

Caracterización de los factores biológicos de las poblaciones de elasmobranquios más comunes en Bahía Santa Elena

Characterization of the biological factors of the most common elasmobranch populations in Bahía Santa Elena

Andrés Escoto Murillo
Universidad Nacional
Puntarenas, Costa Rica
pony76.andres@gmail.com

Jorge Campos Montero
Universidad FONDEPOS
San José, Costa Rica
jorgearurocampos55@gmail.com

José Pereira Chaves
Universidad Nacional
Programa de Ciencias Marinas
Puntarenas, Costa Rica
jose.pereira.chaves@una.cr

RESUMEN: Este artículo analiza los factores biológicos de los elasmobranquios más comunes en Bahía Santa Elena, en el Área de Conservación Guanacaste en el Pacífico norte de Costa Rica. Debido a un vacío de información científica marino-costera que origina un fallo del sistema de manejo, no hay enfoque de resiliencia en las poblaciones sujeto de conservación. Se utilizó el método de muestreo mensual desde septiembre de 2015 hasta agosto de 2016. Mediante censo subacuático, uso de un trasmallo y visita en los puestos de recibo de pescado de Cuajiniquil se determinó la diversidad, abundancia relativa, distribución de las especies, aspectos biométricos, biología reproductiva y estructura de tallas de captura; también se aplicó una encuesta a 120 pescadores para conocer la percepción social en factores del desarrollo sostenible. Se trabajó con una muestra de 289 individuos que dio como resultado que los meses de mayor precipitación se relacionan con picos de los índices de diversidad, con poca distribución espacial, donde se presenta un remplazo estacional de especies, entre las que destaca el arribo de *Rhinoptera steindachneri*, *Mobula munkiana*, durante los meses lluviosos y *Mustelus henlei* junto con *Sphyrna lewini* durante los vientos alisios. El periodo de desove principal para Myliobatiformes se ubica antes de diciembre, pero *Urotrygon nana* presenta un segundo periodo en julio. Se concluye que la biometría indica un mayor número de organismos juveniles para tiburones y adultos para rayas. La pesca con trasmallo de fondo se caracterizó por bajo rendimiento económico, lo que incide en la captura de juveniles de *S. lewini*, y este ingreso económico no se beneficia de los bienes naturales intangibles presentes en BSE que son patrimonio del Estado.

PALABRAS CLAVE: tiburones, rayas, manejo, ACG

ABSTRACT: This article analyzes the biological factors of the most common elasmobranchs in Bahía Santa Elena, in the Guanacaste Conservation Area in the north Pacific of Costa Rica. Due to a lack of marine-coastal scientific information there is a system failure of management, leaving without a resilience approach to the populations subject to conservation. The monthly sampling method was used from September 2015 to August 2016, diversity, relative abundance, species distribution, biometric aspects, reproductive biology and catch size structure were determined by means of an underwater census, the use of a trammel net and a visit to the Cuajiniquil fish reception posts. A survey was applied to 120 fishermen to know the social perception regarding the factors of sustainable development. I worked with a sample of 289 individuals, among the main results, it was obtained that the months with the highest rainfall are related to peaks of the diversity indices, with little spatial distribution. A seasonal replacement of species is presented, highlighting the arrival of *Rhinoptera steindachneri*, *Mobula munkiana*, during the rainy months and *Mustelus henlei* and *Sphyrna lewini* during the Trade Winds. The main spawning period for Myliobatiformes is located before December, however *Urotrygon nana* presents a second period in July. It is concluded that biometry indicates a greater number of juvenile organisms for sharks and adults for rays, bottom gillnet fishing was characterized by low economic performance, which affects the capture of juveniles of *S. lewini*, this economic income does not benefit from the intangible natural assets present in BSE that are State assets.

KEYWORDS: Sharks, rays, management, ACG

Recibido: 31-12-21 | Aceptado: 06-04-22

CÓMO CITAR (APA): Escoto Murillo, A. (2023). Caracterización de los factores biológicos de las poblaciones de elasmobranquios más comunes en Bahía Santa Elena. *InterSedes*, 24(49), 173-195.

Publicado por la Editorial Sede del Pacífico, Universidad de Costa Rica

Introducción

La información disponible sobre las poblaciones de elasmobranquios demuestra la interconectividad en un patrón de distribución estacional particular, entre islas como Darwin/Wolf o la Isla del Coco y montes submarinos en el Pacífico Oriental (Hearn et al., 2017; Bessudo et al., 2011). Esto favorece que se puedan predecir las migraciones en elasmobranquios, quizá influenciadas por la temperatura y salinidad en la columna de agua, desde zonas de alta productividad primaria, lejanas a la costa (Quiroz y Muller., 2014), como a través de la Fosa Centroamericana –que es una franja paralela a la costa que se extiende desde Panamá hasta Guatemala (Araúz et al., 2006) –, hacia zonas con termoclina de afloramiento, como el Domo Térmico, o en frente de la zona costera de Bahía Santa Elena (BSE) en Costa Rica, incluso hasta el Archipiélago de Revillagigedo, en México.

El vacío de información científica y de conservación marino-costera en BSE, en el Pacífico norte de Costa Rica, en el Área de Conservación Guanacaste (ACG), es una de las principales preocupaciones de los investigadores debido a su importancia ecológica para la provisión de recursos naturales y servicios ecosistémicos. Asimismo, la ausencia de un enfoque ecosistémico que promueva la resiliencia en las poblaciones, o de procesos ecológicos mediante acciones de conservación para el logro de metas de manejo establecidas, resulta una carencia significativa para el sistema administrativo (Arias et al., 2008), por lo que el objetivo de este estudio fue caracterizar los factores biológicos de las poblaciones de elasmobranquios más comunes, para así establecer acciones de manejo y conservación de la especie.

