

**Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ciencias Marinas - Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Posgrado en Ecología Molecular y Biotecnología**



**CARACTERIZACION GENÉTICO-POBLACIONAL BASADA EN MARCADORES
MOLECULARES TIPO MICROSATÉLITES EN LA CORVINA GOLFINA
(*Cynoscion othonopterus*) DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
PRESENTA

LAURA VICTORIA PEÑARANDA GONZALEZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. DICIEMBRE DEL 201

Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ciencias Marinas - Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Posgrado en Ecología Molecular y Biotecnología

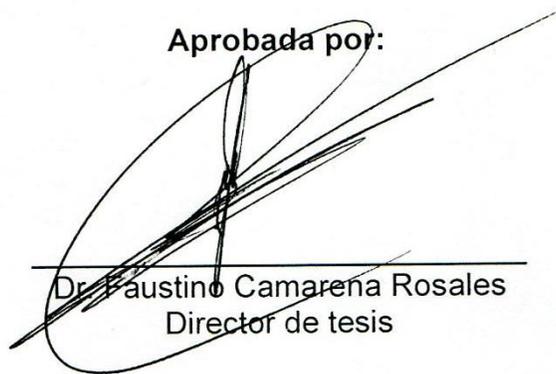
CARACTERIZACION GENÉTICO-POBLACIONAL BASADA EN MARCADORES
MOLECULARES TIPO MICROSATÉLITES EN LA CORVINA GOLFINA
(*Cynoscion othonopterus*) DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
PRESENTA

LAURA VICTORIA PEÑARANDA GONZALEZ

Aprobada por:



Dr. Faustino Camarena Rosales
Director de tesis



Dr. Gorgonio Ruíz Campos
Sinodal



Dr. Luis M. Enríquez Paredes
Sinodal

A MIS PADRES Y A MI AMOR

Aún hay fuego en tu alma
Aún hay vida en tus sueños
Porque la vida es tuya y tuyo también el deseo...
-Mario Benedetti

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a mi director de tesis, Dr. Faustino Camarena, por su inmenso apoyo, por estar siempre dispuesto para lo que se ofreciera. Por darme la oportunidad de trabajar con él y abrirme las puertas de su laboratorio en un momento muy importante, aunque el tiempo para el desarrollo de la tesis representara un reto. Gracias por subirme siempre el ánimo y gracias por todo el tiempo dedicado para guiarme en el desarrollo y revisión del proyecto. Gracias por acompañarme y llevarme en mi paso por un importante camino de este universo que es la ciencia.

Infinitas gracias a los Doctores Luis Enríquez y Gorgonio Ruíz, por poner a mi disposición de la mejor manera, sus laboratorios, sus conocimientos, toda su experiencia, tiempo y buena disposición para apoyarme y asesorarme en el desarrollo de mi tesis. Gracias por todas las explicaciones, correcciones y sugerencias. Agradezco al Dr. Luis por prestarme sus equipos, materiales y reactivos.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT por la beca de estudios de Maestría 266720. Gracias por apoyar la ciencia y gracias por permitirme beneficiarme como estudiante de ese apoyo económico durante todo el tiempo de la maestría.

Doy gracias por el apoyo económico al proyecto 219 de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California.

Gracias a los directivos y a quienes fueron mis maestros del programa de Maestría en Ecología Molecular y Biotecnología por permitirme formar parte del posgrado y por transmitirme sus conocimientos. Así mismo agradezco a la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC.

Gracias por su apoyo en el trabajo de campo a Ecol. Martín Sau Cota y al Ing. Iram García Bañez, de la Reserva del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Gracias por todo su apoyo especialmente en el muestreo de La Zanja a M. en C. Julián Castro González y Biol. Héctor Valles Ríos del Instituto Nacional de Pesca del Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada.

Gracias a M. en C. Martha Judith Román Rodríguez, Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora, unidad San Luis Río Colorado así como a Cooperativas de producción pesquera del Golfo de Santa Clara.

Gracias a mis compañeros de laboratorio Ocean. Tania N. Calderón Marmolejo por su apoyo en la estandarización de los protocolos de laboratorios. A Luis Angel Bojorquez Vázquez por su apoyo en el trabajo de laboratorio, así como a Biol. Fernando García Sánchez y Biol. José Sánchez.

Gracias al M. en C. Luis Parmenio Suescún Bolívar por la revisión del manuscrito y por todo el apoyo constante, en todos los aspectos, desde que la maestría era un proyecto hasta el final.

Gracias a Edgar Lima y familia. No me alcanzarían las palabras para dar las gracias por todo, pero en pocas palabras, gracias por el inmenso apoyo incondicional.

Finalmente, gracias a mis padres. Gracias porque sin ustedes no estaría acá. Gracias por apoyarme y darme lo mejor de ustedes todo el tiempo. Infinitas gracias por todo desde mi corazón.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	3
ANTECEDENTES	5
Contexto Biológico de <i>Cynoscion othonopterus</i>.....	5
Distribución del recurso corvina golfina y descripción del área de estudio	5
Vulnerabilidad de la Especie y Problemática Actual	7
Contexto histórico	11
Importancia del Análisis con Base en Microsatélites.....	15
Descripción del área de estudio	16
HIPÓTESIS	19
OBJETIVOS	20
MÉTODOS	21
Muestreos	21
Extracción de ADN	22
Optimización y amplificación de microsatélites	23
Selección de microsatélites	25
Genotipado	26
Análisis de datos.....	27
<i>Diversidad genética.....</i>	<i>27</i>
<i>Estructura poblacional</i>	<i>27</i>
<i>Historia demográfica</i>	<i>28</i>
RESULTADOS	29
Diversidad genética.....	30
Asignación de poblaciones	33
Estructura genética	34
Historia Demográfica	36
DISCUSIÓN.....	37
CONCLUSIONES.....	48
REFERENCIAS	49
ANEXOS	60

Índice de figuras

Figura 1. Registros de captura de corvina golfina y Reserva Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	6
Figura 2. Datos históricos de la pesca de corvina golfina.....	12
Figura 3. Localidades de Muestreo.....	22
Figura 4. Asignación de poblaciones de las muestras de corvina golfina, tomadas en RBAGCyDR	34

Índice de tablas

Tabla 1. Loci y cebadores empleados en el análisis genético poblacional.....	24
Tabla 2. Temperaturas de anillamiento empleadas para cada microsatélite.....	26
Tabla 3. Número de especímenes de corvina golfina recolectados en las costas del AGC durante las temporadas de pesca del 2010 al 2013.....	30
Tabla 4. Contenido de información polimórfica década loci evaluado.....	31
Tabla 5. Polimorfismo promedio del genotipo multilocus y diversidad genética de <i>C. Othonopterus</i> de Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	32
Tabla 6. Número de alelos encontrados por locus y por localidad para corvina golfina	32
Tabla 7. Estadísticos descriptivos para cada una de las localidades analizadas en la RBAGCyDR.....	35
Tabla 8. Asignación de poblaciones.....	36
Tabla 9. Índices de diferenciación genética.....	37
Tabla 10. Pruebas estadísticas para modelaciones de demografía histórica en el supuesto equilibrio deriva-mutación.....	37

Abreviaturas y siglas

ADN: Ácido Desoxirribonucleico

ADNm: ADN mitocondrial

ADNn: ADN nuclear

AGC: Alto Golfo de California

ANP: Área Natural Protegida

CONANP: Comisión Nacional de
Áreas Naturales Protegidas

DOF: Diario Oficial de la Federación

FAO: Organización para la
Alimentación y la Agricultura (Food
and Agriculture Organization)

FSCPP: Federación de Sociedades
Cooperativas de Producción
Pesquera

IAM: Mutación de Alelos Infinitos
(Infinite Allele Mutation)

PCR: Reacción en Cadena de la
Polimerasa (Polymerase Chain
Reaction)

RAMSAR: Convención sobre los
Humedales de Importancia
Internacional

RBAGCyDCR: Reserva de la
Biosfera del Alto Golfo de California y
Delta del Río Colorado

RMS: Rendimiento Máximo
Sostenible

SMM: Modelo de Mutación por Pasos
(Stepwise Mutation Model)

WWF: Fondo Mundial para la
Naturaleza (World Wildlife Fund)

RESUMEN

La corvina golfina *Cynoscion otohnopterus* está siendo explotada comercialmente desde 1992 durante sus agregaciones reproductivas en el Alto Golfo de California (AGC). Debido a su importancia socioeconómica y ecológica, y con el fin de aportar información que pueda traducirse en un aprovechamiento sustentable, se realizó un estudio a nivel genético molecular para evaluar su variabilidad e identidad genética. Por ello, se efectuó un análisis de microsatélites marcados mediante el protocolo de etiquetado universal fluorescente. El análisis exploratorio aportó un grupo confiable e informativo de 10 microsatélites (Cyne12, Soc609, Soc826, Tmac74, CacMic14, Soc554, Soc507, Tmac06, CacMic18y Cyne2) a partir de muestras provenientes de las localidades pesqueras de Santa Clara, El Zanjón y San Felipe. Los valores de diversidad genética obtenidos mostraron en todas las localidades y a nivel global, una menor heterocigosidad observada respecto a la esperada ($H_o=0.552$ y $H_e=0.720$). La diversidad genética de la corvina golfina es baja y menor que la reportada en estudios anteriores para otras especies de esciánidos del AGC. En cuanto a la estructura poblacional, no se evidenciaron diferencias significativas entre los grupos muestreados, tanto para el F_{ST} como para el R_{ST} . Los datos de demografía histórica de la población, colocan a la especie en un escenario demográfico caracterizado por un cuello de botella. Así mismo, se deduce una reciente reducción significativa en el tamaño poblacional. La deriva génica y la consecuente endogamia, repercuten en la pérdida de variabilidad genética, disminuyendo la eficacia biológica de los individuos de la población. En su conjunto, estos factores, sumados a la explotación pesquera, no favorecen que la población pueda alcanzar su equilibrio demográfico por lo que la pesca de esta especie podría colapsar. Los resultados que se presentan en este estudio, deben ser tomados en cuenta al establecer una estrategia adecuada de manejo, cuyas regulaciones permitan el uso sustentable de estos recursos pesqueros de forma que la pesca no exceda el rendimiento máximo sostenible y se puedan generar en la zona otras alternativas pesqueras.

ABSTRACT

The Gulf Corvina *Cynoscion othonopterus* has been commercially exploited at its breeding aggregations in the Upper Gulf of California (AGC) since 1992. Due to its socioeconomic and ecological importance, and intending to provide information that could be translated into a sustainable exploitation, a genetic-molecular leveled study was carried out to estimate its genetic identity and diversity by means of fluorescent labeled microsatellite loci and throughout an automatized fragment analysis.. The exploratory analysis provided a reliable and informative set of 10 microsatellites (Cyne12, Soc609, Soc826, Tmac74, CacMic14, Soc554, Soc507, Tmac06, CacMic18y, Cyne2), from samples taken from the fishing “Santa Clara”, “El Zanjón” and “San Felipe” fishing grounds. Observed genetic diversity (heterozygosity) was lower than the expected under Hardy-Weinberg equilibrium through all localities and at a global scale ($H_o=0.552$ y $H_e=0.720$). This level of genetic diversity are lower than those previously reported for the species, as well as to those from other sciaenid species that inhabit the AGC. There were no significant differences among fishing grounds, neither for the F_{ST} nor for the R_{ST} , thus suggesting a single homogenous population. The analyses on the population demographic history pointed out a scenario with a recent bottleneck, which appears to had significantly reduced its abundance. An increase in endogamy driven by genetic drift in such a reduced population may be of particular concern for the conservation of this species. Genetic viability of the population could be reduced as a consequence of lessening the biological efficacy of the individuals. Overall, evidences from all above factors, plus the current exploitation scheme, do not favor that the population can reach its demographic balance, thus alerting us to avoid on a possible collapse of the fishery. The results presented on this study must be taken for setting up an adequate strategy that allows the sustainable use of these fishing resources in a manner that the fishing does not exceed the maximum sustainable performance, and other fishing alternatives can be generated in the area.

INTRODUCCION

El Golfo de California alberga cerca de 30 especies de esciénidos, de las cuales ocho se encuentran reguladas por la carta nacional de pesca (SAGARPA, 2010). Entre estas, la corvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) debido a su distribución confinada, vulnerabilidad y pérdida de su hábitat utilizado en la época reproductiva (SAGARPA, 2005) es considerada en listados de especies que requieren protección especial y regulaciones específicas (SAGARPA, 2006).

Por otro lado, en la carta nacional pesquera (SAGARPA, 2010), se establecen como prioritarios los estudios enfocados a las poblaciones de esciénidos, los cuales permitan determinar periódicamente la salud de las pesquerías. Además, establece la prioridad en “reforzar el sistema de investigación para la corvina golfina, debido a que se captura en época de reproducción en el Alto Golfo de California”.

La corvina golfina es endémica del Alto Golfo de California (AGC) y uno de los principales recursos explotados en esa región, para la cual se han hecho estudios pesqueros, incluyendo aspectos de biometría, madurez y proporción sexual (Barrera y Campoy, 1992; Campoy, 1999; CRIP Ensenada y Guaymas, 1995; Castro-González, 2004; Alvarez-Tinajero, 1997; Villanueva-Fortanelli, 1992; Campoy y Román, 1998 y Román-Rodríguez, 2000), así como estudios prospectivos de su diversidad, estructura y genética de poblaciones (Ríos Medina, 2012). En estos últimos se reporta una baja variabilidad genética, lo que justifica la necesidad de profundizar en el estudio genético de este recurso, utilizando un abanico más amplio de marcadores moleculares como los microsatélites los cuales puedan contribuir con bases científicas para el manejo y explotación sustentable de esta especie de valor comercial y ecológico.

Por tanto, se efectuó un estudio más detallado acerca de la variabilidad genética de corvina golfina con la perspectiva de que sirva como base para los planes de manejo y conservación.

