

Artículo de fondo

# Zonas prioritarias de conservación de rayas y mantarrayas en el noroeste del Pacífico mexicano

Carlos Alberto Salomón-Aguilar\*

De las capturas comerciales de rayas del Pacífico mexicano, 80% proviene de la región noroeste (3 774 t en promedio), este volumen corresponde a 15 especies, de las cuales *Rhinobatos productus* es la que sustenta la pesquería; sin embargo, durante la última década ha disminuido su abundancia en el Golfo de California. Es fundamental integrar información biológico-pesquera en modelos multiespecíficos para apoyar las herramientas de regulación implícitas en la normatividad mexicana. Debido a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue identificar áreas prioritarias de conservación para batoideos, mediante el uso del algoritmo de complementariedad basado en características que definen la fragilidad biológica de 17 especies. *Mobula japonica*, *Rhinoptera steindachneri*, *Aetobatus narinari*, *Dasyatis longa*, *Mobula munkiana*, *Gymnura marmorata*, *Myliobatis californica* y *Pteroplatytrygon violacea* fueron las especies que resultaron más susceptibles a sobreexplotación. Los análisis detectaron cuatro grados de importancia relativa para el manejo de hábitats esenciales: el primero corresponde al complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, BCS; el segundo, a Playa Sur Mazatlán, Sin. y área marina adyacente a El Sargento, La Ventana y Punta Arenas, BCS; el tercero, al complejo lagunar Santa María-Altata, Sin.; y el cuarto, a Bahía Kino, Son., esta última, primordial para la protección de *R. productus*. Finalmente, a partir de la comparación para establecer omisiones, se observó que en ninguna de las regiones clave identificadas, existe un Área Marina Protegida instrumentada por el gobierno federal; mientras que sólo dos coinciden con las zonas de refugio señaladas en el punto 4.3.7 de la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006.

**Palabras clave:** Fragilidad biológica, complementariedad, batoideos, noroeste del Pacífico mexicano, hábitat esencial.

## Priority areas for rays and manta rays conservation in the Northwest of the Mexican Pacific

Of the commercial catch of rays in the Mexican Pacific, 80% come from the northwest region (3 774 t average), this volume corresponds to 15 species, of which *Rhinobatos productus* is supporting the fishery; however, during the last decade has decreased its abundance in the Gulf of California. It is essential to integrate biological-fisheries information in multispecies models to support tools implicit in the Mexican regulation. Due to this, the objective of this study was to identify priority conservation areas for batoids using the algorithm of complementarity based on characteristics that define the biological fragility of 17 species. *Mobula japonica*, *Rhinoptera steindachneri*, *Aetobatus narinari*, *Dasyatis longa*, *Mobula munkiana*, *Gymnura marmorata*, *Myliobatis californica* and *Pteroplatytrygon violacea* were the species most susceptible to over-exploitation. The analysis detected four grades of relative importance for the management of essential habitats: First corresponds to the lagoon complex Magdalena Bay-Almejas, BCS; the second, to Playa Sur Mazatlan, Sinaloa and the marine area adjacent to El Sargento, La Ventana and Punta Arenas, BCS; the third, lagoon complex Santa Maria Bay-Altata, Sin.; and the fourth, to Kino Bay, Son., the latter primarily for the protection of *R. productus*. Finally, from the comparison for omissions, it was observed that none of the key areas identified is a Marine Protected Area implemented by the federal government; while only two match refuge areas outlined in section 4.3.7 of the Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006.

**Key words:** Biological fragility, complementarity, batoids, Mexican Pacific Northwest, essential habitat.

\* Departamento Académico de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur. AP 19-B, La Paz, CP 23080, Baja California Sur, México. [csalomon@uabcs.mx](mailto:csalomon@uabcs.mx)

## Introducción

En México se reconocen 85 especies de rayas, de las cuales 37 tienen importancia comercial (18 en el océano Pacífico y 14 en el Golfo de México y mar Caribe), siendo las más representativas por su presencia y su valor en el mercado las especies de las familias: Rhinobatidae (guitarra común, diablito y payaso, *Rhinobatos productus* Ayres 1854, guitarra pinta, *Zapteryx exasperata* Jordan y Gilbert 1880, y guitarra punteada, *Rhinobatos glaucostigma* Jordan y Gilbert 1883), Narcinidae (rayas eléctricas, *Narcine entemedor* Jordan y Starks 1895), Dasyatidae (raya látigo, arenera y lodera, *Dasyatis brevis* Garman 1880), Myliobatidae (tecolote, poncho gris y águila marina, *Myliobatis californica* Gill 1865), Rhinopteroidea (gavilán negro, *Rhinoptera steindachneri* Evermann y Jenkins 1891) y Gymnuridae (raya mariposa, tortilla y mantita, *Gymnura marmorata* Cooper 1864). En cambio, los peces sierra (*Pristis pectinata* Latham 1794 y *Pristis microdon* Latham 1794) y las mantarrayas gigantes (*Manta birostris* Walbaum 1792, *Mobula japonica* Müller y Henle 1841, *Mobula thurstoni* Lloyd 1908, *Mobula munkiana* Notarbartolo-di-Sciara 1987, *Mobula hypostoma* Bancroft 1831 y *Mobula tarapacana* Philippi 1892) están protegidas en los ámbitos nacional e internacional por la Norma Oficial mexicana NOM-029-PESC-2006 (DOF 2007, DOF 2015), el Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México (PANMCT) (CONAPESCA-INP 2004), y el Plan de Acción Internacional para la Conservación y Ordenación de los Tiburones (FAO 2001). La guitarra *R. productus* es la especie dominante en las capturas del noroeste del Pacífico mexicano, en especial en la parte norte del Golfo de California al ocupar hasta 55% de los registros pesqueros; mientras que en la costa occidental de Baja California Sur alcanza 43% (SAGARPA-CONAPESCA-Gobierno del Estado BCS-Secretaría de Pesca BCS-CIBNOR-CICIMAR 2007, DOF 2010).

El volumen de producción promedio de rayas del Pacífico mexicano, correspondiente a la última década, fue de 4 717.4 t, de esta cantidad 80% se captura en la región noroeste, siendo Baja California Sur la entidad federativa que aporta hasta 35.72%, le sigue Sonora con 33.66%, Baja

California (15.81%) y Sinaloa (14.81%). Sin embargo, históricamente Sonora era el estado que sustentaba la pesquería de rayas con una cifra mayor a 50% (SAGARPA-CONAPESCA 2002-2011, DOF 2010).

En el noroeste del Pacífico mexicano, durante el periodo 2002-2011, el mayor registro pesquero en peso vivo se presentó en el año 2005 con 4 523 t (Fig. 1). Con respecto al desglose de las capturas por entidad federativa que integran la región señalada, el valor máximo se reportó para Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa en 2004 (745 t), 2005 (1 742 t), 2003 (1 788 t) y 2010 (857 t), respectivamente. Mientras que el volumen mínimo correspondió a 2006 (400 t), 2006 (1 105 t), 2010 (979 t) y 2002 (247 t), respetando el orden asignado anteriormente (Fig. 1).

La protección a las mantarrayas del género *Manta* y *Mobula*, mencionadas anteriormente, se debe a que presentan bajo potencial reproductivo (fecundidad de una cría por temporada reproductiva) (Cailliet *et al.* 1996, Helfman *et al.* 2000). Por la misma razón, en la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006 se recomienda reducir el grado de impacto de las especies del género *Rhinoptera* (por ejemplo, *R. steindachneri*) (DOF 2007, Flores-Pineda *et al.* 2008, Camhi *et al.* 2009).

La veda de tiburones y rayas instrumentada en el acuerdo publicado el 11 de junio de 2012 en el *Diario Oficial de la Federación*, comprende del 1 de mayo al 31 de julio de cada año. Esta herramienta de manejo será favorable para los *stocks*, después de 70 años de explotación comercial sin medidas de regulación pesquera significativas (DOF 2012).

La relación entre el número de descendientes y la talla de nacimiento en los batoideos se explica con tres estrategias diferentes de vida: 1) las que tienen pocas crías de gran tamaño (*M. birostris*, *M. japonica*, *M. tarapacana*, *M. hypostoma* y *M. thurstoni*), 2) pocas crías de tamaño medio (raya de hondo, *Dasyatis longa* Garman 1880, *R. steindachneri* y *M. munkiana*) y 3) muchas crías de tallas pequeñas (*R. productus*, *R. glaucostigma*, *Z. exasperata* y *N. entemedor*). Esto con la finalidad de proteger de manera indirecta a su descendencia y reducir la mortalidad natural por depredación (Notarbartolo-di-Sciara 1988,

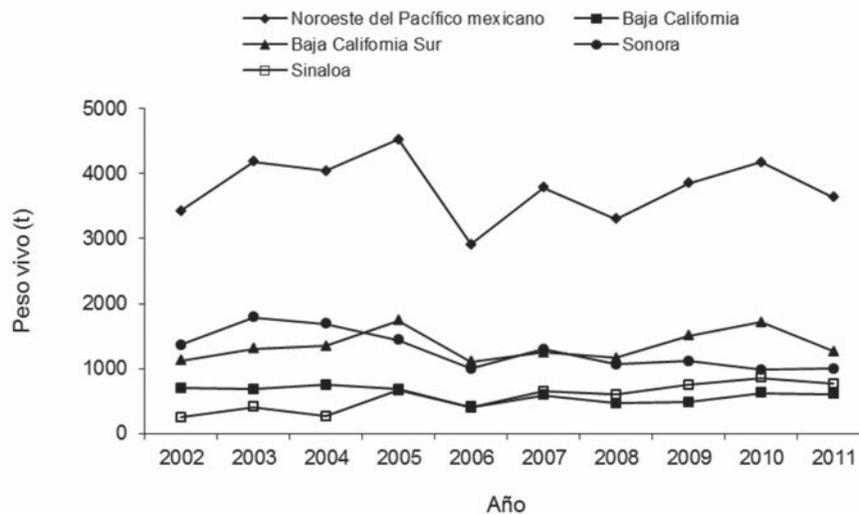


Fig. 1. Producción pesquera de batoideos en el noroeste del Pacífico mexicano (SAGARPA-CONAPESCA 2002-2011).

Villavicencio-Garayzar 1991, 1993a, b, 1995, Villavicencio-Garayzar *et al.* 1994).

Las rayas y mantarrayas en general se consideran estrategias *K* al presentar características de historia de vida como madurez sexual tardía, largos periodos de gestación, lento crecimiento y reducido número de crías por temporada reproductiva (Moyle y Cech 1996, Salgado-Ugarte *et al.* 2005, Camhi *et al.* 2009). Estos parámetros diferenciales entre especies son funcionales para describir la productividad biológica de peces marinos, por lo que forman parte de la estructura medular para desarrollar índices de fragilidad, que sirven para detectar los *stocks* más susceptibles a sobreexplotación o utilizarse como datos iniciales en análisis de complementariedad con la finalidad de identificar hábitats esenciales (áreas de reproducción, alumbramiento, expulsión y crianza) que denoten zonas prioritarias de manejo (Humphries *et al.* 1991, Castro 1993, Musick 1999, Salomón-Aguilar *et al.* 2009).

Debido a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue detectar sitios potenciales para la investigación y la conservación de rayas y mantarrayas en el noroeste del Pacífico mexicano con base en su fragilidad biológica, así como posibles vacíos y omisiones en las zonas de refugio presentes el punto 4.3.7 de la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas, especificaciones para su aprovechamiento (DOF 2007).

## Materiales y métodos

### Índice de fragilidad biológica

La fragilidad biológica se define como la resistencia y la capacidad de respuesta potencial de los peces a posibles periodos de sobrepesca (Musick 1999). El índice de fragilidad se calculó para 15 especies de rayas de importancia comercial y dos especies de mantarrayas protegidas en el noroeste del Pacífico mexicano (DOF 2007, Salomón-Aguilar 2012).

Los seis parámetros del ciclo de vida de los batoideos que se incluyeron en el análisis multiespecífico fueron (Salomón-Aguilar y Villavicencio-Garayzar 2011, Salomón-Aguilar 2012): talla de nacimiento (TN), fecundidad (F), periodo de gestación (PG), proporción de longitud o talla media de madurez ( $L_{50}$ ) con respecto a la talla máxima alcanzada ( $T_{m\acute{a}x}$ ), constante de crecimiento de von Bertalanffy ( $K$ ) y edad de madurez (EM). La selección final, correspondiente a 66.67% de las características mencionadas anteriormente (excepto  $K$  y EM), se determinó a partir de dos factores principales: 1) la disponibilidad de información en tesis, artículos científicos e informes técnicos acerca de biología reproductiva, edad y crecimiento; y pesquerías para todas las especies consideradas en este estudio en el ámbito regional; y 2) la funcionalidad para

describir la productividad biológica de peces marinos (Musick 1999).