Materiales y métodos

Se determinaron 3 estaciones en BSE en el Pacífico norte de Costa Rica: la estación 1 fue ubicada en la boca de BSE, en el límite con mar abierto (N10.931598, O-85.800646), por ser un ambiente de alto intercambio debido a las corrientes salientes y entrantes. La estación 2 se ubicó en su área interna (N10.926281, O-85.817560), por ser el lugar previamente identificado por los lugareños como un sitio donde se observan los elasmobranquios, ambas de fondo

arenoso con rocas dispersas, las cuales fueron muestreadas una vez al mes desde setiembre de 2015 a agosto de 2016. Se utilizó equipo SCUBA mediante la metodología de Bohnsack y Bannerot (1986), se definió un cilindro imaginario de 6 m de radio y durante 90 minutos se registraron por estimación visual las especies dentro del mismo, posteriormente se hizo un recorrido de 50 metros paralelo a la costa. Además, como señuelo se dispuso carnada compuesta de restos de pescado congelado, dentro de un recipiente para pintura de un galón, cerrado y con 15 orificios pequeños en la tapa. Se utilizó la clave de tiburones de Compagno (2001). La estación 3 fue ubicada en el canal estrecho de Estero Grande (EG) (N10.913632, O-85.785440) y se utilizó el arte de pesca con trasmallo de luz de malla de 10.16 cm, el cual tuvo 1 hora y 30 minutos de inmersión, fue revisado cada 15 minutos, de marea alta a baja, para evitar el contacto directo con conchas, turba, piedra o fango y visualmente se estimó la talla en ancho del disco (AD) para rayas y largo total en tiburones (LT), su sexo y estado de madurez reproductivo según el grado de calcificación del Clasper en machos o distención de la piel con trauma sanguinolento en las aletas pélvicas en hembras. También, se muestreó en los puestos de recibo de pescado de Cuajiniquil para determinar la estructura de tallas de captura. Consecuentemente, los datos fueron diferenciados según la técnica de muestreo, entre organismos por metro cuadrado para transectos visuales y organismos por hora con trasmallo, y se determinaron los índices de diversidad, abundancia relativa y distribución. Luego fueron sumados y divididos entre dos para el cálculo de abundancia relativa. Para la toma de medidas biométricas, se estimó la longitud total del cuerpo en tiburones, y en rayas del ancho del disco (AD), en relación proporcional con la altura del buzo observador. El estado de madurez sexual en machos se diferenció según el desarrollo ontogenético externo del Clasper: en juveniles son órganos sexuales delgados, pálidos y blandos, pero en adultos son largos y calcificados, capaces de rotar; en hembras juveniles se diferenció su tamaño según la escala L50, en gestación avanzada por la forma abultada del abdomen y post grávidas con tracto urogenital con trauma sanguinolento, además, las hembras de tiburón maduras por la presencia de cicatriz de cópula. La pirámide poblacional se confeccionó con histogramas de frecuencia, agrupando los datos en intervalos acordes con la amplitud

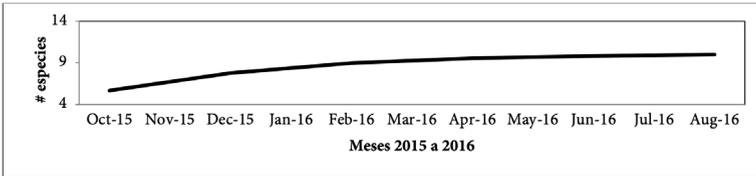
de tallas (Branstetter, 1987). Para la toma de datos para factores ambientales se registró la temperatura entre diez y doce metros de profundidad, mediante computadores de buceo; la salinidad se midió con un refractómetro y la transparencia del agua con disco Secchi, en complemento, el Instituto Meteorológico Nacional donó los datos de precipitación. Adicionalmente, se desarrollaron dos talleres en el Restaurante El Arrecife donde se aplicó el índice de gobernanza mundial, adaptado de la Ley de Pesca y Acuicultura #8436, esto con el fin de identificar la percepción social referente a los factores del desarrollo sostenible en los ámbitos ambiental, económico, social e institucional. En tierra se encuestó a 120 personas de la localidad de Cuajiniquil, con lo que se generó un índice de percepción positiva, y en BSE se trabajó en un índice de gobernanza con la tripulación de los botes de la zona. Para ello fueron evaluados 5 puntos y se asignó un valor de 1 para presencia o cero para ausencia, donde el mayor puntaje de 5 fue asociado a 100%. En cuanto al punto 1, se asumió una valoración de paz y seguridad de los tripulantes, al permitir que se les aproxime para constatar su actividad económica (artículos 8,32). Debido a que al irrespetar los derechos de terceros o ante la explotación excesiva con efectos dañinos sobre el entorno y el ecosistema evitan la aproximación. El punto 2 abordó el estado de derecho (artículos 41, 44) de la actividad que realizan, para constatar que sea una actividad permitida en BSE con Licencia de Pesca. El punto 3 analizó la participación de la sociedad civil en la actividad (artículo 7), para confirmar que es una embarcación de bandera nacional. El punto 4 fue acerca del desarrollo sostenible (artículo 38), para evaluar la sostenibilidad de la actividad en el tiempo, con artes de pesca reglamentarios. El punto 5, sobre desarrollo humano (artículo 23,25) permitió corroborar que los tripulantes dispongan de equipo de trabajo apropiado y en buen estado.

Resultados

Entre los datos obtenidos, en general (Fig. 1), se presentó una tendencia de igualdad entre BSE y EG (Fig. 2), donde el índice de diversidad de Shannon-Wiener resultó bajo, al ser menor a 0,4, el índice de Simpson indicó una alta distribución del espacio físico al ser menor a 1,7 y el índice de equitatividad indicó poca probabilidad de encontrar una especie dominante al ser menor a 0,5.