ANTECEDENTES

Contexto Biológico de *Cynoscion othonopterus*

La especie *Cynoscion othonopterus*, conocida comúnmente como corvina golfina, es un pez perteneciente a la familia Sciaenidae, la cual comprende 70 géneros y 270 especies (Farias *et al.*, 2006). Los esciénidos, en su mayoría viven en hábitats marinos y se encuentran distribuidos en las zonas subtropicales y tropicales de los océanos Pacífico, Atlántico e Índico (Nelson, 1994). Particularmente, el género *Cynoscion* comprende 26 especies, de las cuales 24 se conocen como corvina (Vergara, 2009). No obstante, la corvina golfina es endémica del Alto Golfo de California (AGC) y se encuentra altamente explotada en el ámbito de distribución conocida (Román-Rodríguez, 2000).

La corvina golfina se caracteriza por tener un amplio espectro trófico y hábitos demersales. Su longevidad promedio es de 9 años, alcanzando una longitud total de 80 cm (Román, 1998), y alcanza su madurez sexual entre los 2 y 3 años, cuando mide alrededor de 40 cm. En su etapa adulta habita las aguas del AGC, y entra a reproducirse en el Delta del Río Colorado formando agregaciones. Es un desovador total con una fecundidad que oscila entre 261,146 a 925,641 huevecillos en hembras que miden en promedio entre 60 y 72 cm (Román-Rodríguez, 2000). Es un pez diádromo asociado a fondos arenosos y suaves del Alto Golfo, y depende en gran medida de los ambientes salobres y oligohalinos del Río Colorado para reproducirse (Álvarez de Williams, 1998).

Distribución del recurso corvina golfina y descripción del área de estudio

Cynoscion othonopterus se encuentra distribuida desde el delta del Río Colorado hasta Puerto Peñasco (Sonora) y el archipiélago San Luis Gonzaga en Baja California. Cabe destacar que la corvina golfina realiza migraciones anualmente al

Alto Golfo de California durante el periodo comprendido de octubre a mayo (Román-Rodríguez, 2000), siendo capturada para pesca comercial a gran escala durante su periodo reproductivo (Paredes et al., 2010).

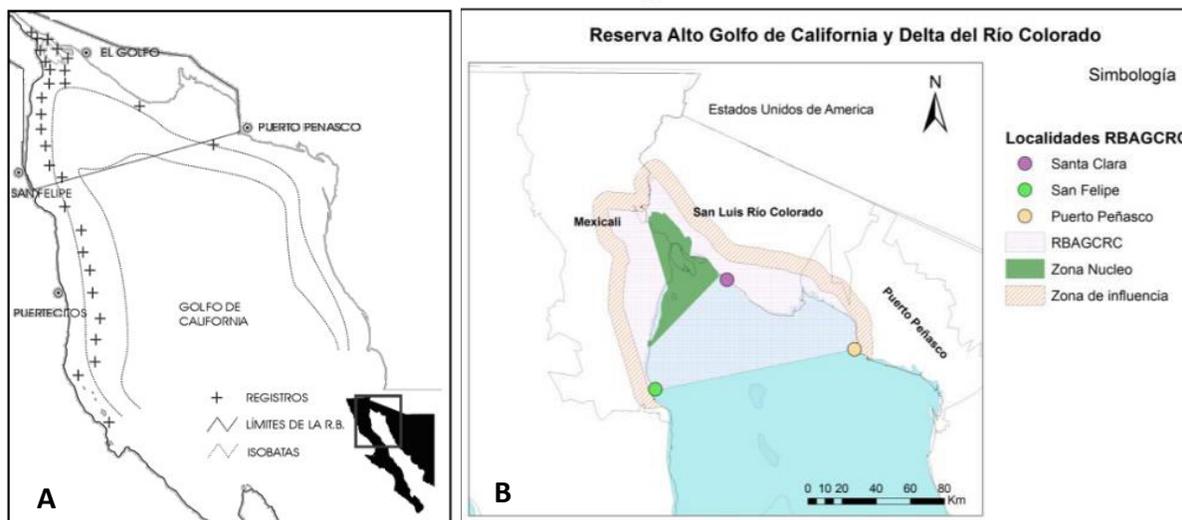


Figura 1. Registros de captura de la corvina golfinia y en el Alto Golfo de California y el Delta del Río Colorado. **A.** Área de distribución en la captura de corvina golfinia en el norte del Golfo de California (Román-Rodríguez y Barrera-Guevara, 2006). **B.** Límites y división de la RBAGCRC (Díaz, 2010).

La corvina golfinia se pesca principalmente dentro del área perteneciente a la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (Fig. 1A). Esta zona está representada en más de un 70% por aguas marinas (CONANP-SEMARNAT, 2007) y fue establecida con el fin de preservar la biodiversidad, asegurar la sustentabilidad y conservar el AGC (Cudney y Turk, 1998). En el decreto que le dio origen, se establecieron dos zonas de manejo, una zona amortiguamiento y una zona núcleo, siguiendo los lineamientos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente en materia de áreas naturales protegidas. La zona de amortiguamiento (Fig. 1B), tiene como objetivo la orientación a las comunidades respecto al aprovechamiento y manejo sustentable de los recursos naturales. La zona núcleo (Fig 1B), es la zona Delta de río

Colorado, caracterizada por sucesos ecológicos de importancia (RAMSAR, 2001), a diferencia de la zona de amortiguamiento, esta zona busca preservar los ecosistemas a mediano y largo plazo, con subzonas de protección así como de uso restringido (FSCPP, 2009).

Cabe mencionar que la región del Alto Golfo de California y Delta el Rio Colorado, fue declarada Reserva de la Biósfera a partir del 1993, posteriormente en 1996 fue declarada como Área Natural Protegida con carácter de Reserva de la Biosfera (CONANP, 2004), debido a que el incremento en los esfuerzos pesqueros, generó efectos negativos y un desequilibrio dentro del ecosistema marino (Ruiz, 2009).

El ecosistema incluye un número significativo de especies cosmopolitas y endémicas, así como especies bandera, así mismo, se encuentra asociado con zonas de crianza y desove de varias especies marinas. También, existen zonas importantes de entrada y alta concentración de nutrientes y pigmentos fotosintéticos (CONANP, 2006). El clima es del tipo muy seco con temperaturas medias de 18° a 20 °C y precipitaciones medias anuales de 100 mm con lluvias muy escasas en verano e invierno (CONANP-SEMARNAT, 2007).

Vulnerabilidad de la Especie y Problemática Actual

La pesquería de corvina golfina es una de las más importantes en el Alto Golfo de California (Rodríguez y Bracamonte, 2008), en donde, la población del sector primario se dedica a las actividades relacionadas con la explotación pesquera (RAMSAR, 2001), razón por la cual la economía sea altamente dependiente de los recursos de la reserva (Quiroz et al., 2008). Tal es el caso, que a partir de la pesca de corvina golfina, la producción en años como el 2009 fue de 31 millones de pesos (Paredes et al., 2010). Al quedar incluidas dentro de un área protegida, las comunidades de Puerto Peñasco, Santa Clara y San Felipe, se enfrentan con problemas socioeconómicos y ambientales que impiden la rentabilidad de las

pesquerías (Castro-Gonzalez, 2004). Esta problemática, ha generado una competencia por los recursos, en la que se ven enfrentados pescadores industriales y ribereños (Cisneros, 2001).

Aunado a los problemas socioeconómicos presentes en la zona, aparecen de forma importante dificultades ecológicas y ambientales que han modificado las aguas superficiales y el manto acuífero, y han alterado la vegetación de los humedales. Entre estas se encuentran la contaminación por descarga de aguas agrícolas, de combustible de las embarcaciones, la mala disposición de los residuos sólidos y falta de drenaje en los poblados. La disminución de la calidad y cantidad de agua dulce hacia el cauce principal y zona delta del Río Colorado, también se ha producido alteración notable en los procesos biológicos (Cisneros, 1995).

La mayor parte de la pesca de corvina golfinia tiene lugar durante el periodo migratorio a los campos de desove, crianza y maduración. La pesca se realiza anualmente durante cuatro a seis mareas. Cada marea comprende de siete a ocho días durante los meses de febrero a mayo (Paredes et al., 2010), obteniéndose las mayores abundancias en los meses de marzo y abril (SAGARPA 2005). El 90% de las capturas se obtiene en tres días de pesca en cada marea. Cuando faltan cuatro días para la luna llena o nueva, se forma grandes agrupaciones de corvina, las cuales a la mañana siguiente llegan a la zona del estuario, en donde desovan por la noche. Se ha mencionado que el desove se relaciona con el cambio de áreas y en este periodo, la pesca sobrepasa los 500 Kg por viaje y la actividad es de más de 300 embarcaciones diarias (Paredes et al., 2010). No obstante, es posible registrar capturas desde noviembre hasta junio en áreas cercanas a San Felipe, B.C. y el Golfo de Santa Clara, Sonora (IAES, 2011).

Aunque en los océanos de todo el mundo, existen inmensas agregaciones de algunas especies de peces en épocas reproductivas, como en el caso de corvina golfina, muchas de esas especies han colapsado numéricamente a causa de las pesquerías. Las pesquerías ven este tipo de recurso como un recurso inagotable, pues la cantidad de pesca no cambia con el tiempo y finalmente colapsa con la captura de un último grupo (Paredes et al., 2010).

Ahora bien, la corvina golfina, es considerada como uno de los recursos pesqueros más importantes en las costas del AGC (Chao, 2002), y se ha convertido en la segunda especie con mayor captura dentro de la reserva, dado su auge en la comercialización en el mercado interno y en otras partes de país (Martínez et al., 2009), así como a países asiáticos (CNAPESCA, 2013). En busca de un manejo del recurso y según la normatividad, se cuenta con permiso para la pesca en San Felipe, Baja California; el Bajo Río Colorado, y el Golfo de Santa Clara, Sonora (SAGARPA, 2005).

Para la protección de *C. othonopterus* se han desplegado una serie de recomendaciones. Por un lado, se encuentra considerada en los listados de especies que requieren protección especial (SAGARPA, 2005); no obstante, se encuentra regulada en la Carta Nacional Pesquera; además de estar protegida por la Norma Oficial Mexicana (NOM-063-PESC-2005), la cual procura una pesca responsable dentro de las aguas de la jurisdicción federal del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (SEMARNAT, 2011). Así mismo, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, establece que en las zonas núcleo de las reservas de la biosfera sólo se permiten actividades de preservación y educación ambiental, en consecuencia podemos considerar que se excluyen actividades como las pesquerías, no obstante en el Alto Golfo de California en ésta zona se desarrolla parte de esta actividad pesquera, afectando el ciclo reproductivo de la especie y produciendo impactos en el ecosistema del lugar (Martínez et al., 2009).

Otro aspecto que ha resultado problemático es la dinámica de oferta y demanda, misma que hace que el valor del kilo de corvina en ocasiones fluctúe en cuestión de horas (desde 25 pesos el kilo hasta 2 pesos) en respuesta al excedente de pescado que se descarga en los embarcaderos (Paredes et al., 2010). En el 2012 tuvo un valor cercano a 50 millones de pesos a un precio ponderado de \$18.86 por kilogramo, esto sin considerar el precio del buche. En dicha temporada de captura el precio de buche inició a \$180.00 por kilogramo hasta un máximo de \$250.00 (Castro-González, 2012).

En el 2009, se implementó un programa de verificación para que la pesca se realice mayormente de día, y se acordó que el precio por kilo no fuera menor a 8 pesos durante toda la temporada. Así mismo la NOM-063-PESC en 2005 estableció que la talla mínima de captura es de 65 cm y la red es de 5 3/4" con una longitud máxima de 293 metros. Pese a esto, aún existen algunos pescadores que no se apegan a las normatividades y se reportan además una gran cantidad de embarcaciones irregulares (Paredes et al., 2010). Por otro lado, se ha encontrado que dentro de la actividad pesquera de corvina golfina, no solo esta especie es afectada, ya que hay evidencia de la captura de otras especies de corvina en San Felipe, B.C, México (Ríos Medina, 2012).

La corvina golfina es un pilar importante de la economía del AGC (DOF, 2007). Desde 1998 se ha visto un incremento en el número de pangas dentro de la reserva (CONANP, 2004). Así mismo, es importante destacar que se ha registrado una reducción en el stock de la población de corvina golfina, debido a la vulnerabilidad de su hábitat en la temporada reproductiva (Quiroz et al., 2008). Dicha reducción se ha visto reflejada en la disminución de la talla promedio y en la captura por unidad de esfuerzo, evidenciado por el hecho que hasta la temporada de pesca entre 2008-2009 la luz de malla de las redes tenía diferentes tamaños desde 7.6 cm hasta 16.5cm y en su mayoría, no cumplían con las especificaciones consignadas en el instrumento de regulación (Solana et al., 2012). El hecho de

que una población sufra recientemente una reducción significativa en su tamaño, implica una amenaza para la supervivencia y podría tener consecuencias en el aumento de la tasa de endogamia y reducir entonces su potencial de adaptación (Cornet y Liukart, 1996).

Cabe aclarar que cuando se habla de vulnerabilidad o especie vulnerable, se hace referencia a que se considera que la especie se está enfrentando a un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre. La corvina golfina, se encuentra en la categoría vulnerable con criterio D2 que aplica para especies en un “área de ocupación restringida con una posibilidad razonable de verse afectada por una amenaza futura que podría elevar al taxón a un peligro crítico en tiempo muy corto” (IUCN, 2012).

