



Diet of the rasptail skate, *Rostroraja velezi* (Rajiformes: Rajidae), off Piura, Peru

Dieta de la raya bruja *Rostroraja velezi* (Rajiformes: Rajidae) frente a la región Piura, Perú

Pamela Molina-Salgado^{1,2}, Joanna Alfaro-Shigueto^{1,3*}, Adriana González-Pestana^{2,3}

¹ Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur, Lima, Peru.

² Misión Raya, Av. del Pinar 373, Dept. 304, San Borja, Lima, Peru.

³ ProDelphinus, José Galvez 780e, Miraflores, Lima, Peru.

* Corresponding author. E-mail: jalfaros@ucientifica.edu.pe

ABSTRACT. Batoids are among the least studied group of vertebrates and one of the most vulnerable to fishing. The rasptail skate, *Rostroraja velezi*, is a bycatch species in northern Peru for which there are no studies on its diet. This research aims to document the diet of *R. velezi* on the northern Peruvian coast and to determine if there are sex-based differences in the diet. A total of 74 *R. velezi* stomachs were collected, 59 of which had stomach contents. The cumulative prey curve showed reliability in the number of samples collected. According to the prey-specific index of relative importance, diet was dominated by *Acanthephyra* sp. (31%), other unidentified Caridea (15%), and unidentified teleosts (17%). A low significant difference in diet between sexes was found ($R = 0.21$, $P < 0.01$). The trophic position of *R. velezi* was 3.9 ± 0.7 . This species displays bentopelagic feeding behavior and it is a secondary predator in northern Peru.

Key words: trophic ecology, feeding habits, mesopredator, gillnets, Elasmobranchii.

RESUMEN. Los batoideos son uno de los grupos de vertebrados menos estudiados y uno de los más vulnerables a la pesca. La raya bruja *Rostroraja velezi* es una especie capturada incidentalmente en el norte del Perú para la cual no existen estudios sobre su dieta. El objetivo de esta investigación es documentar la dieta de *R. velezi* en la costa norte del Perú y determinar si existe una diferencia en la dieta según el sexo. Se recolectaron un total de 74 estómagos de *R. velezi*, de los cuales 59 presentaron contenido estomacal. La curva acumulativa de presas mostró confiabilidad en el número de muestras recolectadas. Según el porcentaje de importancia relativa por presa específica, la dieta estuvo dominada por *Acanthephyra* sp. (31%), otros carideos no identificados (15%) y teleosteos no identificados (17%). Se determinó una baja diferencia significativa en la dieta entre sexos ($R = 0.21$, $P < 0.01$). La posición trófica de *R. velezi* fue de 3.9 ± 0.7 . Esta especie presenta un comportamiento alimenticio bentopelágico y es considerada un depredador secundario en el norte del Perú.

Palabras clave: ecología trófica, hábitos alimenticios, mesopredador, red agallera, Elasmobranchii.

INTRODUCTION

Batoids are one of the least studied groups of marine vertebrates, and most species are classified as ‘data deficient’ (DD) on the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List of Threatened Species (Dulvy et al. 2008, Hoffman et al. 2010). They are important demersal predators in marine food webs, since their proliferation could generate an ecosystem imbalance, altering trophic dynamics (Navia et al. 2010, Vaudo and Heithaus 2011, Bornatowski et al. 2014a). This is due to their association with high (as prey of top predators) and low trophic levels (Ferretti et al. 2010, Vaudo and Heithaus 2011). They also play an ecological role as bioturbators, since their foraging behavior implies habitat modification (O’Shea et al. 2011).