Debido a la falta de datos referentes a parámetros provenientes de estudios de edad y crecimiento de batoideos en la bibliografía especializada del noroeste del Pacífico mexicano, se procedió a buscar la edad de madurez y la constante de crecimiento en la base de datos FishBase<sup>1</sup> y Camhi *et al.* (2009), con el objeto de describir el ciclo de vida de las 17 especies analizadas; sin embargo, sólo se pudo obtener dicha información para *N. entemedor*, *R. productus*, *P. violacea*, *M. japonica*, *M. californica*, *A. narinari* y *U. halleri* en las fuentes bibliográficas citadas. El resto de los atributos (talla de nacimiento, fecundidad, periodo de gestación, talla media de madurez y talla máxima reportada) fue obtenido de literatura correspondiente a la región de estudio.

Las características de historia de vida específicas de la fragilidad presentan unidades distintas, así como datos máximos y mínimos extremos, por tal motivo, se normalizaron los criterios (valores entre 0 y 1) para categorizarlos en cinco clases (Tabla 1), con la fórmula propuesta por Kaly *et al.* (1999) y SEMARNAT-INE (2001):

$$VN = (D - D.MÍN) / (D.MÁX - D.MÍN) \quad \text{Ec. 1}$$

donde: *VN* corresponde al valor normalizado del criterio *i* para la especie *i*, *D* es el dato de la especie *i* y el criterio *i*, *D.MÍN* y *D.MÁX* son el dato mínimo y máximo, respectivamente, del criterio *i* considerando *n* especies.

**Tabla 1**

Clases de datos normalizados para determinar la fragilidad de las especies

Clase	Intervalos para los criterios que integran el índice de fragilidad
0-0.2	Muy baja (1)
0.21-0.4	Baja (2)
0.41-0.6	Media (3)
0.61-0.8	Alta (4)
0.81-1	Muy alta (5)

1. <http://www.fishbase.org/search.php>

Este sistema de clasificación es útil en todos los criterios, excepto para la fecundidad y el valor de *K* de von Bertalanffy (este último, no considerado en el presente estudio), debido a que las especies con menor potencial reproductivo y de lento crecimiento son más vulnerables a intensos regímenes de pesca, por tanto, el valor de los intervalos se invierte con respecto a las clases de datos normalizados.

Finalmente, el grado de fragilidad biológica para cada especie conformado por los cuatro criterios establecidos y las cinco clases potenciales de la tabla 1 se obtuvo mediante la siguiente distribución de puntajes: <4 es muy bajo, 5 a 8 es bajo, 9 a 12 es medio, 13 a 16 es alto y de 17 a 20 es muy alto.

#### Áreas prioritarias de investigación y conservación de rayas y matarrayas

La identificación de zonas prioritarias para la investigación y la conservación de batoideos fue realizada aplicando el análisis de complementariedad propuesto por Humphries *et al.* (1991) y Vane-Wright *et al.* (1991), ya que permite proteger a 100% de las especies en una cantidad mínima de áreas. Se utilizó como criterio de selección de áreas, la presencia de especies con fragilidad alta. Los sitios de distribución considerados fueron los nueve cuadrantes de un grado de latitud por un grado de longitud del noroeste del Pacífico mexicano que representan las principales zonas de desembarque en las que existe información biológica y pesquera documentada por especie, que evidencia áreas potenciales de reproducción y crianza (Tabla 2, Fig. 2). En el caso de especies marinas, este algoritmo ha sido empleado en el ámbito internacional para definir áreas marinas protegidas (AMP) de peces óseos en Sudáfrica, Australia, Estados Unidos de América y Chile (Turpie *et al.* 2000, Fox y Beckley 2005, Tognelli *et al.* 2005, Geselbracht *et al.* 2009) y tiburones en el Golfo de California (Salomón-Aguilar *et al.* 2009), pero ésta es su primera aplicación en batoideos.

De manera alternativa se aplicó el análisis de complementariedad definiendo siete criterios con base en la revisión bibliográfica y un consenso con expertos (Tabla 2): *a*- número total de especies que se reproducen y/o utilizan

áreas de crianza en cada cuadrante, *b*- presencia de especies con fecundidad baja (menos de diez crías potenciales), *c*- presencia de especies con sitios limitados de reproducción, *d*- presencia de especies que sostienen las capturas (Smith *et al.* 2009), *e*- presencia de especies protegidas y sugeridas en la NOM-029-PESC-2006 (DOF 2007), *f*- presencia de especies en la categoría “Casi Amenazada” de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) (Camhi *et al.* 2009) y *g*- presencia de especies con vulnerabilidad muy alta de acuerdo con la clasificación de Cheung *et al.* (2005), que se basa en la productividad biológica de las especies.

Las áreas potenciales de reproducción y crianza se identificaron conforme los registros bibliográficos basados en los criterios cualitativos establecidos por Castro (1993). Este planteamiento se fundamenta en que sólo 33.33% de

la literatura revisada corresponde a años posteriores a 2007, fecha en que se adopta el nuevo enfoque cuantitativo para definir hábitats esenciales propuesto por Heithaus (2007), Heupel *et al.* (2007) y Kinney y Simpfendorfer (2009).

A partir de la información anterior se generaron mapas en el programa de SIG ArcView 3.2 (ESRI 1999), donde se especifican los cuadrantes prioritarios para la conservación con respecto a cada variable y uno final, resultante de su integración, que representa los grados relativos de importancia para el manejo de cada área de crianza y reproducción de batoideos. Además, los vacíos u omisiones para la protección del recurso se identificaron con el análisis de discrepancias o espacios utilizando registros de Áreas Naturales Protegidas (ANP) (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA 2007) y zonas de refugio implícitas en el punto 4.3.7 de la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006 (DOF 2007).

Tabla 2

Especies de batoideos en las que se ha registrado actividad reproductiva para cada uno de los cuadrantes que representan los principales sitios de desembarque en el noroeste del Pacífico mexicano

Especie	Nombre común	Cuadrantes									Criterios							Presencia HG/N	TREYC	Ref.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g			
<i>N. entemedor</i>	Raya eléctrica			x		x					x	x						Sí/Sí	Pr-Ve	g
<i>R. productus</i>	Guitarra		x	x	x	x					x		x	x	x	x		Sí/Sí	Pr-Ve	c,h,l,m
<i>R. glaucostigma</i>	Guitarra punteada						x				x	x	x					No/No	Pr	h,m
<i>Z. exasperata</i>	Guitarra pinta		x		x			x			x	x	x				x	Sí/Sí	Pr-Ve	h,m,o
<i>D. brevis</i>	Raya lodera		x	x	x	x	x				x	x	x				x	Sí/Sí	Ve	f,h,k
<i>P. violacea</i>	Látigo violeta							x			x	x	x	x			x	No/No	Pr-Ve	k
<i>D. longa</i>	Raya de hondo		x	x	x	x	x				x	x	x				x	Sí/Sí	Pr-Ve	d,h,k
<i>M. munkiana</i>	Manta diabla					x		x	x		x	x	x		x	x		Sí/No	Pr-Ve	a,b,h,j,m
<i>M. japonica</i>	Cubana lomo blanco								x		x	x	x		x	x		Sí/No	Pr-Ve	a,j
<i>M. californica</i>	Poncho gris		x		x						x	x					x	Sí/Sí	Pr-Ve	e,h
<i>M. longirostris</i>	Poncho rojo			x							x	x					x	No/No	Pr-Ve	e,m
<i>R. steindachneri</i>	Gavilán negro		x		x	x					x	x	x	x	x	x		Sí/Sí	Pr-Ve	h,m,n
<i>G. marmorata</i>	Tortilla, mariposa	x		x	x	x	x	x			x	x	x					Sí/Sí	Pr-Ve	h,i,k
<i>U. maculatus</i>	Manchada						x				x	x	x					No/No	Ve	k
<i>U. halleri</i>	Redonda de halleri						x				x	x	x					Sí/Sí	Ve	k
<i>U. chilensis</i>	Redonda chilena						x				x	x						No/No	Ve	k
<i>A. narinari</i>	Chucho pinto					x	x				x	x	x		x	x		Sí/No	Pr-Ve	k

Presencia de hembras grávidas (HG), neonatos (N) y temporada de reproducción, expulsión y crianza (TREYC) (Pr = primavera y Ve = verano). Referencias bibliográficas (Ref.): a. Notarbartolo-di-Sciara (1988), b. Villavicencio-Garayzar (1991), c. Villavicencio-Garayzar (1993a), d. Villavicencio-Garayzar *et al.* (1994), e. Villavicencio-Garayzar (1996a), f. Mariano (1997), g. Villavicencio-Garayzar (2000a), h. Villavicencio-Garayzar (2000b), i. Dávila (2002), j. Guerrero (2002), k. Vázquez (2003), l. Downton-Hoffmann (2007), m. Bizzarro *et al.* (2007b), n. Flores-Pineda *et al.* (2008<sup>3</sup>), o. Blanco-Parra *et al.* (2009).

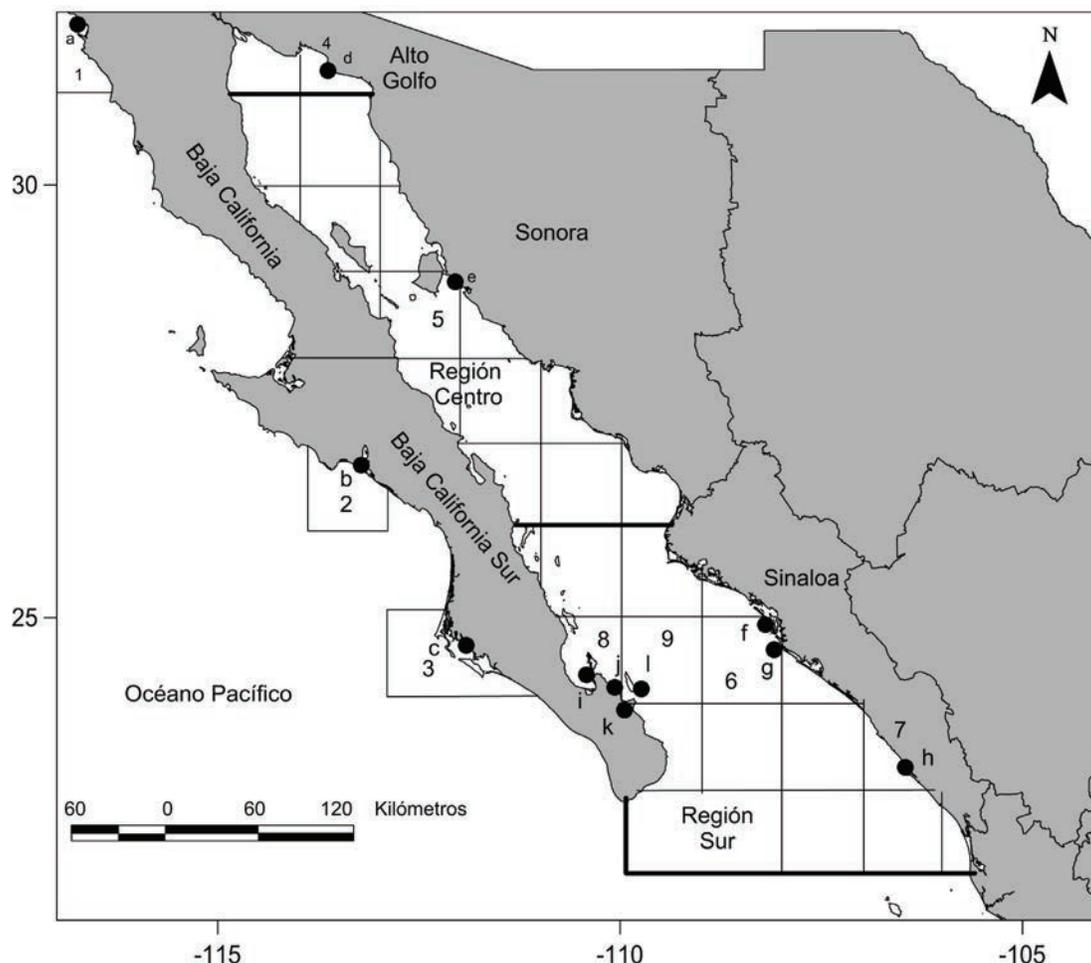


Fig. 2. Localización de los cuadrantes (1 a 9) donde se ubican áreas de reproducción y/o crianza de batoideos en el noroeste del Pacífico mexicano de acuerdo con los principales sitios de captura y desembarque. a) Estero de Punta Banda, BC; b) Laguna de San Ignacio, BCS; c) complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, BCS; d) Puerto Peñasco, Son.; e) Bahía Kino, Son.; f) Bahía Santa María, Sin.; g) Bahía Altata, Sin.; h) Playa Sur-Mazatlán, Sin.; i) Bahía de La Paz, BCS; j) El Sargento, BCS; k) La Ventana, BCS; y l) Punta Arenas, BCS.

## Resultados

### Características de historia de vida

De las 17 especies consideradas en el presente estudio, solamente en cinco (látigo violeta, *Pteroplatytrygon violacea* Bonaparte 1832, redonda de halleri, *Urobatis halleri* Cooper 1863, *N. entemedor*, *R. productus* y *M. californica*) se completó la recopilación bibliográfica referente a los seis parámetros biológico-pesqueros que definen a los batoideos como estrategas K (Tabla 3).