FIGURA 1

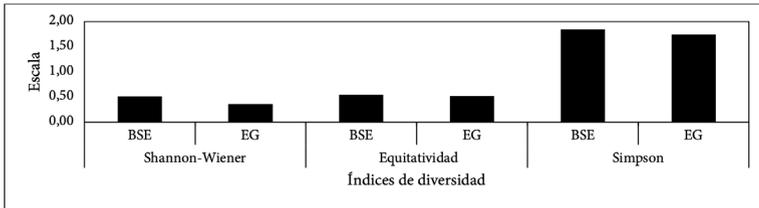
CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES PARA BSE Y EG



Nota. Indica que el esfuerzo de muestreo abarcó casi la totalidad de las especies presentes. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

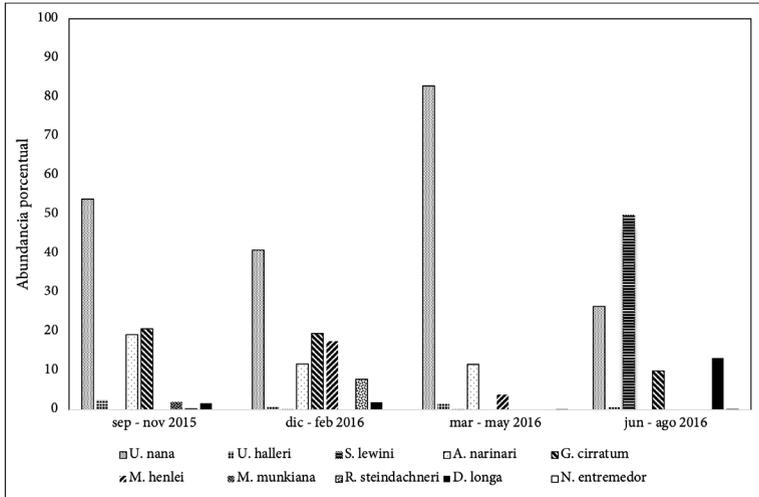
FIGURA 2

ÍNDICES DE DIVERSIDAD EN BSE Y EG CON TENDENCIA A SER IGUALES ENTRE SITIOS



Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

FIGURA 3
 ABUNDANCIA PORCENTUAL EN BSE Y EG

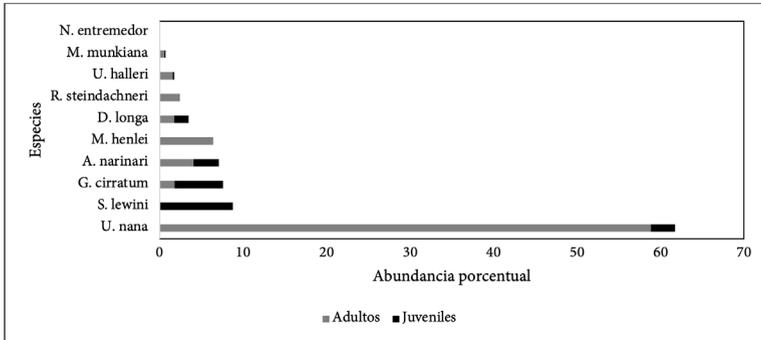


Nota. Las rayas *M. munkiana*, *R. steindachneri* se ausenta alrededor de diciembre donde aparecen los tiburones *M. henlei*, *S. lewini* y *N. entremedor*. Todas las otras especies se presentaron todos los meses. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

En la abundancia porcentual anual, los adultos de la especie *U. nana* representaron el 63% y los juveniles de las especies *A. narinari*, *S. lewini*, *G. cirratum*, *M. munkiana*, *R. steindachneri* y *D. longa* agrupan en su mayoría un 30%, dejando solo 5% de adultos de las especies *M. henlei* y *N. entremedor* (Fig 3).

FIGURA 4

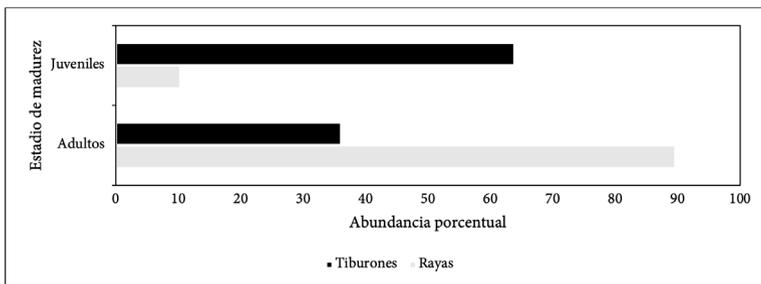
ABUNDANCIA PORCENTUAL ANUAL A PARTIR DE L50



Nota. Casi en todas las especies se presentaron organismos juveniles. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

FIGURA 5

ABUNDANCIA PORCENTUAL POR SEXOS A PARTIR DE L50

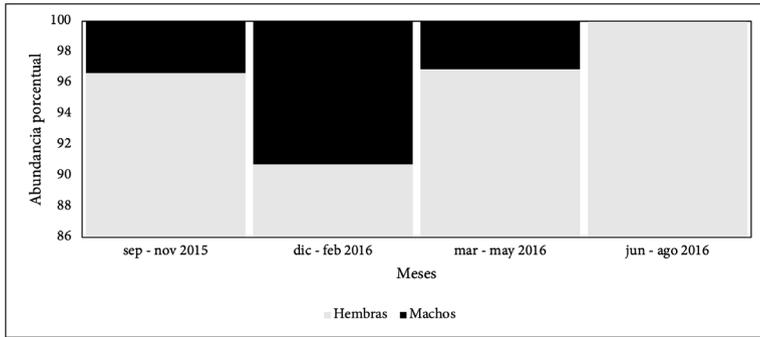


Nota. Los juveniles son representativos para tiburones y los adultos para rayas. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

Los datos reflejan que, a partir de L50, los tiburones se caracterizan por ser juveniles y en las rayas dominan los adultos (Fig. 5), además los machos de Myliobatiformes no acompañan a las hembras entre los meses de junio a agosto, $P > 0,05$, utilizando la prueba de χ^2 (Figura 6).

FIGURA 6

ABUNDANCIA PORCENTUAL POR SEXOS EN MYLIOBATIFORMES



Nota. Entre los meses de junio a agosto los machos se ausentan. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

FIGURA 7

CLASPER DE RAYA MACHO ADULTOS



Nota. Macho de *U. halleri* a la izquierda en BSE y a la derecha macho de *A. narinari* en EG, en diciembre 2015. Fuente: elaboración propia.

En mayo, una hembra de *U. halleri* y otra de *U. nana* presentaron óvulos fertilizados sin ningún desarrollo embrionario (Fig. 8). Esto, junto con las observaciones visuales de trauma sanguinolento en el tracto reproductivo de las hembras capturadas a lo largo del periodo de muestreo, evidenció que entre los meses de junio y agosto las hembras están gestando y los machos se ausentan (Fig. 6). Asimismo, los picos de desove se concentran antes de diciembre (Fig. 9) para las especies *A. narinari* y *U. halleri* y *U. nana*, sin embargo, esta última presentó dos picos reproductivos: uno en abril y otro en septiembre.