Contexto histórico

A comienzos de la década de 1960, la corvina golfina estuvo ausente comercialmente, pero una vez que se reactivó su pesquería en 1993, comenzó un aumento en la producción y el esfuerzo pesquero que se prolongó hasta el año 2000, lo cual fue ocasionado porque a finales de la década de 1980 la pesca del camarón disminuyó de manera importante y afectó la economía de las comunidades dedicadas a este tipo de pesca (Campoy, 1999; WWF, 2004), de forma tal que la alternativa se vio reflejada en la pesca de especies de escama (Valdez-Gardea, 2002; WWF, 2005), la cual ha sido realizada en embarcaciones menores, afectando así el índice de abundancia de la población. Desde que la pesquería de esta especie resurgió en 1992, se han reportado más de 43000 toneladas en total (Paredes et al., 2010).

En detalle, durante el periodo comprendido entre 1993 y 1997, el esfuerzo pesquero aumentó en un 93,2%, no obstante, en el año 2002 el incremento llegó al 152,3%, donde se obtuvo la máxima producción histórica de 4299 toneladas en

557 embarcaciones (de las cuales 337 fueron embarcaciones de nuevo ingreso). En los siguientes años (2003, 2005 y 2009) se presentó un decremento en la producción alrededor de las 1500 toneladas, aun cuando el número de embarcaciones estaba entre 500 y 570 (Ruelas-Peña et al., 2013).

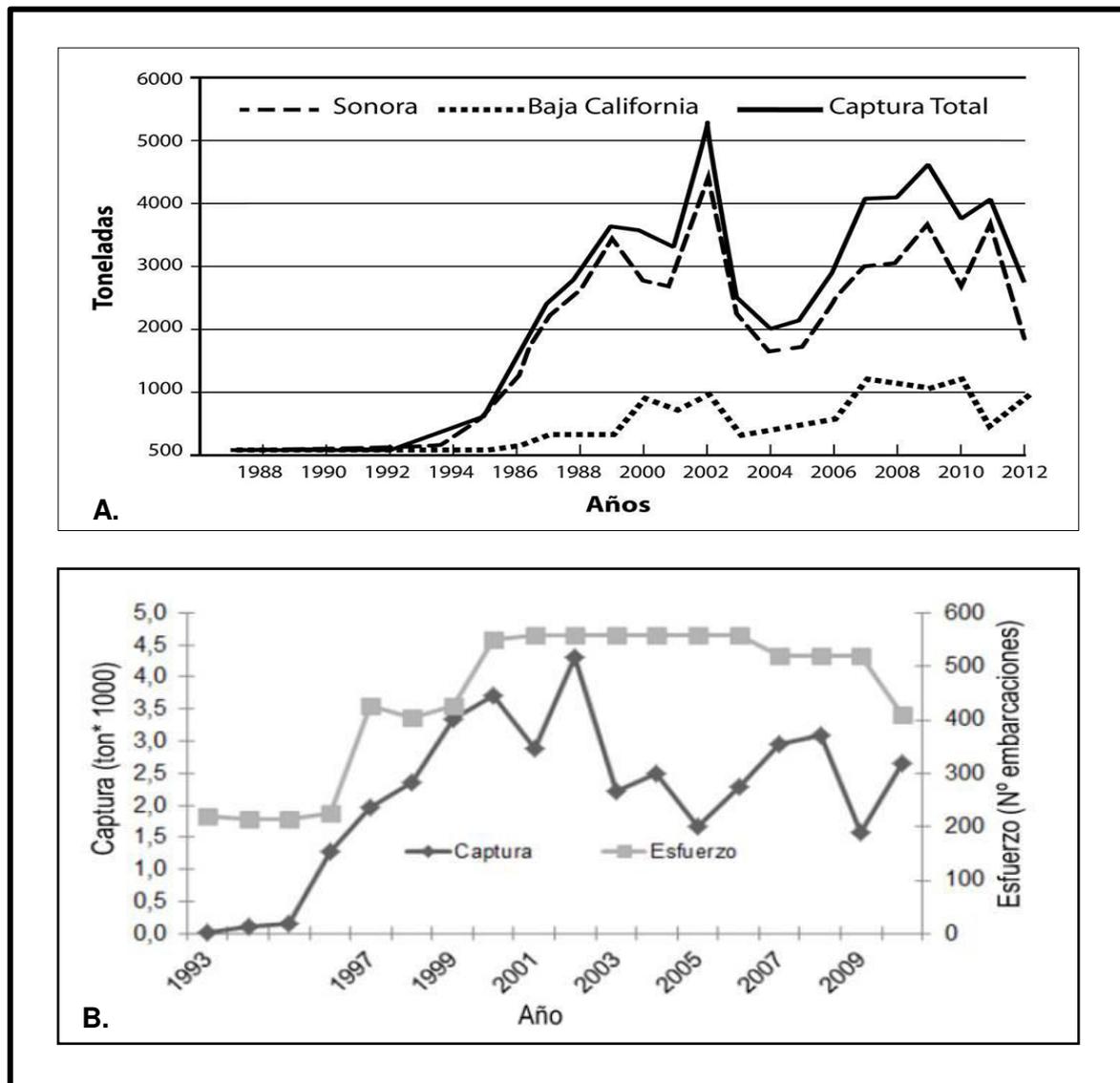


Figura 2. Datos históricos de la pesca de corvina golfinia. **A.** Producción entre 1987 y 2011 en toneladas de peso eviscerado para Baja California y Sonora. (Subdelegación Federal de Pesca en Baja California y Sonora). **B.** Captura y esfuerzo de pesca históricos de la flota comercial (Ruelas-Peña, et al., 2013).

La máxima producción fue observada en el 2002 para Sonora, con un volumen registrado de 4368.9 toneladas de peso eviscerado, y para Baja California con una producción máxima de 1,147 toneladas de peso eviscerado en el 2007 (Fig. 2A) (DOF, 2013).

La producción registrada de corvina golfina en el 2010 fue casi la mitad de la máxima producción histórica de la pesquería, en este mismo año cuando la producción presentó un incremento, la relación esfuerzo e índice de abundancia se mantuvo negativo. El volumen total en 2012 fue de 2665 toneladas de peso eviscerado (Subdelegación Federal de Pesca de Baja California y Sonora, 2012), y el 45% de la captura se obtuvo en dos días de trabajo (DOF, 2013).

Actualmente en la pesquería de la corvina golfina participan aproximadamente de 400 a 600 pangas provenientes de El Golfo de Santa Clara (Sonora), de 100 a 300 de San Felipe (Baja California) y de 60 a 100 de El Zanjón, basado en los reportes del Programa de Ordenamiento de la Corvina Golfina en el Alto Golfo de California (CONAPESCA-SAGARPA) y el estudio realizado por Solana y colaboradores (2012).

Por otro lado se ha demostrado en el caso de corvina golfina que el comportamiento de la biomasa del stock es inversamente proporcional al esfuerzo de pesca; la disminución de la biomasa se aceleró a partir de 1998 debido al aumento del esfuerzo de pesca. Al comparar los puntos de referencia biológicos y el manejo de la pesquería, se ha observado que, durante la fase de crecimiento de la pesquería (periodo: 1993-1996), el efecto neto del esfuerzo de pesca estuvo 49.2% por abajo del esfuerzo de pesca en el punto de referencia biológico (Ruelas-Peña et al., 2013).

Después de 1996 el esfuerzo de pesca se fue incrementando gradualmente y, en el 2001, registró un 39.3% más de su nivel óptimo. Posteriormente, el esfuerzo

pesquero aplicado en 1997 es el que más se aproxima al valor de su máximo rendimiento sostenible, con una diferencia de 6.3%, por lo cual el esfuerzo pesquero se ha mantenido por encima de su nivel óptimo (Fig. 2B). Por otro lado, la biomasa en el máximo rendimiento sostenible es del orden de 3,100 toneladas (peso total, no eviscerado), equivalentes a un esfuerzo de 457 embarcaciones. Con base en lo anterior, durante el 2010 la pesquería se encontraba a un 23,2% de alcanzar su máximo rendimiento. Para lograrlo, hubiera sido necesario disminuir el esfuerzo de pesca en un 16%, permitiendo así disminuir la mortalidad por pesca (Ruelas-Peña et al., 2013).

Bases a nivel de genética poblacional de *Cynoscion othonopterus*

El análisis a nivel de marcadores moleculares en corvina golfina, ha sugerido que los valores de diversidad genética de ADNm y ADNn son menores para corvina golfina que para corvina rayada, lo cual es el reflejo de una menor salud genética en la población de golfina (Ríos-Medina, 2012). Así mismo, al hacer una comparación de los valores de diversidad genética de corvina golfina con corvina amarilla, se observó que los valores de golfina (Ríos-Medina, 2012) son similares a los de amarilla (*Cynoscion acoupa*) (Rodríguez *et al.*, 1992), cuya especie es explotada comercialmente y presenta una población genéticamente homogénea y de tamaño pequeño (Ríos Medina, 2012).

Ríos Medina (2012), también sugirió con base en ADNmt y ADNn que existe un flujo genético intenso de corvina golfina entre San Felipe y Santa Clara, lo cual no permite la formación de estructura genética. Aunado a esto, señaló que la especie todavía no llega su a equilibrio demográfico, y por tanto tiene una diversidad genética muy baja.

Patrones relacionados con la demografía histórica con base en las frecuencias de los alelos de ADNn de corvina golfina, sugieren que la población ha

experimentado una reciente reducción de su tamaño efectivo poblacional. Así mismo, los análisis basados en ADNm proponen que la especie sufrió un evento de cuello de botella seguido de un rápido crecimiento poblacional en algún momento de la historia evolutiva (Ríos-Medina, 2012).

Importancia del Análisis con Base en Microsatélites

Los antecedentes conocidos a acerca de la genética poblacional de corvina golfina están basados en el análisis de ADNm y ADNn (Ríos-Medina, 2012), estos antecedentes explican satisfactoriamente los análisis llevados a cabo a partir de ADNm empleando citocromo B, sin embargo, los análisis basados en ADNn empleando microsatélites, necesitan ser revisados y corroborados con un grupo amplio de estos marcadores, (Aranguren et al., 2005).

Los microsatélites son repeticiones cortas en tándem, de 1 a 6 nucleótidos encontrados con alta frecuencia en el genoma nuclear (Povh et al., 2008). Este tipo de marcadores, son altamente polimórficos y presentan herencia mendeliana simple y codominante, son fáciles de medir, fiables, reproducibles, automatizables y presentan alta resolución a nivel individual (Goldstein y Schlotterer, 1999), permitiendo el análisis poblacional a fina escala (Selkoe y Toonen, 2006).

Los estudios basados en marcadores genéticos como secuencias de ADN nuclear y mitocondrial son de gran importancia para el manejo de las pesquerías, ya que puede ser utilizados para estimar muchos parámetros de interés para los ecólogos de poblaciones, tales como las tasas de migración, tamaño de la población, los cuellos de botella, el parentesco (Selkoe y Toonen, 2006) niveles de diversidad genética, comportamiento reproductivo, migración, demografía y estructura poblacional (Hoelzel, 1992). Estos marcadores son instrumentos importantes para el estudio de poblaciones y lotes de peces. (Regitano, 2001).

Descripción del área de estudio

El Golfo de California, comprende una extensión de aproximadamente 800,000 Km², entre la región occidental del macizo continental de la República Mexicana y la península de Baja California. Es un cuerpo de agua que abarca los márgenes del estado de Sonora y Sinaloa en la región Este y en la región Oeste, los estados de Baja California y Baja California Sur (Morgan et al., 2005).

Durante el otoño, en el Golfo de California y la costa adyacente, el enfriamiento de las capas superficiales de agua y la fuerza del viento aumentan de tal forma que provocan la ruptura de la termoclina, permitiendo que los nutrientes disueltos en las capas de agua más profundas asciendan y enriquezcan el agua superficial. De esta manera, las aguas superiores del Golfo de California permanecen enriquecidas durante el invierno, dando lugar a un «florecimiento» de fitoplancton tan pronto llegan las radiaciones intensas y el calentamiento solar de la primavera. Así, las estaciones de invierno y primavera son las más productivas en la ecorregión (Ulloa et al, 2006).

En la parte norte de la reserva, el clima es del tipo muy seco (bw) con temperaturas medias de 18º a 20 ºC y precipitaciones medias anuales de 100 mm con lluvias muy escasas en verano e invierno, y oscilaciones anuales de temperatura mayores de 14 ºC. También, la zona norte del Alto Golfo de California presenta zonas importantes de entrada de nutrientes al ecosistema marino. Están asociados con zonas de desove y crianza de especies marinas y exportación de larvas y juveniles en la región Norte y hacia el Sur del Golfo de California. Existen zonas de alta concentración de nutrientes y pigmentos fotosintéticos, como los canales del Delta del Río Colorado, que constituyen la zona núcleo de la reserva, así como el extremo norte del Alto Golfo de California donde se ubica la zona de amortiguamiento (CONANP, 2006).

El Golfo de California se divide en tres regiones, como lo indica Castro-González, 2004:

1) La región sureña, con una gran cantidad de esteros y bahías que sirven como refugio de pelágicos menores.

2) La región media de las grandes islas del Golfo, con más de 100 islas importantes que son zonas de grandes surgencias para la comunidad de peces pelágicos.

3) La región de El Alto Golfo y Delta del Río Colorado, con reproducción y desove de una gran variedad de especies de peces de importancia comercial (Castro-González, 2004). Debido a la predominancia de los vientos del norte en esta ecorregión marina, las costas de Sonora y Sinaloa son generalmente las más productivas. (Torres-Orozco 1993).

En la región del Alto Golfo de California y el delta del Río Colorado, fue decretada un área como Reserva de la Biósfera dentro de la modalidad de ANP (RBAGCyDRC). Esta región, comprende la porción norte de Baja California y noroeste de Sonora, entre los 31°00'.32°10' Norte y 113°30'-115°15' Oeste, con una extensión de 934,756 hectáreas (CONANP-SEMARNAT, 2007).