Con base en la información disponible por especie se identificaron las siguientes similitudes y diferencias:

**Talla de nacimiento:** 29.41% de las especies analizadas (chucho pinto, *Aetobatus narinari* Euphrasen 1790, *D. longa*, *M. munkiana*, *M. japonica* y *R. steindachneri*) nace con tallas superiores a los 35 cm de ancho de disco (AD); mientras que las hembras de *N. entemedor*, *R. productus*, *R. glaucostigma*, *Z. exasperata*, *U. halleri* y redonda chilena, *Urotrygon chilensis* Günther 1872, expulsan crías de menor talla (Tabla 3).

**Edad de madurez:** Los machos y hembras de la guitarra común (*R. productus*) tardan en madurar siete años. Le sigue *A. narinari* con edades de madurez para machos y hembras de cuatro y seis años, respectivamente (Tabla 3). La información de este parámetro en el área de estudio es escasa.

**Fecundidad:** Las tres especies más vulnerables y susceptibles a sobreexplotación son *M. munkiana*, *M. japonica* y *R. steindachneri*, debido a que tienen una cría por temporada reproductiva. Por el contrario, las hembras de *R. productus*, *R. glaucostigma*, *Z. exasperata*, *N. entemedor* y *M. californica* pueden llegar a tener más de diez crías potenciales por evento reproductivo (Tabla 3).

**Periodo de gestación:** Las hembras de *N. entemedor* y *U. halleri* mantienen a sus crías en el útero solamente durante tres meses; sin embargo, la moda para las especies incluidas en el cálculo del índice de fragilidad biológica se sitúa entre 11 y 12 meses, tal es el caso de *P. violacea*, *D. longa*, *M. munkiana*, *M. japonica*, *M. californica*, *R. steindachneri*, *G. marmorata* y *A. narinari* (Tabla 3).

**Proporción de  $L_{50}$  con respecto a la talla máxima alcanzada:** En los machos, la relación porcentual se estableció entre el intervalo de 47% (*U. halleri*, mínimo) a 93.22% (poncho rojo, *Myliobatis longirostris* Applegate y Fitch 1964, máximo), y en las hembras fue de 47% (*U. halleri*, mínimo) a 90.65% (*M. munkiana*, máximo) (Tabla 3). A diferencia de los tiburones, cuyas hembras alcanzan longitudes totales máximas y tallas de madurez superiores al comparárlas con los machos de la misma especie (condición que siempre se presenta de manera marcada), en las rayas y mantarrayas también se identifica la característica señalada, pero con diferencias porcentuales mínimas y, en ocasiones, los machos maduran en mayores proporciones que las hembras, por ejemplo, *N. entemedor*, *Z. exasperata* (costa occidental de BCS), *M. longirostris*, *R. steindachneri* y *G. marmorata* (Tabla 3).

**Constante de crecimiento von Bertalanffy:** *M. californica* ( $K = 0.09 \text{ año}^{-1}$  en hembras) y *N. entemedor* ( $K = 0.10 \text{ año}^{-1}$  en machos) son las especies con menor capacidad de respuesta ante tasas de explotación elevadas, ya que crecen lentamente, de acuerdo con la clasificación de Branstetter (1990) y Musick (1999). A diferencia de la función metabólica anterior, *P. violacea* es la especie que crece con mayor rapidez con  $K = 0.35 \text{ año}^{-1}$  y  $K = 0.2 \text{ año}^{-1}$ , para hembras y machos, respectivamente (Tabla 3).

#### Índice de fragilidad biológica

La raya manchada, *Urobatis maculatus* Garman 1913, *U. chilensis* y *M. longirostris* se excluyeron

del análisis multiespecífico que identifica poblaciones con fragilidad biológica alta, debido a que solamente se obtuvieron datos referentes a la relación porcentual entre la talla de madurez sexual y la longitud máxima alcanzada para las tres especies; mientras que en *U. maculatus* también se ha reportado la fecundidad y en *U. chilensis* se conoce la talla de nacimiento. La constante de crecimiento individual del stock en talla ( $K$  von Bertalanffy) y edad de madurez fueron descartados como criterios para definir la capacidad de respuesta de los organismos a episodios de sobreexplotación, ya que la información disponible es escasa, con registros presentes para 35.29% de las especies analizadas (Tabla 3). Lo anterior pone en evidencia la falta de estudios de edad y crecimiento para rayas y mantarrayas en el noroeste del Pacífico mexicano.

Los batoideos que se identificaron con fragilidad biológica muy alta, de acuerdo con el análisis multiespecífico aplicado fueron: *M. japonica*, *R. steindachneri* (costa occidental de Baja California Sur), *A. narinari*, *D. longa* y *M. munkiana*. Mientras que *R. steindachneri* (Golfo de California), *G. marmorata*, *M. californica* y *P. violacea* presentaron fragilidad alta. De las especies analizadas, 29.41% se clasificó en la denominación “fragilidad media”, destacando *R. productus* (Golfo de California). Finalmente, *N. entemedor*, *U. halleri* y *R. productus* (costa occidental de Baja California Sur) son las rayas más resistentes y con mayor capacidad de respuesta ante regímenes de pesca intensos y prolongados (Fig. 3).

#### Registros de áreas y temporadas de reproducción y crianza de batoideos

Con base en la literatura se estableció que existen registros de áreas de crianza y reproducción de 17 especies de batoideos en el noroeste del Pacífico mexicano, distribuidas en ocho familias: Narcinidae, Rhinobatidae, Dasyatidae, Mobuliidae, Myliobatidae, Rhinopteridae, Gymnuridae y Urolophidae (Tabla 2).

Las cuatro especies que presentaron más registros en cuanto a sitios de reproducción fueron: *R. productus*, *D. brevis*, *D. longa* y *G. marmorata* (Tabla 2).

**Tabla 3**  
Características de historia de vida de las especies de batoideos del noroeste del Pacífico mexicano que determinan la fragilidad biológica

Especie	Criterios						Referencias
	TN (cm)	EM (años) (M/H)	F (crías)	PG (meses)	Relación porcentual $L_{50} - T_{máx}$ (M/H)	K (cm/año) (M/H)	
<i>N. entemedor</i> *	15 AD	3/5	4-20	3	69/68	0.10/0.30	m(a)
<i>R. productus</i> * (CO)	20-24 LT	7	4-18	4-5	70.18/70.21	0.24/0.16	e, j, u
<i>R. productus</i> * (GC)	17 LT	7	1-10	4-5	62.5/65.7	-	m(b), s, t(a)
<i>R. glaucostigma</i> *	14 LT	-	1-11	-	73.28/78.65	-	q, 2
<i>Z. exasperata</i> * (CO)	15-18 LT	-	4-11	3-4	83.13/79.38	-	i
<i>Z. exasperata</i> * (GC)	18.7 LT	-	2-13	5	75.29/76.67	-	m(b), t(a), x
<i>D. brevis</i> *	20 AD	-	2-4	2.5	62.5/78.31	-	l, m(b), r
<i>P. violacea</i>	14-24 AD	2/3	5-6	11	62.5	0.2/0.35	c, h, p, r, z
<i>D. longa</i>	40 AD	-	1-3	11	81.63/83.97	-	g, m(b), r
<i>M. munkiana</i>	35 AD	-	1	12	84.47/90.65	-	a, d, m(b), o, t(a)
<i>M. japonica</i>	75 AD	-	1	12	81.47/86.32	0.28	a, o, 1
<i>M. californica</i>	22-30 AD	3/5	12	12	63.95/74.22	0.23/0.09	b, k, m(b)
<i>M. longirostris</i>	-	-	-	-	93.22/84.09	-	k, t(a)
<i>R. steindachneri</i> (CO)	40-45 AD	-	1	10-12	89.01/82.86	-	i, v
<i>R. steindachneri</i> (GC)	33 AD	-	1	11-12	72.81/67.5	-	m(b), q, t(a y b)
<i>G. marmorata</i>	14-26 AD	-	2-9	9-12	75/67.89	-	f, m(b), ñ, r, y
<i>U. maculatus</i>	-	-	5	-	81.08	-	r
<i>U. halleri</i>	6-8 AD	2.6	1-6	3	47	0.15	n, r
<i>U. chilensis</i>	7.7 LT	-	-	-	60	-	r, w
<i>A. narinari</i>	17-36 AD	4-6	4	12	83.17	-	r, 3

M: machos, H: hembras. En las subpoblaciones: Costa Occidental de BCS (CO) y Golfo de California (GC). \* Hace referencia a las especies que presentan diapausa embrionaria durante su periodo de gestación. Referencias bibliográficas: a. Notarbartolo-di-Sciara (1988); b. Martin y Cailliet (1988); c. Compagno *et al.* (1989); d. Villavicencio-Garayzar (1991); e. Villavicencio-Garayzar (1993a); f. Villavicencio-Garayzar (1993b); g. Villavicencio-Garayzar *et al.* (1994); h. McEachran y Notarbartolo-di-Sciara (1995); i. Villavicencio-Garayzar (1995); j. Downton-Hoffmann (1996); k. Villavicencio-Garayzar (1996a); l. Mariano (1997); m. Villavicencio-Garayzar (2000 a y b); n. Valadez-González *et al.* (2001); ñ. Dávila (2002); o. Guerrero (2002); p. Mollet *et al.* (2002); q. Gámez (2003); r. Vázquez (2003); s. Márquez-Farías *et al.* (2006)<sup>6</sup>; t. Bizzarro *et al.* (2007 a y b); u. Downton-Hoffmann (2007); v. Flores-Pineda *et al.* (2008); w. Silva-Nicolás y Torres-Huerta (2008)<sup>8</sup>; x. Blanco-Parra *et al.* (2009); y. Bejarano-Álvarez (2011); z. Santana-Hernández *et al.* (2011); 1. Cuevas-Zimbrón *et al.* (2013); 2. De la Rosa-Meza *et al.* (2013); 3. Kyne *et al.* (2014). La relación porcentual  $L_{50}-T_{máx}$  se calculó a partir de los datos obtenidos de las referencias señaladas por especie.

Bahía Magdalena-Almejas es el área principal de congregaciones reproductivas en la costa occidental de Baja California Sur, con la presencia de nueve especies (*N. entemedor*, *R. productus*, *Z. exasperata*, *D. brevis*, *D. longa*, *M. californica*, *M. longirostris*, *R. steindachneri* y *G. marmorata*). En el Alto Golfo de California, cuatro especies (*R. productus*, *D. brevis*, *D. longa* y *G. marmorata*) utilizan Puerto Peñasco, Son., como hábitat esencial. Bahía Kino, Son., destaca en la región central del Golfo de California para *R. productus*, *Z. exasperata*, *D. brevis*, *D. longa*, *M. californica*, *R. steindachneri* y *G. marmorata*; mientras que en el sur del Golfo de California,

el complejo lagunar Bahía Santa María-Altata, Sin., alberga a diez especies que migran a la zona costera con fines de reproducción, alumbramiento y crianza. En la última región es importante resaltar el área marina adyacente a El Sargento, La Ventana y Punta Arenas, Baja California Sur, debido a la abundancia de *M. munkiana* y *M. japonica*, mantarrayas que están protegidas por las normatividades nacional e internacional. Todas las especies de batoideos incluidos en el análisis espacio-estacional se caracterizaron por un periodo de reproducción máximo que abarca las temporadas de primavera y verano (Tabla 2).

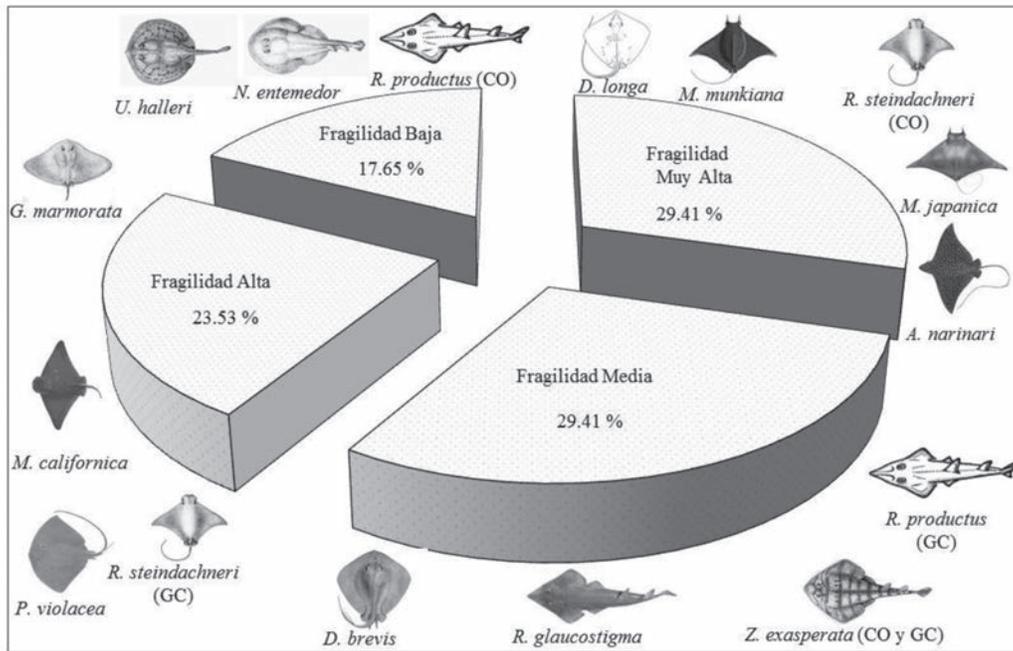


Fig. 3. Fragilidad biológica de las especies de batoideos de la región noroeste del Pacífico mexicano.