In Peru, there are 37 batoid species, 8 of which belong to the Rajidae family (Cornejo et al. 2015, Last et al. 2016). The rasptail skate, *Rostroraja velezi*, inhabits muddy-sandy bottoms in benthic zones (Grove and Lavenberg 1997,

INTRODUCCIÓN

Los batoideos son uno de los grupos de vertebrados marinos menos estudiados y la mayoría está clasificada en la categoría de ‘datos deficientes’ de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Dulvy et al. 2008, Hoffman et al. 2010). Estos organismos son importantes depredadores demersales en las redes tróficas marinas, dado que su proliferación podría generar un desequilibrio ecosistémico y alterar la dinámica trófica (Navia et al. 2010, Vaudo y Heithaus 2011, Bornatowski et al. 2014a). Esto se debe a su vinculación con niveles tróficos altos (como presa de depredadores tope) y bajos (Ferretti et al. 2010, Vaudo y Heithaus 2011). Asimismo, los batoideos tienen un rol ecológico como bioperturbadores, puesto que su comportamiento de forrajeo implica la modificación de hábitats (O’Shea et al. 2011).

En el Perú existen 37 especies de batoideos, de las cuales 8 pertenecen a la familia Rajidae (Cornejo et al. 2015, Last et

Zavalaga et al. 2018) of tropical and subtropical neritic waters, at depths between 35 and 250 m (Zavalaga et al. 2018). It is distributed from the Gulf of California (Mexico) to northern Peru. This species interacts with the fisheries in northern Peru, though the volume of landings is low compared to landings for other batoid species (González-Pestana et al. 2016). It is consumed sporadically and occasionally by locals, so it is of no commercial fishing importance in Los Organos (Piura, Peru). It is incidentally caught in bottom-fishing gear (e.g., trawl and gillnet), especially as bycatch in the Peruvian hake, *Merluccius gayi peruanus* Ginsburg 1954 (Céspedes 2014), artisanal and trawling fisheries. On a national level, the hake fishery represents one of the main industrial and artisanal fisheries (Arellano and Swartzman 2010), so its impact on *R. velezi* populations could be high since the trawl fishery yields the largest discards of all fisheries (Pérez-Roda et al. 2019). *Rostroraja velezi* is listed as ‘data deficient’ on the IUCN Red List due to limited knowledge about its biology and fisheries (Valenti and Kyne 2009).

The diet of *R. velezi* has been studied in Colombia, Costa Rica, and Mexico (Navia et al. 2007, Espinoza et al. 2012, Simental 2013), wherein demersal prey were found to prevail, mainly decapod crustaceans and small fish. In Peru, there are very few studies about the diet of batoids (Coasaca-Céspedes et al. 2018, Silva-Garay et al. 2018), and there are no studies regarding the diet of the rasptail skate. It is important to learn the feeding habits of this little-studied taxonomic group. Diet studies allow us understand the interactions between species within a trophic web, the trophic position, and the feeding habits (Mar-Silva et al. 2014, González-Pestana et al. 2017, Roque-Ventura 2017, González-Pestana et al. 2018). This information allows us to establish ecological baselines for the development of ecosystem models and holistic fishery management plans, considering the ecosystem, the species living in it, and the species interactions (Shepherd and Andrade 2006).

The present study aims to know the diet of *R. velezi* in Los Organos, Piura (Peru), through the analysis of stomach contents. Thus, it represents a baseline for future research on the diet of the Rajidae family in this area of the southeastern Pacific.

MATERIALS AND METHODS

Study area and sampling methodology

The samples of *R. velezi* were collected at Los Organos pier, Piura (4°10'38" S, 81°07'29" W), from December to March since 2016 until 2019, during the warm season, which is defined by the high concentration of chlorophyll *a* and primary production (Pennington et al. 2006) (Fig. 1). All samples were part of the bycatch from the Peruvian hake artisanal fishery, which uses gillnets (7 cm mesh size) at depths between 35 and 220 m.

