Y ARTESANÍAS EN TABASCO	101
9.1. Resumen ejecutivo	101
9.2. Macro y micro-localización del proyecto	102

9.3. Programa de producción	102
9.4. Escenario de producción	104
9.5. Programa de inversión e integración de conceptos	105
9.6. Supuestos y análisis financieros	108
9.7. Conclusiones	110
10. PERSPECTIVAS	113
GLOSARIO	119
LITERATURA CITADA	123
ACERCA DE LOS AUTORES	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Logotipo del proyecto “Alternativas de aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en el estado de Tabasco”	23
Figura 2. Principales especies de ostras perleras marinas utilizadas para la producción de perlas cultivadas en el mundo	27
Figura 3. Especies de almejas de agua dulce utilizadas en China para la producción de perlas	29
Figura 4. Imagen de Buda cubierta por completo con nácar para formar una mabe	31
Figura 5. <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	35
Figura 6. <i>Rangia cuneata</i>	37
Figura 7. <i>Potamilus alata</i>	38
Figura 8. <i>Polymesoda arctata</i>	39
Figura 9. <i>Anodonta</i> sp.	40
Figura 10. <i>Nephronaias mexicanus</i>	41
Figura 11. <i>Megapitaria</i> sp.	42
Figura 12. <i>Mercenaria campechensis</i>	43
Figura 13. <i>Ischadium recurvum</i>	44
Figura 14. <i>Megaloniaias nicklineana</i>	45
Figura 15. Anatomía externa de <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	49

Figura 16. Manto de <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	51
Figura 17. Branquias de <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	51
Figura 18. Pie de <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	52
Figura 19. Tejido gonádico de <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	53
Figura 20. Microfotografía de gónada de <i>Psoroniaias crocodilorum</i> teñida con hematoxilina-eosina (10×) en estado incipiente de desarrollo	54
Figura 21. Microfotografía de gónada de <i>Psoroniaias crocodilorum</i> teñida con hematoxilina-eosina (10×) en estado avanzado de desarrollo	54
Figura 22. Microfotografía de gónada femenina de <i>Psoroniaias crocodilorum</i> teñida con hematoxilina-eosina (20×), mostrando ovocitos maduros	55
Figura 23. Microfotografía de las líneas germinales típica y atípica de desarrollo de la espermatogénesis de <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	56
Figura 24. Ciclo de vida de una almeja de agua dulce	57
Figura 25. Lista de municipios y localidades muestreados en el estado de Tabasco muestreados para identificación de almejas de agua dulce	61
Figura 26. Estructura de tallas de las especies de almejas de agua dulce recolectadas en los municipios del estado de Tabasco en 2011	63
Figura 27. Sección de manto de la almeja mano de león <i>Nodipecten subnodosus</i> mostrando acumulación de hemocitos y un tapón de periostraco durante el proceso de regeneración del tejido	67
Figura 28. Proceso de relajación de <i>Psoroniaias crocodilorum</i> con aceite de clavo	69
Figura 29. Instrumentos e insumos requeridos para la técnica de formación de mabes	72
Figura 30. Técnica de implante de medios núcleos para formación de mabes en <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	74

Figura 31. Grosor de la capa de nácar en una mabe de valor comercial	76
Figura 32. Procesamiento de las mabes formadas en la concha nácar <i>Pteria sterna</i>	77
Figura 33. Primeras mabes producidas en <i>Psoroniaias crocodilorum</i> durante el Segundo Taller de Perlicultura en 2012	78
Figura 34. Área del cuerpo de la ostra perlera marina <i>Pinctada mazatlanica</i> donde se realiza el injerto de un núcleo esférico y una pieza del manto del donador	81
Figura 35. Instrumentos requeridos para la técnica de nucleación para perla esférica	82
Figura 36. Proceso de formación del saco perlero y perla en un molusco bivalvo	83
Figura 37. Relación entre el color de la capa interna nacarada y el de las perlas formadas	85
Figura 38. Proceso de extracción y corte del manto del organismo donador en <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	86
Figura 39. Técnica de injerto de manto para formación de perla en <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	87
Figura 40. Colocación de individuos injertados de <i>Psoroniaias crocodilorum</i> en mallas plásticas para dar seguimiento al proceso de formación de perlas	88
Figura 41. Primeras perlas tipo <i>keshi</i> producidas en <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	89
Figura 42. Estrategias alternativas de inserción de piezas de manto de un donador en <i>Psoroniaias crocodilorum</i> en la gónada del receptor	90
Figura 43. Recolecta de almejas muertas de la orilla de ríos y zonas de poca profundidad y transporte al laboratorio para la elaboración de artesanías	93
Figura 44. Procesamiento de conchas con esmeril y dremel para remover el periostracto	94

Figura 45. Primeras piezas del catálogo de artesanía diseñadas y elaboradas con la concha de <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	95
Figura 46. Nuevas piezas del catálogo de artesanía diseñadas y elaboradas con la concha de <i>Psoroniaias crocodilorum</i>	96
Figura 47. Participación en las Expo-Ciencias estatal (Villahermosa, Tabasco) y nacional (Mazatlán, Sinaloa)	98
Figura 48. Programa de capacitación de docentes, estudiantes y productores del estado de Tabasco en técnicas de implante e injerto para formación de perlas.	114
Figura 49. Cara interna de la concha de <i>Anodonta</i> sp. (a) y <i>Potamilus alata</i> (b), resaltando el lustre y tonalidades de nácar con valor para producción de perlas	115
Figura 50. Utilización de la concha de ciertos moluscos bivalvos para fines de ornato	116
Figura 51. Proceso de elaboración de núcleos esféricos a partir de la concha de algunas almejas de agua dulce, desde el corte grueso hasta el acabado fino	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios estándar para clasificar una perla producida por moluscos marinos (ostras perleras)	34
Tabla 2. Lista de municipios y localidades muestreadas en el estado de Tabasco durante 2011	60
Tabla 3. Parámetros ambientales registrados en las localidades del estado de Tabasco muestreadas durante 2011	62
Tabla 4. Porcentaje de importancia relativa al total de especies de almejas de agua dulce recolectadas en los distintos municipios del estado de Tabasco	64
Tabla 5. Diversos tipos de relajantes y sus concentraciones y tiempos de exposición promedio evaluados como terapia previa a la formación de perlas en moluscos bivalvos y gastrópodos	66
Tabla 6. Principales indicadores financieros del proyecto a través de la creación de una Unidad Piloto de Producción (UPP)	101
Tabla 7. Cronografía de las actividades de una UPP en Tabasco para las actividades de producción de perla	103
Tabla 8. Calendario de las actividades de la UPP en Tabasco con respecto al número de almejas implantadas e injertadas por año	105
Tabla 9. Calendario de producción de la UPP en Tabasco con respecto al número de almejas implantadas e injertadas por año	105
Tabla 10. Conceptos de inversión para la instalación de una UPP en el estado de Tabasco	106

Tabla 11. Activo fijo requerido par la instalación de una UPP en el estado de Tabasco	106
Tabla 12. Estudios y proyectos pre-operativos que integran la inversión diferida de la UPP en el estado de Tabasco.	107
Tabla 13. Gastos pre-operativos necesarios para poner en marcha la UPP en el estado de Tabasco	108
Tabla 14. Materias primas requeridas para el proceso de operación y producción UPP en el estado de Tabasco	108
Tabla 15. Ingresos, egresos y utilidades por ciclo productivo de la UPP en el estado de Tabasco	109
Tabla 16. Indicadores obtenidos del análisis financiero de la UPP en el estado de Tabasco	110
Tabla 17. Flujo de efectivo e incrementos de la producción de la UPP en Tabasco a través del tiempo, logrando su producción máxima en el año 7	111

INTRODUCCIÓN

1

En el estado de Tabasco existen algunas especies de moluscos bivalvos que son valoradas para consumo humano, como el ostión americano *Crassostrea virginica*. Sin embargo, también se cuenta con otras especies que son abundantes en los diversos cuerpos de aguas epicontinentales del estado, que se encuentran desaprovechadas; tal es el caso de las almejas de agua dulce, que sólo se utilizan para consumo local ocasional y como carnada en actividades de pesca ribereña (Rangel, 1993; Aragón, 2005). Incluso en muchas ocasiones este tipo de pesca se realiza de forma clandestina, lo que la hace difícil de cuantificar (Comentarios Personales de los pescadores). Además de su presencia y abundancia en el estado, en algunas especies de almejas dulceacuícolas la capa interna nacarada de su concha es iridiscente y presenta diferentes tonalidades de color (homogéneo o tornasol), lo que sugiere que este recurso puede aprovecharse para otro tipo de actividades acuícolas rentables, como es el caso del cultivo de perlas o *perlicultivo*. Este planteamiento tiene su sustento en tres argumentos importantes: Primero, el cultivo de perlas en moluscos bivalvos marinos de la familia Pteriidae (ostras perleras) representa una de las actividades acuícolas mejor establecidas y más prolíficas del mundo, por encima de la piscicultura y camaronicultura.

En 2006 esta actividad generó ganancias netas cercanas a los USD\$ 200 millones (Southgate, 2007; Taylor y Strack, 2008). En segundo lugar, el cultivo de perlas en almejas dulceacuícolas de la familia Unionidae (náyades) también se ha desarrollado con mucho éxito en China, en donde de las 1,500 toneladas métricas extraídas en 2006, unas 800 se destinaron a la producción perlas y elaboración de joyería diversa (Fiske y Shepherd, 2007; Lie *et al.*, 2007). Finalmente, en varios países del mundo, particularmente de Asia y el Pacífico Sur (Tahití, Polinesia Francesa, Islas Cook, Islas Marshall, Tonga, Kiribati, etc.), familias y comunidades enteras han integrado desde décadas atrás el perlicultivo a sus vidas diarias productivas, beneficiándose de esta actividad por el hecho de ser generadora de empleos y divisas para sus respectivos países, así como un activo promotor de desarrollo socioeconómico regional (Cariño y Monteforte, 1995; Taylor y Strack, 2008; Zhang *et al.*, 2013; Monteforte y Cariño, 2013).

En Tabasco, los miembros de la Familia Unionidae que se podrían utilizar para el perlicultivo son la almeja gorda *Psoroniais crocodilorum*, la almeja voladora *Potamilus alata* y la almeja gigante *Anodonta* sp. (ver Capítulo 3). Sin embargo, a la fecha es casi nula la información científica disponible sobre la biología y ecología de las náyades en Tabasco (Rangel, 1993).

Por ello, este documento tiene como objetivo actualizar y complementar el acervo de conocimientos científicos existentes sobre la biología y ecología de las diversas especies de náyades, las cuales representan un recurso alternativo para ofrecer a las comunidades rurales en materia de producción de perlas y elaboración de artesanía. El documento busca también crear conciencia en los diferentes sectores del gobierno sobre el potencial de aprovechamiento integral de este recurso

tan valioso, y por ello, se enmarca en un proyecto promovido por la SEDAFOF, financiado por la SAGARPA y FPT, y más adelante validado a través un convenio de colaboración específico entre el CIBNOR y la UJAT-DAMR, cuyo logotipo se muestra en la Figura 1.

Al mismo tiempo, se busca integrar este cúmulo de conocimientos en un paquete tecnológico nuevo para el estado de Tabasco, apegado a sus principios de soberanía y coherente con sus necesidades de crecimiento y desarrollo socioeconómico. Los usuarios directos de esta tecnología podrían ser los tomadores de decisiones de las diferentes instituciones de gobierno (SAGARPA, SERNAPAM, SEDESOL), dependencias de gobierno estatal (SEDAFOF), investigadores, productores y estudiantes de las diferentes instituciones educativas públicas y privadas, así como sociedades cooperativas de producción pesquera, grupos sociales, pescadores y productores independientes, quienes podrían actuar como gestores, promotores y/o receptores de esta actividad acuícola. Finalmente, también es prioritario ofrecer a académicos y estudiantes un recurso alternativo para la realización de proyectos de investigación y tesis de pregrado y posgrado.



Fig. 1. Logotipo del proyecto “Alternativas de aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en el estado de Tabasco”.

ANTECEDENTES SOBRE EL CULTIVO DE PERLAS

2

2.1. *Bivalvos marinos*

A nivel mundial, las especies que sostienen el perlicultivo comercial son moluscos bivalvos marinos pertenecientes a la familia Pteriidae, comúnmente llamados *ostras perleras*. Actualmente, existen tres especies principales de ostras perleras del género *Pinctada* (*P. fucata martensii*, *P. margaritifera*, *P. maxima*) que producen una gran mayoría de las perlas que se venden en los mercados joyeros del mundo, no obstante existen otras especies emergentes que también poseen un alto potencial de producir perlas exóticas de calidad (Fassler 1991, 1995; Doumenge, 1992; Gruet, 1992; Haws, 2002; Monteforte, 2013). Las principales especies son:

P. fucata martensii (Figura 2a): Especie pequeña (6 a 8 cm de altura de la concha) que produce las famosas *Akoya Pearls* o perlas esféricas de 7 mm de diámetro en promedio, teñidas o de colores homogéneos (blanquecinos, grisáceos), generalmente de calidad moderada (capa de nácar raramente sobrepasa 0.8 mm de espesor). Su precio de venta oscila entre los USD\$6.00 y 12.00 por pieza en lote. El país que retiene el monopolio de esta producción es Japón, y reporta beneficios anuales por exportación de perlas por más de USD\$500 millones (Gruet, 1992; Fassler, 2004), inundando el mercado perlero entre los años 1950 y 1980.

P. margaritifera cumingi (Figura 2b): Productora de las *Black Pearls* en Polinesia Francesa (comercial de alto rendimiento), Islas Cook (comercial

moderado) y algunas islas del Pacífico Central como Islas Marshall, Kiribati, Fiji, etc. Es una especie de tamaño intermedio (12 a 16 cm de altura y máximos de 20–22 cm) que produce perlas esféricas y sub-esféricas de gran calidad, con tonos oscuros tipo gris-plomo y grosores de nácar de entre 2 y 2.5 mm de diámetro. Comenzaron a introducirse en el mercado perlero entre los años 1980 y 1990 como perlas exóticas valuadas en hasta USD\$100.00 por pieza, aunque algunas gemas se han vendido hasta en USD\$4,000.00 por pieza. Polinesia Francesa sostiene una producción de exportación de este tipo de perlas por más de USD\$150 millones anuales (Gruet, 1992; Fassler, 1995, 2004; Monteforte, 2013).

P. maxima (Figura 2c): Productora de las *South Sea Pearls* en el norte y noroeste de Australia (comercial de alto rendimiento), Indonesia (comercial moderado), Malasia (comercial moderado) y Filipinas (comercial de alto rendimiento). Es una especie grande que puede alcanzar un promedio de 22 cm de altura de la concha, con talla máxima de 30 cm. Produce perlas esféricas y semi-esféricas de alta calidad (más de 2.5 mm de espesor de nácar), tamaños de 14 a 18 mm de diámetro, tonos dominantes de blanco nacarado a plateado, y tonos secundarios dorados muy cotizados. Su precio de venta promedio alcanzó los USD\$250.00 por pieza en 1994, con precios individuales mayores de USD\$5,000.00. Únicamente las granjas perleras del noroeste de Australia reportan producciones superiores a USD\$85 millones anuales (Doumenge, 1992; Gruet, 1992). La incorporación al mercado internacional de estas perlas es más reciente (alrededor de los años 90) y quizá sean las más apreciadas hoy en día por su tamaño y color (Monteforte, 2013).

Las otras especies de ostras perleras de menor importancia en el ámbito del perlicultivo mundial, pero que poseen el potencial de producir perlas de buena calidad, de acuerdo a los estándares internacionales son:

P. mazatlanica (Figura 2d): Especie de tamaño intermedio (11 a 20 cm de altura) la cual se distribuye desde el Golfo de California, en México, a lo largo del Pacífico hasta Perú. Produce perlas de 11–13 mm de diámetro en colores uniformes (grisáceos, verdosos, rosáceos) a escala comercial

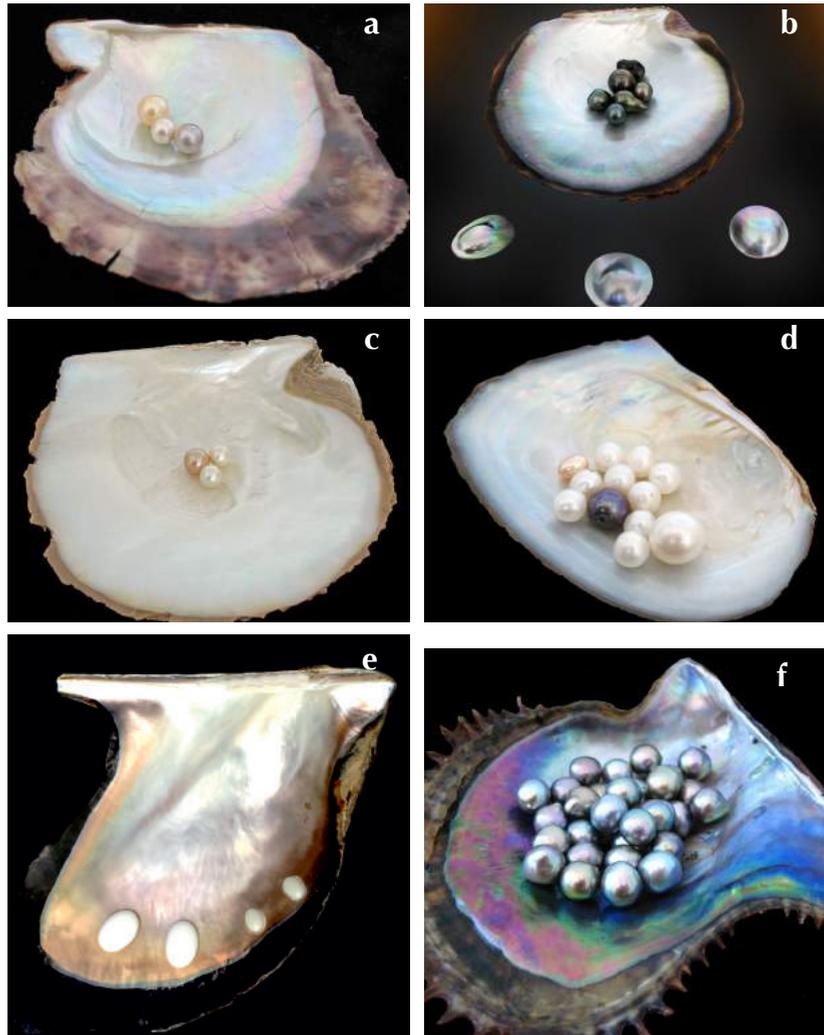


Figura 2. Principales especies de ostras perleras utilizadas para la producción de perlas cultivadas en el mundo: a) *Pinctada fucata martensii*, b) *P. margaritifera*, c) *P. maxima*, d) *P. mazatlanica*, e) *Pteria penguin* y f) *P. sterna*.

moderada. Históricamente, ha sido una especie muy importante para la colonización y desarrollo socioeconómico de la Península de Baja California Sur, en México (Cariño y Monteforte, 1995), así como de otros países como Panamá y su Archipiélago de Las Perlas (Mackenzie, 1999). En México, por ejemplo, empresas como la Compañía Criadora de Concha y Perla, fundada en la Isla Espíritu Santo, en la Bahía de la Paz, fueron muy exitosas en la producción de perlas naturales en esta especie a finales del siglo XIX y principios del siglo XX (Vivés, 1908, 1919). Actualmente, sólo dos granjas perleras ubicadas en el Golfo de California producen perlas cultivadas de madreperla a escala comercial moderada (McLaurin *et al.*, 1997; McLaurin y Arizmendi, 2002; Kiefert *et al.*, 2004; Ruíz-Rubio *et al.*, 2006).

P. penguin (Figura 2e): La concha nácar alada del Indo-pacífico es una especie de gran tamaño (entre 13 y 20 mm de altura) y produce mayormente medias perlas o mabes, en una amplia gama de colores y tonos tornasol, que incluye verde, azul, morado, dorado, etc. La producción comercial de mabes es moderada en Japón y Tailandia, pero países como las islas Fiji han comenzado a aprovechar la especie para estos fines a nivel bajo aún (Kishore *et al.*, 2013).

P. sterna (Figura 2f): Conocida comúnmente como concha nácar, es una especie de menor tamaño (~12 cm de altura, con máximos de 18 cm) que se distribuye al interior del Golfo de California, así como en el Pacífico desde Bahía Magdalena, en México, hasta Perú. Produce perlas multicolores con tonos verdosos, azulados, morados y dorados que se consideran exóticos. Aunque se utilizan principalmente para la producción de mabes de alta calidad (Ruíz-Rubio *et al.*, 2006), en Guaymas, Sonora, la granja perlera “Perlas del Mar de Cortez”, promovida por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), produce perlas esféricas de gran calidad y belleza a escala comercial moderada (McLaurin *et al.*, 1997; McLaurin y Arizmendi, 2002; Kiefert *et al.*, 2004).

P. radiata: Se distribuye en la costa de Tamil-Nadu en India y la producción de perlas es moderada en el ámbito comercial. Es una especie de talla pequeña, que oscila entre 7 y 9 mm de altura que produce perlas esféricas y medias perlas con colores homogéneos con tonos rosáceos, verdosos, etc.

2.2. Bivalvos dulceacuícolas

Históricamente, las dos especies de almejas de agua dulce o náyades (las llamadas *freshwater mussels*), que se han utilizado para la producción de perlas son dos miembros de la familia Unionidae, el “Karasu” *Cristaria plicata* (Figura 3a) y el “Ikecho” *Hyriopsis cumingi* (Figura 3b), ambos nombres de origen japonés (Li *et al.*, 2007). Las primeras perlas comenzaron a producirse en Japón en 1914 en el Río Biwa, cuando M. Fujita comenzó a colocar en el interior de la concha de *C. plicata* pequeñas figuras de Buda hechas básicamente de plomo (Figura 3a). Posteriormente, las perlas tipo mabe resultantes estaban completamente cubiertas de nácar (Figura 4). Estas piezas se utilizaban para la decoración de templos, en ceremonias religiosas o como amuletos personales.

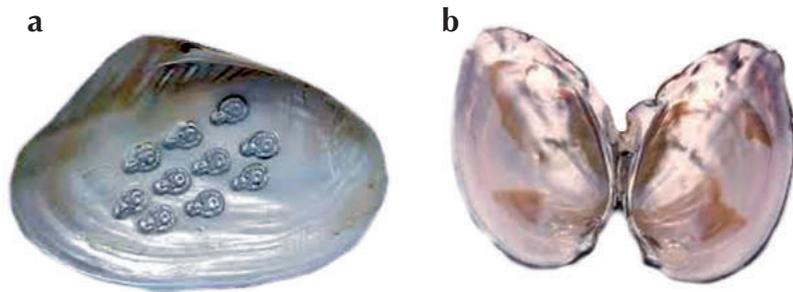


Figura 3. Especies de almejas de agua dulce utilizadas en China para la producción de perlas: (a) *Cristaria plicata*; (b) *Hyriopsis cumingi*.