FIGURA 8

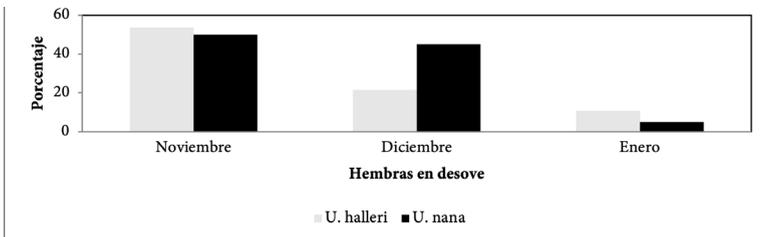
ÓVULOS FERTILIZADOS SIN NINGÚN DESARROLLO EMBRIONARIO



Nota. Hembra de *U. halleri* a la izquierda en BSE y a la derecha hembra de *U. nana* en EG, ambas capturadas en BSE con red de trasmallo de fondo. Fuente: elaboración propia.

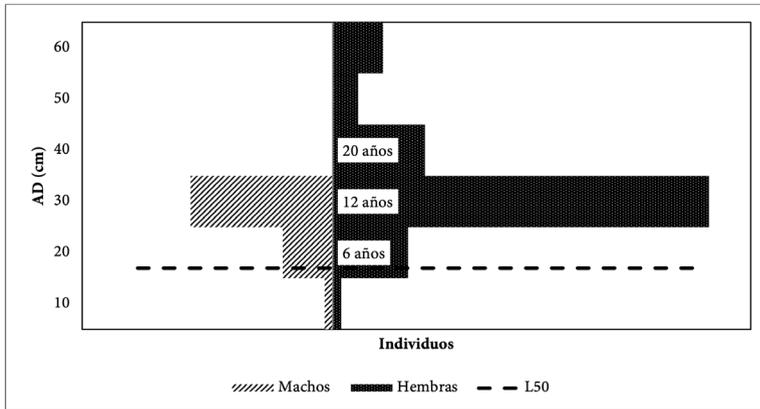
FIGURA 9

PORCENTAJE MENSUAL DE HEMBRAS EN DESOVE DE LA FAMILIA UROTRYGONIDAE



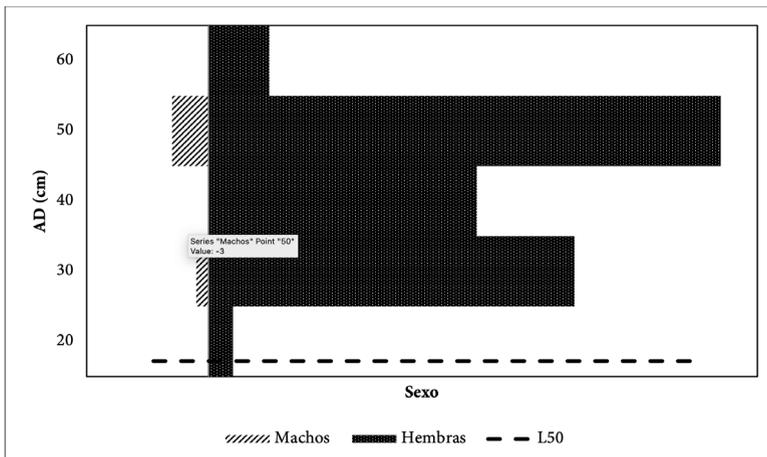
Nota. Estas especies tienen una estrategia reproductiva compartida. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

FIGURA 10
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA U. HALLERI



Nota. La forma de pirámide invertida es característica de poblaciones en desequilibrio, con una reducción poblacional después de 30 AD a los 12 años de vida. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

FIGURA 11
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA U. NANA



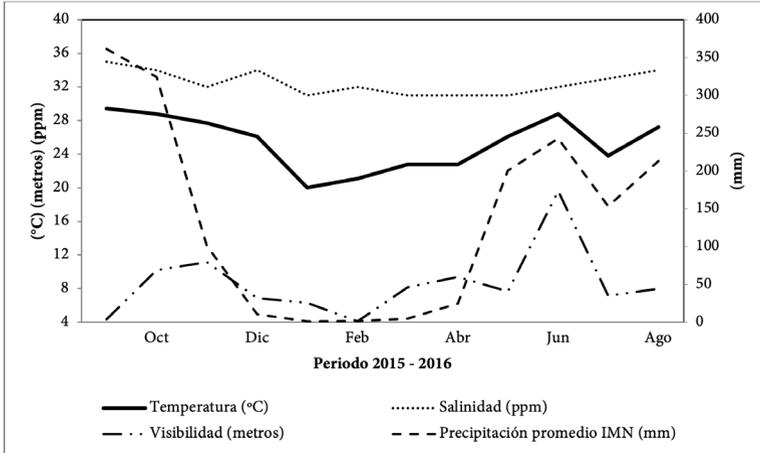
Nota. La forma de pirámide invertida es característica de poblaciones en desequilibrio, con una reducción poblacional después de 30 AD. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

Se puede observar que las variables ambientales presentaban los valores más bajos entre diciembre y abril (Fig 12), lo que se relaciona con el mismo estadio reproductivo para las especies presentes (Figs. 6, 8, 15 y 16).

FIGURA 12

COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

Nota. El punto más bajo generalizado entre diciembre y abril. Fuente: elaboración

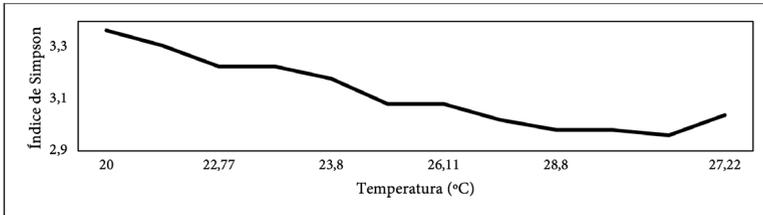


propia con datos de la investigación, Precipitación: Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.