En esta área, se encuentran cuatro comunidades pesqueras. Puerto Peñasco (Sonora); Santa Clara (Sonora); El Zanjón ubicado en la boca del Río Colorado (Baja California), y Puerto de San Felipe (Baja California). Puerto Peñasco, Santa Clara y San Felipe, se encuentran ubicados en la zona de amortiguamiento de la reserva, mientras que El Zanjón se ubica en la zona núcleo de la reserva (CONANP-SEMARNAT, 2007).

Santa Clara, es una comunidad que tradicionalmente ha capturado corvina golfina además de otros recursos pesqueros. La falta de actividades económicas alternas en la comunidad ha originado que la economía de las familias se centre en la pesca. Producto de ello, existen 80 sociedades cooperativas de producción pesquera (DOF, 2012). La jurisdicción pesquera a la que se encuentran adscritos va desde los límites de Baja California y Sonora en el Río Colorado hasta el sitio conocido como Punta Borrascosa.

En San Felipe, al igual que Santa Clara, la pesca cobra un papel primordial en la economía de este puerto. Allí, se encuentran la mayoría de los permisionarios. Su jurisdicción abarca la porción del cauce principal del Río Colorado (el litoral desde el límite de la Zona Núcleo hacia el sur, hasta la zona de la Bahía San Luis Gonzaga) (DOF, 2012).

El Zanjón está conformado por la comunidad indígena Cucapá. Son un pueblo amerindio que vive en el Norte de Baja California, cerca de la frontera entre Estados Unidos y México. Una parte de la tribu vive en Estados Unidos en la rivera del Río Colorado al Suroeste de Yuma, Arizona. La pesca es el sustento económico de la comunidad y su cultura está estrechamente relacionada al Delta del Río Colorado. Allí se encuentran establecidas dos sociedades cooperativas de producción pesquera, una unión de producción pesquera, y cuatro sociedades de producción rural (DOF, 2012).

HIPÓTESIS

Debido a la distribución confinada, vulnerabilidad y captura en época reproductiva de la corvina golfina (*Cynoscion othonopterus*), así como a los indicios de baja variabilidad genética y la evidencia de un cuello de botella de la población, se espera encontrar baja variabilidad con base en microsatélites y ver un impacto marcado del cuello de botella.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la variabilidad genética de la corvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) que se encuentran en la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

Objetivos Específicos

1. Estandarizar, optimizar e implementar los microsatélites específicos para la genotipificación con microsatélites de la corvina golfina.
2. Seleccionar el grupo de microsatélites con mayor poder informativo para estimar la variabilidad genética en esta especie.
3. Caracterizar la variabilidad y la conectividad genética entre las localidades en donde se realiza la pesca de la corvina golfina, en la Reserva del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

MÉTODOS

Muestreos

Los muestreos se llevaron a cabo en el puerto de San Felipe y en las comunidades de Santa Clara y El Zanjón (Fig. 1). Se trabajó con muestras tomadas en San Felipe en 2010 y en Santa Clara en noviembre de 2012. En marzo de 2013 se realizó un muestreo en las localidades de Santa Clara y El Zanjón sobre las zonas de desembarque, donde se tomaron de forma individual muestras de tejido del músculo de la porción del pedúnculo caudal y se efectuó un registro fotográfico, para verificar la identidad taxonómica de la especie de cada ejemplar, así mismo se observaron los caracteres diagnósticos para su identificación taxonómica. El número de muestras examinadas en cada localidad fue como sigue: San Felipe en 2010 (n= 11), Santa Clara en 2012 (n= 19) y en 2013 (n= 15), El Zanjón (n= 29). Adicionalmente, se incluyó como grupo externo o de referencia la especie congénérica *Cynoscion reticulatus*, la cual contó con 11 individuos muestreados en 2012.

Las muestras de tejido obtenidas en Santa Clara fueron preservadas a -80°C; las muestras correspondientes a El Zanjón fueron preservadas en etanol absoluto a -20°C. Las muestras históricas de San Felipe fueron tomadas de la aleta y se encontraban preservadas en etanol absoluto a -20°C. La identificación taxonómica de los organismos fue basada en Chao (1995).

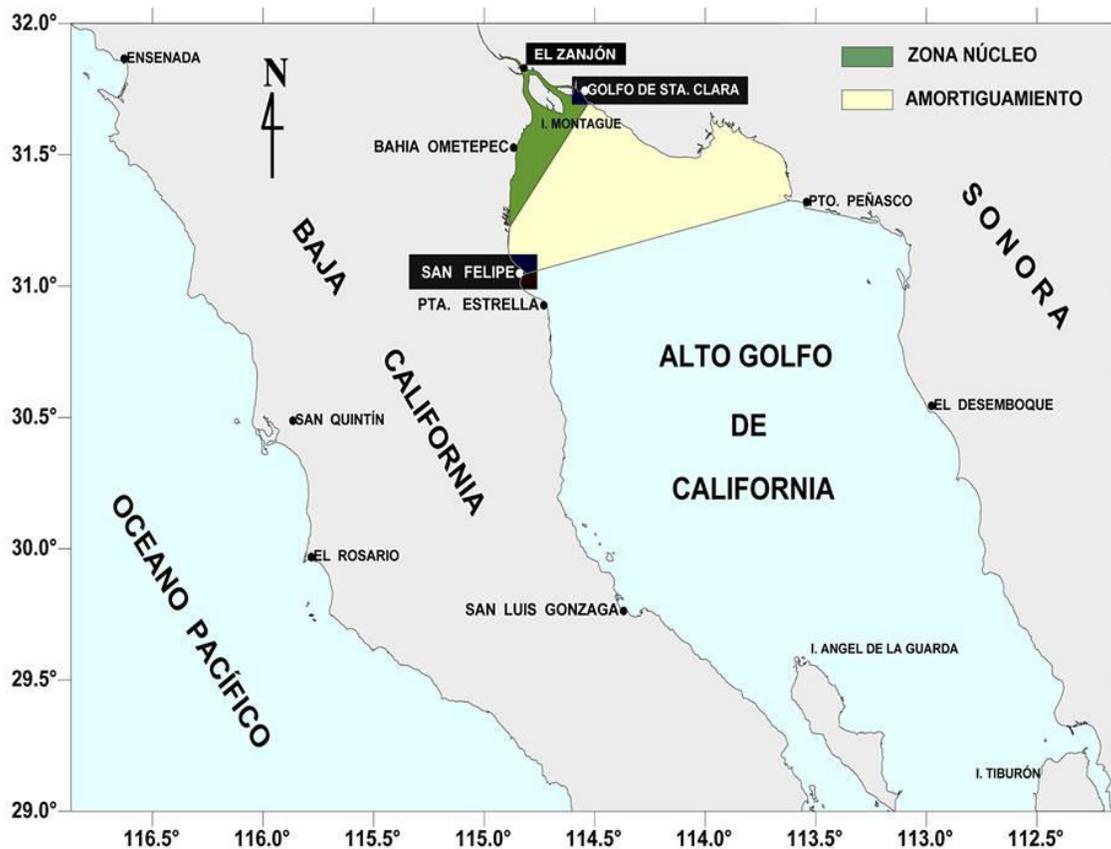


Figura 3. Localidades de Muestreo. Se indican las localidades muestreadas en recuadros negros sobre la línea de costa en el Alto Golfo de California. Tomado y modificado de Castro-González (2011).

Extracción de ADN

Una vez obtenidas las muestras, se llevó a cabo la extracción individual de ADN total, empleando el método de extracción salina basado en el procedimiento de Wasko y colaboradores (2003).

Posteriormente, se evaluó la integridad del DNA en una electroforesis (5 V/cm) horizontal de agarosa al 1%, teñido con bromuro de etidio (0.5 µg/*mL) y se visualizó en un transiluminador de luz UV.

Optimización y amplificación de microsatélites

Para este estudio se probaron 23 microsatélites específicos para esciénidos (O'Malley et al., 2003; Farias et al., 2006; Karlsson et al., 2008; García de León et al., 2010; Portnoy et al., 2012; Renshaw et al., 2012), de los cuales se seleccionaron 10 loci previamente optimizados y evaluados en *Totoaba macdonaldi*, *Sciaenops ocellatus* y *Cynoscion nebulosus* (Tabla 1). Los cebadores para dichos loci fueron probados en muestras de *Cynoscion othonopterus* y *C. reticulatus* con el objeto de optimizar las condiciones de amplificación y evaluar los niveles de polimorfismo en la especie de estudio, tomando como base las condiciones de amplificación estandarizadas por Calderón y colaboradores (2012) y empleando el protocolo de etiquetado universal fluorescente (Schuelke, 2000; Shimizu et al., 2002). Este consiste en que el cebador "forward" de cada locus se etiqueta en el extremo 5' con una secuencia universal (M13), lo que permite al cebador "reverse" generar en el amplicón la cadena complementaria a la de un segundo cebador "forward" (5'-TGTAACGACGGCCAGT-3') marcado con un fluorocromo específico (6-FAM®, VIC®, PET® o NED®, Applied Biosystems). De esta forma, los amplicones pueden ser marcados con el fluorocromo seleccionado para su detección en un secuenciador automático.

La estandarización del PCR de cada microsatélite en muestras de *Cynoscion othonopterus*, se realizó en un volumen de reacción de 14.3 μ L. Se empleó 22 mM de Tris-HCl pH 8.4, 55 mM de KCl, 1.5 mM MgCl, 220 μ M de dNTPs, 1.2 U de Taq polimerasa, y alrededor de 50 ng de ADN genómico. Cada juego de cebadores se mezcló de la siguiente manera: 0.086 μ M de forward, 0.172 μ M de reverse y 0.172 μ M marcado con fluorocromo.

Tabla 1. Loci y cebadores empleados en el análisis genético poblacional. Se indican las especies (*sp*) a las que corresponde cada uno: So (*Sciaenops ocellatus*), Cn (*Cynoscion nebulosus*), Tm (*Totoaba macdonaldi*), Cac (*Cynoscion acoupa*).

Locus	sp	Cebadores	Repetición	Gen Bank	Rango Alélico Reportado	Autores
Soc826	So	GGCAGGATTTAGGCAATTCA	(GTGA)11	JF509133	183-211	Renshaw et al., 2012
	Cn	ACACACTCCTGTGTGCAACC			210-294	Renshaw et al., 2012
Soc507	So	GCTGAGCAGAAAAGATGAGATAG	(GATA)24	EF609021	291-379	Karlsson et al., 2008
		CAGAGAGCCCAATGAAGTGC				
Soc554	So	GAAAGTAGTCCAACATCCAAGT	(CA)40	EF609054	204-276	Karlsson et al., 2008
		AAATGCCAGTTTTCTCAGG				
Soc609	So	CCCGCATTAGACAGAAAAC	(CA)23	EF609099	281-351	Karlsson et al., 2008
		ATGGGTATGTGTGGCTTACAG				
Cyne2	Cn	GCGTGAGGAGCTAGGAATCA	(GT)^12		255-295	Piller and Cordes
		AGCTGCAGAGAGACGCATTA*				
Cyne12	Cn	GACTCACACTTCATACGGCT	(GT)^21		147-195	Piller and Cordes
		TTACTGTCACCTCCCGTTGG*				
Tmac06a	Tm	TGTA AACGACGGCCAGT ATTAAAGAAGAGTGCAGGAAC	(GT)17	HM130048	144-180	Garcia de leon et al., 2010
		TGTGTCTTTTGATGTGTTTGT				
Tmac74	Tm	TGTA AACGACGGCCAGT ATCGATTTTCATCAACAGGT	(AG)18GG(AG)17	HM134219	116-168	Garcia de leon et al., 2010
		GTCTTTCTCTCTGCGTTTCT				
CacMic14	Cac	F-5'-TGTA AACGACGGCCAGT ATCTTCTCCCTCCGTCACACT-3'	(CT)12	DQ285034	145-161	Farias et al., 2006
		R-5'-CTGTGTTGTTAAGGCGCATC-3'				
CacMic18	Cac	F-5'-TGTA AACGACGGCCAGT GCTCGCCTCTCGTGTGTAAT-3'	(GT)11	DQ285038	290-302	Farias et al., 2006
		R-5'-CCTGTGAAACAGCCCATGTA-3'				

Las condiciones de la reacción de PCR, fueron las siguientes: 3 min a 94°C, 20 seg a 96°C, 40 seg empleando diferentes temperaturas de anillamiento durante la estandarización para cada juego de cebadores específicos de cada microsatélite (Tabla 2), finalmente 40 seg a 72°C, esta reacción se realizó por 25 ciclos.

Tabla 2. Temperaturas de anillamiento empleadas para cada microsatélite. T_m, temperatura de anillamiento.

Microsat.	Tmac74	Cyne12	Soc609	Soc826	CacMic14	Soc554	Soc507	Tmac06a	CacMic18	Cyne2
T _m °C	56	56	56	56	56	56	53	56	56	56

Posteriormente se realizó una segunda reacción de PCR inmediata a la reacción anterior, con las siguientes condiciones para todos los microsatélites, 8 ciclos de 20 seg a 95°C, 40 seg a 53°C y 40 seg a 72°C, terminando con una extensión final de 15 min a 72°C.

Selección de microsatélites

Los productos de PCR se evaluaron mediante electroforesis horizontal en geles de agarosa al 1.5% corrida a 5 V/cm durante 90 minutos. Los microsatélites empleados para el análisis fueron seleccionados en varias etapas. Primero, se escogieron los microsatélites que al ser amplificados mostraron productos favorables de tamaño esperado, tomando como base dos muestras para cada especie. Después, los loci de dicho grupo, fueron marcados con fluorocromos y amplificados, verificando los productos en gel de agarosa. Finalmente, este grupo de microsatélites marcados y con amplicones de buena intensidad, se evaluó

mediante un análisis automatizado de fragmentos y se eligieron los microsatélites más informativos y que mostraron un patrón de alelos definido en el electroferograma.