A pesar del origen japonés de las perlas de agua dulce, China es actualmente el mayor productor de éstas en el mundo debido a las

modificaciones hechas por los chinos a la técnica japonesa original, que permitió colocar imágenes de Buda más grandes, de otros materiales y de mejor calidad (Figura 4). El primer cambio importante fue la sustitución de *C. plicata* por *H. cumingi* (también conocida como almeja triangular por su forma geométrica); es una especie de hasta 18 cm de altura de la concha, que de acuerdo a los cultivadores, produce perlas más grandes, de mejor calidad, y en mayor cantidad (Fiske y Sheperd, 2007). Un segundo cambio relevante fue el inicio de la técnica de *nucleación*, que consistió en introducir pequeñas piezas de manto obtenidas de una náyade donadora en el cuerpo de una náyade receptora de 1.5 a 2.5 años de edad, lo que dio pie a la producción de un tipo de perla cultivada anucleada de mejor calidad llamada *keshi* (ver sección 2.3).

Estas perlas anucleadas eran inicialmente pequeñas (3-4 mm de diámetro) y de formas más bien barrocas, no obstante continuas mejoras a la técnica original de injerto han permitido a los chinos producir piezas de mayor tamaño (2 a 12 mm), de diferentes formas (desde barrocas hasta casi perfectamente redondas), y en diferentes tonos de color (desde blanco hasta naranja pastel y morado, a menudo con un lustre metálico) (Zhang *et al.*, 2013). También pueden someterse a un proceso de tinción para mejorar su presentación (Lie *et al.*, 2007). Por lo general, son perlas de baja calidad que se venden según su peso a precios entre USD\$85 y 150.00/kg (Fassler, 1991, 1995, 2004; Gruet, 1992; Monteforte, 2013), por lo que es común encontrarlas engarzadas para presentación en collares y pulseras preferentemente. Algunas formas comunes de las perlas tipo *keshi* incluyen: (1) Redondas, que generalmente es la variedad de más valor por su simetría, pues ruedan en línea recta; (2) Semi-redondas, que son las que tienen formas redondeadas, pero sin llegar a ser completamente esféricas por algún tipo de imperfección en su superficie, como la acumulación de aire; (3) Aplanadas, pues adoptan formas achatadas

como el “tipo moneda” que es el más común; (4) Barrocas o perlas de formas irregulares variadas, que abarcan desde el *keshi* común, granos de arroz, nuggets, gotas, o botones, etc., y (5) Perlas anilladas o estriadas, que están caracterizadas por líneas regulares o anillos cóncavos perpendiculares a un eje de revolución superior a un tercio de la superficie de la perla.



Figura 4. Imagen de Buda cubierta por completo con nácar para formar una mabe.

En 2006, China extrajo cerca de 1500 toneladas métricas de náyades, de las cuales 800 fueron destinadas a la producción de *keshis* (Fiske y Shepherd, 2007; Lie *et al.*, 2007). Un 80% de la producción de perlas tipo *keshi* se obtiene de *H. cumingi*, aunque en fechas recientes el híbrido de esa especie importado de Japón, llamado *H. schlegelii*, es responsable de 20% de la producción en China. De hecho, un número creciente de granjas perleras en China están utilizando más el *H. schlegelii* sobre el *H. cumingi* porque los cultivadores opinan que la calidad de las perlas es superior con esta última especie (Fiske y Sheperd, 2007).

Aunque la contaminación ha mermado mucho la producción de perlas en China, siguen representando una alternativa real de sustitución de las costosas perlas marinas provenientes de Japón (*Akoyas*), Tahití

y las Polinesias (*Black Pearls*) y Australia y el Indopacífico (*South Sea Pearls*) (Monteforte, 2013). Incluso, con la optimización de la técnicas de nucleación, hoy en día es posible injertar núcleos esféricos pequeños en el cuerpo de una náyade, de forma similar a como se hace con las ostras perleras marinas. El uso de esta técnica aún se práctica a baja escala y reporta resultados inconsistentes, debido a los altos costos de producción, la respuesta tan variable de las almejas (mortalidad), y particularmente por la calidad inferior de las perlas (Lie *et al.*, 2007).

2.3. Tipos de perlas

De acuerdo a la terminología definida por la “*World Jewellery Confederation*” (CIBJO-2013) los tipos principales de perlas producidas por las ostras perleras marinas o las náyades son:

Perlas esféricas: También denominadas perlas redondas, perlas cultivadas, perlas nucleadas, pero más correctamente, perlas libres porque la gran mayoría de las perlas cultivadas no poseen forma esférica o no tienen núcleo. Pueden tener una gran variedad de formas, que incluyen perfectamente esféricas (<3%), semi-esféricas (~5%), semi-barroca (con formas simétricas como gota, calabaza, botón; cerca de un 30%) y barroca de forma totalmente asimétrica (Douglas McLaurin, com. pers.). Todas estas formas se obtienen utilizando la técnica tradicional de injerto, que consiste en realizar una microcirugía en el cuerpo de una ostra receptora para colocar un núcleo esférico y una pieza de manto obtenidas de una ostra donador (ver detalles en las secciones 8.1 y 8.2). Estas perlas constituyen el principal producto de la industria perlera, ya que se pueden vender individualmente o montadas en aretes, anillos, collares, dijes, etc., con complementos como oro, oro blanco, plata, joyas preciosas, etc. Son producidas principalmente por las ostras perleras marinas del género *Pinctada* (*P. fucata martensii*, *P. margaritifera*, *P. maxima*, *P. mazatlanica*) y *Pteria* (*P. penguin*, *P. sterna*).

Mabes (medias perlas): Fueron los japoneses quienes nombraron

“Mabe-Gai” a toda ostra que era utilizada para la implantación de pequeñas figuras de Buda para producir perlas (Cahn, 1949). Hoy en día, una mabe se produce al cementar un medio núcleo, generalmente de plástico, en la cara interna nacarada de un molusco, por debajo del manto. Una ostra de tamaño intermedio (10-12 cm de altura) puede recibir unos tres medios núcleos, en proporción 2:1 por valva. Si el cementado es correcto, y el manto recubre bien los medios núcleos, se formarán eventualmente tres mabes. Este tipo de medias perlas se produce en Australia con *P. maxima*, Polinesia Francesa con *P. margaritifera*, Japón, Tailandia, Indonesia e Islas Fiji con *P. penguin*, y México con *P. sterna*. Su tamaño oscila generalmente entre los 11 y 20 mm de diámetro, y su forma depende de la forma del núcleo (medias esferas, $\frac{3}{4}$ de esfera, óvalos, estrellas, gotas, etc.). El precio de venta varía entre USD\$10.00 y USD\$20.00 por pieza sin trabajar ni montar, y entre USD\$50.00 y USD\$100.00 por pieza trabajada y montada, pudiendo elevarse considerablemente dependiendo del montaje y accesorios que lo acompañen (Doumenge, 1992; Gruet, 1992; Haws, 2002; Monteforte, 2013).

Keshis: También conocidas como perlas de río, perlas tipo arroz, o simplemente como morralla de perlas, se forman cuando el molusco rechaza el núcleo injertado para formación de una perla esférica, y el manto permanece en el interior de su cuerpo para formar una perla barroca. Por ello se conocen también como perlas sin núcleo o anucleadas. Sin embargo, una *keshi* puede inducirse *ex profeso* insertando varios trozos de manto en el molusco. Son de tamaño pequeño, formas muy variadas y colores muy vistosos. Aunque son adquiridas por joyeros y diseñadores por su efecto visual diferente, ocupan un mercado secundario, ya que para una *keshi* de calidad promedio (7–8 mm de diámetro), el precio varía entre los de USD\$10.00 y los USD\$15.00, alcanzando hasta los USD\$40.00 en función de su calidad (Doumenge, 1992; Gruet, 1992; Haws, 2002; Monteforte, 2013). Gracias a modificaciones genéticas, se

ha logrado producir *keshis* de ciertos colores específicos con mayor valor en el mercado perlero (Zhang *et al.*, 2013).

En general, dependiendo de las condiciones ambientales donde habita el molusco (latitud, temperatura, salinidad, disponibilidad de alimento, transparencia del agua, corrientes, sedimentación, etc.), la perla resultante puede adquirir formas y colores variados, y por ende, una calidad diferente. Influye también la habilidad del injertador y la granja perlera en cuestión (Taylor y Strack, 2008). Por ello, clasificar una perla no es una tarea sencilla y depende a su vez de una serie de criterios bien establecidos por el hombre, siendo los más importantes: tamaño, forma, color, superficie, brillo y oriente (que toma en cuenta la forma en que parte de la luz se refleja en la superficie de la perla y parte se refracta por las diferentes capas de nácar). Con base en estos criterios, se puede valorar una perla para ubicarla en una de cuatro categorías (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios estándar para clasificar una perla producida por moluscos marinos (ostras perleras)

TIPO DE PERLA	CALIDAD
A	Calidad comercial promedio; forma irregular a relativamente esférica; tamaño pequeño a mediano (6-7 mm diámetro); diversas imperfecciones o manchas en su superficie
AA	Calidad comercial típica; forma de esférica a irregular; talla mediana promedio (7-9 mm), con pocas imperfecciones en su superficie
AAA	Gema; forma esférica, talla mayor a 10 mm de diámetro, sin imperfecciones en su superficie
B	Perla no comercial

ESPECIES DE ALMEJAS DULCEACUÍCOLAS
PRESENTES EN TABASCO

3

Psoroniaias crocodilorum

a



b



c



Figura 5. *Psoroniaias crocodilorum*: a) cara externa, b) cara interna mostrando dos tonalidades de color, c) Sinonimia *Lampsilis tampicoensis*.

Familia: Unionidae

Nombre común: Almeja gorda

Talla promedio adulta: Mediana, entre 6 y 8 cm de longitud de la concha

Características externas: Concha semi-ovalada, gruesa, dura, color de verde olivo a café oscuro, con líneas de crecimiento concéntricas tenues y presencia de verrugas en la concha (Figura 5a).

Características internas: Nácar iridiscente intenso con tonalidades de blanco aperlado, rosáceas, moradas, o café chocolate (Figuras 5b)

Taxonomía: Por algún tiempo ha existido una sinonimia con una especie de forma similar, la *Lampsilis tampicoensis*, pero esta última posee una concha más alargada, oscura, y con una protuberancia en la región dorsal del cuerpo (Figura 5c).

Distribución y abundancia: De amplia distribución en casi todos los municipios de Tabasco, y muy abundante en Centla (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: No amenazada

Valor para perlicultivo: Alto (abundante, resistente, nácar iridiscente).

Rangia cuneata

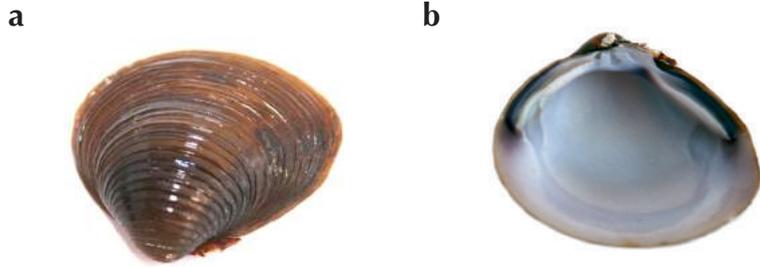


Figura 6. *Rangia cuneata*. a) cara externa, b) cara interna.

Familia: Mactridae

Nombre común: Almeja Gallito

Talla promedio adulta: Pequeña, entre 2 y 3 cm de longitud de la concha

Características externas: Concha semi-redonda, gruesa, dura, color café oscuro lustroso, con líneas de crecimiento concéntricas bien marcadas; charnela no recta con dientes (Figura 6a)

Características internas: Nácar iridiscente pálido de color blanco aperlado homogéneo (Figura 6b)

Distribución y abundancia: Amplia distribución en casi todos los municipios muestreados, muy abundante en tres municipios, que en orden son Centla, Huimanguillo y Zapata (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: No amenazada

Valor para perlicultivo: Bajo (tamaño muy pequeño, nácar pálido)

Potamilus alata

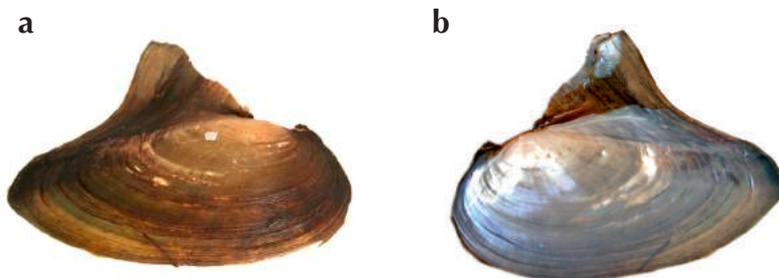


Figura 7. *Potamilus alata*. a) cara externa, b) cara interna.

Familia: Unionidae

Nombre común: Almeja voladora

Talla promedio adulta: Mediana, entre 6 y 8 cm de longitud de la concha

Características externas: Concha delgada, frágil, color café con tonos verdosos, líneas de crecimiento tenues; presencia de una prominencia o ala en la región dorsal, que es característica de la especie; charnela recta sin dientes (Figura 7a)

Características internas: Nácar iridiscente intenso con tonos de blanco aperlado, rosáceo, morado (Figura 7b)

Distribución y abundancia: Solo presente en dos municipios de Tabasco: Jonuta, en donde es poco común, y en Emiliano Zapata, en donde es muy abundante (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: No amenazada

Valor para perlicultivo: Medio en función de su abundancia relativamente baja, pero la talla de su concha y nácar iridiscente podrían incrementar su valor si se produjera la semilla en laboratorio para asegurar las actividades de injerto

Polymesoda arctata

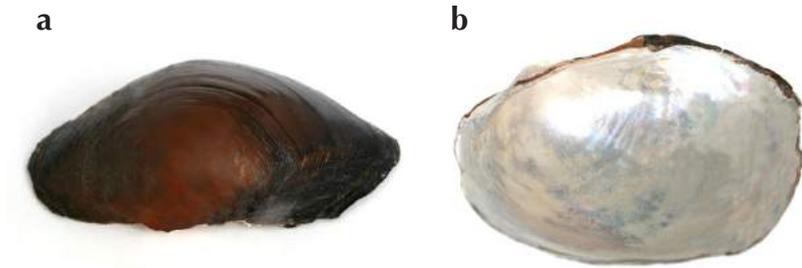


Figura 8. *Polymesoda arctata*. a) cara externa, b) cara interna.

Familia: Corbiculidae

Nombre común: Almeja negra, de fango, prieta

Talla promedio adulta: Pequeña, entre 4 y 5 cm de longitud de la concha

Características externas: Concha semi-redonda a ovalada, gruesa, color café oscuro, con líneas de crecimiento tenues; charnela no recta con presencia de dientes (Figura 8a)

Características internas: Nácar iridiscente relativamente pálido, color blanco aperlado a rosáceo (Figura 8b)

Distribución y abundancia: Presente únicamente en dos municipios de Tabasco (Centla y Huimanguillo) (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: No amenazada

Valor para perlicultivo: Bajo (talla pequeña, poco abundante, nácar pálido)

Anodonta sp.

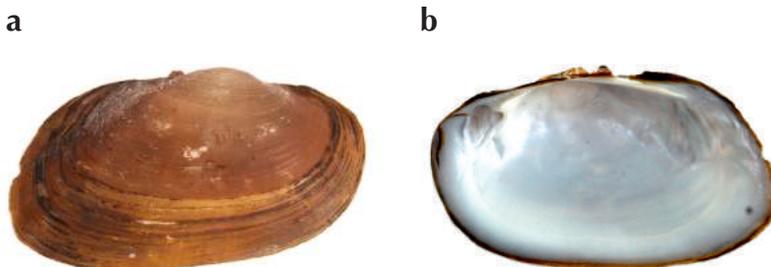


Figura 9. *Anodonta* sp. a) cara externa, b) cara interna.

Familia: Unionidae

Nombre común: Almeja gigante

Talla promedio adulta: Grande, de 10 a 12 cm de longitud de la concha

Características externas: Concha elíptica, delgada y relativamente frágil, color amarillo pálido con tonos verdoso claro, y líneas de crecimiento tenues; charnela recta con presencia de dientes (Figura 9a)

Características internas: Nácar iridiscente intenso con tonos que varían de blanco aperlado, rosáceo, morado, a verde-azul (Figura 9b)

Distribución y abundancia: Solo está presente en el municipio de Jonuta; es poco abundante (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: No amenazada

Valor para perlicultivo: Bajo en función de su poca abundancia, pero su gran tamaño y nácar iridiscente podrían incrementar su valor si se produjera la semilla en laboratorio para asegurar las actividades de injerto

Nephronaias mexicana

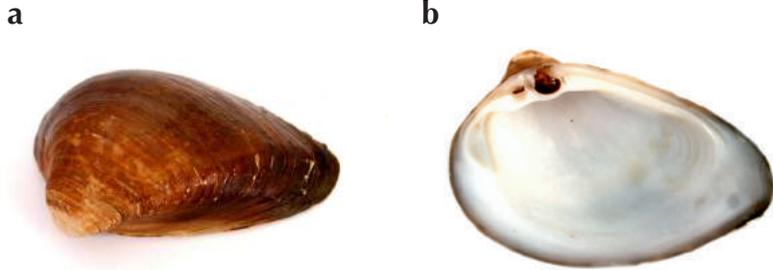


Figura 10. *Nephronaias mexicana*. a) cara externa, b) cara interna.

Familia: Unionidae

Nombre común: Mejillón

Talla promedio adulta: Grande, más de 10 cm de longitud de la concha

Características externas: Concha elíptica, delgada y relativamente frágil, color café oscuro, con líneas concéntricas de crecimiento tenues (Figura 10a)

Características internas: Nácar iridiscente de color blanco aperlado con tonalidades de diferente color (Figura 10b)

Distribución y abundancia: Localizada únicamente en Macuspana y Tenosique-Balancán; es poco abundante (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: No amenazada, aunque una especie similar nativa de España, la *Margaritifera auricularia* está en peligro de extinción (Álvarez-Halcón, 2000; Araujo y Ramos, 2000a, b)

Valor para perlicultivo: Bajo (poco abundante, nácar generalmente pálido)

***Megapitaria* sp.**

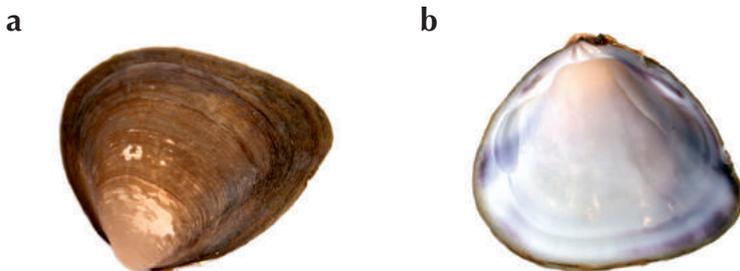


Figura 11. *Megapitaria* sp. a) cara externa, b) cara interna.

Familia: Veneridae

Nombre común: Almeja chocolata

Talla promedio adulta: Mediana, entre 6 y 8 cm de longitud de la concha

Características externas: Concha semi-ovalada, gruesa, color café oscuro brillante, con líneas tenues de crecimiento; charnela no recta con presencia de dientes (Figura 11a)

Características internas: Nácar iridiscente pálido de color blanquecino de carácter homogéneo (Figura 11b)

Distribución y abundancia: Presente solamente en dos municipios de Tabasco, con valores de abundancia altos en Centla y bajos en Huimanguillo (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: No amenazada

Valor para perlicultivo: Bajo (poco abundante, nácar generalmente pálido)

Mercenaria campechensis

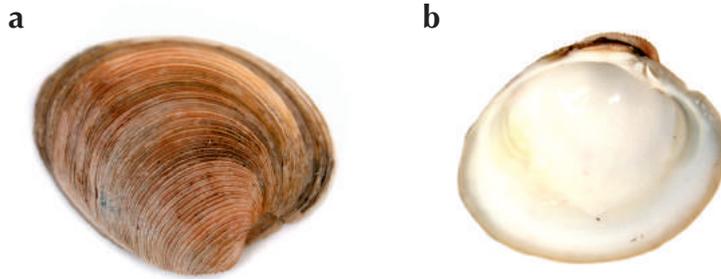


Figura 12. *Mercenaria campechensis*. a) cara externa, b) cara interna.

Familia: Veneridae

Nombre común: Almeja Venus

Talla promedio adulta: Mediana, entre 6 y 8 cm de longitud de la concha

Características externas: Concha semi-ovalada, gruesa, color café claro brillante, con líneas gruesas de crecimiento; charnela no recta (Figura 12a)

Características internas: Nácar iridiscente pálido de color blanquecino de carácter homogéneo (Figura 12b)

Distribución y abundancia: Presente solamente en un municipio de Tabasco (Cárdenas), con un valor de abundancia bajo (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: No amenazada

Valor para perlicultivo: bajo (poco abundante, nácar generalmente pálido)

Ischadium recurvum

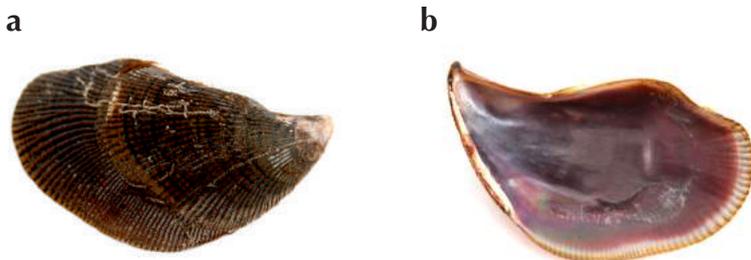


Figura 13. *Ischadium recurvum*. a) cara externa, b) cara interna.

Familia: Mytilidae

Nombre común: Mejillón curvo

Talla promedio adulta: Pequeño, entre 5 y 6 cm de longitud de la concha

Características externas: Concha alargada y curvada en el extremo dorsal (área de la charnela), color café oscuro, con líneas o marcas gruesas a lo largo del eje dorso-ventral (Figura 13a)

Características internas: Nácar iridiscente tornasol oscuro (Figura 13b)

Distribución y abundancia: Presente solamente en dos municipios de Tabasco (Paraíso y Cárdenas), con valores de abundancia altos (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: No amenazada

Valor para perlicultivo: bajo (tamaño pequeño)

Megaloniais nicklineana

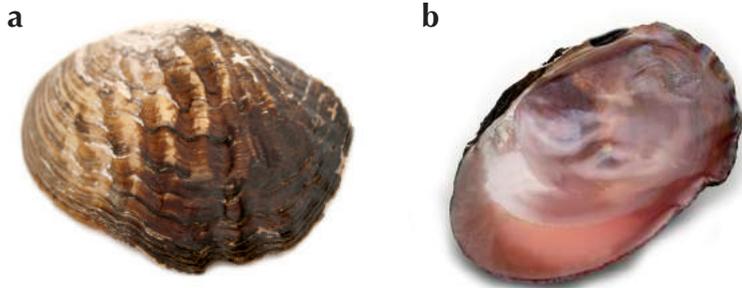


Figura 14. *Megaloniais nicklineana*. a) cara externa, b) cara interna.