Los datos reflejan que los cambios en la temperatura se correlacionan con los cambios del índice de diversidad de Simpson, y presentan una mayor distribución espacial al descender la temperatura del mar (Fig. 10).

FIGURA 13

REGRESIÓN NO LINEAL PARA EL ÍNDICE DE SIMPSON

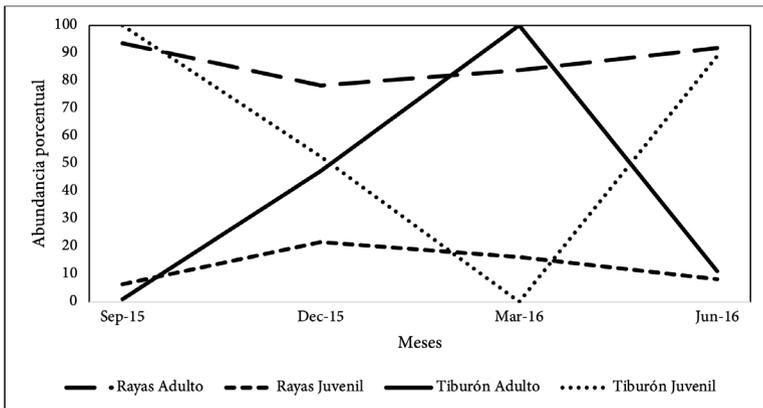


Nota. Incrementa con temperaturas bajas en la columna del agua de Mar. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

De la abundancia porcentual se presenta una diferencia $P > 0,05$ entre octubre y diciembre (Fig. 4), donde predominan las rayas adultas (89,6 %) sobre las rayas juveniles (10,3 %). En el caso de los tiburones, esta diferencia se evidenció en el predominio de los tiburones juveniles (63,8 %) sobre los adultos (36,1 %) de enero a marzo (Figs. 4 y 14).

FIGURA 14

ABUNDANCIA PORCENTUAL SEGÚN LOS ESTADOS DE MADUREZ SEXUAL EN RAYAS Y TIBURONES



Nota. Las clases etológicas variaron, en rayas en diciembre y para tiburones en marzo. Para ambos casos los juveniles de rayas decrecen a partir de su máximo y los de tiburón incrementan a partir de su mínimo. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

FIGURA 15

RAYA *M. MUNKIANA* MUESTREADA EN EG OCTUBRE 2015



Nota. A la izquierda presenta deformidad cóncava en el lomo donde se localiza el útero y a la derecha trauma sanguinolento con distensión de tejido, ambos debido al desove. Fuente: elaboración propia.

FIGURA 16

TIBURONES MUESTREADOS EN LOS RECIBIDORES DE PESCADO DE CUAJINIQUIL



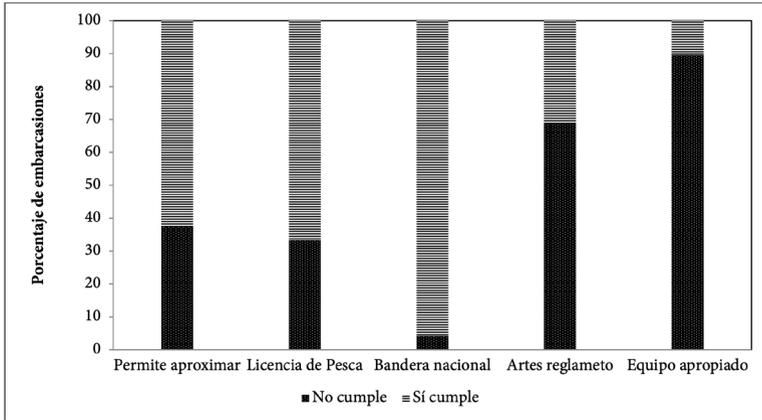
Nota. A la izquierda, contenido estomacal de *M. henlei* adulto en febrero 2016. A la derecha, neonatos de *S. lewini* en junio 2016, se utilizó un lapicero como referencia de talla, ambos capturados en BSE con red de trasmallo de fondo. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

De un individuo adulto de *M. henlei* se obtuvo el contenido estomacal y se determinó que en su dieta destacan los calamares *Lo-*

liginidae y en menor proporción el crustáceo *Squilla* sp, presas que viven fuera de BSE, a profundidad (Gómez et al. 2003) (Fig. 15).

FIGURA 17

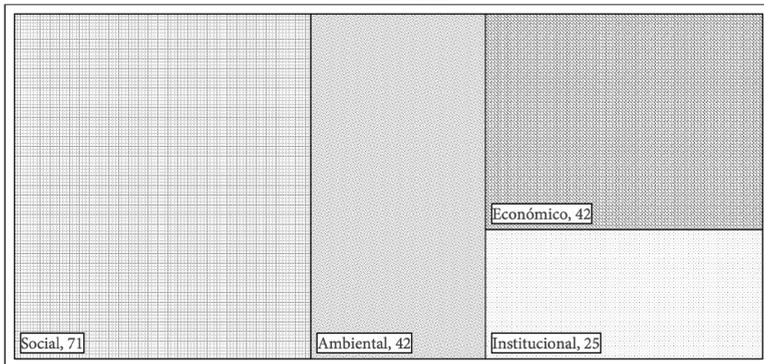
EL ÍNDICE DE GOBERNANZA SEGÚN LA LEY 8436



Nota. Existe una tendencia al cumplimiento de las normas, pero la actividad extractiva con arte reglamentario junto con equipo apropiado estuvo fuera de legalidad. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

FIGURA 18

ÍNDICE DE PERCEPCIÓN POSITIVA SEGÚN VALORES DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Nota. BSE es un espacio geográfico positivo para la sociedad, con poca proyección institucional ante la población y sus valores ambientales se pueden transferir por completo a lo económico. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación.

El índice de percepción positiva ilustró cómo la mayor parte de la sociedad percibe como iguales los valores ambientales a los económicos, porque a nivel institucional no se da acceso a los valores ambientales intangibles que son objeto de protección por ser patrimonio natural del Estado (Fig. 18). En consecuencia, se da una percepción pobre de la presencia institucional en BSE.