al. 2016). La raya bruja *Rostroraja velezi* habita sobre fondos fangosos-arenosos de zonas bentónicas (Grove y Lavenberg 1997, Zavalaga et al. 2018) en aguas tropicales y subtropicales neríticas, a profundidades de entre 35 y 250 m (Zavalaga et al. 2018). Se distribuye desde el golfo de California (México) hasta el norte del Perú. Esta especie presenta interacciones con las pesquerías en el norte del país, aunque el volumen de desembarques es bajo comparado con otras especies de batoideos (González-Pestana et al. 2016). Debido a su esporádico y ocasional consumo local, en Los Órganos (Piura, el Perú) no presenta una importancia comercial pesquera. Su captura es incidental en la de pesca de fondo (e.g., arrastre y cortina), especialmente como fauna acompañante en la pesca artesanal y de arrastre dirigida a la merluza *Merluccius gayi peruanus* Ginsburg 1954 (Céspedes 2014). A nivel nacional, la pesquería de la merluza representa una de las principales pesquerías industriales y artesanales (Arellano y Swartzman 2010), por lo que su impacto en las poblaciones de *R. velezi* podría ser grande, ya que la pesca de arrastre presenta los mayores descartes de todas las pesquerías (Pérez-Roda et al. 2019). *Rostroraja velezi* está clasificada en la categoría de ‘datos deficientes’ en la lista roja de la UICN, debido al conocimiento limitado sobre su biología (Valenti y Kyne 2009).

La dieta de *R. velezi* ha sido estudiada en Colombia, Costa Rica y México (Navia et al. 2007, Espinoza et al. 2012, Simental 2013), donde se ha encontrado que en la dieta predominan presas demersales, principalmente los crustáceos decápodos y los peces pequeños. En el Perú, existen muy pocos estudios sobre la dieta de batoideos (Coasaca-Céspedes et al. 2018, Silva-Garay et al. 2018) y ningún estudio sobre la dieta de la raya bruja. Es importante conocer la alimentación de este grupo poco estudiado. Los estudios de las dietas permiten conocer las interacciones entre especies dentro de una red trófica, la posición trófica y los hábitos alimentarios (Mar-Silva et al. 2014, González-Pestana et al. 2017, Roque-Ventura 2017, González-Pestana et al. 2018). Estos conocimientos permiten establecer bases ecológicas para el desarrollo de modelos ecosistémicos y planes de manejo pesquero holísticos, donde se consideren al ecosistema, las especies que lo habitan y sus interacciones (Shepherd y Andrade 2006).

El presente trabajo propone conocer la dieta de *R. velezi* en Los Órganos, Piura (el Perú), por medio del análisis de contenidos estomacales. Así, representa una línea base para futuras investigaciones sobre la dieta de la familia Rajidae en esta zona del Pacífico sudoriental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y metodología de muestreo

Las muestras de *R. velezi* fueron recolectadas en el muelle de Los Órganos, Piura (4°10'38" S, 81°07'29" W), de diciembre a marzo de 2016 y 2019, en temporada cálida, la cual se caracteriza por la alta concentración de clorofila *a* y

The specimens were sexed, considering the presence or absence of claspers, and measured, considering total length (TL, cm) and disc width (DW, cm). The digestive tracts (esophagus, stomach, and spiral valve) were extracted and fixed in 4% formaldehyde. Then, they were stored for 24 h in labeled bottles containing a 10% formalin solution. Finally, the samples were rinsed with distilled water and preserved in 70% ethanol (Ruiz-Campos et al. 2010).

Laboratory Analysis

The digestive tracts were analyzed in the Universidad Científica del Sur Research Laboratory. The contents were placed over a 500- μ m mesh size sieve (Espinoza et al. 2012) and were then rinsed and analyzed to identify prey to the lowest possible taxonomic level. Prey items were grouped by taxa, counted, and weighed. For the identification of crustaceans, fish, and otoliths, the taxonomic guides of Méndez (1981), Chirichigno-Fonseca and Velez-Dieguez (1998), García-Godos (2001), and Zavalaga et al. (2018) were used. For the identification of cephalopods, the beaks were analyzed; a regression equation considering the beak length measurements was used to estimate the total mass of the individuals (Wolff 1984, Lu and Ickeringill 2002).