Familia: Unionidae

Nombre común: Mejillón de Perla Nicklin's

Talla promedio adulta: Grande, más de 10 cm de longitud de concha

Características externas: Concha semi-ovalada, muy gruesa y sólida, color café con tonos verdosos; líneas de crecimiento bien delimitadas, con presencia de surcos longitudinales profundos (Figura 14a)

Características internas: Nácar iridiscente con tonos que varían de color blanco aperlado a rosáceo intenso (Figura 14b)

Distribución y abundancia: Colectada únicamente en el municipio de Tenosique; es poco abundante (ver Capítulo 4)

Estatus ecológico: Protegido por la NOM-059-SEMARNAT-2013

Valor para perlicultivo: Bajo en función de su poca abundancia, pero su gran tamaño y nácar iridiscente podrían incrementar su valor si se produjera la semilla en laboratorio

CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS Y BIOLÓGICAS

4

4.1. Generalidades y taxonomía

Después de los insectos, los moluscos son el grupo más extenso y diversificado del reino animal, con alrededor de 160,000 especies identificadas. De éstas, aproximadamente 128,000 están vivas y 35,000 forman parte del registro fósil (Brusca y Brusca, 2003). Este tipo de organismos ocupa todo tipo de hábitat, incluyendo los ambientes marino, dulceacuícola y terrestre. En el mar, abarcan desde la zona afótica (abisal) hasta la fótica (intermareal y litoral). Los hay bentónicos y nadadores, organizándose los primeros en sésiles, enterradores y reptantes. Por sus hábitos alimenticios, los moluscos pueden ser herbívoros, omnívoros y carnívoros, incluyendo depredadores activos como los calamares y otros grupos que poseen defensas conspicuas como el potente veneno de los conos marinos. En general, se clasifican en siete Clases principales, siendo los cuatro más primitivos los Aplacóforos (e.g. *Caudofaveata*, *Solenogaster*), Monoplacóforos (e.g. *Neopilina*, que es un fósil viviente), Poliplacóforos (Chitones) y Escafópodos (dientes de elefante), y los tres más evolucionados los Bivalvos (Lamelibránquios o Pelecípodos, como almejas, ostiones, ostras), Gastrópodos (caracoles, abulones) y Cefalópodos (pulpos, calamares, sepias y nautiloideos) (Gosling, 2003).

Los Bivalvos, a los que pertenecen las almejas de agua dulce, son invertebrados de cuerpo blando, no segmentado y aparente simetría

bilateral. En ellos se distinguen tres regiones más o menos bien diferenciadas: la *cabeza* en la parte anterior, el *pie* en la región ventral, y la *masa visceral dorsal*, región muy desarrollada cubierta por el *manto*, órgano que secreta sobre ésta una concha calcárea protectora (Gosling, 2003). La concha es una estructura compleja constituida por un componente orgánico u proteína llamada *conchiolina* o *conquiolina*, un componente inorgánico con cristales de carbonato de calcio, aragonita y calcita, agua y sales minerales (Checa, 2000; Delgado, 2006).

Las almejas de agua dulce, también llamadas *mejillones de agua dulce* por su nombre en inglés o *náyades* en honor a las ninfas griegas que protegían las aguas, son organismos bentónicos, enterradores o semi-enterradores, que habitan todo tipo de ambientes dulceacuícolas del mundo donde existen lagos, lagunas, ríos y arroyos (Zapater-Galve *et al.*, 2010). Suelen vivir parcialmente enterradas en lodo y fango en cuerpos de agua poco profundos, tranquilos, con corrientes que van desde nulas a moderadas, por lo que presentan las valvas ligeramente abiertas y los bordes del manto expuestos (Rangel, 1993).

A pesar de que a la fecha se conocen cerca de dos mil especies de almejas de agua dulce distribuidas en todo el mundo (Zapater-Galve *et al.*, 2010), el patrón anatómico de este grupo de moluscos es muy similar en la mayoría de las familias integrantes.

4.2. Anatomía externa

Tomando como modelo de estudio a la almeja gorda *P. crocodilorum*, que es la especie que demostró ser la más viable para fines de cultivo de perlas (Saucedo y Mendoza-Carranza, 2012; Castillo-Domínguez *et al.*, 2014), la Figura 15 presenta la anatomía externa de la especie a partir de las cuatro regiones que forma el eje principal de simetría: dorsal, ventral, anterior y posterior (Figura 15a). Igualmente, se observan las medidas

morfométricas básicas de la almeja, tanto altura y longitud de la concha, como grosor de la misma (Figura 15b).

Externamente, la parte más visible es la concha, la cual está formada por dos valvas articuladas por una bisagra llamada *charnela*, ubicada en la región dorsal del cuerpo o *umbo*. La charnela suele ser curva en la mayoría de las especies y con dientes; la presencia o ausencia de dientes es una de las características principales para la identificación taxonómica de los Bivalvos. Las valvas poseen líneas de crecimiento paralelas y concéntricas, que suelen ser muy útiles para definir la edad del animal (Suárez 1974, Ortiz-Kreis, 2008).

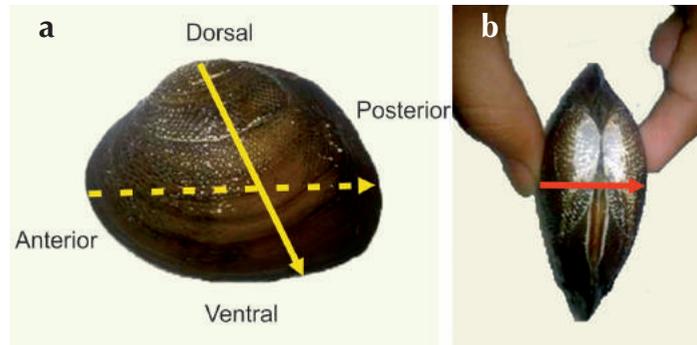


Figura 15. Anatomía externa de *Psoroniais crocodilorum*. a) Línea sólida = Altura de la concha; Línea punteada = Longitud de la concha; b) Línea roja = grosor de la concha.

La concha, como en el resto de los moluscos, está formada por tres capas distintas: 1) la exterior o *periostraco*, que es delgada y cumple las funciones de cutícula protectora; 2) la media también llamada *prismática* o *mesostraco*, que le da grosor a la concha, y 3) la interna o *endostraco*, de naturaleza opaca o lustrosa (Checa, 2000; García-Gasca *et al.*, 1994; Fougereuse *et al.*, 2008). Como se mencionó anteriormente, estas capas están formadas por una matriz orgánica de una proteína llamada conquiolina, una matriz inorgánica de carbonato de calcio y cristales

de calcita y aragonita, agua y sales minerales (Levi *et al.*, 1998). Estos compuestos se depositan en complejas formas arquitectónicas, resultando un material ligero y resistente llamado nácar, que es precisamente el que tiene valor para la formación de las perlas por su brillo e iridiscencia (Fougerouse *et al.*, 2008), pero que también tiene aplicaciones en biomedicina para la reconstrucción de defectos óseos diversos (Atlan *et al.*, 1997; Mouriès *et al.*, 2002). En los moluscos, sin embargo, las diferencias en el color, textura y brillo de la capa interna nacarada varían de forma inter-específica en función del arreglo y distribución de los cristales de aragonita y calcita. Varias especies de almejas de agua dulce poseen esta característica y por ello son valiosas para el cultivo de perlas (Rangel, 1993; Fiske y Shepherd, 2010; Zapater-Galve *et al.*, 2010).

4.3. Anatomía interna

Las partes blandas del cuerpo están envueltas y protegidas por un tejido a manera de membrana llamado manto, que puede ser muy delicado y delgado, o bien, grueso. Las valvas se cierran por la acción de uno o dos músculos fijados a sus caras interiores (Gosling, 2003).

El manto es responsable de un gran número de funciones especializadas, como capacidad sensorial, almacenamiento de nutrientes, dirección de corrientes alimenticias, y síntesis de compuestos diversos (Figura 16a). Algunos de estos compuestos incluyen sustancias constitutivas que forman las tres capas de la concha y que intervienen en el crecimiento del molusco. Histológicamente, está formado por tres lóbulos, el externo que se encarga de la formación del periostraco, el medio que forma el mesostraco, y el interno cuya función es la formación del endostraco (García-Gasca *et al.*, 1994) (Figura 16b).

Al retirar el manto se observan las branquias o lamelas, que le dan nombre a la Clase Bivalvia o Lamelibranquia; son cuatro pares de láminas de color ocre o café, distribuidas en pares de dos en cada valva (Figura 17a). Su epitelio está fuertemente ciliado e interviene en la alimentación por filtración y respiración (Figura 17b).

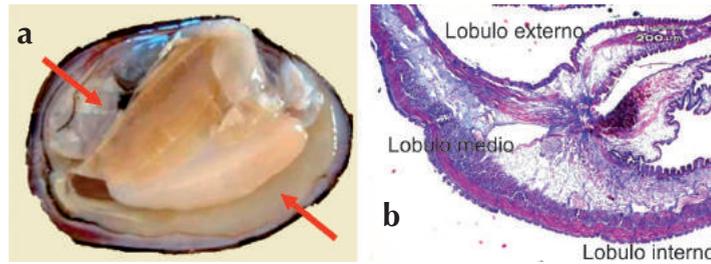


Figura 16. Manto de *Psoroniais crocodilorum*. a) Las flechas rojas señalan el tejido macroscópicamente; b) Microscópicamente se muestran los tres lóbulos del manto (externo, medio e interno).

Las almejas de agua dulce se alimentan por filtración utilizando los cilios que revisten las branquias, por lo que remueven grandes cantidades de microalgas y detritus orgánico del agua. Juegan un papel importante en la cadena trófica pues son clave para convertir grandes cantidades de detritus en biomasa orgánica, por lo que son excelentes indicadores ecológicos de la calidad ambiental (ej. contaminación) (Rangel, 1993; Zapater-Galve et al., 2010).



Figura 17. Branquias de *Psoroniais crocodilorum*. a) La flecha roja señala el tejido macroscópicamente; b) Microscópicamente el epitelio está invaginado, estratificado y fuertemente ciliado.

Resalta también como un órgano conspicuo el pie, de color beige y naturaleza fibrosa, que se extiende a lo largo de la región antero-posterior del animal (Figura 18a). En estado larvario permite reptar a la larva en busca de un sustrato adecuado para la metamorfosis y asentamiento; en estado adulto ayuda a la locomoción del animal y le permite también enterrarse. A nivel histológico, el pie posee un epitelio invaginado, estratificado, ciliado, con fuerte afinidad a la hematoxilina, así como diversos paquetes de fibras musculares longitudinales y transversales; no presenta paquetes musculares radiales como otros moluscos (Figura 18b).

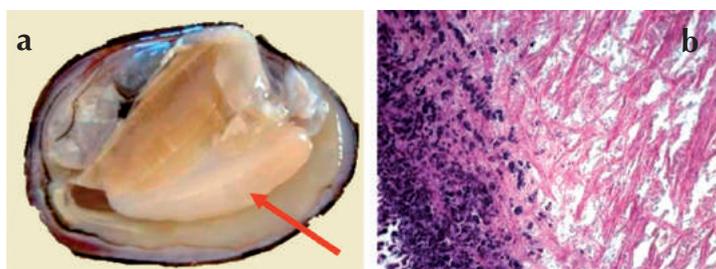


Figura 18. Pie de *Psoroniaias crocodilorum*. a) Macroscópicamente la flecha roja señala el pie; b) Microscópicamente se aprecian numerosos paquetes de fibras musculares (rojo).

Eliminando el pie queda la masa visceral, que contiene la mayoría de los órganos vitales del animal, ubicados en la región dorsal del cuerpo; aquí están el pericardio, sistema digestivo (boca, esófago, estómago e intestinos), gónada, glándula digestiva y recto. Para fines prácticos se describen únicamente las características de la gónada como tejido encargado de la reproducción, y en donde se realiza la incisión para el cultivo de perlas en los bivalvos que producen perlas esféricas.

4.4. Reproducción y ciclo de vida

A diferencia de los moluscos de la familia Pectinidae (almejas hermafroditas) —en donde la gónada está presente como un órgano

discreto y fácilmente separable —, en las náyades, la gónada se desarrolla a manera de tejido gonádico en toda la masa visceral, fusionada con la glándula digestiva, igual que ocurre en la mayoría de las familias de la Clase Bivalvia (Ostreidae, Veneridae, Pinidae, Pteriidae) (Saucedo y Southgate, 2008). El tejido gonádico es pareado, lo que significa que se presenta un lóbulo por cada valva, el cual comienza a desarrollarse en la región dorsal del cuerpo, y llega a ocupar la mayor parte de la masa visceral cuando el animal alcanza la madurez sexual (Figura 19).

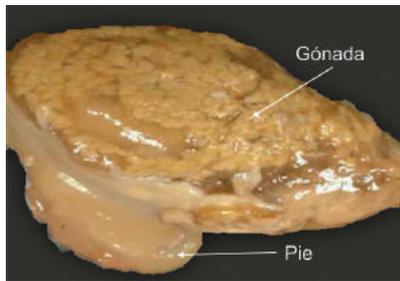


Figura 19. Tejido gonádico de *Psoroniais crocodilorum*, mostrando el desarrollo del testículo u ovario en la mayor parte de la masa visceral.

Aunque en muchos bivalvos marinos es fácil diferenciar entre machos y hembras por el color de la gónada (la parte masculina es beige claro y la femenina más oscura), en las almejas de agua dulce como *P. crocodilorum* esto no es posible porque la gónada de machos y hembras es de color ocre o beige (Córdova-Arroyo, 2013) (Figura 19).

A nivel histológico, las unidades estructurales de la gónada se denominan folículos o acinos, que son bolsas sostenidas por la matriz de tejido conectivo donde se desarrollan los gametos. Como en la mayoría de los moluscos, los gametos proliferan en el interior de los acinos por divisiones mitóticas y meióticas, siempre del exterior al interior de éstos. En estadios incipientes de desarrollo, los acinos son pequeños, de forma

más o menos redonda u ovalada, fáciles de distinguir entre sí, y con pocos gametos en su interior, independientemente de si el sexo es masculino (Figura 20a) o femenino (Figura 20b). La matriz de tejido conectivo es abundante en esta etapa.

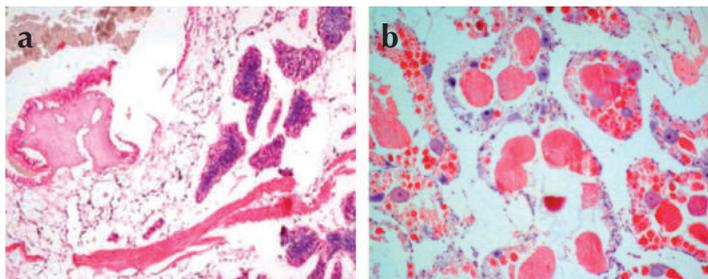


Figura 20. Microfotografía de gónada de *Psoroniais crocodilorum* teñida con hematoxilina-eosina (10×) en estado incipiente de desarrollo. a) macho; b) hembra.

Conforme avanza la gametogénesis, los acinos crecen y se ramifican gradualmente, lo cual conlleva una disminución proporcional de la matriz de tejido conectivo. En el estadio de madurez es imposible distinguir un acino de otro por su crecimiento y ramificación; además, su interior está lleno con gametos maduros, tanto espermatozoides (Figura 21a) como ovocitos (Figura 21b). La matriz de tejido conectivo queda reducida a su mínima expresión en esta etapa del desarrollo.

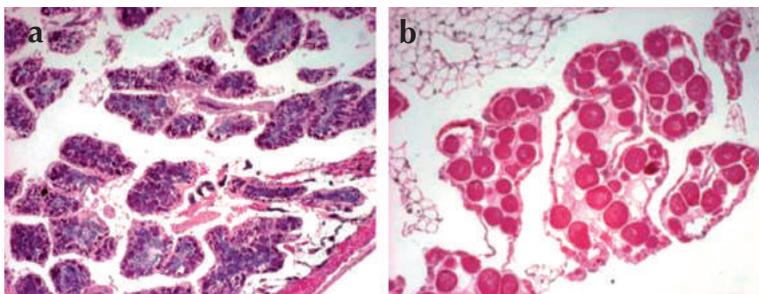


Figura 21. Microfotografía de gónada de *Psoroniais crocodilorum* teñida con hematoxilina-eosina (10×) en estado avanzado de desarrollo. a) macho, b) hembra.

Los ovocitos de *P. crocodilorum* son mucho más grandes que los de la mayoría de los bivalvos, ya que alcanzan tallas de 90–100 μm de diámetro cuando finalizan la vitelogénesis y maduran. No adoptan la forma típicamente poliédrica de los ovocitos maduros de la mayoría de los bivalvos, sino una redonda (Figura 22a), con un núcleo pequeño en posición distal y fuerte afinidad a la hematoxilina (Córdova-Arrojo, 2013) (Figura 22b). Los ovocitos maduros de *P. crocodilorum* son aún diploides y reducirán su carga cromosómica a haploide hasta el desove, no obstante, el momento preciso de éste es único de cada especie, puesto que puede ocurrir en el interior de los acinos, en los conductos de desove, o en la cavidad paleal previa a la fertilización (Saucedo y Southgate, 2008).

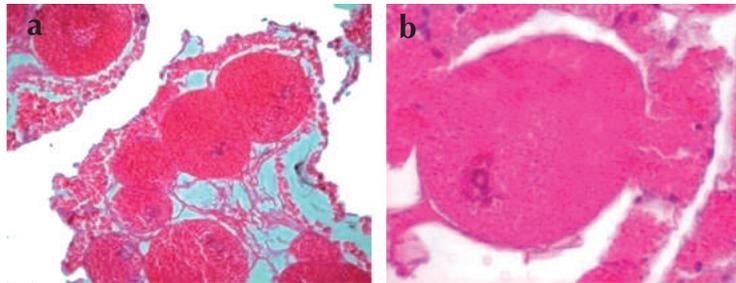


Figura 22. Microfotografía de gónada femenina de *Psoroniais crocodilorum* teñida con hematoxilina-eosina, mostrando ovocitos maduros. a) 20 \times , b) 60 \times .

A diferencia de los moluscos bivalvos marinos que son típicamente protándricos (maduran como machos y cambian a hembras a una cierta talla o edad), *P. crocodilorum* es hermafrodita y tiene la particularidad de que la espermatogénesis presenta dos patrones o líneas germinales diferentes que ocurren alternadamente tanto en la gónada masculina (Figura 23a) como en la femenina (Figura 23b). La primera es la línea principal o típica, cuyos gametos masculinos y femeninos se desarrollan en el interior de los acinos y son totalmente funcionales, es decir, tienen la capacidad de fertilización. La segunda línea se denomina atípica

porque genera, tanto en la gónada masculina (Figura 23a), como en la femenina (Figura 23b), gametos que no se desarrollan en el interior de los acinos, sino de forma difusa en la matriz de tejido conectivo, las cuales no son funcionales debido a que no presentan capacidad de fertilización y se identifican por su tonalidad pálida al teñirse con hematoxilina-eosina. Ambas líneas germinales (típica y atípica) de la gametogénesis se han reportado en otras especies de almejas dulceacuícolas de la Familia Unionidae (Sherpardson *et al.*, 2012), y aunque su función exacta no se conoce del todo, parece estar relacionada con la nutrición del huevo, la protección y el transporte de los espermatozoides típicos, o la creación de un ambiente hostil de competencia para los espermatozoides típicos (Ishibashi *et al.*, 2000; Jespersen *et al.*, 2001).

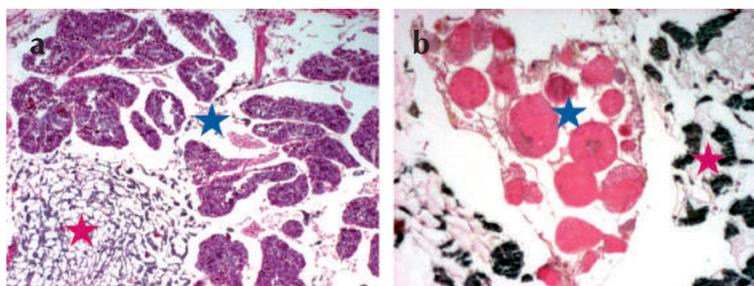


Figura 23. Microfotografía de las líneas germinales típica y atípica de la espermatogénesis de *Psoroniais crocodilorum*: a) en la gónada masculina y b) en la gónada femenina. La estrella azul señala la línea típica y la estrella roja la atípica.

La mayoría de las almejas de agua dulce son organismos *gonocóricos* o *dióicos* (del griego *dio* = *dos* e *icos* = *casas*), y los sexos están separados, aunque también es posible encontrar organismos hermafroditas en los que uno de los dos sexos será funcional y el otro estará en reabsorción, es decir, en proceso de cambio de sexo. A diferencia de otros bivalvos, los machos expulsan los gametos maduros al agua y la fertilización es interna, en un marsupio especial de la hembra. Después de un periodo

de incubación corto, eclosiona una larva planctónica llamada gloquidio, que requiere de un pez hospedero para completar su desarrollo, por lo que se fija a sus branquias con un gancho especial por cerca de tres semanas. Finalizado este tiempo, los juveniles se liberan y se asientan en el fondo del sustrato, finalizando así el ciclo de vida (Figura 24). La relación entre el gloquidio y el pez hospedero varía de especie en especie y de región en región (French, 1993; Araujo y Ramos, 1998; Araujo *et al.*, 2001).

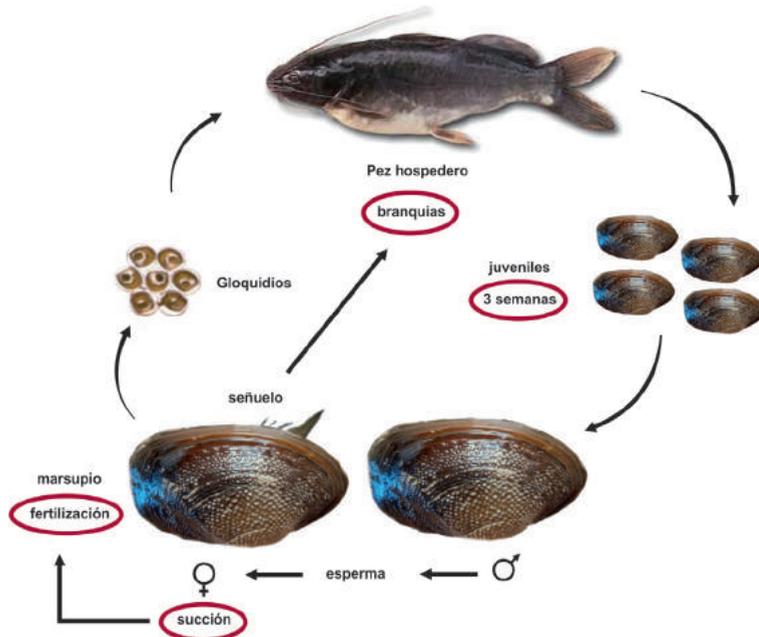


Figura 24. Ciclo de vida de una almeja de agua dulce.

4.5. Situación demográfica: Distribución y abundancia

Antes de evaluar la posibilidad de producir perlas y elaborar artesanía con ciertas especies de almejas de agua dulce, era necesario determinar algunos parámetros demográficos de las especies, como su distribución y abundancia en el estado de Tabasco. Para ello, se realizaron una

serie de muestreos de tipo estratificado en los municipios de las zonas norte, centro y sur del estado, con el fin de determinar la composición de especies, sus variaciones en la estructura de tallas, el índice de importancia relativa, etc. (Tabla 2). Estas actividades fueron realizadas en colaboración con personal de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR-Unidad Villahermosa), de acuerdo al protocolo establecido por Saucedo y Mendoza-Carranza (2013).