Discusión

Con base en los datos obtenidos sobre la curva de acumulación de especies, la misma sugiere que el esfuerzo de muestreo fue satisfactorio, pero la fluctuación del índice de Simpson deja en evidencia que las poblaciones de elasmobranquios presentan un grado significativo de organización espacial y temporal relacionados con la variabilidad en la temperatura. Los meses de mayor temperatura (Chao et al., 1985) se asocian con picos en el número de especies y, en un contexto de altas temperaturas oceánicas, se presentan menores índices de diversidad, abundancia porcentual y distribución de sexos. Asimismo, las especies están homogéneamente distribuidas. Esta tendencia fue descrita por Ortiz (2011): la composición de especies guarda cierta estabilidad a lo largo del año, probablemente porque existe un remplazo estacional equitativo de especies (Castillo-Rivera et al., 2003). Por lo tanto, en el mes de septiembre, durante la época lluviosa, se evidenció un grupo de especies oceánicas del cual destacan *A. narinari*, *R. steindachneri* y *M. munkiana*, diferente al grupo de especies presentes durante la época seca con vientos alisios, del cual destacan *N. entremedor*, *M. henlei* y *S. lewini*. Otras especies se distribuyeron a lo largo de todo periodo de estudio, del cual destacan *G. cirratum*, *U. halleri*, *U. nana* y *D. longa*.

El índice de diversidad de Shannon-Wiener fue constante todo el tiempo, como lo reportaron Araya (1988), en Quepos, León (1973) y Bartels et al. (1983) en el Golfo de Nicoya. Según Margalef (1974), el rango medio en las poblaciones de peces es entre 1 y 3.5, por esto el índice de diversidad de Shannon-Wiener se ubicó con valores bajos de 0.46 en BSE y 0.30 en EG, asociados a comunidades no maduras y muy perturbadas, según Odum (1972). Este hecho se confirma al comparar el dato con el 3.11 registrado en el Golfo de Papagayo por Araúz (2009) o con el de 1.69 en Golfo

Dulce, por López et al. (2009); o también el de 0.7, en México, por Torres (2008).

El índice de equitatividad mostró que los valores promedio obtenidos en BSE (0.50) y EG (0.45) son interpretados como intermedios, al contextualizarlos con el índice que se obtuvo de Torres (2008), en México, de 0.29; o López et al. (2009), de 0.62, en Golfo Dulce; o incluso el de Araúz (2009) de 0.73 en el Golfo de Papagayo. El índice de distribución de Simpson se contextualizó como bajo, con promedios en BSE 1.72 y EG 1.65, que al contextualizarlos con el índice que se obtuvo de Torres (2008) de 1.39, en México; o López *et al* (2009), de 4.79 en Golfo Dulce; o incluso de Araúz (2009), de 5.08, sugieren cierta estabilidad y homogeneidad de la comunidad de elasmobranquios en el área de estudio.

La abundancia relativa se contextualizó como baja, con un total de 10 especies de 7 familias (destacan *U. nana* y *U. halleri*), en relación con 11 especies de 5 familias en México, o 15 especies y 10 familias en el Golfo Dulce (donde destaca *S. lewini*), e incluso de 11 especies de 8 familias en el Golfo de Papagayo (donde destaca *D. longa*) (Araúz, 2009) (López et al., 2009) (Torres, 2008). La abundancia relativa mensual estuvo sujeta a las migraciones cíclicas (Hearn, 2013) de tres grupos funcionales de elasmobranquios, los cuales se han considerado así por compartir características biológicas y un rango de distribución geográfica que varía entre el Pacífico Oriental Este (Bessudo et al., 2011) durante el periodo de vientos alisios, y el noreste del Pacífico mexicano durante el periodo de lluvias.

En el primer grupo se ubican *R. steindachneri* y *M. munkiana*, que tienen poblaciones residentes en el noreste del Pacífico mexicano (Salomón-Aguilar, 2015) durante el periodo de lluvias. Y en el segundo grupo se ubican *S. lewini* que tienen poblaciones residentes en el Pacífico Oriental Este y *M. henlei*, cuya migración se estima a lo largo de la costa centroamericana durante el periodo de los vientos alisios. En el tercer grupo se ubican *U. nana*, *U. halleri*, *A. narinari*, *D. longa* y *G. cirratum*, que son especies residentes o de poco desplazamiento, incluyendo *N. entremedor*, que realiza migraciones altitudinales.

En relación con la distribución y alimentación en la cadena trófica, los elasmobranquios encontrados en BSE son mayormente depredadores de organismos con dietas basadas en fitoplancton,

incluso detritos, por lo que su distribución dentro de BSE está posiblemente relacionada con el acarreo de sedimento presente en EG, hecho descrito por Castillo-Rivera et al., (2003). Por lo tanto, si el acarreo de sedimentos es bajo, se reduce la fuente alimenticia y se asocia a un número bajo de posibles presas, por ende se van a presentar pocos elasmobranquios. Las diferentes características biológicas y rangos de distribución geográfica entre las especies registradas reflejan amplias preferencias nutricionales y de heterogeneidad de ambientes (Espinoza, 2007) o nichos de alimentación (Gómez et al., 2003) disponibles fuera de BSE.

Todas las variables ambientales son estadísticamente diferentes entre ellas: $P > 0,05$; por lo tanto, son independientes. Sin embargo, se presenta un patrón de comportamiento generalizado donde su valor más bajo entre diciembre de 2015 y abril de 2016, resultado del incremento en los vientos alisios que provocan que el agua superficial del mar se desplace mar adentro (Fiedler, 2002; Amador et al., 2006). Esto favorece el fenómeno de afloramiento de aguas profundas impulsadas por la contra corriente ecuatorial del norte frente a la costa pacífica norte de Costa Rica. Por el contrario, la reducción en la intensidad de los frentes fríos facilita la precipitación en la zona, lo que contribuye al incremento de la visibilidad por la presencia de un mayor volumen de agua salobre en la parte superficial del mar.