#### Zonas prioritarias de investigación y conservación

Como resultado de la revisión bibliográfica se identificaron nueve zonas de reproducción y crianza de batoideos en el noroeste del Pacífico mexicano, de las cuales cuatro corresponden a Baja California Sur, dos a Sonora y Sinaloa, respectivamente, y una a Baja California (Fig. 2). De los nueve cuadrantes sólo cuatro (3, 5, 6 y 7) presentaron actividad reproductiva de cinco especies o más, destacando entre ellos el cuadrante 6 (complejo lagunar Santa María-Altata, Sin.; Fig. 2, Tabla 2).

De acuerdo con el análisis de complementariedad, las áreas prioritarias de conservación con base en las especies que se identificaron con fragilidades biológicas alta y muy alta están en los cuadrantes 5 (Bahía Kino, Son.) con cinco especies (*D. longa*, *M. munkiana*, *M. californica*, *R. steindachneri* y *G. marmorata*); tres (complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, BCS) para *D. longa*, *M. californica*, *R. steindachneri* y *G. marmorata*; siete (Playa Sur en Mazatlán, Sin.; *P. violacea* y *A. narinari*) y nueve (área marina adyacente a El Sargento, La Ventana y Punta Arenas, BCS; *M. munkiana* y *M. japonica*) con dos especies, respectivamente (Fig. 4).

El análisis integral de complementariedad destacó los siguientes sitios de acuerdo con el

criterio de selección: a partir del total de especies que se reproducen y utilizan áreas de crianza en el noroeste del Pacífico mexicano están los cuadrantes 6 (*N. entemedor*, *R. glaucostigma*, *D. brevis*, *D. longa*, *R. steindachneri*, *G. marmorata*, *U. maculatus*, *U. halleri*, *U. chilensis* y *A. narinari*), 3 (*R. productus*, *Z. exasperata*, *M. californica* y *M. longirostris*), 9 (*M. munkiana* y *M. japonica*), 7 (*P. violacea*) y 5 (*Z. exasperata*) (Fig. 5a). Si se consideran las especies con fecundidad menor a diez crías potenciales por temporada reproductiva, las principales áreas de reproducción y crianza que deben tomar en cuenta como prioritarias para el manejo de batoideos están en los cuadrantes 6 (*D. brevis*, *D. longa*, *R. steindachneri*, *G. marmorata*, *U. maculatus*, *U. halleri* y *A. narinari*), 9 (*M. munkiana* y *M. japonica*) y 7 (*P. violacea*) (Fig. 5b). Partiendo de las especies con número limitado de sitios de reproducción y crianza, los cuadrantes prioritarios serían el 6 (*N. entemedor*, *R. glaucostigma*, *R. steindachneri*, *U. maculatus*, *U. halleri*, *U. chilensis* y *A. narinari*), 3 (*Z. exasperata*, *M. californica* y *M. longirostris*), 9 (*M. munkiana* y *M. japonica*) y 7 (*P. violacea*) (Fig. 5c). En la figura 5d se presentan los cuadrantes 3 (*R. productus*, *Z. exasperata*, *D. longa*, *D. brevis*, *R. steindachneri* y *G. marmorata*), 6 (*R. glaucostigma*) y 7 (*P. violacea*) como los más importantes, considerando a las especies que sostienen la pesquería

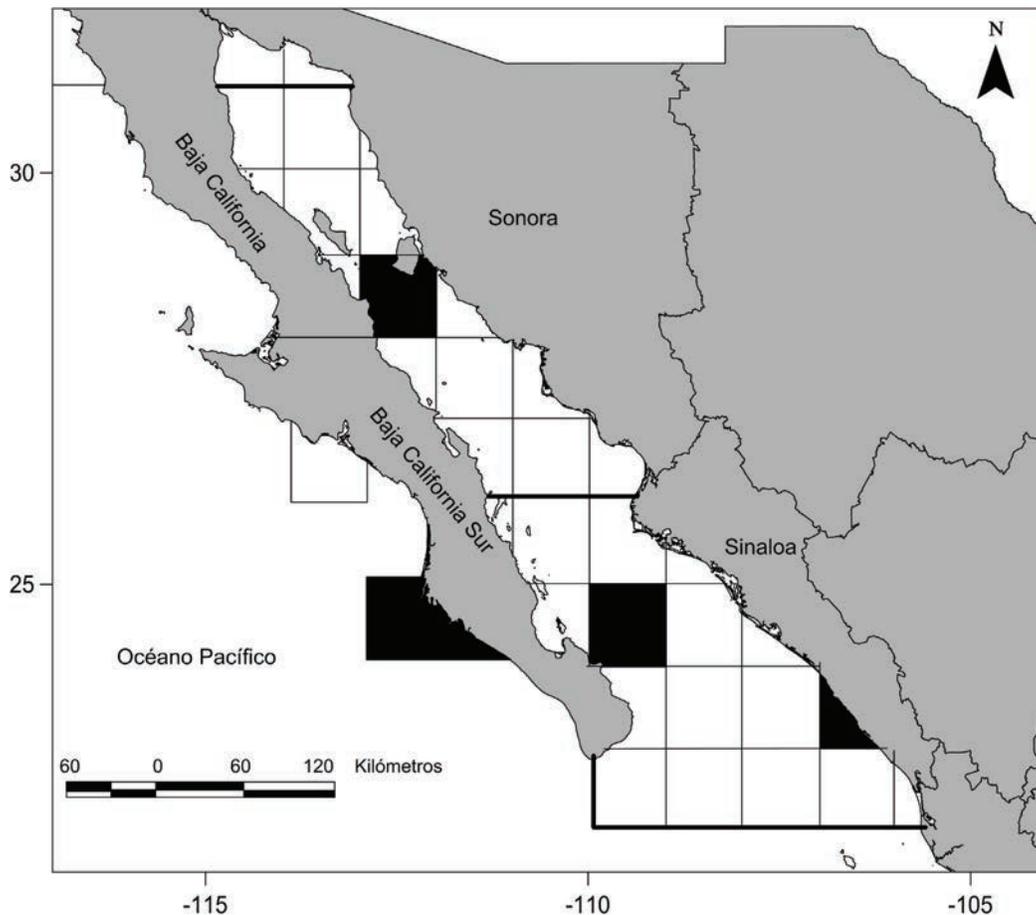
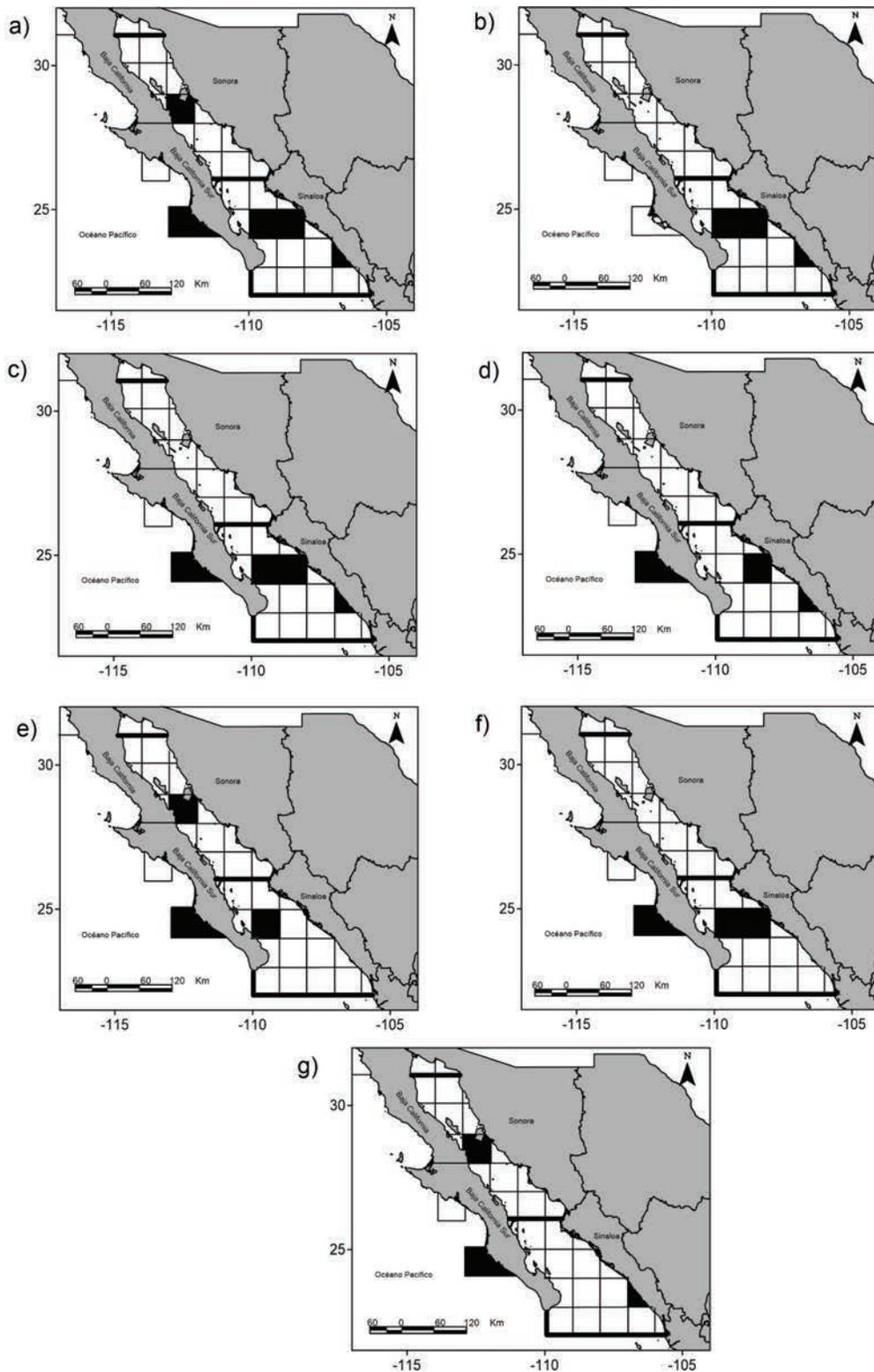


Fig. 4. Zonas prioritarias de conservación a partir de las especies con fragilidad biológica alta y muy alta (cuadrantes 3, 5, 7 y 9).

de rayas en el área de estudio. Tomando en cuenta las especies protegidas y sugeridas en la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, *M. munkiana* y *M. japonica* son importantes en el cuadrante 9; mientras que *R. steindachneri* es relevante para las zonas 3 y 5 (Fig. 5e). Mediante la clasificación de la lista roja de la IUCN (especies en la categoría Casi Amenazada) se definieron los cuadrantes 3 (*R. productus*, *M. longirostris* y *R. steindachneri*), 9 (*M. munkiana* y *M. japonica*) y 6 (*A. narinari*), como hábitats esenciales (Fig. 5f). Finalmente, *R. productus*, *D. brevis*, *D. longa* y *M. californica* (cuadrante 3 y 5) y *A. narinari* y *P. violacea* (cuadrante 7) resultaron fundamentales al utilizar como atributo de selección de áreas las especies con vulnerabilidad muy alta (Cheung *et al.* 2005) (Fig. 5g).

#### Grados de prioridad para el manejo y conservación de batoideos

Integrando los cuadrantes prioritarios de conservación con base en cada uno de los criterios (a-g) y el atributo determinado en el presente estudio “especies con fragilidad muy alta”, se identificaron cuatro grados de importancia relativa para el manejo de hábitats esenciales de rayas y mantarrayas. El primero corresponde al cuadrante 3, el segundo al 7 y al 9, el tercero al 6 y el cuarto al 5 (Fig. 6). Con el enfoque de conservación aplicado a los cinco cuadrantes mencionados se protegería a todas las especies que usan el noroeste del Pacífico mexicano para crianza y reproducción (Tabla 2). Finalmente, se observó que en ninguno de los cinco cuadrantes o regiones clave identificadas, existe un Área Marina Protegida; mientras que dos coinciden con las zonas de refugio para proteger el proceso de reproducción y/o nacimiento de los tiburones y rayas



**Fig. 5.** Áreas prioritarias de conservación en el noroeste del Pacífico mexicano. Criterios de selección: *a)* especies que se reproducen por cuadrante, *b)* ocurrencia de especies con fecundidad baja, *c)* presencia de especies con sitios limitados de reproducción, *d)* batoideos que sostienen la pesquería, *e)* especies protegidas y sugeridas por la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, *f)* especies clasificadas en la categoría “Casi Amenazada” en la lista roja de la IUCN y *g)* especies con vulnerabilidad muy alta de acuerdo con Cheung *et al.* (2005).