Dependiendo de la accesibilidad a los diferentes sitios de muestreo y a los individuos, así como de su distribución y densidad en estos, los muestreos se realizaron mediante cuadrantes de 40×40 cm o transectos (Martella *et al.*, 2012). Todos los individuos colectados fueron conservados en hielo a 5 °C aproximadamente, hasta su posterior identificación en el Laboratorio de Aprovechamiento de Recursos Acuáticos de ECOSUR.

Fue muestreado un total de 31 cuerpos de agua en el estado, de los cuales en un 63% se confirmó la presencia de almejas de agua dulce. Se incluyeron en el muestreo dos ríos (Usumacinta y Tepetitán), un arroyo (El Pajal) y un ambiente salobre (complejo lagunar Carmen-Pajonal-Machona), debido a que también aquí se detectó la presencia de almejas. Se presentan las localidades muestreadas y sus coordenadas geográficas en todos los casos (Tabla 2). Los municipios incluidos en los muestreos fueron: Centla, Huimanguillo, Jonuta, Macuspana, Emiliano Zapata, Paraíso, Cárdenas, Tenosique y Balancán (Figura 25). En todos los muestreos se registraron con una sonda portátil los parámetros ambientales más representativos del agua (Tabla 3).

Los valores más altos de salinidad fueron registrados para las lagunas costeras Carmen-Pajonal-Machona en los municipios de Paraíso y Cárdenas, con valores promedio de cerca de 30 ups (Tabla 3). En todas las lagunas se registraron temperaturas arriba de los 30 °C, llegando a su máximo en la laguna El Maíz y Santa Cruz, en la zona de Tenosique-Balancán (36 °C). El oxígeno disuelto fluctuó de un máximo de 10.1 mg/L en la laguna de

Santa Cruz, a un mínimo de 2.9 mg/L en la Laguna El Corral (Jonuta). Las profundidades de muestreo fueron máximas en El Arrojo (Centla) y La Tronconada (Jonuta) con 160 y 150 cm, respectivamente, y mínimas (casi 0) en muchas lagunas de los municipios de la zona sur.

De los muestreos fueron recolectados un total de 2489 almejas de doce especies, correspondientes a nueve géneros. El municipio con el mayor número de individuos fue Centla con 852, seguido de Huimanguillo con 307; los municipios con menor número de almejas recolectadas fueron Macuspana con 50 individuos y Jonuta con 46 individuos.

La especie más abundante fue la almeja gallito *R. cuneata*, con 613 ejemplares recolectados y con los mayores índices de importancia relativa, seguida de la almeja gorda *P. crocodilorum* con 373 ejemplares, la gran mayoría colectados en el municipio de Centla (Tabla 4). Esto sin considerar la gran abundancia del mejillón *I. recurvum*, que tuvo la mayor abundancia total (664 individuos), pero que no se incluyó dentro del grupo de interés de este documento por no ser una almeja dulceacuícola. La especie que mostró una distribución más amplia en cinco de los nueve municipios muestreados en el estado fue nuevamente *P. crocodilorum*, seguida de *R. cuneata*. Especies poco abundantes y con presencia en un solo municipio fueron *Anodonta* sp., *Nephronaias mexicanus* y *Megalonaia nicklineana*, con menos de 20 ejemplares por colecta.

Las tres especies de mayor talla fueron *N. mexicanus*, *Anodonta* sp. y *M. nicklineana*, con 9.8 ± 0.6 , 9.7 ± 1.1 y 9.5 ± 0.6 cm de longitud de la concha, respectivamente. *P. crocodilorum* y *P. alata* fueron almejas de talla intermedia (6 cm de longitud), en tanto que la almeja de menor talla fue *R. cuneata*, con 2.3 ± 0.66 cm de longitud. En el resto de las especies la talla varió entre los 4 y 6 cm de longitud promedio de la concha (Figura 26).

Tabla 2. Listado de municipios y localidades muestreadas en el estado de Tabasco durante 2011. Las coordenadas están expresadas en el sistema Universal Transversal de Mercator (UTM)

MUNICIPIO	LOCALIDAD	COORDENADAS
Centla	El Viento	LAT: 0535672 LONG: 2016744
	El Guanal	LAT: 0558685 LONG: 2022707
	San Pedrito	LAT: 0542203 LONG: 2030381
	Tronconada	LAT: 0539285 LONG: 2011405
	Río Pajará	LAT: 0540672 LONG: 2029540
Tenosique-Balancán	El Maíz	LAT: 0660917 LONG: 1944622
	Canitzán Grande	LAT: 0539110 LONG: 2010775
	San José del Río	LAT: 0651172 LONG: 1960721
	Leona Vicario	LAT: 0654680 LONG: 1958863
	Santa Cruz*	LAT: 0657258 LONG: 1930178
	Lechugal*	LAT: 0656142 LONG: 1961606
Macuspana	Río Tepetitán	LAT: 0559042 LONG: 1979348
	Morelos	LAT: 0544400 LONG: 1982071
	El Bayo	LAT: 0555125 LONG: 1972551
	San José	LAT: 0548573 LONG: 1957528
	Poblado Simón Sariat*	LAT: 0552870 LONG: 1966313
	El Limón*	LAT : 0552901 LONG: 1976697
	El Gusano*	LAT: 0564013 LONG: 1978673
	La Calzada*	LAT: 0563351 LONG: 1977647
	Los Chicos*	LAT: 0562333 LONG: 1978109
Los Cocodrilos*	LAT: 0563741 LONG: 1977503	
Paraíso	Mecoacán	LAT: 0485737 LONG: 2030749
Huimanguillo	Del Rosario	LAT: 0411543 LONG: 1972653
Cárdenas	Carmen-Machona	LAT: 0407932 LONG: 2021213
Jonuta	Playa Larga	LAT: 0624951 LONG: 1983344
	El Barrilito	LAT: 0622032 LONG: 1983010
	El Corral	LAT: 0598904 LONG: 1975127
	El Ahogado	LAT: 0633991 LONG: 1983025

(*) Sin almejas



Figura 25. Listado de municipios y localidades del estado de Tabasco muestreados para identificación de almejas de agua dulce (señaladas con puntos rojos). Se incluyen lagunas, ríos, arroyos y un ambiente salobre, Fuente: INEGI

Tabla 3. Parámetros ambientales registrados en las localidades del estado de Tabasco muestreadas durante 2011.

	Temp (°C)	Sal (ups)	O ₂ (mg/L)	pH	Prof (cm)	Transp (cm)
Centla						
Arroyo	32.3	8.19	5.2	8.1	160	75
El Guanal	33.7	0.34	6.8	8.2	76.5	42
El Viento	30.6	0.85	5.3	8.0	122.5	68
Sn. Pedrito	31.1	5.25	5.3	8.2	110	71
Tronconada	31.9	0.40	5.9	8.1	152.5	99
Huimanguillo						
El Rosario	30.3	0.30	8.1	7.5	142.5	124
Jonuta						
Coletó	27.9	0.17	4.0	8.0	150	5
El Ahogado	30.3	0.08	5.5	8.6	130	25
El Barrilito	29.9	0.09	4.9	8.2	97	25
El Corral	26.9	0.14	2.9	7.5	10	0
Playa Chiquita	26.7	0.14	3.8	7.8	40	10
Playa Larga	30.2	0.07	4.8	8.5	100	28
Macuspana						
El Bayo	33.5	0.17	8.4	8.3	145	80
El Gusano	31.7	0.23	4.6	7.9	78	78
El Limón	33.7	0.22	8.9	7.8	5	0
La Calzada	32.4	0.24	4.2	7.5	50	50
Los Chicos	32.3	0.23	5.5	7.8	60	30
Los Cocodrilos	32.0	0.24	4.2	7.5	75	45
Morelos	31.7	0.18	4.1	7.6	104	76.5
Río Tepetitán	30.9	0.25	5.1	7.8	5	0
San José	31.3	0.09	5.1	7.4	120	10
Paraíso						
Mecoacán	31.8	8.9	5.6	8.4	50	50
Cárdenas						
Cármen	30.6	28.8	7.6	8.4	72.5	65
Machona	31.5	30.6	7.0	8.4	52.5	70
Tenosique-Balancán						
Cantitzán Grande	31.4	0.09	8.1	9.6	60	20
El Maíz	35.9	0.06	10.4	9.8	0	0
Leona Vicario	29.7	0.09	7.5	9.4	5	5
Río Usumacinta	34.1	0.37	7.5	8.2	0	0
San José del Río	32.6	0.12	7.1	9.4	100	10
Santa Cruz	35.6	0.19	10.1	9.2	60	10

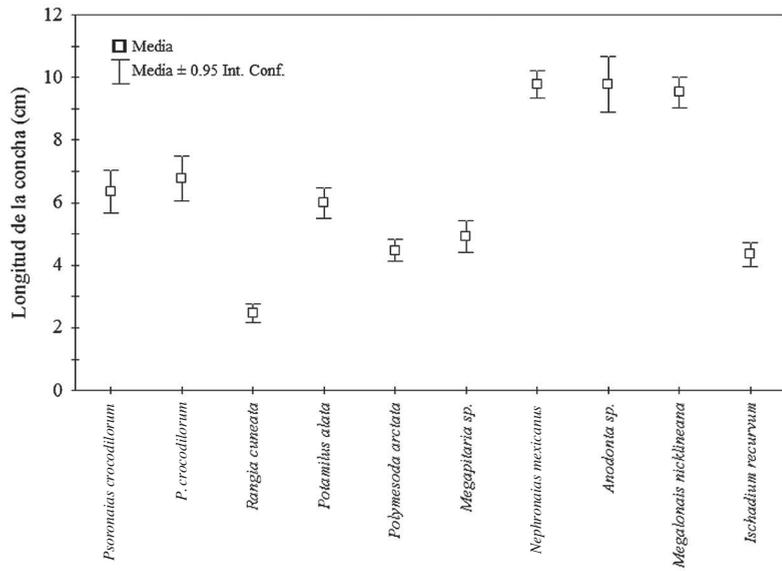


Figura 26. Estructura de tallas de las especies de almejas de agua dulce recolectadas en los municipios del estado de Tabasco en 2011.

La información recopilada de la primera fase del proyecto sobre la distribución, abundancia e índice de importancia relativa de las especies en los diferentes municipios muestreados, junto con las observaciones hechas sobre la talla de los organismos, la calidad de su cara interna nacarada y los comentarios referidos por los pescadores con respecto a la resistencia a la manipulación, permitió seleccionar la especie con mayor potencial de uso para actividades de cultivo de perlas; esta especie fue *P. crocodilorum*, cuya distribución en casi todo el estado fue amplia, presentó una talla media adecuada para la manipulación (entre 5.5 y 8.3 cm), y particularmente mostró diferentes tonalidades de su cara interna nacarada que van de blanquecina a café chocolate y morada. Otras dos especies que presentan una talla útil para el cultivo de perlas y un nácar lustroso y atractivo son *P. alata* y *Anodonta sp.*, pero su presencia

y abundancia en los municipios fue relativamente baja en los muestreos realizados. La alternativa para utilizar estas especies para cultivo de perlas sería su producción en laboratorio para asegurar un suministro consistente y suficiente de semilla para actividades de injerto e implante de núcleos. Esta posibilidad está bajo análisis, particularmente porque el cultivo en laboratorio exige cultivar también las especies de peces que fungen como hospederos durante su desarrollo larvario.

Tabla 4. Porcentaje de importancia relativa al total de especies de almejas de agua dulce recolectadas en los distintos municipios del estado de Tabasco. CEN=Centla, MAC=Macuspana; HUI=Huimanguillo; JON=Jonuta; ZAP=Zapata; PAR=Paraíso; CAR=Cárdenas; T-B=Tenosique-Balancán.

ESPECIE	CEN	MAC	HUI	JON	ZAP	PAR	CAR	T-B
<i>Anodonta</i> sp.				0.60				
<i>Ischadium recurvum</i>						7.9	18.8	
<i>Psoroniaias crocodilorum</i>	12.3	1.9	4.44		0.04			0.9
<i>Nephronaias mexicanus</i>		0.2						0.2
<i>Megapitaria</i> sp.	3.5		0.2					
<i>Mercenaria campechiensis</i>							1.6	
<i>Polymesoda arctata</i>	4.3		0.08					
<i>Potamilus alata</i>				1.3	7.8			
<i>Potamilus</i> sp.	1.8							7.6
<i>Rangia cuneata</i>	12.5		7.7		4.4			0.04
<i>Megaloniaias nicklineana</i>								0.08

RELAJACIÓN COMO TERAPIA PRE-OPERATORIA PARA LA FORMACIÓN DE PERLAS

5

El primer paso para un manejo seguro y sin tanto estrés de las almejas para producción de perlas es su relajación parcial o total. En acuicultura, existen diferentes sustancias naturales o artificiales que se han utilizado comúnmente como terapia de relajación pre-operatoria de diversas especies de peces, crustáceos o moluscos (Ross y Ross, 2008). En perlicultivo, algunas de estas sustancias han sido también evaluadas con éxito en especies de moluscos gastrópodos como el abulón *Haliotis* sp. y el caracol rosado del Caribe *Strombus gigas*, pero particularmente en bivalvos como las ostras perleras de los géneros *Pinctada* (*P. fucata*, *P. margaritifera*, *P. maxima*, *P. mazatlanica*) y *Pteria* (*P. penguin*, *P. sterna*) (Mills *et al.*, 1997; Norton *et al.*, 1996, 2000; Acosta-Salmón *et al.*, 2005; Monteforte *et al.*, 2004; Mamangkey *et al.*, 2009; Torres-Martínez *et al.*, 2012) (Tabla 5).

En general, existen tres indicadores que deben tomarse en cuenta al evaluar la eficiencia de un relajante:

1. *Tiempo de relajación*: El requerido para detener la actividad valvar y muscular de los tejidos del animal, así como para disminuir su metabolismo.
2. *Tiempo de recuperación*: El necesario para recuperar los movimientos valvares, musculares y la condición normal del animal.
3. *Efectos secundarios*: Síntomas anormales que el animal desarrolla

a consecuencia de la exposición al relajante, como producción de mucosidad o daño en el epitelio de algunos tejidos de amplia superficie de contacto (branquias, manto) (Figura 27). Los tejidos pueden llegar a colapsar o morir.

Tabla 5. Diversos tipos de relajantes y sus concentraciones y tiempos de exposición promedio evaluados como terapia previa a la formación de perlas en moluscos bivalvos y gastrópodos

RELAJANTE	DOSIS EVALUADAS	TIEMPO PROMEDIO	ESPECIE
Benzocaína	200 a 500 mg/L	25-40 min	<i>Pinctada margaritifera</i> ; <i>P. maxima</i> ; <i>Pteria sterna</i> ; <i>Strombus gigas</i>
Aceite de clavo (Eugenol)	0.5 a 0.8 mL/L	15-20 min	<i>P. albina</i> , <i>P. maxima</i> , <i>Haliotis rufescens</i> ; <i>P.</i> <i>crocodilorum</i> *
Cloruro de Magnesio	20 a 30 g/L	20-30 min	<i>Ostrea edulis</i> , <i>S. gigas</i> , <i>Pecten fumatus</i> ; <i>P.</i> <i>crocodilorum</i> *
Mentol (cristales)	0.25 a 0.3 g/L		<i>P. albina</i>
Metasulfonato Tricaina (MS-222)	1.2 a 2 g/L	20-30 min	<i>P. mazatlanica</i> , <i>P. sterna</i>
Propilen-fenoxetol	1 a 3 mL/L	15-20 min	<i>N. mexicanus</i> , <i>P. albina</i> , <i>P. maxima</i> , <i>H. iris</i> , <i>Nodipecten subnodosus</i> ; <i>P.</i> <i>crocodilorum</i> *
2-Fenoxi-etanol	1 a 3 mL/L	30-40 min	<i>P. maxima</i> , <i>H. iris</i> , <i>N. subnodosus</i> ; <i>P.</i> <i>crocodilorum</i> *
CO ₂	A saturación	20-30 min	<i>H. rufescens</i>

(*) utilizados como parte del proyecto Alternativas se aprovechamiento de almejas dulcea-cuícolas en el estado de Tabasco.

Cada especie posee su propio *umbral de respuesta* a la relajación, el cual puede oscilar entre los 5 y 25 minutos (Torres-Martínez *et al.*, 2012). Se recomienda no exceder un período máximo de 30 minutos de exposición al relajante, pues hacerlo a manera de sobredosis puede ser riesgoso para

la salud del organismo al incrementar las posibilidades de que éste sufra cualquiera de los efectos secundarios arriba mencionados, e incluso que muera (si esto ocurre, otra opción es reducir la dosis del relajante). Por ello, toda sustancia que después de este período de 30 minutos no haya inducido la relajación parcial o total del animal debe ser considerado “no adecuado” (Torres-Martínez *et al.*, 2012).

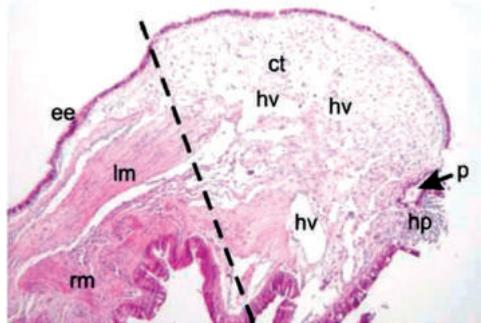


Figura 27. Sección de manto de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* mostrando acumulación de hemocitos (hp) y un tapón de periostraco (p) durante el proceso de regeneración del tejido.

Durante la relajación, todo animal pasa por un proceso físico y fisiológico en el que deben considerarse tres criterios generales:

1. *Animal no relajado:* Aquel que al recibir un estímulo táctil después de 30 minutos en el anestésico es capaz de cerrar rápidamente sus valvas, contraer de forma normal sus tejidos (ej. manto), y opone resistencia a la apertura de sus valvas con una pinza.
2. *Animal en proceso de relajación:* Aquel que al recibir un estímulo táctil después de 30 minutos en el anestésico cierra lentamente sus valvas, contrae parcialmente sus tejidos (manto), y opone resistencia moderada a la apertura de sus valvas con una pinza.
3. *Animal relajado:* Aquel que al recibir un estímulo táctil después de 30 minutos en el anestésico es incapaz de cerrar sus valvas y de contraer el manto, y deja de oponer resistencia a la apertura de sus valvas con una pinza.

De acuerdo a los resultados de estas investigaciones, el mejor relajante de todos los evaluados con *P. crocodilorum* fue el aceite de clavo a una concentración promedio de 0.5 mL/L (ver Tabla 5). Con esta sustancia, el tiempo de relajación promedio fue de 20 minutos y el de recuperación de 30 minutos. Además, este relajante no produjo ningún efecto secundario evidente. A su vez, los animales se relajaron bien (20–25 min) y se recuperaron (30 min) con el cloruro de magnesio, aunque la dosis a utilizar con este producto es alta (30 g/L). Por ello, se recomienda mejor utilizar el aceite de clavo, y los resultados que se presentan a partir de aquí corresponden a este relajante.

Previa a la exposición al relajante, las almejas se dejan por espacio de 30 a 60 minutos en charolas plásticas, con poca agua, para permitir su oxigenación y apertura de las valvas. Es importante evitar molestar o estresar a las almejas durante este tiempo. Una vez entreabiertas las valvas, se utiliza una pinza especial de perlicultivo (Figura 28a) para forzar su apertura, llevando los músculos aductor y retractor al límite máximo de apertura sin romper las fibras musculares, pues eso ocasiona la muerte del animal. Hecho esto, se inserta entre las valvas una cuña de madera o plástico para evitar su cierre y facilitar el trabajo. Para el caso de las almejas de agua dulce, dado que los músculos aductor y retractor son muy pequeños y las valvas abren poco, se tuvo que utilizar una pinza pequeña delgada de plástico (Figura 28b). Finalmente, los animales son colocados en el agua con el relajante previamente disuelto para exponer los tejidos al mismo.

Una vez en el relajante, los animales deben ser monitoreados constantemente para detectar los primeros síntomas de relajación, de acuerdo a los indicadores y criterios arriba descritos. Esto se sabe cuándo las cuñas de madera insertadas entre las valvas comienzan a aflojarse gradualmente, llegando incluso a soltarse cuando el animal

está completamente relajado. Una vez que ocurre esto, los animales pueden pasarse a la mesa de trabajo para iniciar cualquiera de las dos actividades rutinarias de perlicultivo, ya sea para formación de medias perlas o formación de perlas.

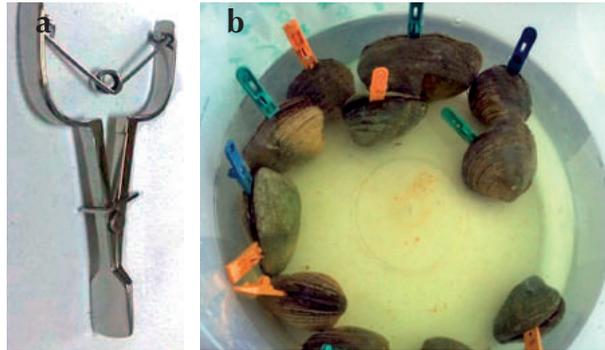


Figura 28. Proceso de relajación de *Psoroniaias crocodilorum* con aceite de clavo. a) apertura de las valvas con una pinza especial para perlicultivo; b) inserción de una cuña de madera o plástico.

TÉCNICA DE IMPLANTE PARA FORMACIÓN DE MEDIAS PERLAS (MABES)

6

6.1. Instrumentos

A diferencia de la técnica para formación de perla tipo *keshi* (ver Capítulo 7), el protocolo para producción de medias perlas es relativamente sencillo y no exige la realización de una microcirugía en el cuerpo blando del animal, lo que reduce significativamente la mortalidad postoperatoria. Tampoco es necesario el uso de instrumentos especializados, por lo que los costos de producción se reducen sensiblemente. Primeramente se requiere una base de injerto para perlicultivo, que es donde se colocan los animales relajados para facilitar su manipulación (Figura 29a). La base de injerto fue originalmente diseñada para trabajar con moluscos marinos productores de perlas, como las ostras perleras. Comercialmente se venden en tamaño pequeño, mediano y grande, de acuerdo a la talla promedio de las especies *P. fucata*, *P. margaritifera* y *P. maxima*, respectivamente. Para la almeja gorda *P. crocodilorum*, se utilizó una base pequeña y los animales se acomodan relativamente bien y no se mueven mucho.

Otro de los insumos básicos que se requieren para la técnica de formación de mabes son los medios núcleos, que generalmente son de plástico rígido. Como se mencionó en el Capítulo 2, la técnica de implante para formación de mabes se diseñó originalmente en Japón en el siglo XX, cuando M. Fujita comenzó a cementar pequeñas imágenes de Buda hechas de plomo en la cara interna de la concha de los moluscos (Figura 3a), las cuales eran recubiertas por el manto para formar eventualmente una media perla nacarada (Figura 4) (Haws *et al.*, 2006).