Genotipado

El genotipado de las muestras se efectuó a través del programa GeneMarker V1.8.5 (SoftGenetics EE.UU), con el que se determinó el tamaño de los alelos a partir de los archivos digitales de los electroferogramas. El registro del tamaño de los alelos se realizó por tres personas de forma independiente y fueron comparados posteriormente, así se definió la consistencia en la asignación de alelos.

La consistencia en el tamaño de los alelos se evaluó para las muestras testigo y entre los registros de los observadores independientes. Seguidamente se realizó la asignación de alelos con el apoyo del software FlexiBin (Amos et al., 2007). Una vez asignados los alelos, se procedió a analizar los genotipos multilocus a través de los programas MICRO-CHECKER v2.2.3 (Van Oosterhout et al., 2003), MSTOOLS v3.1.1 (Park, 2001) GenALEx v6.3 (Peakal y Smouse, 2006) y ARLEQUIN v3.1 (Excoffier et al., 2005); con el fin de hacer una estricta selección de los microsatélites con el mejor desempeño y evitar introducir un sesgo en los siguientes análisis.

Con el programa MICRO-CHECKER se identificaron errores en el genotipado debido a alelos no amplificados (alelos nulos), amplificación diferencial de los alelos (allelic dropout), tartamudeo de polimerasa (stutter peaks) o errores tipográficos.

Posteriormente, con el programa MSTOOLS (Park, 2001) se determinó el contenido de información polimórfica de cada locus.

Por otra parte, el software GenAlex se empleó para verificar la correcta asignación de las poblaciones según el genotipo multilocus (Peakal y Smouse 2006).

Por último, el análisis de desequilibrio en el ligamiento entre los microsatélites (Pairwise linkage disequilibrium) se llevó a cabo en el programa ARLEQUIN. En este caso, si dos loci se encuentran ligados, no se considera como marcadores con segregación independiente, para evitar la introducción de sesgo al estimar la diversidad genética (Guo y Thompson, 1992).

Análisis de datos

Diversidad genética

El análisis de diversidad para cada locus se realizó con los programas ARLEQUIN v3.1 (Excoffier et al., 2005), GenALEX v6.3 (Peakall y Smouse, 2006) y MSTOOLS v3.1.1 (Park, 2001). Todos estos programas calculan, con base en las frecuencias alélicas, la heterocigosidad observada (H_o) y la esperada (H_e) bajo las condiciones de equilibrio de Hardy–Weinberg para cada locus. Para analizar los microsatélites y evaluar su calidad, se utilizó el software Microchecker.

Estructura poblacional

Para determinar la estructura genética poblacional entre las localidades muestreadas, se usó el análisis de varianza molecular (AMOVA) jerárquico a través del programa ARLEQUIN V 3.5.1.2.

La significancia estadística del AMOVA se evaluó a través de 5000 permutaciones no paramétricas, con base al estadístico F de Wright (Fst Wright, 1965). Además, se emplearon dos aproximaciones teóricas del modelo de mutación de los loci de microsatélites, La primera aproximación se basa en el modelo de alelos infinitos (IAM) y está representado por el índice Fst, el cual sólo considera la frecuencia de los alelos detectados considerando que cada mutación da origen a un nuevo alelo.

La segunda se basa en el modelo de mutación por pasos (SMM) y se representa a través del índice R_{st} , considerando además de la frecuencia de los alelos, la distancia genética molecular encontrada entre estos (Balloux y Lugon-Moulin, 2002). El nivel de significancia de todos los análisis estadístico fue considerado del 95% ($\alpha=0.05$).

Historia demográfica

Se utilizó el programa Bottleneck V 2.6, que calcula la distribución de la heterocigosidad esperada en base al número de alelos observados (k), según el tamaño de la muestra (n), en el supuesto de equilibrio mutación-deriva, para cada muestra de población y cada locus.

Este programa, permite el cálculo de la media (H_e esperada), que se compara con la heterocigosidad observada, para establecer si hay un exceso o déficit de heterocigosidad en cada locus. Seguidamente, con base en los resultados de las pruebas estadísticas para cada modelo de mutación (Cornuet y Luikart, 1996; Luikart et al. 1997), la forma de la distribución de frecuencias de alelos se compara con la esperada bajo condiciones de equilibrio deriva-mutación (forma de L) o de eventos de cuellos de botella (sin forma de L).

RESULTADOS

El presente estudio sobre la caracterización genético-poblacional de la corvina golfina, fue basado en 74 ejemplares (con tamaños entre 300 mm hasta 710 mm de longitud total) procedentes de diferentes localidades y temporadas en la Reserva del Alto Golfo de California (Tabla 3).

Tabla 3. Número de especímenes de corvina golfina *Cynoscion othonopterus* recolectados en las costas del AGC durante las temporadas de pesca del 2010 al 2013. *N* representa el número total de especímenes.

Grupo (Localidad/año)	Grupos asignados	N
San Felipe 2010	G01	11
Santa Clara 2012	G02	19
Santa Clara 2013	G03	15
El Zanjón 2013	G04	29
Total		74

Por otro lado, fue seleccionado un grupo confiable e informativo de microsatélites para hacer una evaluación del estado genético poblacional de corvina golfina, considerando que fueron evaluados rigurosamente y se evitó introducir sesgos o errores en los análisis. Así mismo, no se encontró evidencia de alelos nulos o desequilibrio de ligamiento, ninguno de los loci resultó ser monomórfico ($p > 0.05$) y los valores de PIC fueron encontrados entre 0,1 y 1,0 (Tabla 4).

Tabla 4. Contenido de información polimórfica (PIC) de cada loci evaluado en corvina golfina.

Locus	PIC
Cyne12	0.8958
Soc609	0.7543
Soc826	0.9515
Tmac74	0.2769
CacMic14	0.8402
Soc54	0.7964
Soc507	0.9634
Tmac06	0.4779
CacMic18	0.8088
Cyne2	0.9215

Diversidad genética

A través del análisis de los 10 microsatélites mostrados en la tabla 4, los indicadores de la diversidad genética molecular evidencian, en este caso, un número menor de heterocigotos observados en la muestra respecto al número esperado (Tabla 5).

Tabla 5. Polimorfismo promedio del genotipo multilocus y diversidad genética de *C. othonopterus* de Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. N, número de individuos analizados; Na, número de alelos; Ho, heterocigosidad observada; He, heterocigosidad esperada.

Especie	N	Na	Ho (D.E)	He (D.E)
<i>C. othonopterus</i>	74	19.273	0.552 (0.297)	0.720 (0.307)

Por otra parte, fue posible detectar en promedio, 19 alelos en la corvina golfina (Tabla 5). En detalle, el locus 074 presentó 11 alelos; los loci 012 y 014, 18 alelos cada uno; para el locus 554, se determinaron 21 alelos; en los loci 609 y 826 se encontraron 11 alelos en cada uno; en el 826, 11 alelos; en el locus 006 se indicaron 8 alelos; en el 018, 15 alelos; y el locus 507 fue en el que se determinó mayor polimorfismo con 47 alelos (Tabla 6) y un PIC de 0.9634 (tabla 4).

Tabla 6. Número de alelos encontrados por locus y por localidad para corvina golfina en San Felipe (2010), Santa Clara (2012 y 2013) y El Zanjón (2013). Na, número de alelos; Ho (heterocigosidad observada) y He (heterocigosidad esperada).

	Tmac74	Cyne12	Soc609	Soc826	CacMic14	Soc54	Soc507	Tmac06	CacMic18	Cyne2
Total de Alelos por Locus										
	7	18	11	11	18	21	47	8	15	25
San Felipe 2010										
Na	3	9	5	11	6	6	21	3	11	12
Ho	0,0909	0,4	0,8182	0,5	0,7	0,2727	0,9091	0,5455	0,9091	0,7273
He	0,1775	0,9211	0,7576	0,9368	0,6579	0,6364	0,9957	0,5411	0,8745	0,9394
Santa Clara 2012										
Na	4	13	7	19	9	11	24	5	7	14
Ho	0,1053	0,3684	0,6842	0,4737	0,6842	0,3684	0,8421	0,3684	0,8947	0,7895
He	0,3656	0,8777	0,8137	0,9602	0,8563	0,7738	0,9616	0,5477	0,8265	0,9147
Santa Clara 2013										
Na	5	11	10	14	12	15	20	5	12	16
Ho	0,2	0,5333	0,7333	0,5	0,6667	0,8	0,7333	0,4667	1	0,9333
He	0,4575	0,8966	0,7977	0,9339	0,8874	0,8736	0,9724	0,5356	0,908	0,9517
El Zanjón 2013										
Na	3	17	10	28	14	13	30	5	12	18
Ho	0,0345	0,3214	0,8571	0,5556	0,7931	0,5862	0,8966	0,6207	0,7586	0,7857
He	0,1942	0,9234	0,7695	0,9665	0,8857	0,8524	0,9704	0,5154	0,7973	0,9331

Asignación de poblaciones

Para la asignación de poblaciones se realizó el análisis basado en el genotipo multilocus de las muestras de corvina golfina, y se observó que no hay una separación de los cuatro grupos de muestreo. En la figura 4 se observa que El grupo de El Zanjón 2013 (ES13) cruza todos los grupos.

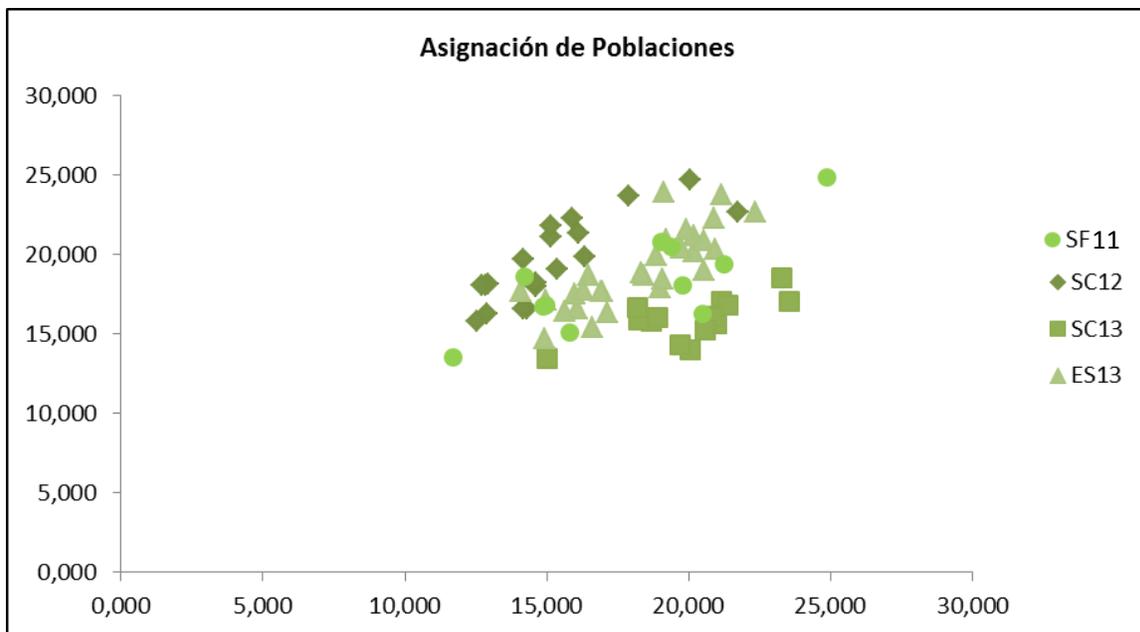


Figura 4. Asignación de poblaciones de las muestras de corvina golfina, tomadas en la Reserva del Ato Golfo y Delta de Río Colorado, Baja California, México. Se muestran los puntos resultantes de los valores de asignación para cada ejemplar. SC12, Santa Clara, año 2012; SC13, Santa Clara, año 2013; ES13, El Zanjón, año 2013; SF11, San Felipe año 2010.

Ahora bien, con un total de 74 ejemplares y 10 loci, el grupo de microsatélites empleado para corvina en el presente estudio, muestra un 96% de asignación correcta de los grupos, mientras que el 4% restante corresponde a 3 casos mal clasificados de las 29 muestras tomadas en El Zanjón (ES2013), para los demás grupos el total de muestras están bien clasificadas (Tabla 7). Cabe anotar, que

dos de los casos mal clasificados están ubicados en el grupo Santa Clara 2012 y el otro caso se clasifica en San Felipe 2010.

Tabla 7. Asignación de poblaciones. BC, indica el número de casos bien clasificados; MC, indica el número de casos mal clasificados.

Grupo	BC	MC
San Felipe 2010	11	
Santa Clara 2012	19	
Santa Clara 2013	15	
El Zanjón 2013	26	3
Total	71	3
Porcentaje	96%	4%

Estructura genética

Los valores de heterocigosidad obtenidos para cada grupo, son similares entre las cuatro localidades muestreadas. Es posible observar que aunque presentan diferente cantidad de alelos cada una, los valores de heterocigosis esperada superan los de la heterocigosis encontrada (Tabla 8).

Tabla 8. Estadísticos descriptivos para cada una de las localidades analizadas en la RBAGCyDR. N, número de individuos analizados; Na, promedio número de alelos; Ho, proporción observada de heterocigotos; He, proporción esperada de heterocigotos; S.D, desviación estándar.

Grupo	N	Na	Ho (D.E)	He (D.E)
San Felipe	11	8.09	0.534 (0.316)	0.692 (0.294)
Sta Clara 2010	19	11.30	0.558 (0.258)	0.789 (0.191)
Sta Clara 2012	15	12.00	0.657 (0.238)	0.821 (0.179)
El Zanjón	29	15.00	0.621 (0.268)	0.781 (0.246)

Ahora bien, los resultados del análisis de varianza molecular (AMOVA) arrojado por el software Arlequin, permiten observar que la estimación de la diferenciación genética se presentó con valores muy bajos (alrededor de 0) y estadísticamente no significativos, tanto para el F_{ST} como para el R_{ST} (Tabla 9).