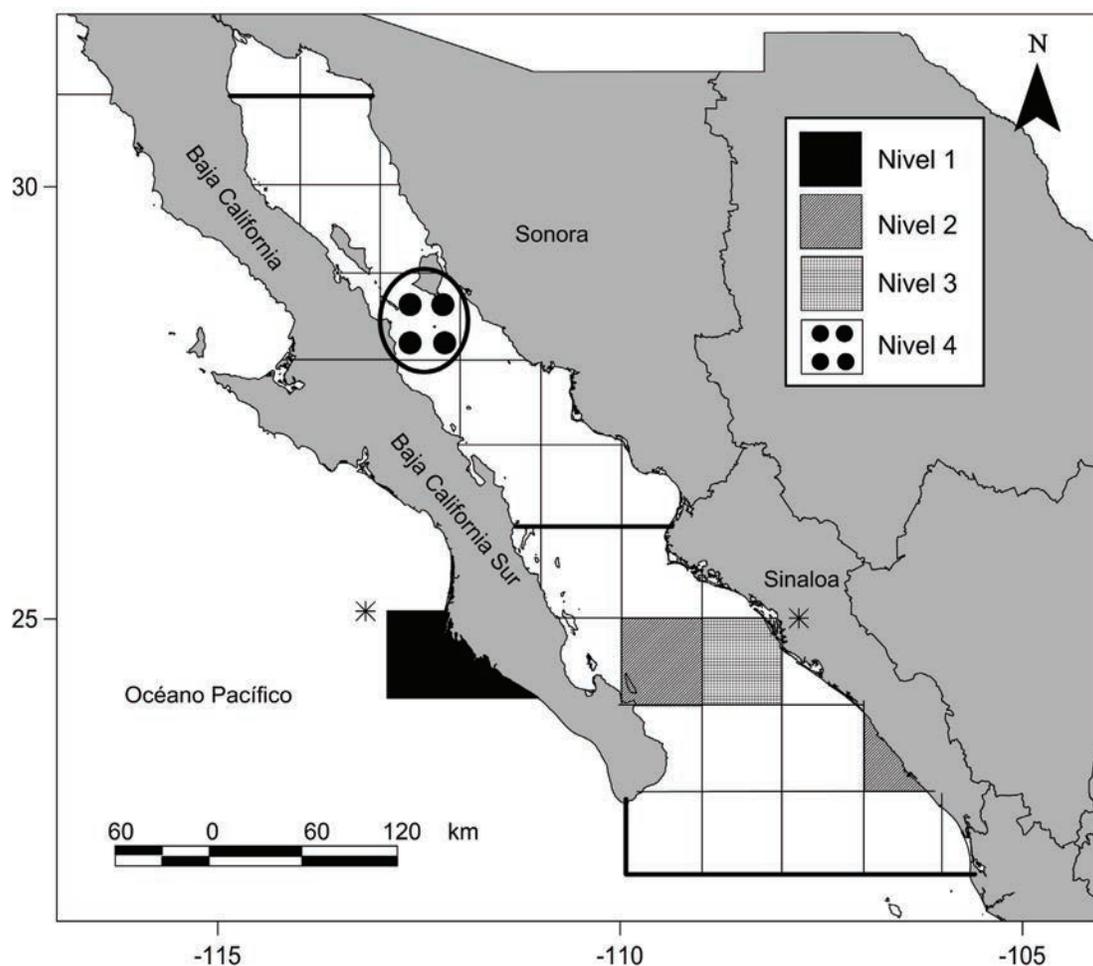
instrumentadas en el punto 4.3.7 de la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006 (Fig. 6).

## Discusión

### *Características de historia de vida*

Los parámetros biológico-pesqueros que definen a un *stock* son fundamentales para el establecimiento de esquemas de administración y regulación pesquera basados en el enfoque de manejo tradicional, entre los más importantes están: talla o longitud media de madurez ( $L_{50}$ ),

factor de condición, longitud infinita y tasa de crecimiento individual en talla ( $K$  von Bertalanffy); estas características son indispensables para estimar las tasas de mortalidad que sustentan los grados de explotación en la instrumentación de algunos sistemas de cuotas de captura (Sparre y Venema 1998, Salgado-Ugarte *et al.* 2005). De los atributos mencionados anteriormente, la constante  $K$  es primordial en la categorización de especies vulnerables y susceptibles a sobrepesca, ya que mediante la clasificación de Branstetter (1990), su valor puede caer en los siguientes intervalos: de 0.05 a 0.1 año<sup>-1</sup> en especies de crecimiento lento (menor capacidad



**Fig. 6.** Niveles de jerarquía para la conservación de batoideos y análisis de omisiones de las zonas prioritarias. El círculo indica que aunque no hay coincidencia entre las áreas detectadas en el presente trabajo y las AMP oficiales, Bahía Kino, Son. está cerca del Área de Protección de Flora y Fauna “Zona de las Grandes Islas” y Parque Nacional Marino Archipiélago de San Lorenzo ubicados en el cuadrante 5, \* que representa a los refugios pesqueros implícitos en la Norma Oficial mexicana NOM-029-PESC-2006 que coinciden con los sitios identificados con el algoritmo de complementariedad: complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, BCS, y complejo lagunar Santa María-Altata, Sinaloa.

de respuesta a eventos de sobreexplotación); de 0.1 a 0.2 año<sup>-1</sup> en especies de crecimiento moderado; y de 0.2 a 0.5 año<sup>-1</sup> en especies de crecimiento rápido. A pesar del desconocimiento de los valores de K, se espera que la mayoría de las rayas y mantarrayas, especies pelágicas como *P. violacea* y *M. japonica*, se presenten constantes de crecimiento más elevadas, debido a sus tasas metabólicas, derivadas de los hábitos alimenticios y patrones migratorios (Mollet *et al.* 2002). Con respecto a las 17 especies analizadas y considerando la falta de estudios relacionados con edad y crecimiento de rayas y mantarrayas en el noroeste del Pacífico mexicano (Aguilar *et al.* 2008), solamente se identificaron *M. californica* y *N. entemedor* como batoideos de crecimiento lento, la primera pelágico-demersal y la segunda demersal (Villavicencio-Garayzar 2000b<sup>2</sup>). Es necesario intensificar la línea de investigación básica que facilite la generación de estos datos iniciales para el abastecimiento de modelos multiespecíficos más robustos.

De las especies de batoideos consideradas en el análisis de fragilidad, 94.1% madura sexualmente al alcanzar entre 60% y 90% de su talla máxima, dicha condición coincide con las observaciones realizadas por Holden (1974); excepto para *U. halleri*, que comienza a reproducirse a 47% de la relación especificada. Esto probablemente se debe a que la raya redonda de *halleri* está siendo afectada por pesquerías incidentales, que afectan directamente a individuos juveniles, lo que propicia que éstos inviertan su energía excedente en una función creciente para alcanzar su capacidad reproductiva a tallas y edades tempranas. Lo anterior resultaría en una posible disminución de la fecundidad; mientras que las tasas de crecimiento y mortalidad natural podrían verse incrementadas al compararlas con los parámetros poblacionales que se estaban suscitando en la especie antes de la modificación de la estructura natural de tallas (Tyler y Calow 1985, Olsen *et al.* 2004, Borrell 2013).

Las especies de tallas menores, como *R. productus*, *N. entemedor*, *R. glaucostigma*, *Z. exasperata* y *U. halleri* son las que tienen mayores tasas de mortalidad natural por depredación; razón por la cual han desarrollado la estrategia reproductiva tipo 3 (muchas crías de tallas pequeñas) para compensar y mantener la estructura poblacional. Un desbalance, originado por elevados niveles de esfuerzo pesquero (por ejemplo, *R. productus*) y capturas incidentales significativas (especies restantes), puede ocasionar el desequilibrio en las redes tróficas de los ecosistemas del noroeste del Pacífico mexicano (Villavicencio-Garayzar 1993a, 1995, Arreguín-Sánchez 2006, López-Martínez *et al.* 2007).

Un total de ocho especies (*P. violacea*, *D. longa*, *M. munkiana*, *M. japonica*, *M. californica*, *R. steindachneri*, *G. marmorata* y *A. narinari*) presenta en la composición de las capturas, una alta proporción de hembras grávidas, ya que son los batoideos con los periodos de gestación más largos (entre 11 y 12 meses) y, generalmente, éstas tienen tallas de nacimiento mayores, salvo *P. violacea* y *G. marmorata* (Villavicencio-Garayzar *et al.* 1994, Bizarro *et al.* 2007b, Bejarano-Álvarez 2011). Las crías que nacen grandes son más vulnerables al arte de pesca (redes de enmalle), debido a que se reclutan con mayor rapidez a la pesquería (Villavicencio-Garayzar 1991). Es importante destacar que, aunque especies como *R. productus* tienen un periodo efectivo de crecimiento embrionario corto, que dura entre cuatro y cinco meses, el tiempo total que está el embrión en el útero de la hembra por la diapausa embrionaria es de 11 a 12 meses, lo que incrementa la vulnerabilidad de la especie, al existir una probabilidad mayor de ser capturadas hembras con dicha característica (Villavicencio-Garayzar 1993a, Downton-Hoffmann 1996, Márquez-Farías 2007). Esta estrategia reproductiva, también ha sido observada en *D. brevis*, *N. entemedor* y *Z. exasperata* (Mariano 1997, Villavicencio-Garayzar 2000a, Blanco-Parra *et al.* 2009).

En la mayoría de las especies que nacen de tallas grandes, se presentan neonatos en las capturas, con excepción de las mobulas en la región sur del Golfo de California, debido al arte de pesca (fisgas) empleado anteriormente a la publicación de la NOM-029-PESC-2006 (DOF 2007),

2. Villavicencio-Garayzar C. 2000. Áreas de crianza de tiburones en el Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Informe Final SNIB-CONABIO proyecto L054, México. 121p.

así como a que las crías posiblemente eviten las redes plegando sus aletas pectorales para pasar a través de la luz de malla (Notarbartolo-di-Sciara 1988, Villavicencio-Garayzar 1991).

### *Índice de fragilidad biológica*

La relación que existe entre las diversas características del ciclo de vida de las especies radica en cinco puntos principales, para las nueve especies identificadas con mayor fragilidad biológica: 1) Nacen de tallas superiores a 35 cm AD (*A. narinari*, *D. longa*, *M. munkiana*, *M. japonica* y *R. steindachneri*); 2) tienen una cría por temporada reproductiva (*M. munkiana*, *M. japonica* y *R. steindachneri*); 3) presentan largos periodos de gestación, de entre 11 y 12 meses, *P. violacea*, *D. longa*, *M. munkiana*, *M. japonica*, *M. californica*, *R. steindachneri*, *G. marmorata* y *A. narinari*; 4) alcanzan la madurez sexual a tallas y edades mayores (*M. japonica*, *M. munkiana*, *M. longirostris*, *M. californica*, *A. narinari* y *D. longa*) y 5) crecen lentamente (*Mobula* spp., *M. californica* y *M. longirostris*) (Notarbartolo-di-Sciara 1988, Villavicencio-Garayzar 1993b, Vázquez 2003, Flores-Pineda *et al.* 2008, Cuevas-Zimbrón *et al.* 2013, PNUMA 2014). La dinámica poblacional de las especies citadas sugiere capacidad de respuesta reducida cuando los *stocks* son dirigidos a estatus de sobreexplotación, colapso o deterioro, lo que se debe principalmente a que la estructura de comunidades de los elasmobranchios se rige a partir de procesos denso dependientes y a que de manera natural tienen pocos enemigos, por lo que presentan parámetros inherentes de estrategias *K* (Moyle y Cech 1996, Helfman *et al.* 2000, Arreguín-Sánchez 2006, Camhi *et al.* 2009, DOF 2010).

El índice de fragilidad biológica es equivalente con el segundo nivel jerárquico (productividad biológica) del análisis de la Evaluación de Riesgo Ecológico para los Efectos de la Pesca generado en Australia (Stobutzki *et al.* 2002, Salomón-Aguilar y Villavicencio-Garayzar 2011). Dicha metodología facilita la identificación de especies susceptibles a sobrepesca y favorece la aplicación del principio precautorio del Código Internacional de Conducta para la Pesca Responsable (Sparre y Venema 1998, FAO 2001), cuando la modalidad de registro de las estadísticas pesqueras se hace de manera errónea y gene-

ralizada, tal es el caso de la denominación “rayas y similares”, que ejemplifica los volúmenes en peso vivo y desembarcado de batoideos en los Anuarios Estadísticos de Acuicultura y Pesca. Al no existir información de captura por especie y esfuerzo para series de tiempo largas es posible que se enmascaren tendencias poblacionales en la clasificación del estatus del *stock* “rayas” de la Carta Nacional Pesquera, ya que se considera que el recurso se aprovecha al máximo sustentable, sin haber desglosado por especie (DOF 2010). Esta problemática predomina en la mayoría de las pesquerías mundiales de elasmobranchios; sin embargo, en algunos países, como Filipinas, Mozambique, Madagascar, India, Brasil, Tanzania e Indonesia, se reporta la captura por unidad de esfuerzo como medida de abundancia relativa, lo que ha permitido estimar reducciones poblacionales históricas que oscilan entre 50% y 90% para mantarrayas (*Mobula* spp. y *M. birostris*) (Camhi *et al.* 2009). Desafortunadamente, en México, la falta de información confiable pone en evidencia la dificultad de conocer los volúmenes de pesca por área, sector y especie, requerimientos básicos para obtener rendimientos máximos sostenibles.