Hoy día los medios núcleos son fáciles de adquirir en cualquier mercería nacional o comercialmente en negocios internacionales especializados de perlicultivo, como *Pearling Technologies* (www.pearlingtechnologies.com) o *Icon Pearls* (<http://www.islandpearls.net>). Se ofrecen en formas variadas que incluyen esferas, óvalos, gotas, estrellas, corazones etc. (Figura 29b).

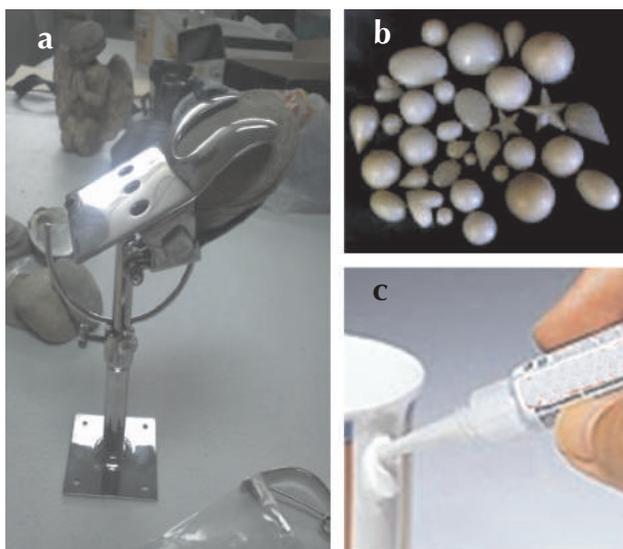


Figura 29. Instrumentos e insumos requeridos para la técnica de formación de mabes.

Un tercer insumo indispensable en la técnica de formación de mabes es el pegamento para la colocación de los medios núcleos. Por comodidad, y para evitar la irritación del animal, es aconsejable utilizar un pegamento elaborado a base de cianoacrilato, ya sea en presentación gel o líquido (Figura 29c). Finalmente, se debe contar con unas pinzas de punta roma para sujetar los medios núcleos y una espátula convencional para facilitar su colocación en la concha.

6.2. Fundamentos de la técnica

Una vez que se cuenta con los instrumentos e insumos básicos, y las almejas están relajadas y colocadas en la base de injerto, se comienza

insertando una cuña de madera o tubo de PVC entre las valvas para mantenerlas abiertas al máximo posible sin dañar el (los) músculo(s) (Figura 30a). Se seleccionan entonces las áreas internas de la concha donde se colocarán los medios núcleos y se secan con un trapo o esponja limpia. Esto es indispensable, pues si no se seca bien el área de trabajo, los medios núcleos no pegarán. Se toma entonces un medio núcleo con las pinzas, se vierte en él una o dos gotas del pegamento (Figura 30b), se coloca inmediatamente en el área seleccionada (Figura 30c) y se ejerce un poco de presión con una espátula hasta asegurar el secado del pegamento.

Es necesario mencionar que existe un área recomendada en la cara interna de la concha donde colocar los medios núcleos, la cual normalmente es la más cercana al periostraco (sin invadirlo) y corresponde a la de crecimiento más acelerado del animal, y en consecuencia, a la de mayor secreción de nácar. El procedimiento de cementado se repite para cada uno de los medios núcleos, tratando de no exceder un máximo de tres por animal, de no colocarlos muy juntos, y de mantener una proporción de 2:1 en cada una de las valvas para permitir el cerrado de éstas (Saucedo *et al.*, 1998; Ruíz-Rubio *et al.*, 2006) (Figura 30d). Esta parte resulta vital, pues si los núcleos quedan muy juntos y las valvas no cierran (Figura 30f), podría entrar algún depredador (pez, cangrejo, jaiba) y ocasionar la muerte del animal.

Si el procedimiento de cementado se ejecutó de forma correcta, el manto deberá cubrir por completo el medio núcleo cuando el animal se recupere de la relajación (Figura 30e), lo cual asegurará que sea totalmente recubierto por nácar para formar una perla con un domo bien homogéneo.

6.3. Convalescencia post-operatoria y cuidado de almejas implantadas

Una vez finalizado el procedimiento de implantación, las almejas se transfieren a una tina de recuperación o convalecencia con agua corriente y aireación continua, con el fin de evaluar su tasa de mortalidad a consecuencia del manejo (generalmente por exceder los tiempos en el

relajante). Como se mencionó anteriormente, la mortalidad en la técnica de media perla es relativamente baja, aunque varía de especie a especie y en función de las condiciones en que se realizó el implante. De acuerdo a los trabajos del proyecto CIBNOR-UJAT, la mortalidad no es mayor al 5% del total de los animales implantados.

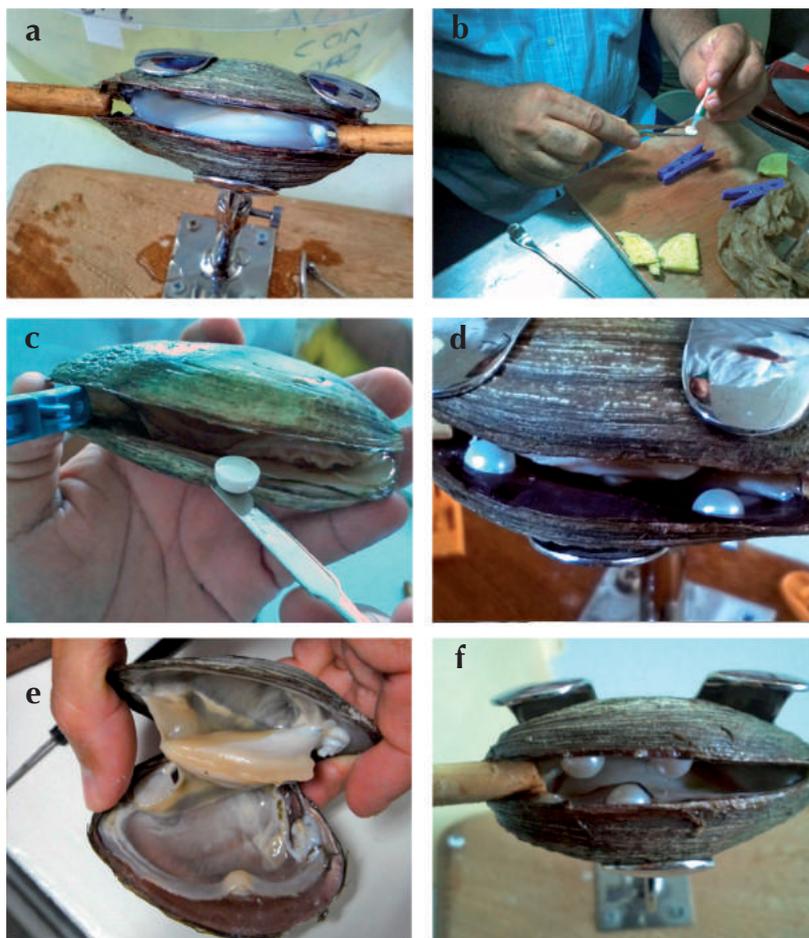


Figura 30. Técnica de implante de medios núcleos para formación de mabes en *Psoronaia crocodilorum*. a) colocación de la almeja en la base; b) colocación de una gota de pegamento en el medio núcleo; c) y d) implante de los núcleos en la cara interna de la concha; e) relación 2:1 de implante de medios núcleos en cada valva; f) forma en que el manto envuelve el núcleo implantado.

Todas las almejas que sobrevivieron al implante son transferidas al sitio de cultivo, que en este caso puede ser una laguna o estanque, o incluso algún tanque de cultivo externo circular o tipo *raceway*, si estos están provistos de agua con alimento de forma continua. Ahí permanecerán por espacio variable de entre nueve a dieciocho meses, en función de las condiciones de cultivo (temperatura, disponibilidad de alimento, etc.), así como de las decisiones de logística de los cultivadores. Algunas de estas decisiones dependerán del tipo de cultivo que se haya elegido desarrollar, considerando las condiciones del terreno y el suministro de agua dulce de manera continua durante el año. La instalación del cultivo en un cuerpo de agua ya existente suele ser práctico y representa un menor costo de inversión, pero requiere contar con el conocimiento suficiente sobre el clima y las variaciones en los factores externos como temperatura, lluvias, presencia de posibles depredadores, etc. Con base en esto, se deberán tomar medidas como el uso de cierto tipo de caja protectora u otro dispositivo de cultivo adecuado.

El uso de tanques en tierra permite tener un mejor control sobre las almejas en cultivo y los depredadores, sin embargo, conlleva una vigilancia continua de los factores exógenos para garantizar la producción. El flujo continuo de agua por medio de una bomba sumergible desde una cuenca contigua es indispensable en cualquier época del año hacia los sistemas de cultivo en tanques circulares o rectangulares tipo *raceway*, suministrando un nivel óptimo de agua y alimento natural a los animales. Los tanques circulares son prefabricados especialmente para acuicultura y poseen una geomembrana reforzada; los tanques rectangulares tipo *raceway* suelen fabricarse de cemento o plástico reforzado y la velocidad del agua suele estar en función de las subdivisiones a la longitud del tanque. Estos sistemas deberán ser abiertos y construidos con una pequeña pendiente, es decir, con un desagüe sencillo que regrese el agua al afluente continuamente.

Ambos sistemas tienen sus variantes y ventajas, pero el desarrollo de los diseños de ambos tipos de sistema ampliamente utilizados para el cultivo de peces y crustáceos permitiría garantizar una velocidad y flujo

adecuado de agua y alimento con la posibilidad de aprovechar el arrastre del desagüe para remover los sedimentos del fondo del tanque (Timmons *et al.* 1998, Oca *et al.* 2004, Oca y Masaló 2007). Ambos sistemas se deben de instalar debajo de una estructura con malla-sombra para reducir el efecto de la temperatura y la insolación, manteniendo en las mejores condiciones a los organismos durante los casi dieciocho meses que puede durar el proceso de secreción de nácar para la formación de perlas.

En moluscos marinos como las ostras perleras, el tiempo promedio de espera para la formación de una mabe de valor comercial suele ser de doce a dieciocho meses, que es cuando la capa de nácar alcanza entre 1 y 1.5 mm de diámetro promedio (Fig. 31) (Saucedo *et al.*, 1998; Haws *et al.*, 2006; Kishore *et al.*, 2013).



Figura 31. Grosor de la capa de nácar en una mabe de valor comercial.

6.4. Cosecha y montaje de mabes

Transcurrido el período de espera, mismo en el que las almejas son monitoreadas regularmente, se realiza la cosecha de perlas. Usualmente, este proceso conlleva el sacrificio del animal, pues es necesario cortar el área de la concha donde se formaron las mabes. Primeramente la concha se corta con una cortadora manual o comercial para darle un acabado grueso al domo (Figura 32a) y posteriormente se afina con una esmeriladora para resaltar el domo (Figura 32b). Debe retirarse de la mabe el medio núcleo de plástico implantado meses atrás, y el espacio

vacío debe rellenarse con algún tipo de resina epóxica para sellarla, darle mayor resistencia a la pieza, y evitar su posible deformación (Figura 32c). Una vez seca la resina, se coloca una base o tapa de concha que se corta de la concha del mismo animal sacrificado y se une con pegamento de cianoacrilato para tener una pieza acabada; ésta debe ser pulida y cubierta con aceite mineral para conservarla antes de su montaje (Saucedo *et al.*, 1998; Ruíz-Rubio *et al.*, 2006) (Figura 32d).



Figura 32. Procesamiento de las mabes formadas en la concha nácar *Pteria sterna*. a) corte grueso de la concha; b) corte fino y pulido del domo; c) sellado con epóxico y respaldo; d) montaje de la mabe.

Se recomienda realizar la labor de montaje de una mabe en colaboración con algún artesano o joyero local para darle un diseño específico de acuerdo a la región en que se trabaja. Ello incrementará su valor bajo el concepto de *denominación de origen* (ej, tequila de Jalisco; talavera de Puebla). Las mabes pueden destinarse para la formación de collares, aretes, dijes, anillos, pulseras, etc., en función del gusto personal del comprador. Aunque una mabe es un subproducto de menor valor comercial que una perla esférica, existe un segmento específico de mercado para este

tipo de joya que también posee alta demanda (Haws, 2002). El precio promedio de una mabe oscila entre MX\$80.00 y MX\$120.00 sin montar, pero ya montada puede incrementarse a un costo de entre MX\$500.00 y MX\$800.00, dependiendo de su diseño y accesorios de complemento en plata, oro, platino, u otro material. Para mayor información, pueden consultarse los sitios de *Perlas del Mar de Cortez* (<http://perlas.com.mx/es>) o *Baja Pearls* (<http://bajapearls.com>), que ofrecen mabes terminadas de ostras perleras y abulón, respectivamente.

6.5. Producción de mabes en el marco del proyecto CIBNOR-UJAT

A la fecha, ya se cuenta con las primeras mabes producidas experimentalmente en el marco del convenio de colaboración CIBNOR-UJAT (Figura 33). A pesar de ello, los resultados generados son aún preliminares, y aunque la técnica se ha mejorado sustancialmente, se requiere mayor práctica para optimizarla y asegurar la producción de mabes en mayor número y calidad. Por el momento se han tenido cerca de 1600 ejemplares de *P. crocodilorum* implantados y en proceso de formación de medias perlas, mismas que se cosecharán entre doce y dieciocho meses después. Cada almeja tiene un promedio de 3 medios núcleos implantados en proporción 1:2 en la valva derecha e izquierda, respectivamente.



Figura 33. Primeras mabes producidas en *Psoroniais crocodilorum* durante el Segundo Taller de Perlicultura en 2012.

TÉCNICA DE INJERTO PARA FORMACIÓN DE PERLAS TIPO *KESHI*

7

7.1. Fundamentos del proceso de formación de perlas naturales

Esta parte tiene como propósito mostrar el fundamento del proceso de formación de una perla natural, el cual dio origen a la técnica de nucleación conocida como *Mise-Nishikawa*, en honor a dos japoneses que la desarrollaron en 1904, siendo el más reconocido Kokichi Mikimoto (Cahn, 1949; Shirai, 1994). Hoy en día, los métodos modernos para inducir la formación de otros tipos de perla (ej. *keshis*) son modificaciones de esta técnica, la cual ha sido adaptada de acuerdo a la anatomía de cada especie de molusco perlero, así como a las necesidades de las granjas perleras y de la industria.

En condiciones naturales, una perla se forma por un mecanismo de defensa, cuando un molusco marino, generalmente bentónico-sésil que se alimenta por filtración en zonas donde las corrientes y procesos de sedimentación son intensos, es irritado por la intrusión de una partícula o agente extraño dentro de su cuerpo blando. El agente extraño suele ser un grano de arena o parásito que se introduce accidentalmente al cuerpo del animal, y que en la mayoría de los casos, se aloja en alguna región de la cual el animal puede expulsarlo. Por esta razón, la incidencia de perlas naturales es muy baja en la naturaleza hoy en día. Sin embargo, en raras ocasiones, el molusco no puede rechazar el agente extraño por la zona del cuerpo donde se alojó, y la irritación provocada por éste ocasiona

que células especializadas del manto lo envuelvan y aíslen a través de un proceso de secreción gradual de capas concéntricas de nácar. Este proceso es el que más adelante da pie a la formación una perla natural (García-Gasca *et al.*, 1994; Levi *et al.*, 1998; Monteforte, 2010).

Como ya se mencionó con anterioridad, el nácar es el principal componente de la cara interior de las conchas de los moluscos, y las propiedades de esta sustancia que tanto llaman la atención de la gente son su blancura e iridiscencia, así como su ligereza y resistencia (Addadi y Weiner, 1997; Levi *et al.*, 1998; Checa, 2000; Kiefert *et al.*, 2004). Dado que estas propiedades no son iguales en todos los moluscos, se busca seleccionar en el perlicultivo comercial alguna especie que posea la mejor combinación de estas propiedades, pues esto se traducirá en una perla de mayor calidad. Aunque por décadas sólo se han utilizado para esta actividad a las ostras perleras del género *Pinctada* (*P. fucata*, *P. margaritifera*, *P. maxima*), hoy en día existe una sobreproducción, e incluso saturación, de Akoyas, Black Pearls y South Sea Pearls, respectivamente (Fassler, 2004), lo que ha ocasionado que la industria perlera mundial entre en un dinámico proceso de diversificación en búsqueda de nuevas especies de moluscos productores de perlas llamativas y “exóticas”. El problema es que esta categoría de candidatos con calidad superior de nácar está integrada únicamente por algunas especies de bivalvos y gasterópodos, como el abulón *Haliotis* spp. (Monteforte y Bervera, 2010; Saucedo *et al.*, 2014) y el caracol rosado del Caribe *Strombus gigas* (Acosta-Salmón y Davis, 2007).

7.2. Fundamentos de la técnica de formación de perlas esféricas

En el perlicultivo comercial, el agente extraño que se introduce al cuerpo blando de un molusco es un núcleo perfectamente esférico, elaborado de la concha de otros moluscos de agua dulce de la familia Unionidae

(náyades), los cuales se recolectan generalmente del Río Mississippi, en Estados Unidos. Sin embargo, las poblaciones de estas náyades han sido sobreexplotadas desde décadas atrás, lo que ha obligado a buscar alternativas de materiales para la fabricación de núcleos, particularmente para la especie de ostra perlera más grande (*P. maxima*) productora de las South Sea Pearls. Uno de estos materiales alternativos es la *bironita*, una dolomita natural que, por ser obtenida de remanentes de conchas y otros organismos marinos, posee una composición similar al carbonato de calcio y un coeficiente de expansión similar al del nácar. Para mayor información sobre la bironita, puede consultarse www.pearlingtechnologies.com.

En una ostra perlera, la técnica de injerto es en sí una microcirugía rápida y precisa que se ejecuta en el área de la gónada, cerca del pie, y que tiene como fin insertar un núcleo esférico que se acompaña de una pieza de manto obtenida de un donador de la misma especie (Figura 34).

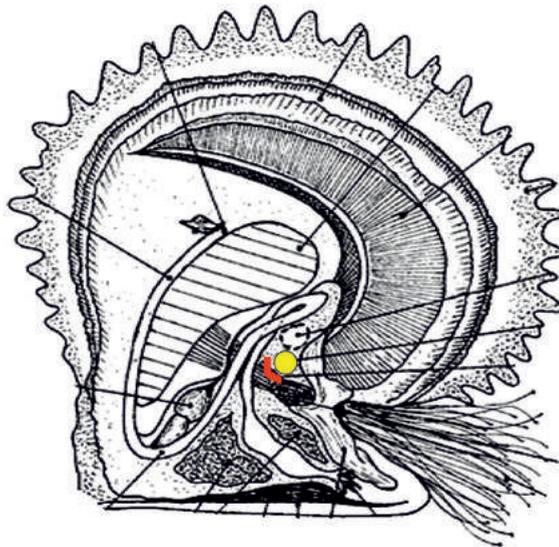


Figura 34. Área del cuerpo de la ostra perlera marina *Pinctada mazatlanica* donde se realiza el injerto de un núcleo esférico (esfera amarilla) y una pieza de manto del donador (línea curva roja).

La microcirugía de nucleación exige contar con una serie de instrumentos específicos que se adquieren de empresas internacionales especializadas en perlicultivo. De nueva forma, pueden consultarse los sitios antes sugeridos de *Pearling Technologies* (<http://www.pearlingtechnologies.com>) o *Icon Pearls* (<http://www.islandpearls.net>). Aunque el uso de instrumentos varía de injertador en injertador, suelen ser esenciales la base para colocación y manipulación del molusco (Figura 29a; Figura 35a), el cortador de piezas de manto (Figura 35b), las pinzas para abrir las valvas (Figura 35c), la espátula para abrir el canal por donde se inserta el núcleo (Figura 35d), el nucleador para recoger e insertar el núcleo (Figura 35e), el sujetador o gancho de manto (Figura 35f) y el escalpelo o bisturí redondo (Figura 35g).

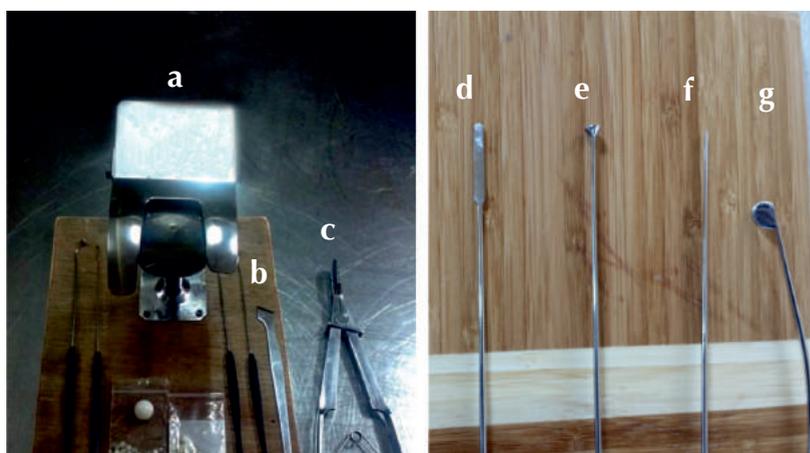


Figura 35. Instrumentos requeridos para la técnica de nucleación para perla esférica: a) Base de injerto; b) cortador de manto; c) pinzas para abrir valvas; d) espátula; e) nucleador; f) gancho de manto; g) bisturí.

La inserción del núcleo y el fragmento del manto inicia el delicado proceso de formación de la perla; ambos elementos (núcleo y manto) deben de estar en contacto entre sí, con la cara secretora de nácar del manto apuntando hacia el núcleo (Figura 36). Si el procedimiento fue

exitoso y el molusco sobrevivió, una serie de células especializadas de la región paleal del manto injertado cambiarán su morfología (se volverán escamosas) y se multiplicarán para iniciar el proceso de secreción de las primeras capas de nácar que irán recubriendo el núcleo. En el perlicultivo comercial, esta primera capa de células que cubrieron el núcleo, a manera de ampolla o vesícula, recibe el nombre de *saco perlero* (Figura 36) (Addadi y Weiner, 1997). La formación del saco perlero al interior de la gónada del receptor puede tomar entre 15 y 20 días, pero varía en función de la especie y las condiciones ambientales, particularmente por variaciones en la temperatura, salinidad y concentración de oxígeno del agua, que son factores que potencian la velocidad mitótica de las células epiteliales que se regeneran como respuesta a la herida efectuada (Awaji y Suzuki, 1995). Para la ostra perlera *P. margaritifera*, el tiempo estimado de generación del epitelio del saco perlero es de 20 días (Cochennec-Laureau *et al.*, 2010).

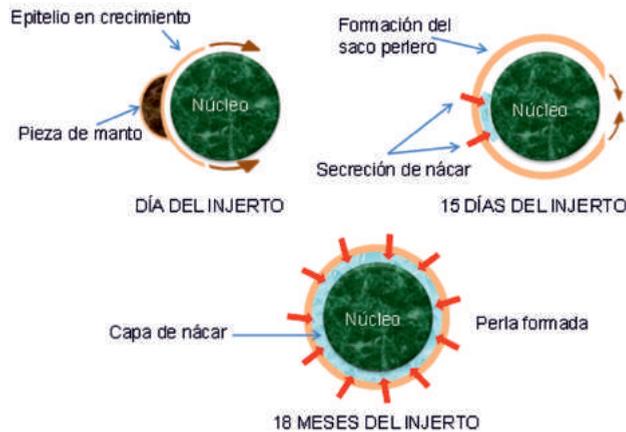


Figura 36. Proceso de formación del saco perlero y perla en un molusco bivalvo.