En cuanto a la partición de varianza, en el caso del F_{ST} , se observó que el 99.54% fue explicada por las diferencias dentro de las localidades y el 0.46% fue asociada a las diferencias entre las localidades (Tabla. 9).

Por su parte, para el R_{ST} , la partición de varianza fue asociada en más de un 100% por las diferencias dentro de las localidades y el 0% fue explicada por las diferencias entre las localidades (Tabla 9).

Tabla 9. Índices de diferenciación genética.

Índice	Valor	<i>p</i>	Varianza entre grupos (%)	Varianza dentro de grupos (%)
F_{ST}	0.00465	0.57185±0.01255	0.46%	99.54%
R_{ST}	-0.00065	0.52199±0.01685	0.00%	100.07%

Historia Demográfica

Los resultados de las pruebas estadísticas realizadas a través del software Bottleneck (Tabla 10), en el caso del modelo de mutación por pasos (SMM), marcan una diferencia significativa entre la heterocigosis observada respecto a la esperada para ambos estadísticos (Sign Test y Wilcoxon Test). Sin embargo, sobre el modelo de mutación de alelos infinitos (IAM), no se evidenció diferencia significativa entre la heterocigosis observada y la esperada, bajo ninguno de los dos estadísticos.

Tabla 10. Pruebas estadísticas para modelaciones de demografía histórica en el supuesto equilibrio deriva-mutación. Según los modelos de Mutación de Alelos Infinitos (IAM) y Mutación por pasos (SMM).

	Prueba SIGN		Prueba WILCOXON	
	SMM	IAM	SMM	IAM
<i>C. othonopterus</i>	0.00046	0.49365	0.00195	0.83105

DISCUSIÓN

Identificación del recurso

Los caracteres anatómicos que permitieron el diagnóstico en la identificación taxonómica de la corvina golfina fueron el número de branquiespinas, el cual se precisa entre 22 y 27. Este intervalo en el número de branquiespinas lo distingue de otras especies congénéricas que exhiben números por debajo de 16 branquiespinas (Chao, 1995).

Validación de la implementación y selección de microsatélites

El análisis de control de calidad del juego de microsatélites empleado en evaluar los aspectos genético –poblacionales de corvina golfina, no eliminó ninguno de los 10 marcadores evaluados, es decir, los resultados de control de calidad, validan el juego implementado de microsatélites, ya que fue posible descartar la presencia de alelos nulos, no se reporta desequilibrio de ligamiento, ninguno de los loci fue asignado como monomórfico.

A través de los resultados presentados, se brinda un análisis con mayor resolución respecto a los datos obtenidos en el trabajo de Ríos-Medina (2012), ya que en el presente trabajo, se empleó un total de 10 loci, 5 loci más que en dicho estudio. De los 10 loci analizados, todos cuentan con un contenido de información polimórfica cercano a 1.0, y tres de ellos fueron también empleados en el estudio de Ríos-Medina (2012) (Tma06, Cac14, Cac18). Así mismo, Ríos-Medina (2012), empleó 35 muestras de corvina golfina, provenientes de los sitios de desembarque de Santa Clara y San Felipe; por su parte, la presente investigación, se realizó con un mayor número de muestras (n=74) provenientes de tres sitios de desembarque (Santa Clara, San Felipe y El Zanjón), lo cual brinda a la vez un panorama más amplio de la riqueza alélica de la especie, ya que en este caso se encontraron 19.3 alelos, mientras que Ríos-Medina (*op cit*) estimó 13.8 alelos.

Frecuencias y Variabilidad Genética

En este estudio realizado en corvina golfina, se encontró que la homocigosidad observada en la población, es mayor que la homocigosidad esperada, es decir, la variabilidad genética de la especie es baja. Este escenario, refleja una tendencia de endogamia en la especie (Moreira *et al.*, 2003; Povh *et al.*, 2006) y en consecuencia, indirectamente, la pérdida de la eficacia biológica ya que se podrían fijar alelos deletéreos (Lande, 1988) y reducir entonces su potencial de adaptación (Comet y Liukart, 1996). Por lo tanto la pesquería de corvina golfina actualmente puede no ser sustentable, ya que la variabilidad genética, se ha considerado como un indicador adecuado que permite conocer la viabilidad de la explotación de poblaciones por medio de la pesca (De la Rosa-Velez y Rodríguez-Romero, 1990), y según lo indica Pereira (2009), cuando una población presenta niveles bajos de variabilidad genética, esta se encuentra en un estado vulnerable a la sobreexplotación.

Dado que la pesquería de la corvina golfina puede no ser sustentable, es recomendable comenzar a promover la pesca de otras especies que se encuentren en la zona y cuya dinámica poblacional sea conocida, y de esa manera disminuir y reemplazar de forma paulatina la pesca de la corvina golfina, ya que una pesquería sustentable está basada en la conservación del recurso (INAPESCA, 2006). También, si se reduce de este modo la pesca de corvina golfina, es posible aprovechar el alto valor comercial del buche de esta especie para compensar económicamente la reducción de las cuotas de captura y aunado a esto, es importante vigilar estrictamente el cumplimiento de las medidas de manejo que se han tomado hasta ahora respecto a la captura de la especie para promover la conservación.

Es necesario tener en cuenta que la captura pesquera afecta en primer término al recurso objetivo. Así, si el esfuerzo de captura, llega a superar la capacidad de

recuperación de las poblaciones, se reduce la abundancia de la especie, su potencial de desove y posiblemente sus parámetros poblacionales, como la velocidad de crecimiento, edad a la maduración, estructura de edades y tamaños, y la variabilidad genética (García et al., 2003).

Los resultados obtenidos en cuanto a variabilidad genética de ADNn ($H_o=0.552$ y $H_e=0.720$) son menores que los encontrados en 2012 por Ríos-Medina ($H_o=0.7371$ y $H_e=0.7831$) para corvina golfina. A su vez, estos valores de heterocigosidad observada (H_o) y los encontrados en el presente análisis de corvina golfina, son menores que los reportados por Ríos-Medina (2012) en el caso de corvina rayada (*Cynoscion reticulatus*) ($H_o=0.7657$ y $H_e=0.7640$), cuyos valores de H_o corresponden a los de H_e . En contraste, corvina rayada cuenta con un ámbito de distribución más amplio que la golfina en el AGC, y además presenta una explotación pesquera baja y no se encuentra amenazada (IUCN, 2011).

También, existen otras especies de esciénidos del Golfo de California que han estado en peligro, principalmente porque fueron sobreexplotadas comercialmente hasta estar en peligro de extinción, como es el caso de *Totoaba macdonaldi*. La pesquería de totoaba, también estaba dirigida hacia las agregaciones reproductivas como sucede con la corvina golfina, dicha pesquería colapsó en los 70's y actualmente está protegida mediante la veda de su pesca. No obstante, estudios recientes basados en análisis de microsatélites, han demostrado que la especie presenta valores de variabilidad genética dentro de los rangos esperados (García de León et al., 2010, Calderón-Marmolejo et al., 2013), y estudios basados en ADNm la encuentran dentro de un escenario demográfico estable (Enriquez et al., 2008).

En el caso de la corvina golfina, se ha planteado que sufrió recientemente una reducción en su tamaño efectivo (Ríos-Medina, 2012), escenario congruente con la baja variabilidad genética encontrada en el presente estudio, ya que el tamaño

de la población puede afectar a la frecuencia en la que un mutante se encuentra presente e influir en la diversidad génica de la población. Es decir, dado que las tasas de mutación son relativamente constantes y casi siempre bastante bajas, las poblaciones grandes tienen normalmente una mayor diversidad génica (más alelos, más mutantes) que las poblaciones pequeñas.

También, la reducción de la variabilidad genética genera mayor sensibilidad de las poblaciones a las variables ambientales y puede provocar la extinción de una especie (Guttman y Berg, 1998). Así, poblaciones sometidas a sobreexplotación pesquera están destinadas al colapso de su pesquería y probablemente a su extinción. Esto ya ha ocurrido en otras especies de interés pesquero, cuyas pesquerías han colapsado, y las especies se encuentran en peligro de extinción o ya se reportan como extintas. Por ejemplo, el sabalito (*Steindachnerina brevipinna*) en el río Paraná y el salmón de río (*Brycon orbignyanus*) especie endémica de pez de la familia characidae de la Cuenca del Río Plata en Argentina que presentan baja variabilidad genética y se encuentran en peligro (Oliveira et al., 2002; Lopera-Barrero et al., 2006).

Asignación de Poblaciones y Estructura Poblacional

El análisis de varianza molecular (AMOVA), explica que el principal componente de la diversidad genética de *C. othonopterus* de las localidades estudiadas corresponde a la varianza dentro de los grupos, mientras que una contribución mucho menor corresponde a la varianza entre los grupos muestreados. En el análisis, los valores obtenidos de p ($p > 0.05$), permiten aceptar la hipótesis nula de no hay diferencias entre los grupos muestreados, por lo cual se confirma que existe una sola población de corvina golfina en la RBAGC y DRC.

De manera congruente, los índices de diferenciación, comprueban la hipótesis nula. En detalle, el F_{st} , se puede interpretar como la medida de la cantidad de diferenciación entre subpoblaciones, a partir de las varianzas de frecuencias de los alelos (Wright, 1978), pero puede llegar a ser cuestionable si se emplea en análisis con microsatélites por la alta tasa de mutación de estos (Weber y Wong 1993., Jarne y Lagoda 1996., Balloux y Lugon, 2002). En cambio, el R_{st} (calculado a partir de las variaciones de los tamaños de los alelos) es un análogo del F_{st} , pero asume el modelo de mutación por pasos (SMM), reflejando así, con mayor precisión el patrón de mutación de los microsatélites (Slatkin, 1995., Balloux y Lugon, 2002) y es independiente de la tasa de mutación (Kimmel y col. 1996) aunque presenta una alta tasa de variación. Teniendo en cuenta estos aspectos, en el presente estudio, los análisis de diferenciación, son concordantes entre sí, lo cual valida sin duda los resultados obtenidos.

Es prioritario saber que las estimaciones del F_{st} o R_{st} podrían no ser confiables en el caso de tener una varianza asociada alta; en dicha situación se recomienda reducir la varianza incrementando el tamaño de muestras y el número de loci (Balloux y Lugon, 2002). Por consiguiente, en esta investigación se trabajó con un número de muestra mayor y una mayor cantidad de loci que los reportados en el trabajo de Ríos-Medina (2012).

Es necesario mencionar que pese al escenario poblacional que presenta la especie, en el cual no hay una estructura, los resultados encontrados a través del análisis de asignación de poblaciones permite ver una aparente diferenciación de los grupos muestreados. Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que los análisis de F mostraron que esta diferencia no es significativa. Este hecho, evidencia entonces que la especie presenta flujo genético, y es en consecuencia una población continua.

De cualquier modo, en relación con las aparentes agrupaciones en la población, cabe anotar que la distribución de la especie está asociada a su ciclo biológico. La

corvina golfina depende en gran medida para reproducirse de los ambientes salobres y oligohalinos del Río Colorado (Alvarez de Williams, 1998). Los juveniles se asocian a la zona de marismas, praderas de pastos marinos y zonas rocosas al sur de la zona de crianza. Migran hacia el sur por la costa de Baja California, probablemente buscando áreas de protección contra depredadores; los adultos frecuentan aguas más profundas del Alto Golfo de California (Acosta-Valenzuela, 2008). En su primer año de edad se mueven hacia al sur de la zona de crianza, ya que es posible encontrar juveniles en zonas aledañas a San Felipe y Puertecitos, B.C. (Román, 1998).

Debido a que la presencia o ausencia de estructura genética se refleja en el número de alelos que se intercambian entre las poblaciones, esta tiene importantes consecuencias en la composición genética de los individuos (Barton y Hewitt 1985). Esta importancia se da porque el flujo de genes genera nuevo polimorfismo en la población y aumenta el tamaño efectivo poblacional pero poblaciones aisladas y pequeñas están sujetas a la deriva genética y a la fijación de mutaciones deletéreas (Frankham y Ralls 1998; Saccheri et al., 1998 ; Eldridge et al. 1999 ; Higgins y Lynch 2001). Por tanto, el conocer la estructura de las poblaciones, puede brindar instrucciones valiosas para las estrategias de conservación y manejo (Rossiter et al. 2000; Eizirik et al. 2001).

En este caso, el hecho de que sea una sola población genéticamente homogénea, facilita las convenciones políticas o administrativas (Pereira, 2009).

Historia Demográfica

En cuanto a la historia demográfica de la población, los análisis basados en la distribución de frecuencias de alelos de corvina golfina demuestran la evidencia de

un cuello de botella en la población. En este sentido, bajo el modelo de Mutación de Alelos Infinitos (IAM) no se detectó diferencia significativa entre la heterocigosidad observada y la esperada según las pruebas estadísticas empleadas, con lo cual la reducción del tamaño efectivo poblacional no estaría sustentada. Sin embargo, los microsatélites tienen más probabilidades de evolucionar a través del modelo de mutación por pasos (SMM) (Goldstein y Schlötterer., 1999) que bajo un escenario de alelos infinitos. Así pues, en el presente estudio, si hay una diferencia significativa entre la heterocigosidad observada y la esperada según el SMM bajo las pruebas de sign y Wilcoxon, poniendo de manifiesto la reducción del tamaño efectivo poblacional y la reducción relativa de los números de los alelos.

De esta forma, una de las maneras en que es posible ver una disminución en los niveles de abundancia de la población traducido en bajos valores de diversidad, es en eventos de un cuello de botella recientes (Baker y Clapham, 2004).