El proyecto de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento, publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 11 de febrero de 2015, buscará mejorar en el mediano y el largo plazo, la calidad de los registros de las estadísticas oficiales, establecer grados de esfuerzo permisibles por unidad de pesca y región; así como la instrumentación de posibles cuotas anuales. Esto, sería la base para abastecer el Sistema Nacional de Información, que vincularía el manejo tradicional con el ecosistémico-multiespecífico (DOF 2015).

La IUCN evaluó a 591 especies de tiburones y rayas en el ámbito mundial, con base en cuatro criterios: 1) tasa de disminución, 2) tamaño de la población, 3) área de distribución geográfica y 4) grado de fragmentación de cada una de las especies. Se encontró que 21% de las especies está en peligro de extinción, 18% casi amenazada y 35% carece de información adecuada para realizar una evaluación precisa, situación que predomina en México (Márquez-Farías *et al.* 2006, Camhi *et al.* 2009, Kyne *et al.* 2014). Con respecto

a las especies analizadas en el presente trabajo, 35.3% corresponde a la categoría “casi amenazada” (*R. productus*, *M. munkiana*, *M. japonica*, *M. longirostris*, *R. steindachneri* y *A. narinari*) y “datos insuficientes” (*N. entemedor*, *R. glaucostigma*, *Z. exasperata*, *D. longa*, *U. maculatus* y *U. chilensis*), 23.5% “preocupación menor” (*P. violacea*, *M. californica*, *G. marmorata* y *U. halleri*) y 5.9% “no evaluada” (*D. brevis*) (Tabla 4). Cuatro especies inmersas en la categoría de conservación “casi amenazada” de la IUCN, coinciden con el estatus de fragilidad biológica más alto designado mediante el índice propuesto, excepto *R. productus* y *M. longirostris* (Tabla 4), debido a que la primera presenta estrategia reproductiva tipo 3, madura sexualmente a 63 cm de longitud total (LT) (machos) y 66 cm de LT (hembras) y alcanza longitudes máximas que no sobrepasan 137 cm de LT (características que definen a batoideos de fragilidad media); mientras que la segunda no fue evaluada por la carencia de datos biológicos regionales, por lo que la IUCN aplicó el principio precautorio para categorizarla como “casi amenazada”, en específico por la relación porcentual de 93.22% entre  $L_{50}$  y talla máxima (Villavicencio-Garayzar

1993a). Sin embargo, a pesar de la recuperación potencial que puede llegar a presentar la guitarra (*R. productus*), su importancia histórica para el sustento de la pesquería de rayas en el noroeste del Pacífico mexicano, aunada al elevado esfuerzo pesquero y a las capturas incidentales altas, ha propiciado evidentes indicios de una disminución poblacional en el Golfo de California (SAGARPA-CONAPESCA-Gobierno del Estado BCS-Secretaría de Pesca BCS-CIBNOR-CICIMAR 2007, DOF 2010).

Aunque es necesaria la elaboración de estudios ecológicos y reproductivos de rayas y mantarrayas, la categorización de tres especies (*P. violacea*, *M. californica* y *G. marmorata*) con fragilidad alta, resalta la calidad de los trabajos realizados en el área de estudio, ya que en el ámbito internacional, estas mismas especies son consideradas por la IUCN en el rubro de “preocupación menor” (Tabla 4). Los valores de vulnerabilidad provenientes de la clasificación de Cheung *et al.* (2005) muestran una coincidencia total en el grado de respuesta potencial para las 17 especies analizadas, en especial para las ocho más susceptibles a sobreexplotación (Tabla 4). Esto se explica a partir de la selección, la utilización

Tabla 4  
Estado de conservación de batoideos del noroeste del Pacífico mexicano

Especie	Estado de conservación		
	Grupo de especialistas en tiburones de la IUCN (Camhi <i>et al.</i> 2009)	Cheung <i>et al.</i> (2005)	Presente estudio
<i>N. entemedor</i>	Datos insuficientes	VB-VM	FB
<i>R. productus</i>	Casi amenazada	VMA	FB (CO) y FM (GC)
<i>R. glaucostigma</i>	Datos insuficientes	VM-VA	FM
<i>Z. exasperata</i>	Datos insuficientes	VM	FM (CO y GC)
<i>D. brevis</i>	No evaluada	VMA	FM
<i>P. violacea</i>	Preocupación menor	VA-VMA	FA
<i>D. longa</i>	Datos insuficientes	VA-VMA	FMA
<i>M. munkiana</i>	Casi amenazada	VM-VA	FMA
<i>M. japonica</i>	Casi amenazada	VM-VA	FMA
<i>M. californica</i>	Preocupación menor	VMA	FA
<i>M. longirostris</i>	Casi amenazada	VA	NE
<i>R. steindachneri</i>	Casi amenazada	VM-VA	FMA (CO) y FA (GC)
<i>G. marmorata</i>	Preocupación menor	VM-VA	FA
<i>U. maculatus</i>	Datos insuficientes	VM-VA	NE
<i>U. halleri</i>	Preocupación menor	VA	FB
<i>U. chilensis</i>	Datos insuficientes	VB	NE
<i>A. narinari</i>	Casi amenazada	VA-VMA	FMA

VMA: Vulnerabilidad Muy Alta, VA: Vulnerabilidad Alta, VM: Vulnerabilidad Moderada, VB: Vulnerabilidad Baja, FB: Fragilidad Baja, FM: Fragilidad Media, FA: Fragilidad Alta, FMA: Fragilidad Muy Alta, y NE: No Evaluada.

y la funcionalidad de parámetros poblacionales (tasa de crecimiento individual en talla, fecundidad, periodo de gestación, edad de madurez y edad máxima) que denotan la productividad biológica de peces cartilagosos (Musick 1999).

Especies detectadas con fragilidad biológica baja (*N. entemedor* y *U. halleri*) y “no evaluadas” (*U. maculatus* y *U. chilensis*) (Tabla 4), que no son de gran importancia comercial, forman parte de las capturas incidentales en la pesquería de escama con redes de enmalle y la pesquería de arrastre de camarón (Silva-Nicolás y Torres-Huerta 2008), por lo que deben ser planteados los estudios biológico-pesqueros que fomenten el enfoque de manejo ecosistémico y multispecífico para conocer su estatus poblacional. De las especies señaladas, *U. halleri* es el batoideo dominante en la fauna de acompañamiento (FAC) proveniente de las faenas de captura de los camarones de Sonora y Sinaloa (Villavicencio-Garayzar 2000a, López-Martínez *et al.* 2007, Morales-Azpeitia *et al.* 2011). *Urotrygon chilensis* también forma parte de la FAC en el Golfo de California; sin embargo, en el Golfo de Tehuantepec es un componente abundante y regular de la actividad citada, principalmente por la extracción de organismos neonatos, juveniles y hembras grávidas. Esta situación, junto con las características de historia de vida de estos organismos, los vuelve susceptibles a sobreexplotación (Cailliet *et al.* 1996).

Aunque existe información sobre rayas redondas, ésta sólo hace referencia a cuestiones como la distribución, la abundancia, la variación morfológica externa y los hábitos alimenticios; falta intensificar investigación referente a biología reproductiva y edad-crecimiento (Valadez-González *et al.* 2001).

En el Golfo de California se presentan mayores temperaturas, comparadas con las masas de agua de la costa occidental de la península de Baja California; por lo que en cada región se distribuyen subpoblaciones correspondientes a cuatro especies: *R. productus*, *Z. exasperata*, *R. steindachneri* y *G. marmorata*. Esto se puede corroborar mediante las diferencias existentes en los parámetros de la dinámica poblacional o características de historia de vida, como talla de nacimiento, talla media de madurez ( $L_{50}$ ) y talla máxima, menores en el Golfo de California

al registrarse tasas metabólicas altas que aceleran los procesos de crecimiento, reproducción y mortalidad (Villavicencio-Garayzar 1993a, b, García-Pámanes y Lara-Lara 2001, Gámez 2003, Vázquez 2003, Márquez-Farías 2007). Las subpoblaciones deben tratarse de manera diferente al establecer disposiciones de manejo. Lo anterior se puede lograr con los análisis integrativos aplicados y sugeridos.

#### *Registros de áreas y temporadas de reproducción y crianza de batoideos*

Cuatro especies (*R. productus*, *D. brevis*, *D. longa* y *G. marmorata*), que representan 23.53% de los batoideos analizados, presentaron mayores registros de áreas de reproducción y crianza, lo que se explica a partir de tres puntos: 1) son las que más se pescan en el área de estudio; 2) por ello se tiene más información, debido a que se aprovechan los datos que se generan en las pesquerías ribereñas y 3) el recurso es accesible para su observación durante sus temporadas de congregaciones reproductivas en la zona costera (Villavicencio-Garayzar 2000b, Bizzarro *et al.* 2007b).

La costa occidental de la península de Baja California (Bahía Magdalena-Almejas, BCS), la región central (Bahía Kino, Sonora) y la sur (área marina adyacente a El Sargento, La Ventana y Punta Arenas, BCS) del Golfo de California, son las regiones de congregaciones reproductivas que representan las mayores concentraciones de rayas y mantarrayas (riqueza específica y abundancia relativa), lo que posiblemente se deba a que las zonas de surgencia (producidas por vientos y corrientes de marea) más importantes del noroeste del Pacífico mexicano se localizan en dichas áreas (Villavicencio-Garayzar 2000b, García-Pámanes y Lara-Lara 2001). Esto propicia gran disponibilidad de alimento, como es el caso de los eufáusidos o krill (*Nyctiphanes simplex* Hansen 1911), copépodos, larvas de invertebrados, anfípodos, camarones, pequeños peces y los huevos ricos en energía que provienen de desoves masivos, que son utilizados mediante filtración por mantarrayas pelágicas (*M. birostris* y *Mobula* spp.) o las almejas, los caracoles, cangrejos, camarones, poliquetos, pulpos y peces que forman parte de la dieta principal de rayas que se alimentan en el fondo, como

*A. narinari*, *M. californica*, *M. longirostris*, *R. steindachneri*, *G. marmorata*, *D. brevis*, *P. violacea*, *R. productus*, *Z. exasperata*, *N. entemedor*, *U. maculatus*, *U. halleri* y *U. chilensis* (Compagno *et al.* 1989, Villavicencio-Garayzar 2000a, Sampson *et al.* 2010, Blanco-Parra *et al.* 2011).

La reproducción del total de especies de batoideos consideradas en el análisis de fragilidad, se presenta en las temporadas primavera-verano (marzo a septiembre) en lagunas costeras, marismas, bahías y estuarios del noroeste del Pacífico mexicano (Notarbartolo-di-Sciara 1988, Villavicencio-Garayzar 1991, Villavicencio-Garayzar *et al.* 1994, Bizzarro *et al.* 2007b), ya que los procesos críticos (apareamiento, gestación, nacimiento y crianza) para el reclutamiento del recurso dependen de la temperatura (Pratt y Casey 1990); por lo que valores de este parámetro se comienzan a incrementar a partir de marzo y abril, alcanzándose los mayores registros en agosto y septiembre. Durante los periodos señalados, estos organismos encuentran en el área de estudio, las condiciones bióticas y abióticas que permitirán a los neonatos crecer con relativa rapidez para incorporarse a la población de juveniles y adultos, en comparación con lo que sucede en sitios de menor productividad biológica y con características ambientales distintas (Castro 1993, Villavicencio-Garayzar 1995, 1996a, García-Pámanes y Lara-Lara 2001). Debido a lo extenso de la temporada reproductiva y a las adecuadas evaluaciones del INAPESCA, se delimitó la veda, para que abarcase los meses de mayo a julio, que representan la máxima actividad reproductiva de acuerdo con el enfoque multiespecífico (DOF 2012).

#### Zonas prioritarias de investigación y conservación

Los elasmobranquios son más vulnerables y susceptibles a ser capturados cuando se aproximan y congregan en la zona costera con fines reproductivos, debido a que el *stock* está disponible para la flota, sin que ésta realice gastos de operación significativos (Villavicencio-Garayzar 1996b, CONAPESCA-INP 2004). La estrategia evolutiva citada, adoptada desde hace 320 millones de años, ha sido exitosa para batoideos, ya que les permite encontrar abundante alimento y pro-

tección en contra de depredadores durante las etapas críticas del ciclo de vida (Lund 1990, Castro 1993); sin embargo, su presencia por largos periodos (meses o años) en aguas someras propició altos grados de esfuerzo pesquero históricos que han mermado varias poblaciones en el área de estudio (Bizzarro *et al.* 2007b). Debido a lo anterior, la inclusión de nuevos sitios en la red de zonas de refugio de la NOM-029-PESC-2006 a partir de análisis de complementariedad que consideran características ecológicas y filogenéticas de las especies de importancia comercial con fragilidad biológica alta, puede ser una opción viable para futuras actualizaciones (DOF 2007).