Una vez formado, el saco perlero continuará secretando, durante toda la vida del animal, capas concéntricas de nácar que se depositarán

gradualmente sobre el núcleo (Figura 36c). Desde el punto de vista teórico, una perla se formará una vez que el manto injertado deposite su primera capa de nácar sobre el núcleo en un período de entre 15 y 20 días. Desde el punto de vista práctico, sin embargo, dicha capa tendrá únicamente un grosor de unas cuantas micras y harán falta entre doce y veinticuatro meses para que ésta tenga o supere un grosor de 1 mm y la perla adquiera valor comercial. Al igual que con las mabes, este tiempo varía en función de las condiciones ambientales (Fassler, 1995; Southgate, 2007; Monteforte, 2010).

Antiguamente, el donador debía ser sacrificado para extraer el manto, pero hoy en día se ha demostrado que algunos moluscos como las ostras perleras *P. fucata* y *P. margaritifera* son capaces de regenerar completamente el manto en 30–40 días sin sufrir daño citológico aparente ni mortalidad, aún cuando se retiró un 30 o 40% del tejido (Acosta-Salmón y Southgate, 2005, 2006; Mamangkey y Southgate, 2009). Por ello, el sacrificio de la ostra donadora ya no parece necesario y se plantea ahora la interesante posibilidad de que el manto se obtenga del propio organismo a injertar, siendo necesario retirar tan solo un fragmento pequeño. Además de que esta técnica es menos invasiva, está sustentada en la hipótesis de que habrá una respuesta inmune menos severa del receptor al recibir un pedazo de su propio manto, y no el de un donador común, sin importar que éste sea de la misma especie, y que el sistema inmune de los bivalvos sea rudimentario. Esta hipótesis está actualmente en etapa de experimentación.

7.3. Fundamentos de la técnica de formación de perlas tipo *keshi* sin núcleo

Aunque la técnica para formación de una perla tipo *keshi* es muy similar a la Mise-Nishikawa utilizada con las perlas esféricas, se diferencia en

que no se coloca un núcleo esférico en la gónada del receptor, sino un número variable de piezas de manto obtenidas de un donador, las cuales se insertan en el propio manto del receptor. Aquí, la selección del donador de manto también es muy importante, ya que la perla formada será del mismo color de la capa interna nacarada del donador (Fiske y Shepherd, 2007) (Figura 37).



Figura 37. Relación entre el color de la capa interna nacarada y el de las perlas formadas.

Primeramente, una tira larga de manto es cortada, retirada del organismo donador, y colocada en una tabla de trabajo (Figura 38a). La tira de manto es entonces cortada en un número variable de piezas más pequeñas de unos 2 mm² (Figura 38b), las cuales deben ser hidratadas con agua para mantenerlas vivas hasta ser injertadas.

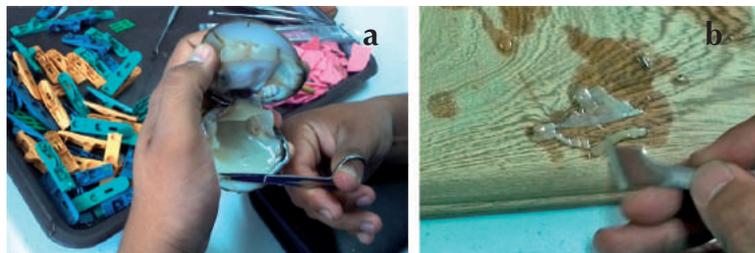


Figura 38. Proceso de extracción y corte del manto del organismo donador en *Psoroniaias crocodilorum*.

Cortado el manto, y los organismos receptores relajados bajo los mismos protocolos descritos en el Capítulo 6, éstos se colocan en la base de injerto (Figura 39a). Al igual que con las perlas mabe, se sugiere insertar una cuña de madera o plástico para mantener las valvas entreabiertas y facilitar su manipulación. El injerto se lleva a cabo en la región ventral del manto de la náyade receptora, aprovechando su gran superficie de contacto (Figura 39b). Para ello se realiza en dicho tejido una pequeña incisión de 1 o 2 mm con la ayuda de un bisturí especial de perlicultivo, y se toma con una aguja una pieza de manto del donador (Figura 39c) que se inserta cuidadosamente en la incisión (Figura 39d). Es importante mencionar que la incisión no se realiza transversalmente en el manto del receptor, sino sagitalmente (Figura 39e) para evitar perforar el tejido porque podría ocasionar malformación en la perla. La incisión se hace más bien hasta la mitad o tres cuartas partes del manto del receptor y permite crear una bolsa pequeña donde es posible colocar y mantener vivo el manto del donador (Figura 39e). Esta bolsa es parecida al saco perlero que se forma en la técnica de perla esférica (Fiske y Shepherd, 2007). El procedimiento de injerto se repite unas 15 o 20 veces, dependiendo del tamaño de la náyade, con el fin de asegurar unas 15 o 20 bolsas, cada una con una perla en formación (Figura 39f).

A diferencia de la técnica para formación de mabe, que es mucho más sencilla de ejecutar, aquí se requiere de habilidad y práctica continua, y quizá del sacrificio de muchos organismos para que cada injertador optimice la microcirugía. Esto permitirá reducir gradualmente la tasa de mortalidad, incrementar la tasa de aceptación de injertos, y particularmente mejorar la cantidad y calidad de las perlas producidas. Esta *curva de aprendizaje* es dinámica e individual a cada injertador, aunque también varía de estación en estación y de granja en granja en función de las condiciones ambientales (Fiske y Shepherd, 2007; Monteforte, 2013).

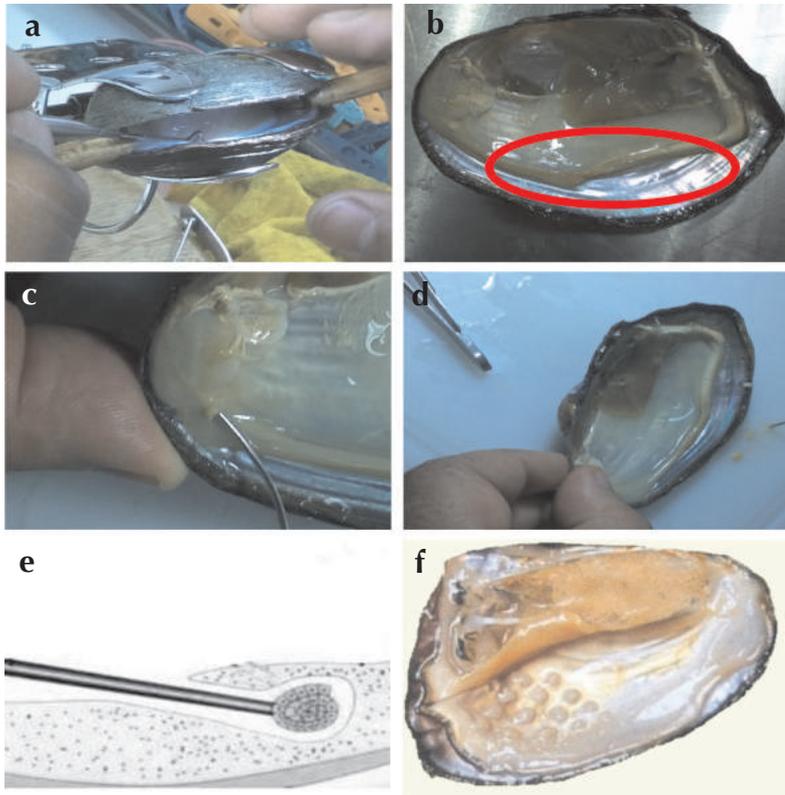


Figura 39. Técnica de injerto de manto para formación de perla *keshi*. a) el óvalo rojo muestra la gran superficie de contacto del manto del receptor; b) realización de la incisión en el manto del receptor; c) pinchado de una pieza de manto con la aguja; d) inserción de la pieza de manto del donador en el manto del receptor; e) detalle de la forma de realizar la incisión diagonalmente en el manto; f) perlas en formación en el manto de otra especie de almeja dulceacuícola (no *Lamprolasmis*).

7.4. Convalecencia post-operatoria y cuidado de almejas injertadas

Los organismos injertados son transferidos a recuperación o convalecencia post-operatoria en tinas con circulación de agua corriente y aireación, para evaluar la tasa de mortalidad por manejo (relajación, cirugía). También pueden ser colocadas por espacio de dos o tres semanas en algún tipo de malla plástica, ya sea de forma grupal (Figura 40a) o individual (Figura 40b), para llevar a cabo un monitoreo de su respuesta post-operatoria.

Después de este período, los sobrevivientes pueden ser transferidos a sistemas de cultivo similares a los descritos en el capítulo 6, o regresados a su ambiente natural (alguna laguna, río, estanque) para continuar con la evaluación del proceso de formación de perlas.



Figura 40. Colocación de individuos injertados de *Psoroniais crocodilorum* en mallas plásticas para dar seguimiento al proceso de formación de perlas.

En el campo, los cultivadores deciden si la malla es retirada y los organismos se transfieren a otro tipo de arte de cultivo que se utilice regularmente en algunas regiones. A partir de aquí, la cosecha de perlas se realiza entre nueve y dieciocho meses posterior al injerto, en función de las condiciones ambientales o logística de la granja (Fiske y Shepherd, 2007).

7.5. Producción de perlas tipo keshi en el marco del proyecto CIBNOR-UJAT

Los primeros ensayos de injerto para formación de perlas tipo *keshi* se comenzaron a realizar durante el Segundo Taller de Perlicultura llevado a cabo en 2012. A la fecha, y como parte del convenio de colaboración CIBNOR-UJAT, se injertaron cerca de 1600 almejas, de las cuales se han

formado experimentalmente perlas con recubrimiento parcial de nácar y sin valor comercial aún (Figura 41). Por sí solo, este resultado es muy positivo por ser las primeras piezas de este tipo obtenidas en Tabasco, y demuestra que la producción de perlas en las almejas de agua dulce tabasqueñas es una realidad tangible. Es importante mencionar que se dará continuidad al injerto durante los meses subsiguientes hasta ir mejorando las curvas de aprendizaje y optimizando los protocolos de formación de perlas en estas especies.



Figura 41. Primeras perlas tipo *keshi* producidas en *Psoronaias crocodilorum*.

7.6. Análisis de estrategias de injerto para optimización de la técnica

Como se mencionó antes, la técnica Mise-Nishikawa casi no ha variado con el tiempo y solo se han hecho adecuaciones de acuerdo a la anatomía de la náyade en cuestión y a las necesidades de la producción

En los ejemplares manejados en el marco del proyecto CIBNOR-UJAT, el análisis preliminar de resultados mostró que el manto de *P. crocodilorum* es muy delgado y difícil de manipular (ver Figuras 16a y 39b), y que en la mayoría de los casos la pieza de manto del donador es reabsorbida en las primeras semanas posteriores al injerto. Ello llevó a plantear una estrategia diferente para realizar esta cirugía, concretamente descartando el manto como tejido receptor, y colocando las piezas de manto del donador directamente en el área de la gónada, cerca del pie, siguiendo

dos rutas diferentes: 1) De forma paralela al pie a lo largo del eje antero-posterior (Figura 42a), y 2) De forma perpendicular al pie hacia la región dorsal del cuerpo (Figura 42b). Con ambas alternativas, el requisito es trabajar con ejemplares que tengan la gónada vacía o en grado incipiente de desarrollo, con el fin de evitar el debilitamiento de los organismos por la movilización de energía de los tejidos somáticos (músculo, glándula digestiva) hacia la gónada para sustentar la gametogénesis (Haws, 2002; Taylor y Strack, 2008; Cáceres-Puig *et al.*, 2009).

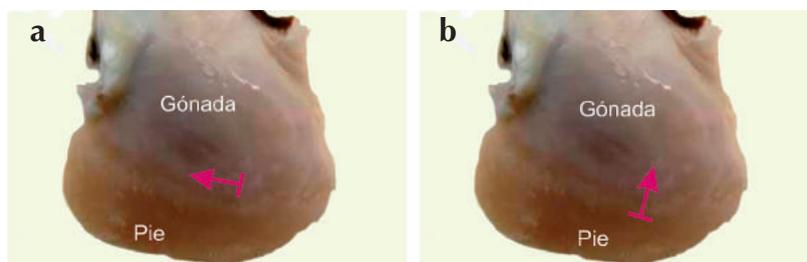


Figura. 42. Estrategias alternativas de inserción de piezas de manto de un donador de *Psoronaias crocodilorum* en la gónada de un receptor. (a) paralelamente al pie, siguiendo el plano antero-posterior del cuerpo, (b) perpendicularmente al pie, siguiendo el plano dorso-ventral del cuerpo.

Los resultados de esta nueva estrategia de injerto se encuentran en proceso de evaluación por parte del grupo de trabajo CIBNOR-UJAT y estarán disponibles en un futuro cercano. El análisis ayudará a confirmar o replantear las hipótesis de trabajo referentes a los sitios del cuerpo donde realizar el injerto, mejorar las curvas de aprendizaje y optimizar los protocolos de formación de perlas.

USO DE LA CONCHA PARA ELABORACIÓN DE ARTESANÍA

8

8.1. Antecedentes del uso de la concha por el hombre

En la actividad artesanal, la relación con el medio ambiente es tan arcaica como la historia del hombre mismo; el artesano utiliza los recursos naturales para el diseño y la conformación de sus piezas, siendo su taller un laboratorio donde transformar, reinventar y configurar las caprichosas formas de la naturaleza con su particular visión del mundo y el entorno (Suárez 1974, Ortiz-Kreis, 2008; Caro *et al.* 2009).

En el mundo, las náyades han sido un recurso valioso para diferentes actividades del hombre, que incluyen alimentación, elaboración de armas y aprovechamiento de la cara nacarada interna de la concha para preparación de objetos ornamentales y de tipo religioso (Cocker 1919; Ortiz-Kreis, 2008). Su pesca del medio por el valor de su concha nacarada suministró durante siglos buena parte de la ávida demanda por las industrias de botonería e incrustación. Así, estos moluscos ganaron central importancia en la manufactura de los núcleos de prácticamente todas las perlas esféricas producidas en las granjas perleras marinas del mundo desde mediados del siglo XX a la fecha, cuando se empiezan a producir núcleos para perlas esféricas y perlas tipo *keshi* en menor escala en la cuenca del Mississippi, Estados Unidos, en modalidad de recolecta y encierro de las grandes náyades *Megalonaias nervosa*, *Quadrula quadrula* y *Fusconaria ebena*. John Latendresse fundó así la American

Pearl Company, y en la actualidad hay seis o siete granjas recolectoras que surten núcleos grandes, ya con dificultades, al canal de la perla libre de 10 mm de diámetro o mayor, principalmente *P. maxima*. Hoy en día, la producción ha mermado notablemente por la sobreexplotación y manejo poco planificado de las especies.

8.2. Catálogo de piezas de artesanía del proyecto CIBNOR-UJAT

México es un país pluricultural y con gran diversidad biológica; en el estado de Tabasco existe una infinita galería de productos artesanales que son representativos de cada municipio que lo conforma y que son provenientes de la transformación de materias primas naturales e inspirados principalmente en la flora y la fauna. Muchas comunidades artesanales tabasqueñas se dedican, en gran medida, a la creación de bellos diseños y piezas que lo convierten en su estilo y forma de vida. En este sentido, el cultivo de perlas representa una propuesta de desarrollo productivo rural interesante, misma que se puede integrar fácilmente a las formas de producción del estado, pero que adicionalmente brinda una alternativa en el aprovechamiento de todo el recurso, como es el caso de la elaboración de artesanía regional de valor agregado a partir de la concha de algunas de las especies de almeja de agua dulce con que se cuenta.

Durante una serie de prospecciones y salidas al campo a los municipios de Tenosique y Balancán, en Tabasco, se recolectaron las conchas de almejas que se encontraron muertas a la orilla de ríos, lagunas y arroyos, así como las que se encontraban a poca profundidad (Figuras 43a, y 43b). De igual manera, se separaron las conchas de las almejas que no sobrevivieron al proceso de implante e injerto para la obtención de las perlas, y se prepararon para el proceso inicial de elaboración de artesanías (Figura 43c). Para ello, las conchas fueron lavadas con agua y

jabón para eliminar sólidos y el mal olor, y posteriormente se utilizaron lijas para madera y agua con el fin de eliminar el exceso de calcio (Figura 43d).



Figura 43. Recolecta de almejas muertas de la orilla de ríos (a) y zonas de poca profundidad (b) y transporte al laboratorio (c) para su limpieza para elaboración de artesanías (d).

En un segundo procedimiento, las conchas limpias y descalcificadas se secaron al sol por 24 horas y posteriormente se procesaron con equipos de mayor potencia como esmeril de banco (Figura 44a) y equipo Dremel (Figura 44b). Esto con la finalidad de remover por completo la capa externa de la concha llamada periostraco o cutícula y dejar expuesta la capa intermedia o prismática, que es lustrosa (Figura 44c). Este proceso se realizó cuidadosamente por los estudiantes que han colaborado desde el principio en el proyecto “Alternativas de aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en el estado de Tabasco” (Figura 44d).

Finalizado el trabajo de esmerilado y pulido, se elaboraron las primeras piezas de artesanía en forma de aretes, collares, dijes, llaveros y colgantes (Figura 45). Estas representan el primer catálogo demostrativo de artesanía del proyecto CIBNOR-UJAT. La forma de realización fue relativamente rústica, ya que los materiales utilizados fueron pinzas sencillas de diferentes puntas, lijas, barniz y desarmador. La meta es ir mejorando la tecnificación para incorporar accesorios de complemento con cristalería, cuentas, bisutería fina, chapa de oro y plata. Dado que la imaginación y creatividad juegan un papel importante en el diseño, se analizan las estrategias para trabajar con joyeros o artesanos locales que elaboren diseños típicos de la región y con aceptación en mercados regionales (primeramente) y nacionales (en segundo lugar).



Figura 44. Procesamiento de conchas con a) esmeril y b) dremel para c) remover el periostraco d) Proceso realizado por estudiantes de la UJAT.

A partir de este primer catálogo, nuevas piezas con diseños más atractivos, mejor elaborados y más apegados al gusto de la gente se han ido

incorporando. Esto se hizo a partir de encuestas realizadas en diferentes sectores de la población y que permitieron analizar preferencias por ciertos diseños, como alhajeros, cinturones de conchas, portarretratos, lapiceras y cajas de velas adornadas (Figura 46).

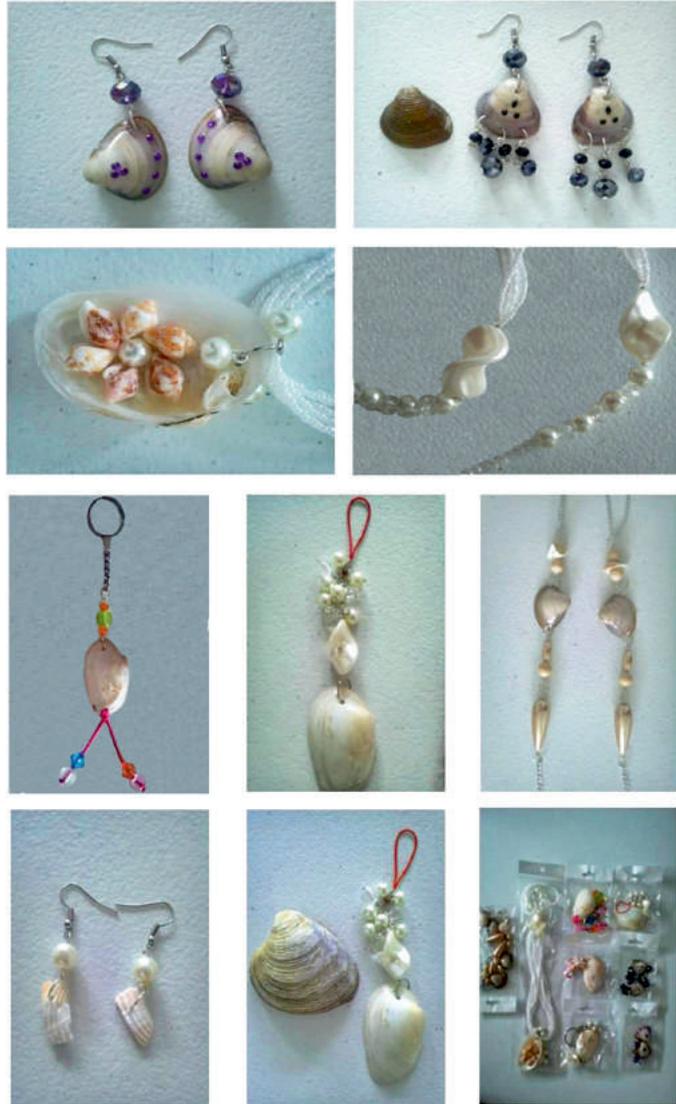


Figura 45. Primeras piezas del catálogo de artesanía diseñadas y elaboradas con la concha de *Psoroniaias crocodilorum*.

8.3. Acreditación del proyecto “Alternativas de aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en el estado de Tabasco”

Debido al interés despertado por estas primeras piezas de artesanía elaboradas rústicamente y mostradas a nivel local, jóvenes estudiantes de la carrera de Ingeniería en Acuicultura (Abimael Magaña Marín, Omar Alejandro Silvano Gómez y Salustino López Sandoval), bajo la asesoría de la Dra. Carolina Esther Melgar Valdes, participaron en junio de 2013 en la Expo-Ciencias Tabasco de ese año, con sede en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, en Villahermosa (Figura 47). Se participó en la categoría superior (Universidad o equivalente) para competir con proyectos de investigación registrados en esa misma categoría, pero provenientes de otras instituciones de educación superior del estado.



Figura 46. Nuevas piezas del catálogo de artesanía diseñadas y elaboradas con la concha de *Psoroniaias crocodilorum*.

Durante dos días, se montó un stand (Figura 47b) y se exhibieron algunas de las especies de almejas dulceacuícolas presentes en el estado de Tabasco, así como los resultados preliminares de medias perlas y perlas tipo *keshi* obtenidas en el marco del proyecto CIBNOR-UJAT (Figura 47c). Además de ser evaluados por tres especialistas, se respondió al público general las inquietudes sobre el manejo de las almejas y la forma de producir perlas y elaborar artesanías. Sin duda alguna, estas últimas fueron el mayor atractivo visual del evento, puesto que la mayoría de los espectadores ofertaron precios para su compra. De acuerdo a la evaluación de los jueces, el stand recibió un reconocimiento por el mejor trabajo en su categoría, y con ello, la Acreditación de la UJAT para la participación en la Expo-Ciencias Nacional.