Considerando los aspectos biométricos y biología reproductiva, la proporción y segregación de sexos, los machos en *Myliobatis* logran una abundancia porcentual máxima durante el periodo de apareamiento entre diciembre de 2015 y febrero de 2016 y desaparecen entre junio y agosto de 2016. Esto indica el final del periodo reproductivo y el inicio del periodo de desove sincronizado, que se hace evidente con la presencia de neonatos de *R. steindachneri* en septiembre, finalizando con las hembras post grávidas de *U. halleri* y *U. nana* a finales diciembre, las cuales presentaron óvulos fertilizados sin ningún desarrollo embrionario presente en mayo. Aunado a esto, *U. nana* presentó dos picos reproductivos: uno en abril y otro en septiembre. Esta situación es consistente con el reporte hecho por Salomón-Aguilar (2015) y Notarbartolo-di-Sciarai (1988) en el noreste del pacífico mexicano. En esa región, la familia Mobulidae presenta los machos en marzo, en los meses calientes y solo hembras en invierno. Incluso Tagliafico et

al. (2007) indican que, en el Archipiélago de Los Frailes, en Venezuela, *A. narinari* no presenta machos maduros en octubre y ninguna hembra está en gestación en noviembre.

En relación con las pirámides poblacionales de *U. halleri* (Babel, 1967; Valadez-González et al., 2001) y *U. nana* (Robertson et al., 2009), especies emparentadas (*Urotrygonidae*) comparten tiempos de reproducción y crecimiento similares, posiblemente en respuesta a factores físicos y ambientales locales (Colonello, 2009). Ambas presentaron una reducción en la distribución de tallas después de los 30 cm (AD), equivalente a 12 años de vida, (Hale y Lowe, 2008), así que, mediante aproximación de datos indirectos, se asocia la tasa de crecimiento entre especies emparentadas con la reducción poblacional después de 30 AD con los fenómenos de la Niña ocurridos antes del año 2004 y sus bajas temperaturas.

Los factores del desarrollo sostenible emulan un patrón de crecimiento económico que falla por la poca influencia institucional, porque se transgrede el límite para la extracción de recurso (Meadows et al., 1972). Esto perpetua el estado de pobreza, hecho evidenciado en la actividad de pesca con trasmallo de fondo, caracterizada por un bajo rendimiento económico presentado en el índice de gobernanza por la falta de cumplimiento en los puntos de equipo apropiado y arte reglamentario, el cual incide en la captura de juveniles de *S. lewini* y repercute negativamente en el ingreso económico, mismo que no se beneficia de los bienes naturales intangibles presentes en BSE que son patrimonio del Estado.

Es probable que las especies raras y crípticas no llegaron a ser identificadas en su totalidad en los resultados de este estudio, sin embargo, la diversidad y abundancia de los elasmobranquios se ubicaron con un valor bajo, asociado a un contexto de cambio climático del fenómeno del Niño que altera el patrón de comportamiento de los vientos alisios que regulan las lluvias, vinculadas al acarreo de sedimentos que intensifican la cadena trófica y asociadas al aumento de individuos juveniles. Es de esperar que en un contexto de menores temperaturas se encuentren variaciones importantes en los resultados. La distribución para las especies no residentes en BSE se caracterizó, en los meses de precipitaciones, por la presencia de especies Myliobatiformes como *M. munkiana* y *R. steindachneri*. Consecuentemente, ante el incremento de los vientos alisios ocurre una sustitución de especies, donde destacan los

tiburones *S. lewini* y *M. henlei*. Considerando los aspectos biométricos y biología reproductiva, el periodo de desove inicia en septiembre y finaliza progresivamente en diciembre para los Myliobatiformes, con la salvedad de que *U. nana* registra un segundo periodo de desove en julio. Sin embargo, la captura de juveniles de *S. lewini* con trasmallo de fondo junto al contenido estomacal de *M. henlei* con presas que viven fuera de BSE a profundidad, aunado a la presencia dominante de rayas hembras, implica una segregación de sexos ligada a otra zona geográfica fuera de BSE para la residencia de los machos de elasmobranquios en general, por esto resulta importante gestionar estudios de marcaje y recaptura para establecer los movimientos de los elasmobranquios y que estos sustenten la gestión a nivel local o regional.

Conclusión

BSE se caracterizó con una diversidad y abundancia bajas, donde el arribo de *R. steindachneri*, *M. munkiana* ocurre en los meses lluviosos, con el periodo de desove principal para Myliobatiformes antes de diciembre, y con picos en los índices de diversidad con poca distribución espacial, aunque *U. nana* presentó un segundo periodo reproductivo en mayo y con desove en julio. Posteriormente, la llegada de los vientos alisios estableció un remplazo estacional de especies, entre las que destacan *N. entremedor*, *M. henlei* y *S. lewini*. En general la biometría indica dominancia de tallas adultas reproductivas en rayas y juveniles en tiburones, con incidencia en la pesca con trasmallo de fondo, en contraste con poca influencia institucional que permitió transgredir el límite para la extracción de recurso pesquero y una percepción de los factores de desarrollo sostenible con mucho espacio para mejorar el ingreso económico, enfocado en los bienes naturales intangibles presentes en BSE.

Agradecimientos

Agradezco a mi madre, Teresita Murillo García, a Jorge Campos y a Ricardo Gutiérrez por enseñarme que para alcanzar los objetivos se debe descubrir que las noches son largas y las mañanas provechosas; que el buen biólogo no es el que tiene todas las res-

puestas, sino el que sabe dónde buscarlas. También a Manuel Alán por facilitar el espacio físico en el Restaurante Arrecife para los talleres informativos con los pescadores artesanales, sin los cuales no hubiera sido posible realizar esta investigación; especialmente a Aníbal Lara, capitán en el bote Tiburón, y a Oscar Rosales, capitán del bote *Skimmer* de la compañía Salve Terra, por toda la logística que realizaron. Finalmente, a Oliver y Francisca Blömeke, propietarios de la tienda de buceo *Deep Blue Diving*, por el apoyo incondicional junto con el equipo de buceo, así como a Roger Blanco, coordinador de investigación y a Fredy Salazar encargado de la parte marina del ACG.