Los cuadrantes prioritarios de manejo (Fig. 5a-g) se ubican en la costa occidental de la península de Baja California, región central y sur del Golfo de California, destacando por orden jerárquico, los cuadrantes geográficos situados en Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Baja California. Esto se explica por cuatro razones principales: 1) Son las zonas de mayor productividad en el noroeste del Pacífico mexicano, lo que permite gran concentración de especies con menor resiliencia; 2) existe un traslape entre las áreas de captura y los sitios de reproducción y crianza; 3) las regiones referenciadas son las más importantes en cuanto a la generación de información sobre biología reproductiva y parámetros de la dinámica poblacional de rayas y mantarrayas; y 4) la batimetría y la variedad de tipos de fondo son los idóneos en los lugares señalados para el establecimiento de los *stocks* que sustentan las pesquerías de batoideos (Álvarez-Borrego *et al.* 1978, Villavicencio-Garayzar 1996b, García-Pámanes y Lara-Lara 2001, Márquez-Farías 2007).

La interconectividad de áreas con base en procesos ecológicos es un atributo para el diseño de redes de refugios pesqueros que, en este caso, reduce uno de los principales problemas para detectar sitios prioritarios para especies altamente migratorias, como *M. mukiana* y *M. japonica* (Notarbartolo-di-Sciara 1988, Villavicencio-Garayzar 1991), ya que mediante el análisis de complementariedad se pueden seleccionar pocas zonas (uno de los requisitos esenciales para labores de conservación eficientes), considerando los centros de congregaciones reproductivas, coincidencias temporales y características de historia de vida (Humphries *et al.* 1991, Castro

1993, Salomón-Aguilar *et al.* 2009). Esto se hace evidente en las disposiciones sugeridas en el presente trabajo, para el cuadrante 9 (área marina adyacente a El Sargento, La Ventana y Punta Arenas, BCS).

#### *Grados de prioridad para el manejo y la conservación de batoideos*

Los nueve cuadrantes identificados con posible actividad reproductiva (Fig. 2) son relevantes para la conservación del recurso, debido a que benefician el proceso de reclutamiento, que se considera crítico para estrategias *K* con características denso dependientes (Cailliet *et al.* 1996, Moyle y Cech 1996, Helfman *et al.* 2000, Villavicencio-Garayzar 2000b); sin embargo, mostraron diferentes grados de prioridad de acuerdo con la presencia de especies con mayor fragilidad biológica, entre los que destaca en el nivel 1, el cuadrante 3 (complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, BCS) para la protección de *D. longa*, *M. californica*, *R. steindachneri* y *G. marmorata*; en el 2 el cuadrante 7 (área marina adyacente a Mazatlán, Sin.) para *A. narinari* y *P. violacea*; y 9 (El Sargento, La Ventana y Punta Arenas, BCS) para *M. munkiana* y *M. japonica*; en el nivel 3 el cuadrante 6 (complejo lagunar Bahía Santa María-Altata, Sin.) para *D. longa* y *G. marmorata*; y en el nivel 4 el cuadrante 5 (Bahía Kino, Son.) para *M. californica* y *R. steindachneri* (Fig. 4 y 6). En lo que respecta a especies con fragilidad media, el cuadrante 3 y el 5 son fundamentales para el manejo exitoso de *R. productus*, el batoideo que sostiene la pesquería en el noroeste del Pacífico mexicano (DOF 2010), lo que coincide con los estudios de Villavicencio-Garayzar (1993a y 2000b), Márquez-Farías (2007), Bizzarro *et al.* (2007b) y Downton-Hoffmann (2007), que proponen dichos sitios como las principales áreas de reproducción, alumbramiento y crianza de la guitarra.

La inclusión del sector productivo desde el comienzo del proceso de elaboración e instrumentación de una red de refugios pesqueros es fundamental para lograr un manejo participativo de las comunidades pesqueras; además, este enfoque reduce conflictos entre las autoridades administrativas, investigadores y pescadores, facilita la adopción de actividades alternativas y

complementarias a la pesca, como el ecoturismo, y mejora las tareas de inspección y vigilancia en las AMP (Pitcher 1997, Bonfil 1999). La identificación de cuatro ámbitos prioritarios de conservación, conformados por 55.55% de las zonas evaluadas (tres nuevas: cuadrantes 5, 7 y 9), así como la nula coincidencia entre éstas y las ANP oficiales con influencia marina (SEMARNAT 2006, CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA 2007) y una equivalencia de 40% (cuadrante 3 y 6) con las zonas de refugio de la NOM-029-PESC-2006 (DOF 2007) derivado del análisis de vacíos y omisiones (Fig. 6), pone de manifiesto la importancia de incluir modelos holísticos que consideren los dos requisitos sugeridos por la FAO para incrementar y duplicar la lista de sitios en dicha norma: complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, BCS; Bahía de Teacapán, Sin.; y complejo lagunar Bahía Santa María-Altata, Sin., ya que en la actualidad se basa mayoritariamente en criterios cualitativos (66.67% de la bibliografía que existe sobre biología reproductiva) al definir áreas de crianza que, aunque cubren el punto de hábitats esenciales, pueden ser complementados con la protección diferencial de especies con baja resiliencia, para un aprovechamiento más sustentable y sostenible del recurso (Tabla 2) (Castro 1993, FAO 2001, Salomón-Aguilar *et al.* 2009, DOF 2015).

Las zonas prioritarias pueden presentar impactos sobre pesquerías diferentes a las que se pretende proteger y complicar su instrumentación, tal y como ha sucedido en Estados Unidos de América y Australia, con el traslape de zonas de pesca entre tiburoneros y camaroneros (Castro 1993, Stobutzki *et al.* 2002). Además, las redes de arrastre capturan grandes proporciones de neonatos y juveniles de batoideos; lo que intensifica los conflictos (López-Martínez *et al.* 2007, Morales-Azpeitia *et al.* 2011). Esta situación se podría suscitar en el noroeste del Pacífico mexicano para los sitios de refugio de las 15 especies de rayas de importancia comercial, ya que quedan constantemente atrapadas en las redes de enmalle usadas para la captura de escama (especialmente lenguados), durante la mejor temporada de explotación (mayo a julio), que coincide con la veda de elasmobranquios (DOF 2010, 2012).

Finalmente, es indispensable realizar investigación referente a técnicas de marcado y

recaptura de batoideos (juveniles y adultos), análisis de isótopos estables, monitoreo acústico, foto identificación (mantarrayas) y la aplicación de técnicas genéticas para comprobar filopatría; y que así se generen las bases de datos robustas con enfoque cuantitativo que justifiquen la asignación de áreas de reproducción, alumbramiento, expulsión y crianza con una perspectiva más objetiva. Mientras lo anterior se completa, el principio precautorio del Código Internacional de Conducta para Pesca Responsable debe hacerse efectivo, mediante la inclusión de nuevas zonas de refugio a la NOM-029-PESC-2006 a partir de la información más fidedigna existente.

### Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado a través de la beca Num. 8736 y a los revisores anónimos por sus valiosas sugerencias y aportaciones, que enriquecieron el presente trabajo.

### Literatura citada

- Aguilar C, V Anislado, M Gallardo y A Díaz. 2008. Estudio prospectivo en el uso de vértebras post-sinarcuales de la raya blanca (*Dasyatis americana* Hildebrand y Schroeder 1928) para la determinación de la edad y crecimiento. *En: A Díaz-Sánchez y C Aguilar (eds.). III Simposium Nacional de Tiburones y Rayas*. SOMEPEC-UNAM-Alianza WWF-Telcel, México, D.F. 25 al 29 de agosto de 2008, pp: 38-41.
- Álvarez-Borrego S, J Rivera, G Gaxiola-Castro, M Acosta-Ruiz y R Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 5(2): 53-71.
- Arreguín-Sánchez F. 2006. Pesquerías de México. *En: P Guzmán-Amaya y DF Fuentes-Castellanos (coords.). Pesca, Acuicultura e Investigación en México*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, Cámara de Diputados, LIX Legislatura. México, pp: 13-36.
- Bejarano-Álvarez M. 2011. Morfología funcional de los modos reproductivos en elasmobranquios del Pacífico mexicano. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. La Paz, BCS, México. 160p.
- Bizzarro JJ, WD Smith, JF Márquez-Farías y RE Hueter. 2007a. Artisanal fisheries and reproductive biology of the golden cownose ray, *Rhinoptera steindachneri* Everman and Jenkins 1891, in the northern Mexican Pacific. *Fisheries Research* 84: 137-146.
- Bizzarro J, W Smith, R Hueter, J Tyminski, JF Márquez-Farías, JL Castillo-Géniz, GM Cailliet y CJ Villavicencio-Garayzar. 2007b. *The status of shark and ray fishery resources in the Gulf of California: Applied research to improve management and conservation*. Report to the David and Lucille Packard Foundation. 237p.
- Blanco-Parra MP, JF Márquez-Farías y F Galván-Magaña. 2009. Reproductive biology of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata*, from the Gulf of California, México. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89(8): 1655-1662.
- Blanco-Parra MP, F Galván-Magaña, JF Márquez-Farías y CA Niño-Torres. 2011. Feeding ecology and trophic level of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata*, inferred from stable isotopes and stomach contents analysis. *Environmental Biology of Fishes* 95(1): 65-77. DOI: 10.1007/s10641-011-9862-7.
- Bonfil R. 1999. Marine protected areas as a shark fisheries management tool. *En: B Seret y JY Sire (eds.). Proceedings of the 5<sup>th</sup> Indo-Pacific Fish Conference, Noumea, 3-8 November 1997. Nouméa*. Société Française d'Ichtyologie and Institut de Recherche pour le Développement. Paris, pp: 217-230.
- Borrell B. 2013. A big fight over little fish size: limits have been a part of fisheries management for decades, but some fear that they are doing more harm than good. *Nature* 493(7434): 597-598.
- Branstetter SD. 1990. Early life-history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the Northwest Atlantic. *En: HL Pratt Jr, SH Gruber y T Taniuchi (eds.). Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries*. U.S. Dep. Commer., NOAA. Tech. Rep. NMFS 90, pp: 17-28.
- Cailliet GM, MS Love y AW Ebeling. 1996. *Fishes: a field and laboratory manual on their structure, identification and natural history*. Waveland Press, Inc. 194p.
- Camhi M, S Valenti, S Fordham, S Fowler y C Gibson. 2009. *The conservation status of pelagic sharks and rays*. Report of the IUCN Shark Specialist Group Pelagic Shark Red List Workshop. IUCN Species Survival Commission Shark Specialist Group. Newbury, UK. 78p.

- Castro J. 1993. The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the southeastern coast of the United States. *Environmental Biology of Fishes* 38: 37-48.
- Cheung W, T Pitcher y D Pauly. 2005. A fuzzy logic expert system to estimate intrinsic extinction vulnerabilities of marine fishes to fishing. *Biological Conservation* 124(1): 97-111.
- Compagno LJV, DA Ebert y MJ Smale. 1989. *Guide to the sharks and rays of South Africa*. New Holland London. 250p.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA. 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura. México. 129p.
- CONAPESCA-INP. 2004. *Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, SAGARPA. Mazatlán, México. 85p.
- Cuevas-Zimbrón E, O Sosa-Nishizaki, JC Pérez-Jiménez y JB O'Sullivan. 2013. An analysis of the feasibility of using caudal vertebrae for ageing the spinetail devilray, *Mobula japonica* (Müller and Henle 1841). *Environmental Biology of Fishes* 96: 907-914.
- Dávila J. 2002. Biología reproductiva de la raya mariposa *Gymnura marmorata* (Cooper 1863), en Bahía Almejas, BCS, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, BCS, México. 38p.
- De la Rosa-Meza K, O Sosa-Nishizaki y H De la Cueva-Salcedo. 2013. Feeding habits of the speckled guitarfish *Rhinobatos glaucostigma* (Elasmobranchii, Batoidea) in the southeastern Gulf of California. *Ciencias Marinas* 39(3): 277-290.
- DOF. 2007. Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. *Diario Oficial de la Federación*. México. 14 de febrero de 2007.
- DOF. 2010. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2 de diciembre de 2010.
- DOF. 2012. Acuerdo por el que se modifica el aviso por el que se da a conocer el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicado el 16 de marzo de 1994 para establecer los periodos de veda de pulpo en el Sistema Arrecifal Veracruzano, jaiba en Sonora y Sinaloa, tiburones y rayas en el Océano Pacífico y tiburones en el Golfo de México. *Diario Oficial de la Federación*. México. 11 de junio de 2012.
- DOF. 2015. Proyecto de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. *Diario Oficial de la Federación*. México. 11 de febrero de 2015.
- Downton-Hoffmann C. 1996. Estrategia reproductiva de la guitarra, *Rhinobatos productus* (Ayres 1856) en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, BCS, México. 50p.
- Downton-Hoffmann C. 2007. Biología del pez guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres 1856), en Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN. La Paz, BCS, México. 194p.
- ESRI. 1999. ArcView v3.2 GIS. Environmental Systems Research Institute, New York.
- FAO. 2001. *La ordenación pesquera. I. Conservación y ordenación del tiburón*. FAO Orientaciones técnicas para la pesca responsable. No. 4, Supl. 1. Roma. 66p.
- Flores-Pineda PA, C Villavicencio-Garayzar y J Tovar-Ávila. 2008. Biología reproductiva y evaluación de riesgo ecológico del gavilán dorado (*Rhinoptera steindachneri* Evermann y Jenkins 1891) en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. En: A Díaz Sánchez y C Aguilar (eds.). *III Simposium Nacional de Tiburones y Rayas*. SOMEPEC-UNAM-Alianza WWF-Telcel, México, D.F. 25 al 29 de agosto de 2008, pp: 79-83.
- Fox NJ y LE Beckley. 2005. Priority areas for conservation of Western Australian coastal fishes: A comparison of hotspot, biogeographical and complementarity approaches. *Biological Conservation* 125: 399-410.
- Gámez L. 2003. Condición reproductiva de *Rhinobatos glaucostigma*, raya guitarra punteada (Familia Rhinobatidae) y *Rhinoptera steindachneri*, raya gavilán negro (Familia Rhinopteridae), en primavera y verano en la costa central de Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. México. 50p.
- García-Pámanes J y J Lara-Lara. 2001. Pastoreo por el microzooplancton en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 27(1): 73-90.