Todos los proyectos tabasqueños acreditados (incluyendo el proyecto CIBNOR-UJAT), se presentaron en la Expo-Ciencias nacional, con sede en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa en 2013 en el International Mazatlán Center (Figura 47d). Los participantes representaron a una nutrida "Delegación Tabasco". La organización responsable fue la Red Nacional de Actividades Juveniles en Ciencia y Tecnología, junto con otras instituciones educativas respaldadas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). La dinámica de presentación fue similar al evento estatal, con la diferencia que competieron con diecisiete proyectos más que se registraron y que fueron sometidos a una evaluación de cuatro jueces, de los cuales, uno fue internacional y realizó la evaluación en inglés. Los estudiantes Abimael Magaña Marín, Omar Alejandro Silvano Gómez y Salustino López Sandoval compartieron las experiencias sobre la producción de perlas, la facilidad de las técnicas de implante e injerto a través de un video científico, así como un nuevo catálogo de piezas de artesanías. Pese a que fue un proyecto que tuvo mucha audiencia, en esta ocasión no se obtuvo un lugar de reconocimiento. A pesar de ello, toda la

Delegación Tabasco fue reconocida con el Galardón de Ciencias, por ser una de las más participativas y con más proyectos de calidad científica presentados.



Figura 47. Participación en las Expo-Ciencias estatal en Villahermosa, Tabasco y nacional en Mazatlán, Sinaloa.

Queda la enseñanza, con estos dos eventos en los que se participó (regional y nacional), que se logró traspasar una importante brecha geográfica con la difusión de la generación de conocimientos y la búsqueda de tecnologías que permitan utilizar algunos de los muchos recursos acuáticos con los que cuenta el estado de Tabasco. Con esta expo, y eventos futuros en puerta, se busca aprovechar las ventanas de oportunidad para promover proyectos acuícolas nuevos en el estado, y con un amplio potencial de promover el bienestar y desarrollo económico, social y cultural. En este caso, las acciones que se han llevado a cabo con este proyecto son en los municipios de Tenosique y Balancán.

ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE PERLAS Y ARTESANÍAS EN TABASCO

9

9.1. Resumen ejecutivo

Se cuenta con la información suficiente de las dos etapas del proyecto “Alternativas de aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en el estado de Tabasco” (periodo 2010-2013) para proponer la creación de una Unidad de Producción Piloto (UPP) en algún municipio de la zona sur, como Tenosique o Balancán, que además de ser financieramente rentable, promueva desarrollo socioeconómico regional. Se propone una inversión promedio requerida para poner en marcha esta UPP de \$1,395,000.00, con lo que se obtendrían producciones de aproximadamente 5 mil mabes al año y 8 mil perlas tipo *keshi* de una sola especie: la almeja gorda (*Psoronaias crocodilorum*) en esta primera etapa.

En promedio, el valor de una mabe en bruto (sin montar) es de MX\$100.00/pza, en tanto que el valor de una *keshi* sin engarzar es de MX\$20.00/pza. En la Tabla 6 se presentan los principales indicadores financieros que muestran la viabilidad del proyecto.

Tabla 6. Principales indicadores financieros del proyecto a través de la creación de una UPP

	INDICES:	VALORES
VPN (Valor Presente Neto)		\$1,799,643
VPN DESPUES DE IMPUESTOS		\$951,787
TIR (Tasa Interna de Retorno)		26%
RETORNO DE LA INVERSION		4 AÑOS
ROI (Retorno sobre la Inversión)		25%

9.2. Macro y micro-localización del proyecto

En términos de macrolocalización, Tabasco es uno de los 31 estados que, junto con el Distrito Federal, conforman las 32 entidades federativas de México. El estado se localiza en el sureste de México, contando con 191 de los 11,593 km de la costa del país, es decir, el 1.58%. Colinda al norte con el Golfo de México, al noreste con el estado de Campeche, al sureste con la República de Guatemala, al oeste con el estado de Veracruz y al sur con Chiapas (Figura 23). La superficie de su territorio ocupa una extensión cercana a los 25,000 km², que lo colocan en la vigésimo cuarta posición en la lista de los estados mexicanos ordenados por superficie.

En materia de microlocalización, el municipio de Tenosique es en donde se ha desarrollado la mayor parte del proyecto que generó este documento, concretamente en las instalaciones de la UJAT-DAMR. Se localiza en la región del río Usumacinta y en la subregión de los Ríos (17° 28' N y 91° 25' O); su cabecera municipal es la ciudad de Tenosique de Pino Suárez y cuenta con una división constituida, además, por 73 ejidos, 15 rancherías y 11 poblados. Su extensión es de 2,098 km², los cuales corresponden al 7.5% del total del estado; esto coloca al municipio en el sexto lugar en extensión territorial. El municipio de Tenosique limita al norte con el municipio de Balancán, al sur y al este con la República de Guatemala, y al oeste con el municipio de Emiliano Zapata y el estado de Chiapas.

9.3. Programa de producción

La UPP que se propone crear en algún municipio de Tabasco plantea la producción de medias perlas y perlas tipo *keshi* para venta en el mercado regional y nacional, así como artesanía elaborada a partir de la concha. Normalmente, los ciclos de producción de estas perlas suelen ser estacionales en la mayoría de los mercados asiáticos. Sin embargo,

en México, particularmente en el estado de Tabasco, la producción se manejaría una o dos veces al año, dadas las características climáticas del estado, donde la temporada de sequía, en la cual los ríos bajan su cauce y permiten el acceso a las almejas, es de noviembre a mayo aproximadamente. Se propone realizar dos cosechas, una en noviembre-diciembre y otra en abril-mayo.

La actividad de cosecha de mabes se realizaría tras un período de entre nueve y doce meses de realizado el implante, en tanto que la de perlas tipo *keshi* se realizaría entre doce y dieciocho meses de realizado el injerto. Lo anterior permitiría determinar los meses en los que la UPP estará trabajando sin obtener recursos provenientes de las ventas (Tabla 7), así como el momento en el que se iniciará con los ingresos propios de la actividad.

Tabla 7. Cronografía de las actividades de una UPP en Tabasco para las actividades de producción de perla

	Actividades	Años				
		1	2	3	4	5
1	Recolecta	×	×	×	×	×
2	Relajación	×	×	×	×	×
3	Implante/injerto	×	×	×	×	×
4	Cultivo	×	×	×	×	×
5	Cosecha de mabes	×	×	×	×	×
6	Cosecha de keshis	×	×	×	×	×

Es importante mencionar que cada animal implantado para formación de mabes recibe tres medios núcleos, de los cuales se pueden formar una o dos perlas de calidad comercial. Dado que la técnica para producir este tipo de perlas es sencilla y está bien estandarizada en moluscos bivalvos marinos, y sólo se requiere adaptarla a las almejas de agua dulce en

Tabasco, se estima que cada animal pueda producir al menos dos mabes de buena calidad (quizá una superior a la otra).

En contraste, cada animal injertado para formación de perlas tipo *keshi* recibe un promedio de quince piezas pequeñas de manto, con lo que cada uno puede producir aproximadamente veinte perlas de calidad comercial (quizá tres o cuatro de calidad superior). Sin embargo, dado que esta técnica aún no está estandarizada para ninguna especie de molusco en México, se requiere realizar todavía pruebas preliminares de ensayo/error para adaptarla y optimizarla a los protocolos de producción. Por ello, se estima que cada almeja injertada el primer año produzca, tentativamente, dos o tres perlas tipo *keshi* de calidad comercial, incrementándose a cinco o seis hacia el tercer o cuarto año, y así sucesivamente conforme las curvas de aprendizaje se mejoren.

Finalmente, de cada almeja cosechada al final de la etapa productiva, las conchas se utilizarán para elaboración de artesanía sencilla y típica de la región y a manera de diseño de aretes, anillos, pulseras, llaveros, etc.

9.4. Escenario de producción

A continuación se presenta la producción de perlas que se podrían obtener anualmente, así como el crecimiento que se presentaría para el negocio a través del tiempo, derivado de la adopción y madurez de la tecnología dentro de la UPP (Tabla 8). En el primer año de producción se contará con 2000 a 3000 organismos implantados (mabe) e injertados (perlas tipo *keshi*), incrementándose gradualmente en el tiempo hasta alcanzar en el año cinco un total de 4000 a 5000 organismos.

Tabla 8. Calendario de las actividades de la UPP en Tabasco con respecto al número de almejas implantadas e injertadas por año

	Años				
	1	2	3	4	5
Organismos implantados	2000	2500	3000	3500	4500
Organismos injertados	2000	2500	3000	3500	4500

En la Tabla 9 se presenta a continuación la producción de perlas mabe y tipo *keshi* obtenidas a lo largo del tiempo, con relación al número de organismos implantados e injertados.

Tabla 9. Calendario de producción de la UPP en Tabasco con respecto al número de almejas implantadas e injertadas por año

	Años				
	1	2	3	4	5
Mabes obtenidas	5000	5200	6240	7488	8,985
Keshis obtenidas	3000	5000	9000	14000	16,000

9.5. Programa de inversión e integración de conceptos

La inversión total que se estima para instalar la primera UPP en Tabasco es de \$1,395,000.00, inversión integrada por edificios y construcciones, que se realizarán, tanto en tierra, como en la granja en el cuerpo de agua, equipamiento necesario para realizar el proceso de implante e injerto, insumos (instrumentos, núcleos, relajantes), gastos de producción (pre-operativos) y capital de trabajo, operaciones de cultivo de los organismos etc. La Tabla 10 presenta el desglose de los conceptos que integran la inversión total.

Tabla 10. Conceptos de inversión para la instalación de una UPP en el estado de Tabasco

Concepto de inversión	Montos (\$)
Activo fijo	835,000.00
Activo diferido	175,000.00
Gastos de producción	119,200.00
Capital de trabajo	280,800.00
TOTAL	1,395,000.00

Activo fijo

El activo fijo se refiere a la construcción y equipamiento de una UPP en el estado de Tabasco para la producción de perlas. A continuación se enlistan los conceptos que integran los requerimientos básicos para su funcionamiento (Tabla 11).

Tabla 11. Activo fijo requerido para la instalación de una UPP en el estado de Tabasco

ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL
Planta portatil de electricidad a gasolina	1	50,000	50,000
Hidrolavadora de presión industrial	1	35,000	35,000
Motobomba 2hp a gasolina	1	25,000	25,000
Compresor de aire 2hp a gasolina	1	28,000	28,000
Equipo de buceo completo	2	45,000	90,000
Plataforma de cultivo submarina de acero inoxidable	1	50,000	50,000
Lineas flotantes de superficie de 100m de longitud	4	17,000	68,000
Construcción de las instalaciones para granja	1	200,000	200,000

Continúa...

Continúa...

Equipamiento de granja (tanques de cultivo diversos, mesas de trabajo, mesas de injerto, microscopios, balanzas)	1	250,000	250,000
Set completo de instrumentos de injerto	1	39,000	39,000
Total			835,000

Inversión diferida

La inversión diferida se refiere a los bienes tangibles o intangibles en los que se debe de invertir para poder iniciar con el funcionamiento de la UPP. Es importante mencionar que estas inversiones no forman parte de los costos de los procesos de producción (Tabla 12).

Tabla 12. Estudios y proyectos que integran la inversión diferida de la UPP en el estado de Tabasco

ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Elaboración de proyecto de inversión	1	50,000	50,000
Elaboración de estudio de mercado	1	50,000	50,000
Elaboración de proyecto de ingeniería	1	75,000	75,000
TOTAL			175,000

Gastos pre-operativos

Los gastos pre-operativos son aquellos en los que se incurre la UPP para tener los elementos necesarios para poder iniciar con las operaciones productivas; entre éstos se encuentran contrataciones de servicios y compra de materiales, materias primas e insumos básicos (Tabla 13).

Tabla 13. Gastos pre-operativos necesarios para poner en marcha la UPP en el estado de Tabasco

ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Contratación de servicios (agua, Luz, teléfono, etc.)	1	15,000	15,000
Materias primas para el primer período de operación	1	104,200	104,200
TOTAL			119,200

Costos de producción

Los costos fijos de producción son aquellos que es necesario realizar para poner la UPP en operación; estos costos están integrados por los elementos que integran los procesos de producción (Tabla 14).

10.6. Supuestos y análisis financiero

Tabla 14. Materias primas requeridas para el proceso de operación y producción UPP en el estado de Tabasco

ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Nucleos de concha de 2.8 BU 2o. Grado	10	4,500	45,000
Medios nucleos de plástico de 10 a 12 mm de diametro.	10	520	5,200
Relajante (ARGENT)	12	4,500	54,000
TOTAL OPERACIÓN		9,520	104,200

-El horizonte de la proyección de la operación de la UPP es a 10 años.

-La depreciación se manejará bajo el modelo lineal.

-El activo fijo se venderá una vez terminada su vida útil en un 35% sobre su valor inicial.

-La tasa impositiva del proyecto es de 30% sobre la utilidad del ejercicio.

-Se realizarán reinversiones en función a la depreciación de los activos y al porcentaje de crecimiento de la empresa.

- Los costos fijos estarán en función del crecimiento de la unidad productiva.
- Los costos estarán en función de los niveles de producción de la unidad.

En las Tablas 15, 16 y 17 se presentan los datos relativos a la información financiera requerida para el funcionamiento de la UPP, mostrando los principales indicadores relativos a corridas financieras, presupuesto estimado, resumen de costos, ingresos y capacidad de producción de la UPP.

Tabla 15. Ingresos, egresos y utilidades por ciclo productivo de la UPP en el estado de Tabasco

Proyecto para producción de perlas en Tabasco.	
	Costo total (\$)
Inversión total	1,129,200.00
Capacidad de producción por año (5000 mabe y 3000 keshi por año)	560,000.00
Precio promedio por mabe	100.00
Costo unitario de producción por mabe	15.00
Precio promedio por keshi	20.00
Costo unitario de producción por keshi	1.10
Ingresos anuales	560,000.00
Costos totales de operación anuales	280,800.00
Utilidades promedio para el primer año	279,200.00

Finalmente, se presenta el flujo de efectivo estimado para la instalación y operación de la UPP en un horizonte de 10 años.

Tabla 16. Indicadores obtenidos del análisis financiero de la UPP en el estado de Tabasco

VPN@10% para 15 años	
VPN (Valor Presente Neto)	1,799,643.00
VPN después de impuestos	951,787.00
TIR (Tasa Interna de Retorno)	26%
Retorno de inversion	4 años
Rendimiento sobre la inversión (ROI)	
Ganancias promedio por año \$	311,860.00
Tasa de descuento de 12%	1.12
Inversión	1,129,200.00
ROI (Retorno sobre la Inversión)	25%

9.7. Conclusiones

La instalación de una UPP de producción de perlas mabe y tipo *keshi* en Tabasco es un negocio que resulta viable, siempre y cuando las condiciones de inversión y desarrollo de los procesos de producción y técnicos se llevan a cabo de acuerdo a lo propuesto.

Adicionalmente, este proyecto de UPP presenta una serie de ventajas, al contar con el respaldo del Gobierno del Estado de Tabasco (SEDAFOP) y Fundación Produce Tabasco (FPT), la colaboración de académicos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Unidad Académica Multidisciplinaria Los Ríos, en Tenosique), así como la asesoría de expertos en cultivo de perlas del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (La Paz, B.C.S.), lo que incrementa las posibilidades de éxito en el desarrollo de esta actividad acuícola en nuestro país, utilizando y aprovechando racional e integralmente las almejas de agua dulce, como un recurso nativo en el estado de Tabasco.

Finalmente, el proyecto de la UPP presenta una tasa interna de retorno (TIR) del 26%, con un tiempo para el retorno de la inversión de 4 años, lo que convierte a este proyecto en una alternativa de inversión muy interesante, obteniendo utilidades a partir del segundo año de producción.

Tabla 17. Flujo de efectivo e incrementos de la producción de la UPP en Tabasco a través del tiempo, logrando su producción máxima en el año 7

VPN para el proyecto de producción de perlas en Tabasco											
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 1	Año 1	Año 1	NPV @ 10%
Incremento de la producción con respecto al año anterior			30%	20%	20%	20%	20%				por 15 años
Inversión \$	(1,129,200)										
Utilidades		279,200	362,960	435,552	522,662	627,195	752,634	752,634	752,634	752,634	
Flujo de caja \$	(1,129,200)	279,200	362,960	435,552	522,662	627,195	752,634	752,634	752,634	752,634	1,799,643
Impuestos @ 30%		(83,760)	(108,888)	(130,666)	(156,799)	(188,158)	(225,790)	(225,790)	(225,790)	(225,790)	
Flujo de caja después de impuestos \$	(1,129,200)	195,440	254,072	304,886	365,864	439,036	526,844	526,844	526,844	526,844	951,787

PERSPECTIVAS 10

Los resultados obtenidos a la fecha en relación a los ensayos de formación de medias perlas y perlas tipo *keshi* son preliminares aún, pero positivos y alentadores al mismo tiempo. En ambas fases se han organizado dos Talleres de Perlicultura (2011 y 2012), así como diversos ensayos de implante e injerto en *P. crocodilorum* (mayormente) y *Anodonta* sp. y *Potamilus alata* (en menor grado). En ambos talleres han participado funcionarios de gobierno del estado (SEDAFOP), académicos y estudiantes de la UJAT (Unidades Villahermosa y Los Ríos) y de la Universidad Tecnológica del Usumacinta, y grupos de productores del estado (Ranchos El Pucté del Usumacinta y La Victoria, ambos en el municipio de Emiliano Zapata) (Figura 48).

Uno de los logros más relevantes de estas acciones es quizá la formación de un grupo de trabajo multidisciplinario e inter-institucional formado por varios de estos cuerpos académicos, docentes y productivos, y que tiene como visión destinar importantes esfuerzos de investigación y práctica continua de implante e injerto para adaptar, en las especies locales de Tabasco, las técnicas de formación de mabes y perlas tipo *keshi* originalmente diseñadas para especies asiáticas de almejas dulceacuícolas. De esta manera se podrán mejorar gradualmente las curvas de aprendizaje de los miembros del grupo de trabajo, con el fin último de implementar un *paquete tecnológico* que sea propio del estado

de Tabasco, apegado a sus principios y necesidades patrimoniales, y realista en términos de los indicadores técnicos y económicos que rigen actualmente el mercado perlero internacional, en el que China controla la industria. Positivamente, este paquete tecnológico podría estar disponible para transferencia a los sectores productivos y/o privados del país en un futuro cercano.



Figura 48. Programa de capacitación de docentes, estudiantes y productores del estado de Tabasco en técnicas de implante e injerto para formación de perlas. El programa forma parte del Primero y Segundo Taller de Perlicultura organizados en el marco del proyecto de la Fundación Produce Tabasco: “Alternativas de aprovechamiento de almejas dulceacuícolas en Tabasco”.

Con base en los resultados obtenidos a la fecha de los talleres y ensayos de perlicultivo realizados, se plantean las siguientes estrategias para

continuar las actividades de investigación y producción de perlas con las almejas de agua dulce en el estado de Tabasco:

1. Elaborar nuevas propuestas para financiar la producción de perlas en algunas especies de almejas de agua dulce de Tabasco, pero ahora en la modalidad de innovación y desarrollo tecnológico (I+D), con el fin de involucrar cuerpos académicos y grupos de productores del estado. Se sugiere buscar alianzas estratégicas con el Gobierno del Estado de Tabasco o incursionar en las iniciativas *INNOVA* de *CONAYCT* para realizar estudios de última milla en torno al injerto, optimizar los protocolos de formación de perlas y escalar la producción a nivel piloto o semi-piloto.
2. Continuar trabajando con *P. crocodilorum* (especie abundante en el estado, de talla intermedia, resistente a la manipulación y con un nácar lustroso y de diferentes tonalidades).
3. Incluir otras especies de almejas de talla similar o mayor a *P. crocodilorum* y que posean una calidad de nácar iridiscente valiosa para perlicultivo, como *Anodonta* sp. (Figura 49a) y *Potamilus alata* (Figura 49b). Ambas especies fueron poco abundantes en el estado de acuerdo a los muestreos del 2011, por lo que se tendría que considerar la posibilidad de producir la semilla en laboratorio y cultivar la(s) especie(s) de peces que son hospederos intermedios durante su desarrollo larvario.



Figura 49. Cara interna de la concha de *Anodonta* sp. (a) y *Potamilus alata* (b), resaltando el lustre y tonalidades de nácar con valor para producción de perlas.

- Además de elaborar artesanía con la concha, ésta puede ser esmerilada y pulida para utilizarse como objeto de ornato resaltando su lustre, tal como se hace con almejas de agua dulce en China (Figura 50a). En Australia, una sola valva de la ostra perlera marina *Pinctada maxima* (Figura 50b) se vende en un precio que oscila entre los AUS\$50 y los AUS\$80.00, dependiendo de su tamaño y lustre, por lo que en Tabasco una valva de *P. crocodilorum*, *P. alata*, *M. auricularia*, o *Anodonta* sp. podría venderse esmerilada y pulida en un precio de entre MX\$50.00 y MX\$100.00.



Figura 50. Utilización de la concha de ciertos moluscos para fines de ornato: a) almeja de agua dulce china de la familia Unionidae, b) ostra perlera Australiana *Pinctada maxima*.

- Finalmente, la concha de algunas almejas se puede exportar para fines de elaboración de núcleos esféricos (Figura 51) útiles en la producción de perlas en ostras perleras del género *Pinctada*. Esto aprovechando el gran mercado que existe para elaboración de núcleos a partir de la concha de algunas náyades del Río Mississippi (EUA), así como la drástica reducción de sus poblaciones naturales por causa de su extracción desmedida. Al respecto, existen en Tabasco al menos dos especies de almejas que poseen una concha grande y gruesa que podría destinarse para exportación y elaboración de núcleos, de las cuales destaca *M.*

nicklineana (Figuras 14 y 51). Esta almeja no es muy abundante en el estado, así que se plantea la posibilidad de iniciar acciones de cultivo en laboratorio con miras a la producción de semilla de forma consistente y suficiente para garantizar el abasto de núcleos. Desde luego, esta producción en laboratorio obliga a hacer estudios de la relación de los gloquídeos con las branquias del pez (bagre generalmente) en el que pasan parte de su ciclo de vida.

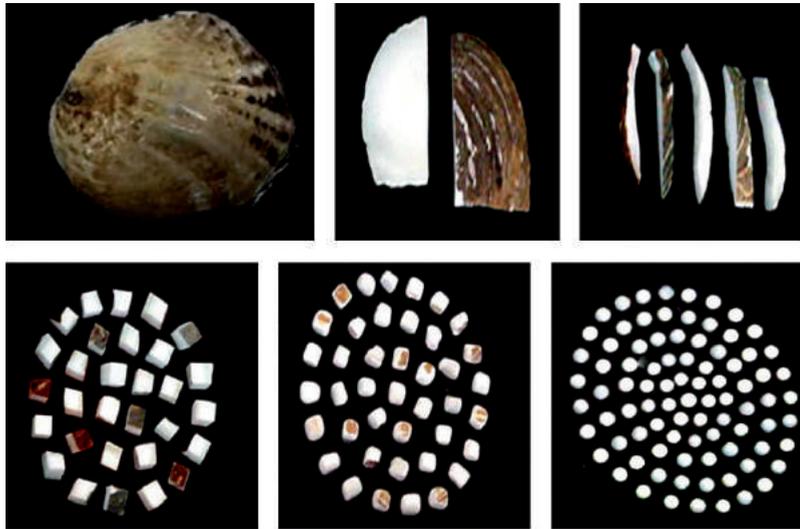


Figura 51. Proceso de elaboración de núcleos esféricos a partir de la concha de una almeja de agua dulce, desde el corte grueso hasta el acabado fino.

GLOSARIO

Acuicultura: Dícese de la técnica por la cual se cultivan organismos de interés acuícola (marinos o dulceacuícolas) manipulando sus procesos biológicos con el fin de incrementar la productividad y reducir los costos operativos.