El hecho de que la población acabe de sufrir una reducción significativa en su tamaño, es de gran importancia para la conservación porque sería una población con mayor riesgo de extinción, ya que las especies amenazadas presentan mayor propensión a aumentar las tasas de endogamia, a la pérdida de variación genética y a la fijación de alelos ligeramente deletéreos que en consecuencia reducen su potencial de adaptación (Cornuet y Luikart, 1996). La conjunción de estos factores con la explotación pesquera y la falta de mayor protección de la especie, no favorecen que la población pueda alcanzar su equilibrio demográfico.

Rios-Medina (2012) encontró evidencias de reducción del tamaño poblacional de la corvina golfina a mayor escala temporal a través del ADN mitocondrial. Adicionalmente, los resultados obtenidos en el presente estudio, permiten ver un cuello de botella más marcado que el detectado por Rios-Medina (*op cit.*), quien empleó un menor número de marcadores tipo microsatélites. Este escenario que

ha sido posible observar, resulta congruente con la historia pesquera de la población de corvina golfina, en la que de acuerdo con las observaciones de los pescadores del Golfo de Santa Clara esta especie no se registró por 30 a 40 años y posteriormente resurgió en la década de los 90's (Román, 2000).

Por otra parte, se ha reportado una disminución en la talla promedio de la captura comercial de corvina golfina. El problema radica en que la población más longeva está siendo extraída, lo que dificulta encontrar individuos con talla mayor a los 80 o 90 centímetros. Además, la población está sufriendo una fuerte presión de pesca que impide el reclutamiento de organismos longevos al stock reproductivo (CEDRSSA, 2005).

Según lo plantean Ruelas-Peña (2013), el stock de corvina golfina ha disminuido desde 1999. Por lo tanto, es importante que se tome en cuenta que un incremento paulatino en la flota pesquera, como ocurrió en el periodo comprendido hasta el año 2000, podría favorecer una cuota de captura más alta y que de continuar así, la tendencia en el incremento de la flota pesquera puede colapsar esta pesquería en algunos años (Román, 2008).

Es necesario mencionar que en la Carta Nacional Pesquera (2010), la pesquería de corvina se considera aprovechada al máximo sustentable. De acuerdo con la curva ajustada al modelo de producción de Schaefer, el RMS para la corvina es de 3,300 toneladas anual, considerando un esfuerzo de 1,600 embarcaciones. Sin embargo Ruelas-Peña (2013), plantean que el RMS es de 3,100 toneladas, correspondientes a un esfuerzo de 457 embarcaciones. Estos datos aunados a los resultados obtenidos en esta investigación, indican que la pesquería de corvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) requiere especial atención.

Así mismo, es importante tener presente que un aumento temporal en la captura, tras una expansión del esfuerzo pesquero, no debe prestarse para creer

erróneamente que todavía hay potencial para una mayor intensificación de la pesca, como lo plantea Panayotou (1983). Respecto a esto, hay evidencias de que después del 2002, la producción de corvina golfina disminuyó gradualmente, a pesar de que el esfuerzo de pesca permaneció constante (Ruelas-Peña et al., 2013), en consecuencia, estas variables influyen en el estado de vulnerabilidad genética y supervivencia de la población.

Recomendaciones

1. De forma general, es recomendable que se tomen en cuenta medidas que permitan conservar la diversidad genética de la población de la corvina golfina en la Reserva del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Entre ellas, hacer solo uso de redes agalleras con 14.6 cm de luz de malla, lo cual mantiene la pesca incidental de individuos menores a 65 cm de longitud total por debajo del 35% y es la única que cumple con la normatividad mexicana (Solana et al., 2012), así se garantiza que no sea reducido el tamaño efectivo de la población.
2. Aumentar el monitoreo y vigilancia de la zona de captura de la corvina golfina, de forma que la pesca no exceda el rendimiento máximo sostenible (Ruelas-Peña, 2013).
3. Proponer y fomentar la pesca sustentada de otras especies en la zona del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, cuyas dinámicas poblacionales estén plenamente conocidas. De no establecerse esta alternativa podría generar un colapso en la pesquería de la corvina golfina en el corto plazo, afectando de manera inmediata a las comunidades de pescadores que dependen de esta pesquería.
4. Respecto a las investigaciones que procuran la conservación de corvina golfina, también hacen falta estudios que permitan determinar la tasa de pérdida de la variabilidad genética, así como la tasa de incremento de endogamia en la población, por ejemplo, estudiando la talla efectiva de la población (Hoelzel, 1992). De esta forma, se pueden predecir las consecuencias evolutivas de una población de determinado tamaño.
5. Es conveniente tomar medidas como las que se han discutido en este trabajo, las cuales vayan más allá del plan de manejo que actualmente se ha

manifestado para corvina golfina (DOF, 2012) y mientras tanto, se ofrezca un estricto cumplimiento al plan de manejo. Si bien, la corvina golfina es una especie que se encuentra regulada por la NOM, no se ha clasificado como una especie amenazada, a diferencia de otras especies del AGC que se encuentran con su estatus en peligro y su pesca se encuentra en veda. Es importante señalar que las medidas propuestas deben garantizar la calidad de vida de los pescadores y la conservación de los recursos.

CONCLUSIONES

- El grupo de microsatélites implementado es informativo y puede ser empleado en futuros análisis genético-poblacionales de *C. othonopterus*.
- *Cynoscion othonopterus* presenta una variabilidad genética baja.
- La especie se encuentra como una sola población continua en el RBAGCyDRC.
- La población de corvina golfina ha pasado por un evento reciente de cuello de botella marcado.

REFERENCIAS

- Acosta-Valenzuela, Y. 2008. Aspectos de la biología reproductiva de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California. Tesis de Licenciatura. SEP. Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Sonora. 78 p.
- Alvarez de Williams, A. 1998. Los Cucapá: Gente del Río. En Voces del Mar: Una publicación sobre la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Eds. J.R. Cudney, C. Navarro y P.J. Turk Boyer. CEDO. Puerto Peñasco, Sonora, México.
- Alvarez Tinarejo, M. C. 1997. Análisis microscópico gonadal y fecundidad del Chano *Micropogonias megalops* en el litoral del Alto Golfo de California, para el periodo de 1993-1995. Tesis Biología. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de ciencias, Ensenada.
- Amos W, Hoffman JI, Frodsham A, Zhang L, Best S, Hill AVS. 2007. Automated binning of microsatellite alleles: problems and solutions. *Molecular Ecology Notes*. 7:10–14
- Aranguren-Mendéz, JA., R. Román-Bravo, W. Isea, Y. Villasmil y J. Jordana. 2005. Los microsatelites (STR's), marcadores moleculares de ADN por excelencia para programas de conservación: una revisión. *Producción Animal*. 13(1): 30-42.
- Baker, C.S. y P.J. Clapham. 2004. Modelling the past and future of whales and whaling. *Trends in Ecology and Evolution*. 19(7):365-371.
- Barrera G. J. y Campoy F. J. 1992. Recomendaciones para el manejo sustentable de la pesquería y protección de la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*, Joran y Gilbert, 1881), en la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Rio Colorado. INE.
- Barton N.H. y Hewitt G.M. 1985. Analysis of hybrid zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16, 113–148.

- Campoy F. J. 1999. Análisis de la Situación Pesquera en la Reserva de la Biósfera Alto Golfo de California y Delta del Rio Colorado. INE/SEMARNAT.
- Campoy, F. J. y M. Román. 1998. Observaciones sobre la biología y pesquería de curvina golfina en la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del rio colorado. INE. IMADES.
- Castro Gonzalez, J. J. 2004. Estudio base y estrategias de manejo e la pesquería del Chano *Micropogonias megalops*, caso de estudio: Alto Golfo de California. Tesis Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Árdas. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias, Ensenada.
- Chao, L.N. 1995. Sciaenidae. Corvinas, barbiches, bombaches, corvinatas, corvinetas, corvinillas, lambes, pescadillas, roncachos, verrugatos in Guía Fao para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacifico centro- oriental. Volumen III. Vertebrados- Parte 2. Rome.
- Chao, L.N. 2002. Sciaenidae. In: The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes part 2 (Opistognathidae to Molidae), sea turtles and marine mammals. 1583-1639 pp.
- Cisneros-Mata M.A., G. Montemayor-López y M.J. Roman-Rodriguez. 1995. Life History and Conservation of *Totoaba macdonaldi*. Conservation Biology 9(4): 806 814.
- Cisneros-Mata, M.A. 2001. "Pesca y manejo pesquero en el Golfo de California" Estudios Sociales 11: 57-69.
- CONANP. 2004. "Respuesta a las observaciones de COFEMER al programa de conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado". Nota informativa. 28 pp.
- CONANP, 2006. Propuesta de actualización del Programa de Conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

- CONANP y SEMARNAT. 2007. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera del Ato Golfo de California y Río Colorado. Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Cornuet JM, Luikart G. 1996. Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data. *Genetics* 144: 2001–2014.
- Craig, M.T., F.J. Fodrie y P. Hastings. 2004. The Nearshore Fish Assemblage of the Scripps Coastal Reserve, San Diego, California. *Coastal Management* 32: 341-351.
- CRIP Ensenada y Guaymas. 1995. Compilación biológico-pesquera de corvina golfina *Cynoscion othonopterus*, en el Alto Golfo de California, SAGARPA.
- Cudney, R. y P. J. Turk–Boyer. 1998. Pescando entre mareas del Alto Golfo de California. México, Centro Intercultural de Estudios de Desierto y Océanos, Puerto Peñasco, Sonora. 166 pp.
- Davis, A. 1995. Over-exploitation of *Pyura chilensis* (Ascidiacea) in southern Chile: the urgent need to establish marine reserves. *Revista Chilena de Historia Natural* 68: 107-116.
- De la Rosa–Vélez J, y Rodríguez–Romero F. 1988. Applicability of genetic variability measurements to the fishery of the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin) in the Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas* 14(4): 43–56.
- DOF. 2007. Diario Oficial de la Federación, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales: “Decreto del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California”. 2 pp.
- DOF. 2007. Norma Oficial Mexicana NOM-063-PESC-2005, Pesca responsable de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en aguas de jurisdicción federal del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado: especificaciones para su aprovechamiento. SAGARPA. 16 de Ago. de 2007. 7 p.

- DOF. 2010. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Jueves 2 de diciembre de 2010.
- Eizirik E, Kim J.H., Menotti-Raymond M., Crawshaw P.G., O'Brien S.J., Johnson W.E. 2001. Phylogeography, population history and conservation genetics of jaguars (*Panthera onca*, Mammalia, Felidae). *Molecular Ecology*, 10, 65–79.
- Eldridge M.D.B, King J.M, Loupis A.K. 1999. Unprecedented low levels of genetic variation and inbreeding depression in an island population of the black-footed rock-wallaby. *Conservation Biology*, 13, 531–541.
- Enríquez, L., Y. Schramm, J. De la Rosa, J. Quezada, C.D. True y J.A. Galarza. 2008. Identidad y demografía histórica de la población de totoaba *Totoaba macdonaldi* (Gilbert, 1890) con base en sus niveles de diversidad genética mitocondria. Resúmenes del XI Congreso Nacional de Ictiología. La Paz, Baja California Sur, México (28-31 Octubre).
- Excoffier L., G. Laval y Sachneiders. 2005. Arlequin (Version 3.0): An Integrated Software Pookage for Population genetics data análisis. *Evolutionary Bioinformatics online* 1: 47 -50.
- Farias I., I. B. Muniz, S. Astolfi-filho y I. Sampaio. 2006. Isolation and characterization of DNA microsatellite primers for *Cynoscion acoupa*, the most exploited sciaenid fish along the coast of Brazil. *Molecular Ecology Notes* 6:660-663.
- Frankham R., Ralls K. 1998. Conservation biology: Inbreeding leads to extinction. *Nature*, 392, 441–442.
- FSCPP. 2009. Federación de Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera Ribereña del Puerto de San Felipe, S. de R.L. de C.V. Pesca Ribereña Multiespecífica Manifestación de Impacto Ambiental modalidad regional. 337 pp.

- García de León F. J., R. Valles-Jimenez, K. Shaw, R. Ward, J. A. de Anda Montañez and M. E. Martínez Delgado. 2010. Characterization of fourteen microsatellite loci in the endemic and threatened totoaba (*Totoaba macdonaldi*) from the Gulf of California. *Conservation Genetics Resources* 2(1): 219-221.
- García, S.M.; Zerbi, A.; Aliaume, C.; Do Chi, T.; Lasserre, G. 2003. The ecosystem approach to fisheries. Issues, terminology, principles, institutional foundations, implementation and outlook. FAO Fisheries Technical Paper. No. 443. Rome, FAO. 2003. 71 p.
- Gasca Montes de Oca M, y Rodríguez Romero F. 1999. Manipulación genética en el cultivo de moluscos en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 49: 229-236.
- Goldstein, D.B. and C. Schlotterer. 1999. *Microsatellites: Evolution and Applications*. Oxford University Press, New York, 368p.
- Guo S. y E. Thompson. 1992. Performing the exact test of Hardy-Weinberg proportion for multiple alleles. *Biometrics* 48: 361-72.
- Guttman, S.I. y D. Berg. 1998. Changes in the genetic diversity of aquatic organisms in the great lakes: causes and consequences. *Setae News*. p. 23-24
- Higgins K, Lynch M. 2001. Metapopulation extinction caused by mutation accumulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 98, 2928–2933.
- Hoelzel, A.R. 1992. *Molecular genetic analysis of populations: a practical approach*. Oxford: Oxford University Press.
- RAMSAR. 2001. Ficha informativa de los Humedales de Ramsar: “Humedales del Delta del Río Colorado”. 20 pp.