- Geselbracht L, R Torres, GS Cumming, D Dorfman, M Beck y D Shaw. 2009. Identification of a spatially efficient portfolio of priority conservation sites in marine and estuarine areas of Florida. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 19: 408-420.
- Guerrero L. 2002. Captura comercial de elasmobranchios en la costa suroccidental del Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, BCS, México. 54p.
- Heithaus MR. 2007. Nursery areas as essential shark habitats: A theoretical perspective. *En: CT McCandless, NE Kohler y HL Pratt Jr (eds.). Shark nursery grounds of the Gulf of Mexico and the East Coast Waters of the United States. American Fisheries Society Symposium* 50: 3-13.
- Helfman GS, BB Collette y DE Facey. 2000. *The diversity of fishes*. Blackwell Science Editorial. Massachusetts, USA. 528p.
- Heupel M, J Carlson y C Simpfendorfer. 2007. Shark nursery areas: Concepts, definition, characterization and assumptions. *Marine Ecology Progress Series* 337: 287-297.
- Holden M. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. *En: FR Harden-Jones (ed.). Sea Fisheries Research*. J. Willey & Sons. New York, pp: 117-137.
- Humphries C, R Vane-Wright y P Williams. 1991. Biodiversity reserves: Setting new priorities for the conservation of wildlife. *Parks* 2: 34-38.
- Kaly U, L Briguglio, H McLeod, S Schmall, C Pratt y R Pall. 1999. Environmental Vulnerability Index (EVI) to Summarize National Environmental Vulnerability Profiles. *SOPAC Technical Report* 275. Nueva Zelanda. 77p.
- Kinney M y C Simpfendorfer. 2009. Reassessing the value of nursery areas to shark conservation and management. *Conservation Letters* 2: 53-60.
- Kyne PM, H Ishihara, SFJ Dudley y WT White. 2014. *Aetobatus narinari*. *En: IUCN 2014. IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2014.1. <www.iucnredlist.org>. Descargado el 3 de julio de 2014.
- López-Martínez J, S Hernández-Vázquez, C Rábago-Quiroz, E Herrera-Valdivia y R Morales-Azpeitia. 2007. Efectos ecológicos de la pesca de arrastre de camarón en el Golfo de California. Estado del arte del desarrollo tecnológico de las artes de pesca. *En: J Santinelli (ed.). La situación del sector pesquero en México*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, Cámara de Diputados, LX Legislatura. México, pp: 13-47.
- Lund R. 1990. Chondrichthyan life history styles as revealed by the 320 million years old Mississippian of Montana. *Environmental Biology of Fishes* 27: 1-19.
- Mariano E. 1997. Biología reproductiva de la raya lodera *Dasyatis brevis* (Garman 1880), en Bahía Almejas, BCS, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, BCS, México. 46p.
- Márquez-Farías F. 2007. Reproductive biology of shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* from the eastern Gulf of California, Mexico. *Marine Biology* 151: 1445-1454.
- Márquez-Farías F, WD Smith y JJ Bizzarro. 2006. *Rhinobatos productus*. *En: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2013.2. <www.iucnredlist.org>. Descargado el 10 junio de 2014.
- Martin LK y GM Cailliet. 1988. Aspects of the reproduction of the bat ray, *Myliobatis californica*, in Central California. *Copeia* (3): 754-762.
- McEachran JD y G Notarbartolo-di-Sciara. 1995. Peces batoideos. *En: W Fischer, F Krupp, W Schneider, C Sommer, KE Carpenter y VH Niem (eds.). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro Oriental*. Volumen II. Vertebrados-Parte 1. FAO, Roma, pp: 745-792.
- Mollet HF, JM Ezcurra y JB O'Sullivan. 2002. Captive biology of the pelagic stingray, (*Dasyatis violacea* Bonaparte 1832). *Marine and Freshwater Research* 53: 531-541.
- Morales-Azpeitia R, J López-Martínez, J Rodríguez-Romero y JT Ponce-Palafox. 2011. Distribución, abundancia y patrón reproductivo de *Pseudupeneus grandisquamis* Gill 1863 (Perciformes: Mullidae) y *Urobatis halleri* Cooper 1863 (Rajiformes: Urolophidae) en el Golfo de California. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 52: 3-14.
- Moyle PB y JJ Cech. 1996. *Fishes: an introduction to ichthyology*. Prentice-Hall, Inc. 590p.
- Musick JA. 1999. Criteria to define extinction risk in marine fishes. *Fisheries* 24(12): 6-14.
- Notarbartolo-Di-Sciara G. 1988. Natural history of the rays of the genus *Mobula* the Gulf of California. *Fishery Bulletin* 86(1): 45-66.
- Olsen EM, M Heino, GR Lilly, MJ Morgan, J Brattey, B Ernande y U Dieckmann. 2004. Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod. *Nature* 428: 932-935.

- Pitcher TJ (ed.). 1997. *The design and monitoring of Marine Reserves*. UBC Fisheries Centre Research Report 5(1): 47p.
- PNUMA. 2014. Propuesta para la inclusión de todas las especies de rayas del género *Mobula* en CMS apéndice I y II. PNUMA/CMS/ScC18/Doc.7.2.10. 20p.
- Pratt H Jr y J Casey. 1990. Shark reproductive strategies as limiting factor in direct fisheries, with a review of Holden's method of estimating growth parameter. *En*: H Pratt Jr, SH Gruber y T Taniuchi (eds.). *Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries*. NOAA Tech. Rep. NMFS 90: 97-108.
- SAGARPA-CONAPESCA. 2002-2011. *Anuarios Estadísticos de Acuicultura y Pesca*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, México. [http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona\\_anuario\\_estadistico\\_de\\_pesca](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca)
- SAGARPA-CONAPESCA-Gobierno del Estado BCS-Secretaría de Pesca BCS-CIBNOR-CICIMAR. 2007. *Propuesta de Carta Estatal Pesquera y Acuícola del Estado de Baja California Sur*. CIBNOR. 282p.
- Salgado-Ugarte I, J Gómez-Márquez y B Peña-Mendoza. 2005. *Métodos actualizados para análisis de datos biológico-pesqueros*. UNAM. México. 240p.
- Salomón-Aguilar CA. 2012. Enfoque multiespecífico en el manejo de tiburones del Golfo de México: identificación de especies con fragilidad biológica alta. *Mesoamericana* 16(3): 72-85.
- Salomón-Aguilar C y C Villavicencio-Garayzar. 2011. La fragilidad de tiburones de importancia comercial en el Pacífico mexicano: una herramienta para identificar especies susceptibles a sobre explotación. *En*: JC Chávez-Comparán y J Mimbela-López (eds.). *Avances sobre investigaciones marinas y acuícolas del Pacífico tropical mexicano*. Volumen 2. Universidad de Colima, México, pp: 81-95.
- Salomón-Aguilar C, C Villavicencio-Garayzar y H Reyes-Bonilla. 2009. Shark breeding grounds and seasons in the Gulf of California: Fishery management and conservation strategy. *Ciencias Marinas* 35(4): 369-388.
- Sampson L, F Galván-Magaña, R De Silva-Dávila, S Aguiñiga-García y JB O'Sullivan. 2010. Diet and trophic position of the devil rays *Mobula thurstoni* and *Mobula japanica* as inferred from stable isotope analysis. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90(5): 969-976.
- Santana-Hernández H, E Espino-Barr y JJ Valdez-Flores. 2011. Distribución y abundancia relativa de la raya látigo *Pteroplatytrygon violacea* capturada incidentalmente en el Pacífico central mexicano. *Ciencia Pesquera* 19(2): 13-22.
- SEMARNAT. 2006. *Programa de ordenamiento ecológico marino del Golfo de California*. Ed. Discover. 138p.
- SEMARNAT-INE. 2001. Bases para el ordenamiento ecológico de la región del Mar de Cortés (Componente social y económico). Resumen Ejecutivo. México. 40p.
- Silva-Nicolás GM y AM Torres-Huerta. 2008. Distribución, abundancia y variación intraespecífica en la morfología externa de la raya chilena (*Urotrygon chilensis*) en el Golfo de Tehuantepec, México. *En*: A Díaz-Sánchez y C Aguilar (eds.). *III Simposium Nacional de Tiburones y Rayas*. SOMEPEC-UNAM-Alianza WWF-Telcel, México, D.F. 25 al 29 de agosto de 2008, pp: 22-26.
- Smith WD, JJ Bizzarro y GM Cailliet. 2009. La pesca artesanal de elasmobranchios en la costa oriental de Baja California, México: características y consideraciones de manejo. *Ciencias Marinas* 35(2): 209-236.
- Sparre P y S Venema. 1998. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1 Manual. *FAO Fish Tech. Pap.* 306/1 (Rev. 2). FAO. Italia. 407p.
- Stobutzki I, M Miller, D Heales y D Brewer. 2002. Sustainability of elasmobranchs caught as bycatch in a tropical prawn (shrimp) trawl fishery. *Fishery Bulletin* 100(4): 800-821.
- Tognelli MF, C Silva-García, FA Labra y PA Marquet. 2005. Priority areas for the conservation of coastal marine vertebrates in Chile. *Biological Conservation* 126: 420-428.
- Turpie JK, LE Beckley y SM Katua. 2000. Biogeography and the selection of priority areas for conservation in South African coastal fishes. *Biological Conservation* 92: 59-72.
- Tyler P y P Calow (eds.). 1985. *Fish energetics: new perspectives*. Croom Helm. London. 349p.
- Valadez-González C, B Aguilar-Palomino y S Hernández-Vázquez. 2001. Hábitos alimentarios de la raya *Urobatis halleri* (Cooper 1863) (Chondrichthyes: Urolophidae) capturada en la plataforma continental de Jalisco y Colima, México. *Ciencias Marinas* 27(1): 91-104.
- Vane-Wright R, C Humphries y P Williams. 1991. What to protect? Systematics and the agony of choice. *Biological Conservation* 55: 235-254.
- Vázquez R. 2003. Aspectos biológicos de tiburones y rayas en la costa del centro y sur de Sinaloa, en invierno y primavera. Tesis de Licenciatura.

- Universidad Autónoma Metropolitana. México, 103p.
- Villavicencio-Garayzar C. 1991. Observations on *Mobula munkiana* (Chondrichthyes: Mobulidae) in the Bahía de La Paz, BCS, México. *Revista de investigación científica de la UABCS* 2(2): 78-81.
- Villavicencio-Garayzar C. 1993a. Biología reproductiva de *Rhinobatos productus* (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, BCS, México. *Revista de Biología Tropical* 41: 441-446.
- Villavicencio-Garayzar C. 1993b. Notas sobre *Gymnura marmorata* (Cooper 1863) en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. *Revista de Investigación Científica de la UABCS* 5(2): 63-67.
- Villavicencio-Garayzar C. 1995. Biología reproductiva de la guitarra pinta, *Zapteryx exasperata* (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 21(2): 141-153.
- Villavicencio-Garayzar C. 1996a. Tallas, proporción de sexos y reproducción de *Myliobatis californica* y *M. longirostris* (Pisces: Myliobatidae) en Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical* 43(2): 291-295.
- Villavicencio-Garayzar C. 1996b. Pesquería de tiburón y cazón. En: M Casas-Valdez y G Ponce-Díaz (eds.). *Estudio del potencial pesquero y acuícola en Baja California Sur*. SEMARNAP-Gobierno del Estado de Baja California Sur-FAO-UABCS-CIBNOR-CICIMAR-Instituto Nacional de la Pesca y CETMAR. La Paz, BCS, México, pp: 305-316.
- Villavicencio-Garayzar C. 2000. Taxonomía, abundancia estacional, edad y crecimiento, y biología reproductiva de *Narcine entemedor* Jordan y Starks (Chondrichthyes: Narcinidae), en Bahía Almejas, BCS, México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. 138p.
- Villavicencio-Garayzar C, C Downton y E Mariano. 1994. Tamaño y reproducción de *Dasyatis longus* (Pisces: Dasyatidae), en Bahía Almejas, BCS. México. *Revista de Biología Tropical* 42(1/2): 375-377.
- Recibido: 20 de junio de 2015.*  
*Aceptado: 19 de octubre de 2015.*