Aragonita: v. Calcita-Aragonita.

Bironita: Dolomita natural que se obtiene de remanentes de conchas y otros organismos marinos, y que por el hecho de poseer una composición similar al carbonato de calcio y un coeficiente de expansión similar al del nácar, se utiliza recientemente para la fabricación de núcleos esféricos destinados a la formación de perlas.

Calcita: v. Calcita-Aragonita.

Calcita-Aragonita: Forma cristalina del carbonato de calcio (CaCO_3), que se encuentra en la concha de casi todos los moluscos y el esqueleto de los corales, a manera de intrincados arreglos que asemejan un modelo de ladrillos y cemento que le dan cierto grado de lustre.

Gloquídeo: Larva planctónica simbiote de ciertos moluscos bivalvos de agua dulce de la familia Unionidae (náyades), que durante parte de su ciclo de vida se fijan por medio de un gancho a las branquias de un pez hospedero (generalmente bagre), liberándose después de unas semanas al completar su desarrollo.

Implante: Dícese de la técnica de cementación de medios núcleos plásticos semiesféricos en la cara interna de la concha de un molusco bivalvo, por debajo del manto, con el fin de irritarlo e inducir la secreción de nácar para la formación de una media perla.

Injerto: Dícese de la técnica de nucleación; microcirugía por medio de la cual un núcleo esférico y una pieza de manto son insertados en el cuerpo de un molusco, con el fin de irritarlo e inducir la secreción de nácar para la formación de una perla esférica.

Manto: Tejido blando y delgado de todos los moluscos que cumple un gran número de funciones especializadas, como protección de órganos internos, capacidad sensorial, almacenamiento de nutrientes, dirección de corrientes alimenticias y síntesis de componentes que participan en la mineralización de la concha; está formado por tejido conectivo, fibras musculares, nervios y vasos sanguíneos.

Nácar: Sustancia producida por los moluscos bivalvos y gastrópodos que está formada por una matriz de componentes inorgánicos (carbonato de calcio, cristales de calcita y/o aragonita), orgánicos (macromoléculas proteicas como la conquiolina), agua y sales minerales. El arreglo de los cristales de calcita y aragonita es particular en cada especie de molusco, y a su vez, responsable del lustre e iridiscencia de la cara interna de la concha.

Náyade: Molusco bivalvo de hábitos dulceacuícolas, mayormente perteneciente a la familia Unionidae, y en menor grado a las familias Mactridae, Corbiculidae, Margaritiferidae, y Veneridae, y que se utiliza para actividades de formación de perlas en algunos países, donde se les reconoce también como almejas de agua dulce o mejillones de agua dulce.

Núcleo: Esfera elaborada de la concha de ciertos moluscos de agua dulce o bironita que se utiliza en el perlicultivo comercial para la formación de perlas nucleadas cultivadas.

Nucleación: Dícese del proceso o técnica de injerto de núcleos esféricos para producción de perlas libres o esféricas cultivadas.

Ostra perlera: Molusco bivalvo marino de los géneros *Pinctada* y *Pteria* que habita en zonas tropicales y subtropicales del mundo y se utiliza para la producción de perlas esféricas (principalmente) y medias perlas (en segundo lugar).

Perla esférica: Concreción nacarada, de forma esférica, semiesférica, barroca o semibarroca que se produce principalmente en las ostras perleras marinas, y recientemente en algunas almejas de agua dulce, cuando un núcleo esférico es introducido en el cuerpo de un receptor. También recibe también el nombre de perla libre y es el principal producto de perla de la industria perlera.

Perla keshi: Concreción nacarada pequeña, de forma irregular a barroca, que se obtiene cuando un molusco receptor rechaza el núcleo esférico insertado en su cuerpo, pero retiene la pieza de manto con lo que se forma más adelante una perla sin núcleo o anucleada. En japonés “keshi” significa semilla de ajonjolí; en algunas zonas de México se le conoce como “morralla de perla”.

Perla tipo keshi: Aunque en principio es igual que la perla keshi, en este documento se utilizará para referirse a las perlas en las que no se inserta un núcleo esférico al cuerpo del receptor, sino simplemente una pieza de manto obtenida de un donador de la misma especie, o del propio organismo a injertar.

Perla mabe (media perla): Concreción nacarada de forma hemiesférica, que resulta de cementar un medio núcleo plástico de diferente forma (circular, ovalado, en forma de estrella o lágrima, etc.) en

la cara interna nacarada de la concha de un molusco bivalvo, por debajo del manto. Se le conoce también como “perla tipo ampolla” y es un subproducto en la industria perlera.

Perlicultivo: Nombre genérico dado a la actividad acuícola en la que se cultivan perlas de tipo esférica, mabe o keshi utilizando alguna especie de molusco marino (bivalvo o gastrópodo) o dulceacuícola.

Relajación: En el caso particular de los moluscos, técnica consistente en relajar, anestésiar, narcotizar, o adormecer a los organismos destinados a la formación de perlas, utilizando sustancias naturales o sintéticas que ayudan a reducir el estrés por transporte o manipulación.

Saco perlero: Pequeña bolsa o vesícula formada por células epiteliales de la región paleal del manto de un molusco donador que se forma al recubrir el núcleo esférico que se introduce al cuerpo de un molusco receptor para formar una perla.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Salmón H., Davis M. (2007). Inducing relaxation in the queen conch *Strombus gigas* (L.) for cultured pearl production. *Aquaculture* 262: 73–77.
- Álvarez-Halcón R., Araujo R.Y., Delvene G. (2000). *Margaritifera auricularia*, un bivalvo de agua dulce amenazado en Aragón. *Naturaleza Aragonesa* 5: 58–66.
- Addadi L., Weiner S. (1997). A pavement of pearl. *Nature* 389: 912–915.
- Aragón E. (2005). Almejas de agua dulce. Bivalvos o lamelibranquios en España. Ed. Omega, Madrid, España, 121 pp.
- Araujo R., Ramos M.A. (1998). Description of the glochidium of *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) (Bivalvia, Unionoidea). *Philos. Trans. The Royal Soc. London B*, 353: 1553–1559.
- Araujo R., Bragado D., Ramos M.A. (2001). Identification of the river blenny, *Salaria fluviatilis*, as a host to the glochidia of *Margaritifera auricularia*. *J. Mollus. Stud.* 67: 128–129.
- Araujo R., Ramos M.A. (2000a). A critical revision of the historical distribution of the endangered *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) (Bivalvia, Margaritiferidae) based on museum specimens. *J. Conch.* 37: 49–59.
- Araujo R., Ramos M.A. (2000b). Status and conservation of the relict giant European freshwater pearl mussel *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793). *Biol. Cons.* 96: 233–239.
- Atlan G., Balmain N., Berland S., Vidal B., Lopez E. (1997). Reconstruction of human maxillary defects with nacre powder: histological evidence for bone regeneration. *Acad. Sci. Paris* 320: 253–258.

- Awaji M., Suzuki T. (1995). The pattern of cell proliferation during pearl sac formation in the pearl oyster. *Fish. Sc.* 61: 747–751.
- Brusca R.C., Brusca G.J. (2003). *Invertebrates*. Segunda edición, Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts, E.U.A., 936 pp.
- Cáceres-Puig J.I., Cáceres-Martínez C.J., Saucedo P.E. (2009). Annual reproductive effort of Pacific winged pearl oyster *Pteria sterna* and its relation with the timing for planning pearl seeding operations. *J. Shellfish Res.* 29: 288–295.
- Cahn A.R. (1949). Pearl culture in Japan. United States Department of the Interior. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C. Fishery Leaflet 357: 91 pp.
- Cariño M., Monteforte M. (1995). History of pearling in La Paz Bay, South Baja California. *Gems & Gemology* 31: 88–105.
- Caro-Bueno E., Cruz-Murueta M., Navarrete-Zamora N., López-Biinquist C. (2009). Artesanías, medio ambiente y salud ocupacional. En: Cruz-Murueta M., López-Biinquist C., Nereida-González L. (Eds.). *Artesanías y Medio ambiente*. Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías. México D.F., pp. 15–17.
- Castillo-Domínguez A., Melgar-Valdes C., Saucedo P.E., Bervera-León H., Perera-García M.A., Hernández-Gómez R.E., Cuenca-Soria C.A. (2014). Perlicultura en Tabasco: Alternativa de producción de perlas en almejas dulceacuícolas. *Agro Región* (Mayo-Junio 2014): 38–39.
- CIBJO/Pearl Commission. (2013). *The Pearl Book. Natural, Cultured, Composite & Imitation Pearls: Terminology & Classification* (including information on modifications). The World Jewellery Confederation 2013-08-12 (<http://www.cibjo.org/download/13-10-27%20Official%20Pearl%20Book.pdf>).
- Cochennec-Laureau N., Montagnani C., Saulnier D., Fougereuse A., Levy P., Lo C. (2010). A histological examination of grafting success in pearl oyster *Pinctada margaritifera* in French Polynesia. *Aquat. Liv. Res.* 23: 131–140.

- Cocker R.E. (1919). Fresh-water mussels and mussel industries of the United States (1917–1918). *Bull. Bureau Fish.* 36: 1–90.
- Córdova-Arroyo N.D. (2013). Ciclo reproductivo de la almeja gorda *Psoroniaias crocodilorum* en los Pantanos de Centla. Tesis de licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco.
- Checa A. (2000). A new model for periostracum and shell formation in Unionidae (Bivalvia, Mollusca). *Tissue & Cell* 32: 405–416.
- Delgado E.J.F. (2006). Caracterización microestructural y cristaografía de la concha prismatofoliada de Pectinoidea, Anomioidea, y Ostreoidea (Pteriomorphofia: Bivalvia). Implicaciones evolutivas. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España.
- Doumenge F. (1992). Nacres et perles. Traditions et changements. En: Doumenge F., Toulemont A. (Eds.). *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, Num. Spéc. 8: 1–52.
- Fassler R.C. (1991). Farming jewels: the aquaculture of pearls. *Aquac. Mag.* Sep/Oct: 34–52.
- Fassler R.C. (1995). Farming jewels: new development in pearl farming. *World Aquac.* 26: 5–10.
- Fassler R.C. (2004). Pearls—Once Rare—Now Suffer from Overproduction. *Pearl World*, 4: 1–4.
- Fiske D., Shepherd, J. (2007). Continuity and change in Chinese freshwater pearl culture. *Gems & Gemology* 43: 138–145.
- Fougerouse A., Rousseau M., Lucas J.S. (2008). Soft tissue anatomy, shell structure and biomineralization. En: Southgate P.C., Lucas J.S. (Eds.), *The Pearl Oyster: Biology and Culture*. Cap. 3., Elsevier Science, Holanda, pp. 77–102.
- French J.R.P. (1993). How well can fishes prey on zebra mussels in Eastern North America? *Fisheries* 18: 13–19.

- García-Gasca A., Ochoa-Baez R.I., Betancourt M. (1994). Microscopic anatomy of the mantle of the pearl oyster *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856). *J. Shellfish Res.* 13: 85–91.
- Gosling E. (2003). Bivalve mollusks: Biology, ecology and cultivation. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford, U.K., 443 pp.
- Gruet M.J. (1992). La perle de culture dans une économie de marché. En: Doumenge F., Toulemon A. (Eds.). *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, Num. Spéc. 8: 105–108.
- Haws M. (2002). The Basic Methods of Pearl Farming: A Layman's Manual. Center for Tropical and Subtropical Aquaculture, Hilo, Hawai. Publicación especial No. 127, 80 pp.
- Ishibashi R., Komaru A., Kondo T. (2000). Sperm sphere in unionid mussels (Bivalvia: Unionidae). *Zool. Sc.* 17: 947–950.
- Jespersen A., Kosuge T., Lüzen J. (2001). Sperm dimorphism and spermatozogmata in the commensal bivalve *Pseudopythina macrophthalmensis* (Galeommatoidea, Kelliidae). *Zoomorphology*: 120: 177–189.
- Kiefert L., McLaurin D., Arizmendi E., Hänni H.A., Elen S. (2004). Cultured pearls from the Gulf of California, Mexico. *Gems & Gemology* 40: 26–38
- Kishore P., Southgate P.C., Seeto J., Hunter J. (2013). Factors influencing the quality of half-pearls (mabe) produced by the winged pearl oyster, *Pteria penguin* (Röding, 1758). *Aqua. Res.* (en prensa).
- Levi Y., Albeck S., Brack A., Weiner S., Addadi L. (1998). Control over aragonite crystal nucleation and growth: an *in vitro* study of biomineralization. *Chem. Eur. J.* 4: 389–396.
- Li J., Li Y., Liu Q., Zhang G. (2007). Aquaculture in China, freshwater pearl culture. En: Libro de resúmenes, *World Aquaculture Society Conference*, Bali, Indonesia, pp. 14–16.

- McLaurin D., Arizmendi E., Farrell S., Nava M. (1997). Pearls and pearl oysters from the Gulf of California, Mexico: An update. *The Australian Gemologist* 19: 497–502.
- McLaurin D., Arizmendi E. (2002). Five centuries of Mexican pearls. *The Australian Gemologist* 21: 190–201.
- Mackenzie C.L. (1999). History of the Pearl Oyster Fishery in the Archipiélago de las Perlas, Panamá. *Mar. Fish. Rev.* 61: 58–65.
- Mamangkey N.G.F., Southgate P.C. (2009). Regeneration of excised mantle tissue by the silver-lip pearl oyster, *Pinctada maxima* (Jameson). *Fish Shellfish Immun.* 27: 164–174.
- Mamangkey N.G.F., Acosta-Salmón H., Southgate P.C. (2009). Use of anaesthetics with the silver-lip pearl oyster, *Pinctada maxima* (Jameson). *Aquaculture* 288: 280–284.
- Martella M.B., Trumper E., Bellis L.M., Renison D., Giordano P.F., Bazzano G., Gleiser R.M. (2012). Manual de Ecología de Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres. Serie Ecología 5: 1–31.
- Mills D., Tlili A., Norton J. (1997). Large-scale anesthesia of the silver-lip pearl oyster, *Pinctada maxima* Jameson. *J. Shellfish Res.* 16: 573–574.
- Monteforte M., Bervera-León H., Saucedo P.E. (2004). Response profile of the Calafia pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) to various sedative therapies related with surgery for pearl induction. *J. Shellfish Res.* 23: 121–128.
- Monteforte M., Bervera H. (2010). Abalone pearl culture on the West Coast of the Baja California Peninsula, México. *World Aquac. Mag.* 41: 12–17.
- Monteforte M. (2013). Instalación y operación de granjas perleras: Un manual para *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna*. Editorial Académica Española, Barcelona, España, 184 pp.

- Monteforte M., Cariño M. (2013). Condiciones para el desarrollo de granjas perleras y producción de perlas: estado del arte, potencial y perspectiva. *Rev. Biol. Mar. Ocean.* 48: 1–16.
- Mouriès L.P., Almeida M.J., Milet C., Berland S., Lopez E. (2002). Bioactivity of nacre water-soluble organic matrix from the bivalve *Pinctada maxima* in three mammalian cell types: fibroblasts, bone marrow stromal cells and osteoblasts. *Comp. Biochem Physiol.* Part B. 132: 217–229.
- Norton J.H., Dashorst M., Lansky T.M., Mayer R.J. (1996). An evaluation of some relaxants for use with pearl oysters. *Aquaculture* 144: 39–52.
- Norton J.H., Lucas J.S., Turner I., Mayer R.J., Newnham R. (2000). Approaches to improve cultured pearl formation in *Pinctada margaritifera* through use of relaxation, antiseptic application and incision closure during bead insertion. *Aquaculture* 184: 1–17.
- Ortiz-Kreis R. (2008). Los artefactos y especímenes de concha del Proyecto San Bartolo. En: Laporte J.P., Arroyo B., Mejía H. (Eds.), *XXI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala en 2007*. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala, pp. 924–938 (versión digital).
- Rangel-Ruíz L.J. (1993). Aprovechamiento de las almejas de agua dulce en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Laboratorio de Malacología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Gobierno del estado de Tabasco, Fondos Mixtos de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Villahermosa, Tabasco, 14 pp.
- Ross L.G., Ross B. (2008). Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals. Tercera edición, Blackwell Publishing, Oxford, Reino Unido, 222 pp.
- Ruíz-Rubio H., Acosta-Salmón H., Olivera A., Southgate P.C., Rangel-Dávalos C., (2006). The influence of culture method and culture period on quality of half-pearls (mabe) from the winged pearl oyster *Pteria sterna*, Gould, 1851. *Aquaculture* 254 269–274.

- Saucedo P., Monteforte M., Blanc F. (1998). Changes in shell dimensions of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) and *Pteria sterna* (Gould 1851) during growth as criteria for Mabe pearl implants. *Aqua. Res.* 29: 801–814.
- Saucedo P.E., Southgate P.C. (2008). Reproduction, Development, and Growth. En: Southgate P.C., Lucas J.S. (Eds.), *The Pearl Oyster: Biology and Culture*. Cap. 5., Elsevier Science, Holanda, pp. 129–184.
- Saucedo P.E., Mendoza-Carranza M. (2012). Evaluación del estado demográfico de almejas dulceacuícolas: caso Tabasco, *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación para el desarrollo de México (PCTI)*, Año 5, No. 111, 26 de Agosto de 2012.
- Saucedo PE., Araya-Valencia R., Rojas-Figueroa A. (2014). Informe parcial de resultados del proyecto “Investigación y Desarrollo en la optimización tecnológica de la producción de perlas en abalón rojo *Halotis rufescens* en Chile”. Proyecto INNOVA-CORFO-Clave 12IDL2-16176. Antofagasta, Chile, 21 pp.
- SEMARNAT (2013). Norma Oficial Mexicana NOM-058-PESC/SEMARNAT. Regulación del cultivo de las ostras perleras: madreperla (*Pinctada mazatlanica*), concha nácar (*Pteria sterna*), madreperla del Atlántico (*Pinctada imbricata*) y la ostra perlera alada del Atlántico (*Pteria colymbus*) en aguas marinas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. Mexico, Distrito Federal.
- Shirai S. (1994). Pearl and Pearl Oysters of the World. Marine Planning Company, Okinawa, Japan, 108 pp.
- Southgate P.C. (2007). Overview of the cultured pearl industry. En: Bondad-Reantaso M.G., McGladdery S.E., Berthe F.C.J. (Eds.), *Pearl oyster health management: A manual*. FAO Fisheries Technical Paper No. 503. Roma, Italia, pp. 7–15.

- Suárez L. (1974). Técnicas prehispánicas en los objetos de concha. Colección Científica 14. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- Taylor J., Strack E. (2008). Pearl production. En: Southgate P.C., Lucas J.S. (Eds.), *The Pearl Oyster*, Cap. 8. Elsevier Science, Amsterdam, Holanda, pp. 273–302.
- Torres-Martínez J.A., Saucedo P.E., Rangel-Dávalos C., Acosta-Salmón H. (2012). Advances in the development of techniques for preparing lion's paw scallop, *Nodipecten subnodosus* for cultured pearl production. *Aquaculture* 357: 279–283.
- Vivés G. (1908). Compañía Criadora de Concha y Perla de la Baja California. Boletín de la Secretaria de Fomento, La Paz, B.C.S., México, 6 pp.
- Vivés G. (1919). Informe sobre la Compañía Criadora de Concha y Perla de la Baja California. Archivo Histórico del Estado de Baja California Sur, México, 12 pp.
- Zhang G.F., Xu S.J., Fang A.P. (2013). Pearl producing experiment on the genesis of color of denuclearize pearl in mantle of *Hyriopsis cumingii*. *Ocean. Et Limnol. Sinica* 44: 532–536.
- Zapater-Galve M., Araujo-Armero R., Álvarez-Halcón R.M., Nakamura-Antonacci K., Alcántara de la Fuente M. (2010). Las almejas de agua dulce en Aragón: *Margaritifera auricularia* y otros bivalvos. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, España, 71 pp.

ACERCA DE LOS AUTORES



Pedro E. Saucedo Lastra: Biólogo por la Universidad Nacional Autónoma de México (1987), con Maestría en Ciencias Marinas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN (1995) y Doctorado en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (2001). Investigador

Titular B de tiempo completo adscrito al Programa de Acuicultura del CIBNOR. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel 2).

Línea de Investigación: Acuicultura de moluscos bivalvos nativos de interés comercial en el noroeste de México; Zootecnia de la producción de semilla de moluscos bivalvos de interés comercial; Fisiología reproductiva de moluscos, con énfasis en la relación entre calidad de gónada y viabilidad larvaria; Desarrollo de tecnología para la producción de perlas en moluscos marinos (bivalvos y gastrópodos) y dulceacuícolas. Consultor de proyectos relacionados con el cultivo y producción de perlas en países como Chile, Venezuela y Panamá.



Alfonso Castillo Domínguez: Profesor Investigador de Carrera Titular A de tiempo completo de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de Los Ríos (UJAT-DAMR). Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (Nivel Candidatura). Cuenta con Reconocimiento a Perfil Deseable

emitido por Secretaría de Educación Pública y con el nombramiento de Investigador Estatal del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado Tabasco (CCYTET). Es miembro del Cuerpo Académico UJAT-CA-230, Producción, Manejo y Conservación de Recursos Acuáticos; forma parte del núcleo básico del programa educativo Ingeniería en Acuicultura en la UJAT-DAMR; profesor invitado del programa de Maestría en Producción Animal Tropical y del Doctorado en Ciencias en Ecología de El Colegio de la Frontera Sur.

Línea de Investigación: Revisión taxonómica de especies de peces y moluscos de interés acuícola; descripción de la ampliación geográfica de especies como *Potamarius usumacintae*; estudios para la conservación de la biodiversidad en el Sureste de México.

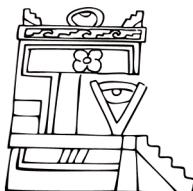


Carolina Esther Melgar Valdes: Ingeniera Biotecnóloga por el Instituto Tecnológico de Sonora (2003), Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural con orientación en Biotecnología Ambiental (2006) y Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable (2012), ambos posgrados en El Colegio de la Frontera Sur-Centro de Investiga-

ción CONACYT. Profesor Investigador de Tiempo Completo Asociado B adscrita a la División Académica Multidisciplinaria de los Ríos en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DAMR-UJAT). Tenosique, Tabasco, México.

Línea de Investigación: Manejo y Aprovechamiento de Recursos Acuáticos de Especies Comerciales y Nativas. Área de especialización en: *Biotecnología ambiental*, bioprocesos aplicados a sistemas de

biorremediación, monitoreo y calidad del agua; *Biotecnología acuícola*, microbiología acuática con el uso y aplicación de probióticos en sistemas de producción. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT (Nivel Candidatura) y miembro del Sistema Estatal de Investigadores (CCyTET).



Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica

José Manuel Piña Gutiérrez
Rector

Wilfrido Miguel Contreras Sánchez
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Fabián Chablé Falcón
Director de Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica

Francisco Morales Hoil
Jefe del Departamento Editorial de Publicaciones No Periódicas

Esta obra se terminó de editar el 30 de junio de 2017. El cuidado estuvo a cargo de los autores y del Departamento Editorial de Publicaciones No Periódicas de la Dirección de Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica de la UJAT.