Referencias

- Amador, J., Alfaro, E., Lizano, O. y Magaña, V. (2006). Atmospheric forcing in the Eastern Tropical Pacific, Costa Rica. *Journal Progress in Oceanography* (69), 101-142.
- Araúz, R. (2009). *Caracterización de los elasmobranchios avistados en sitios de buceo, en el Golfo de Papagayo, Costa Rica*. PRE-TOMA.
- Araúz, R., López, A., Ballester, J. y Bolaños, A. (2006). *Estimación de la abundancia relativa de tiburones en la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica, a partir de observadores a bordo de la flota de palangre de Playas del Coco, Guanacaste, Costa Rica*. Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Araya, H. (1988). *Diversidad, distribución, abundancia y relaciones tróficas de peces en estero Damas y estero Palo Seco* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Arias, E., Chacón, O., Induni, G., Herrera, B., Acevedo, H., Corrales, L., Barborak, J., Coto, M., Cubero, J. y Paaby, P. (2008). Identificación de vacíos en la representatividad de ecosistemas terrestres en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 54, 21-27.
- Babel, J. (1967). Reproduction, life history and ecology of the round stingray *Urolophus halleri* Cooper. *Journal of Fish. Bull.* (137), 104.
- Bartels, C., Price, K., López, M. y Bussing, W. (1983). Occurrence, distribution, abundance and diversity of fishes in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 31, 133-138.

- Bessudo, S., Soler, G., Klimley, A., Ketchum, J., Hearn, A. y Araúz, R. (2011). Residency of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) at Malpelo Island and evidence of migration to other islands in the Eastern Tropical Pacific. Colombia. *Journal Environ. Biol. Fish* (91), 165–176.
- Bohnsack, J. y Bannerot, S. (1986). A Stationary Visual Census Technique for Quantitatively Assessing Community Structure of Coral Reef Fishes. *NOAA Technical Report NMFS* (41), 1-15.
- Branstetter S. (1987). Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico, Mexico. *Journal Environ. Biol. Fish* (19), 161-173.
- Castillo-Rivera, Zárata, R. y Sanvicente, L. (2003). Patrones de diversidad de peces en la Laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México. *Revista Hidrobiológica*, 13(4), 289-298.
- Chao, L., Pereira, L. y Vieira, J. (1985). Estuarine fish community of the Dos Patos Lagoon, Brazil. DOI: 10.1201/EBK1420088304-c17
- Colonello, J. (2009). *Ecología reproductiva de tres batoideos (Chondrichthyes): Atlantoraja castelnaui (Rajidae), Rioraja agassizi (Rajidae) y Zapteryx brevirostris (Rhinobatidae). Implicancias de distintas estrategias adaptativas en un escenario de explotación comercial intensiva* [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Naturales, Chile.
- Compagno, L. (2001). *An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date*. FAO.
- Espinoza, M. (2007). Composición y estructura de las comunidades de peces del río La Cañaza, Pacífico Sur de Costa Rica. *Revista BRENESIA* (67), 35-43.
- Fiedler, P. (2002). The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Journal of Deep-Sea Research* (49), 321-338.
- Gómez, G., Zapata, L., Franke, R. y Ramos, G (2003). Hábitos alimentarios de *M. lunulatus* y *M. henlei* (pisces: triakidae) colectados en el parque nacional natural Gorgona, pacífico colombiano. Colombia. *Journal of Bol. Invest. Mar. Cost*, (32), 219-229.
- Hale, L. y Lowe, C. (2008). Age and growth of the round stingray *Urobatis halleri* at Seal Beach, California. Department of Biological Sciences, United States. *Journal of Fish Biology*, (73), 510–523.

- Hearn, A., Espinoza, E., Ketchum, J., Green, J., Peñaherrera, C., Araúz, R., Fischer, C., Steiner, T., Shillinger, G., Henderson, S., Bessudo, S., Soler G. y Klimley. AP (2017). *Una década de seguimiento de los movimientos de tiburones resalta la importancia ecológica de las islas del norte: Darwin y Wolf, Ecuador*. Fundación Galápagos.
- León, P. (1973). Ecología de la Ictiofauna del Golfo de Nicoya Costa Rica, un estuario tropical. *Rev. Biol. Trop.* 21(1), 5-30.
- López, A., Araúz, R., Zanella, I. y Le Foulgo, L. (2009) Análisis de las capturas de tiburones y rayas en las pesquerías artesanales de Tárcoles, Costa Rica. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 1. 145-157.
- Margalef, R. (1974). *Ecología*. Omega.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. y Behrens, W. (1972). Los límites del crecimiento. Club de Roma.
- Notarbartolo-di-Sciarai. G. (1988). Natural History of the Rays of the genus *Mobula* in the Gulf of California, United States. *Journal of Fishery Bulletin*, 86(1).
- Odum, E. (1972). *Ecología*. Nueva Editorial Interamericana.
- Ortiz, S. (2011). *Estructura de la comunidad íctica en el estero de tamarindo* [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Costa Rica. Programa de Ciencias Marino Costeras. Costa Rica.
- Quiroz, G. y Muller, F. (2014). *Dinámica de los remolinos en la zona del domo térmico de Costa Rica*. El domo térmico. http://eldomotermico.blogspot.com/2014/04/dinamica-de-los-remolinos-en-la-zona_5481.html
- Robertson, R., Rojas, R., Valenti, S. y Cronin, E. (2009). *Urotrygon nana*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161747A5494384.en>
- Salomón-Aguilar. C. (2015). Zonas prioritarias de conservación de rayas y mantarrayas en el noreste del pacífico mexicano, México. *Revista de Ciencia pesquera*, 23(2), 77 – 99.
- Tagliafico, A., Rago, N., Rangel, S. y Mendoza, J. (2007) Exploitation and reproduction of the spotted eagle ray (*Aetobatus narinari*) in the Los Frailes Archipelago, Venezuela. Universidad de Oriente Boca de Río, Isla de Margarita, Venezuela. *Journal of Fishery Bulletin*, 110 (3).
- Torres, A (2008). *Elasmobranquios del sistema laguna Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereyra de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Chiapas*. Universidad del Mar. México.

Valadez-González, C., Aguilar-Palomino, P. y Hernández-Vázquez, S. (2001). Hábitos alimentarios de la raya *Urobatis halleri* (Cooper 1863) capturada en la plataforma continental de Jalisco y Colima, México. *Revista de Ciencias del Mar*, (27), 91-104.