- IAES. 2011. Monitoreo piloto de la pesquería de curvina golfina, *Cynoscion othonopterus*, en la temporada de aprovechamiento 2011, en el Golfo de Santa Clara, Sonora.
- IUCN. 2011. Red List of Threatened Species. Version 2011.1
- IUCN. 2012. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN. vi + 34pp. Originalmente publicado como IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. (Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2012).
- Jarne P., y Lagoda P.J.L. 1996. Microsatellites, from molecules to populations and back. *Trends in Ecology and Evolution*, 11, 424–429.
- Kimmel M, Chakraborty R, Stivers DN, Deka R. 1996. Dynamics of repeat polymorphisms under a forward-backward mutation model: within and between population variability at microsatellite loci. *Genetics*, 143, 549–555.
- Lande, R. 1988. Genetics and Demography in Biological Conservation. *Science* 241:1455-1460.
- Lopera-Barrero, N.M., R.P. Ribeiro, R.N. Sirol, J.A. Povh, P.C. Gomes, L.Vargas y D.P. Streit Jr. 2006. Genetic diversity in piracanjuba populations (*Brycon orbignyanus*) with the RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) markers. *Journal Animal Science* 84:170-170.
- Lugon-Moulin N, Brünner H, Wyttenbach A, Hausser J, Goudet J. 1999. Hierarchical analysis of genetic differentiation in a hybrid zone of *Sorex araneus* (Insectivora, Soricidae). *Molecular Ecology*, 8, 419–431.
- Martínez, M.J. y L.B.E. Flores. 2009. CONANP: Boletín Informativo Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. 4pp.
- Moreira, H.L.M., S. Zimmermann, R.R. Ribeiro, R.G. Bastos, L.D. Vargas y J.A. Povh. 2003. The use of RAPD (Random Amplified Polymorphism DNA) for

genetic monitoring in breeding programs of tilapia. Page 460. In: World Aquaculture, Salvador, Brasil (Abstract).

Morgan, L., S. Maxwell, F. Tsao, T. Wilkinson, and P. Etnoyer. 2005. Marine priority conservation areas: Baja California to the Bering Sea. Commission for Environmental Cooperation of North America and the Marine Conservation Biology Institute, Montreal. 132pp.

Nelson, J.S. 1994. Fishes of the World. 3rd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, 600 pp.

Oliveira, A.V., J.A. Prioli, S.M.A.P. Prioli, C.S. Pavanelli, H.F. Júlio Jr. y R.S. Panarari. 2002. Diversity and genetic distance in populations of *Steindachnerina* in the Upper Paraná river floodplain. *Genetica* 115:259-257.

Panayotou, T., 1983 Conceptos de ordenación para las pesquerías en pequeña escala: aspectos economicos y sociales. FAO, Doc.Téc.Pesca, (228):60 p.

Paredes, G.A., B. Erisman, I. Mascareñas Ososrio, J. Cota Nieto, K. Gherard y O. Abruto Oropeza. 2010. La curvina golfinia: Biología, pesquería y su gente. CONABIO. *Biodiversitas*, 91:1-5.

Park, S. 2001. MStools v 3 (Excel spreadsheet toolkit for data conversion). Smurfit Institute of Genetics, Trinity College, Dublin 2, Ireland.

Peakall R y P.E Smouse. 2006. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6: 288-295.

Povh J.A., N.M. Lopera-Barrero, R.P. Ribeiro, E. Lupchinski Jr., P.C. Gomes, and T.S. Lopes. 2008. Genetic monitoring of fish repopulation programs using molecular markers. *Ciencia e investigación agraria*. 35(1):5-15.

Povh, J.A., R.P. Ribeiro, R.N. Sirol, C.A. Mangolin, E. Gasparino, N.M. Lopera-Barrero, P.C. Gomes, D.P. Streit Jr. y L. Vargas. 2006. Importancia do

monitoramento genético pela utilização de marcadores moleculares na piscicultura. CD-ROM. In: AquaCiência, Bento Gonçalves, Brasil (Resumo).

Quiroz, R. y A.S. Bracamonte. 2008. Pertinencia de las ANP como política de conservación y mejoramiento de la calidad de vida: Análisis de percepción en la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. *Estudios Sociales* 16:32.

Regitano, L.C.A (2001). Introdução a análise de marcadores moleculares. Pages 25-39 In: Regitano, L.C.A. and L.L. Coutinho (eds.). *Biología molecular aplicada a produção animal*. EMBRAPA, Brasilia, Brasil.

Rios-Medina, K. 2012. Diversidad genética de la corvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta de Río Colorado. Tesis, Maestría en Ciencias en Ecología Molecular y Biotecnología.

Rodriguez Q. y A.S. Bracamonte. 2008.. Pertinencia de las ANP como política de conservación y mejoramiento de la calidad de vida: Análisis de percepción en la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. *Estudios Sociales* 16:32.

Román Rodríguez, M. J. 2000. Estudio poblacional del chano norteño *Micropogonias megalops* y la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* (Gilbert) (Pisces: Sciaenidae), especies endémicas del Alto Golfo de California, México. Instituto del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L298. México D. F.

Román Rodríguez, M. J. 2008. Las pesquerías de la totoaba y la curvina: Historia natural, relación con los flujos del río y estrategias para su conservación y manejo. Presentación Informativa. 25pp.

- Román, M.J. 1998. Los scianidos de la Reserva Alto Golfo y conservación. Informe técnico. Pp 2:7-8.
- Román-Rodríguez, M.J. y J.C. Barrera-Guevara. 2006. Diagnóstico y elaboración del plan de manejo de la pesquería de la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*, Jordan y Gilbert, 1881) en el Alto Golfo de California, México. Informe final para la SAGARPA Gobierno del Estado de Sonora. Com. de Ecol. y Des. Sustent. del Estado de Sonora, Hermosillo, Son. 137 p.
- Rossiter SJ, Jones G, Ransome RD, Barratt EM. 2000. Genetic variation and population structure in the endangered greater horseshoe bat *Rhinolophus ferrumequinum*. *Molecular Ecology*, 9, 1131–1135.
- Ruiz López, D.M. 2009. Diagnóstico socioeconómico y evaluación de una estrategia de compensación al sector pesquero del Golfo de Santa Clara, Sonora. Tesis de Maestría. IPN. Guasave Sinaloa, México. 130 pp.
- Saccheri I, Kuussaari M, Kankare M, Vikman P, Fortelius W, Hanski I (1998) Inbreeding and extinction in a butterfly metapopulation. *Nature*, 392, 491–494.
- SAGARPA (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación). 2005. Acuerdo por el que se establece veda temporal para la captura de corvina golfina (*Cynoscion othonopterus*), en las aguas marinas y estuarinas de jurisdicción federal de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. 2pp.
- SAGARPA (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación). 2006. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-063-PESC-2005, Pesca responsable de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en aguas de jurisdicción federal del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Especificaciones para su aprovechamiento. Diario Oficial 27 de Julio (Primera Sección): 28-32.

- SAGARPA (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación). 2010. Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial, 2 diciembre (Primera Sección): 1-317.
- Schuelke, M. 2000. An economic method for the fluorescent labelling of PCR fragments. *Nature Biotechnology* 18: 233-234.
- Selkoe K.A. y R. J. Toonen. 2006. Microsatellites for ecologists: a practical guide to using and evaluating microsatellite markers. *Ecology Letters* 9: 615-629.
- SEMARNAT. 2011. Diagnóstico de los problemas más intensos localizados en la UGA's de interes prioritario en el Golfo de California. 18 pp.
- SERNAPESCA. 2004. Anuario estadístico de pesca. Servicio Nacional de Pesca, Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción, Santiago, Chile. 114 pp.
- Shimizu, M., N. Kosaka, T. Shimada. 2002. Universal fluorescent labeling (UFL) method for automated microsatellite analysis. *DNA Research* 9:173–178.
- Slatkin, M. 1995 A measure of population subdivision based on microsatellite allele frequencies. *Genetics*, 139, 457–462.
- Torres-Orozco, E. 1993. *Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California*. Tesis de maestría. Baja California (México): Centro de Investigación y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE), 80 pp.
- Valdez-Gardea, G.C. 2002. People's responses in a time of crisis: marginalization in the Upper Gulf of California. Tesis Doctoral, The University of Arizona, Tucson, 336 pp
- Van Oosterhout C, WF Hutchinson y P Shipley. 2004. Micro-checker: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Molecular Ecology Notes* 4: 535-538.

- Vergara-Chen, C., W.E. Aguirre, M. González-Wangüemert y E. Bermingham. 2009. A mitochondrial DNA based phylogeny of weakfish species of the *Cynoscion* group (Pisces: Sciaenidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 53: 602–607.
- Villanueva Fortanelli, J. J. 1992. Composición de la dieta en juveniles del “chano” *Micropogonias megalops* (Bonaparte, 1831) en el estuario del Rio Colorado. Tesis Oceanología. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada.
- Weber JL, Wong C. 1993. Mutation of human short tandem repeats. *Human Molecular Genetics*, 2, 1123–1128.
- Wright, S. 1965. The interpretation of population structure by *F*statistics with special regard to system of mating. *Evolution*, 19, 395–420.
- Wright, S. 1978. *Evolution and the Genetics of Population, Variability Within and Among Natural Populations*. The University of Chicago Press, Chicago.
- WWF. 2004. Diagnóstico de la pesca ribereña del estado de Sonora, México. Editado por J.A. Rodríguez Valencia, M. Rodarte Harispuru y M.A. Cisneros-Mata. Reporte Técnico para WWF. 32 p.
- WWF, INP y CONAPESCA. 2005. Evaluación del impacto del establecimiento de un área de refugio para vaquita marina sobre la pesca artesanal de San Felipe B. C., El Golfo de Santa Clara y Puerto Peñasco, Son. México. Reporte Técnico para WWF. 14pp.

ANEXOS

Tabla I. Análisis de Varianza Molecular para Fst.

Coeficiente de variación	d.f.	Suma de cuadrados	Componentes de varianza	Porcentaje de variación
Entre Poblaciones	3	11.917	0.01592 Va	0.46
Dentro de Poblaciones	144	490.907	3.40908 Vb	99.54
Total	147	502.824	3.42500	
Índice de Fijación	FST :	0.00465		

Tabla II. Análisis de Varianza Molecular para Rst.

Coeficiente de variación	d.f.	Suma de cuadrados	Componentes de varianza	Porcentaje de variación
Entre Poblaciones	3	4593.137	-1.02064 Va	-0.07
Dentro de Poblaciones	144	225671.559	1567.16360 Vb	100.07
Total	147	230264.696	1566.14296	
Índice de Fijación	FST :	-0.00065		

Tabla III. Listado de alelos por locus, encontrados en corvina golfina en las localidades de muestres de San Felipe en el año 2010, Santa Calara en 2012 y 2013 y El Zanjón en 2013.

SAN FELIPE 2010										
Tmac74	Cyne12	Soc609	Soc826	CacMic14	Soc554	Soc507	Tmac06a	Tmac56	CacMic18	Cyne2
91	156	254	219	152	185	264	135	172	238	275
106	158	256	231	154	192	331	137	175	240	276
108	161	257	256	163	196	335	139		242	278
	163	259	260	167	198	337			244	280
	167	261	264	169	202	345			248	282
	171		268	173	210	347			250	284
	173		272			351			252	286
	177		276			359			255	288
	181		284			361			257	290
			296			369			259	292
			300			373			261	298
						375				307
						381				
						383				
						387				
						389				
						391				
						395				
						397				
						400				
						412				

Cont. Tabla III

SANTA CLARA 2012										
Tmac74	Cyne12	Soc609	Soc826	CacMic14	Soc554	Soc507	Tmac06a	Tmac56	CacMic18	Cyne2
91	154	250	142	134	181	278	135	175	238	271
93	156	252	151	152	185	309	137		240	275
97	161	254	203	156	188	319	139		242	276
106	163	256	223	163	190	321	141		246	278
	165	257	227	165	192	341	153		248	280
	167	259	231	167	194	343			250	282
	169	261	239	169	196	347			252	286
	171		243	171	198	357				288
	173		248	173	202	361				292
	175		252		212	363				294
	177		256		214	367				296
	179		258			371				298
	185		260			373				309
			272			375				315
			276			377				
			280			379				
			292			381				
			296			385				
			306			387				
						389				
						391				
						393				
						404				
						422				

Cont. Tabla III

SANTA CLARA 2013										
Tmac74	Cyne12	Soc609	Soc826	CacMic14	Soc554	Soc507	Tmac06a	Tmac56	CacMic18	Cyne2
85	154	246	199	130	181	341	133	175	238	267
87	156	250	203	140	183	345	135		240	271
91	161	252	215	150	190	351	137		242	273
97	163	254	239	152	192	353	139		244	275
106	167	255	243	154	194	355	155		246	276
	169	256	252	156	196	357			248	278
	171	257	256	159	198	359			250	280
	175	258	260	163	200	361			252	282
	177	259	264	165	202	367			255	284
	179	261	268	167	204	369			257	286
	181		272	169	208	371			259	288
			288	175	210	373			261	290
			292		212	379				292
			308		221	381				305
					225	383				313
						387				315
						391				
						393				
						395				
						397				

Cont. Tabla III

EL ZANJÓN 2013										
Tmac74	Cyne12	Soc609	Soc826	CacMic14	Soc554	Soc507	Tmac06a	Tmac56	CacMic18	Cyne2
91	154	250	155	144	183	238	123	175	236	273
97	156	252	173	152	185	248	133		238	275
106	158	254	181	154	186	252	135		240	276
	160	256	189	156	188	266	137		242	278
	161	257	193	159	190	276	139		246	280
	163	259	199	161	192	311			248	282
	165	261	207	163	194	321			250	284
	167	263	211	165	196	351			252	286
	169	265	215	167	198	353			255	288
	171	267	219	169	200	355			257	290
	173		223	171	202	359			263	292
	175		227	173	217	361			265	294
	177		231	175	233	363				296
	179		239	185		365				298
	181		243			367				300
	183		247			369				301
	197		252			371				317
			256			373				319
			260			375				
			264			379				
			268			381				
			271			383				
			272			387				
			276			389				
			280			391				
			284			395				
			288			400				
			292			404				
						430				
						444				