Diet analysis

Sampling efficiency was determined using cumulative curves (Ferry and Cailliet 1996) based on the nonparametric estimator Chao 1, which considers the abundance of prey categories (Colwell and Coddington 1994) and was analyzed using 999 resamples in EstimateS 9.1 (Escalante-Espinosa 2003, Colwell 2013, Flores-Ortega et al. 2015). For the construction of the cumulative prey curve, individuals with empty stomachs and unidentified prey were excluded and categories grouped by order and family were used. Sample size was considered reliable for describing the diet if the slope of the curves was less than 0.1 (Soberón and Llorente 1993, Ferry and Cailliet 1996, Magurran 2004). Sampling efficiency, as well as the performance of the estimator, was also calculated considering bias and accuracy (Chiarucci et al. 2003, Walther and Moore 2005). The R statistical program v.3.2.2 (Core Team 2016) was used for modeling the curves and obtaining the coefficient of determination (R^2). A good performance of the estimator is observed if the bias and accuracy values, which may vary between -1 to 1 , are close to zero (Palmer 1990, Brose et al. 2003). An R^2 value equal or close to one with a P value < 0.05 determines a good fit between both curves (Motulsky and Christopoulos 2003).

The diet was quantified at a general level and by sex through the following percentages: numerical, which accounts for the number of individuals in a prey category and the total of prey individuals; gravimetric, which accounts for the weight of individuals in a prey category and the total weight of individuals; and frequency of occurrence, which

producción primaria (Pennington et al. 2006) (Fig. 1). Todas las muestras provinieron de la pesca incidental de la flota artesanal dirigida a la merluza, que opera con red de enmalle (7 cm de apertura de malla) a profundidades de entre 35 y 220 m.

Los especímenes fueron sexados, considerando la presencia o la ausencia de pterigopodios (claspers), y medidos, considerando la longitud total (LT, cm) y el ancho del disco (AD, cm). Los tractos digestivos (esófago, estómago y válvula espiral) fueron extraídos y fijados con formaldehído al 4%. Luego, fueron colocados en frascos rotulados con una solución de formalina al 10% por 24 h. Finalmente, fueron enjuagados con agua destilada y preservados en etanol al 70% (Ruiz-Campos et al. 2010).

Análisis en laboratorio

Los tractos digestivos fueron analizados en el Laboratorio de Investigación de la Universidad Científica del Sur. Los contenidos fueron vaciados sobre un tamiz con apertura de malla de 500 μ m (Espinoza et al. 2012), y luego fueron enjuagados y analizados para identificar las presas hasta el menor taxón posible. Los ítems presa fueron agrupados por taxones, contados y pesados. Para el reconocimiento de crustáceos, peces y otolitos, se utilizaron las guías taxonómicas de Méndez (1981), Chirichigno-Fonseca y Velez-Dieguez (1998), García-Godos (2001) y Zavalaga et al. (2018). Para la identificación de cefalópodos, se examinaron los picos; la masa total de los individuos se estimó con la ecuación de regresión empleando las mediciones de longitud de los picos (Wolff 1984, Lu y Ickeringill 2002).

Análisis de la dieta

La eficiencia del muestreo fue determinada mediante las curvas acumulativas (Ferry y Cailliet 1996) en función del estimador no paramétrico Chao 1, basado en las abundancias de las categorías presa (Colwell y Coddington 1994) y analizado aplicando 999 remuestreos en el programa EstimateS 9.1 (Escalante-Espinosa 2003, Colwell 2013, Flores-Ortega et al. 2015). Para la construcción de la curva de presa acumulada, se excluyeron los individuos con estómagos vacíos y las presas no identificadas, y se utilizaron categorías agrupadas por orden y familia. El tamaño de la muestra se consideró confiable para describir la dieta si las curvas alcanzaban una pendiente menor que 0.1 (Soberón y Llorente 1993, Ferry y Cailliet 1996, Magurran 2004). También se calculó la eficiencia del muestro, y el desempeño del estimador, considerando sesgo y exactitud (Chiarucci et al. 2003, Walther y Moore 2005). Se utilizó el programa estadístico R v.3.2.2 (Core Team 2016) para la modelación de las curvas y la obtención del coeficiente de determinación (R^2). Se consideró un buen desempeño del estimador si los valores de sesgo y exactitud, que pueden variar entre -1 y 1 , eran cercanos a cero (Palmer 1990, Brose et al. 2003). Un R^2 igual o cercano

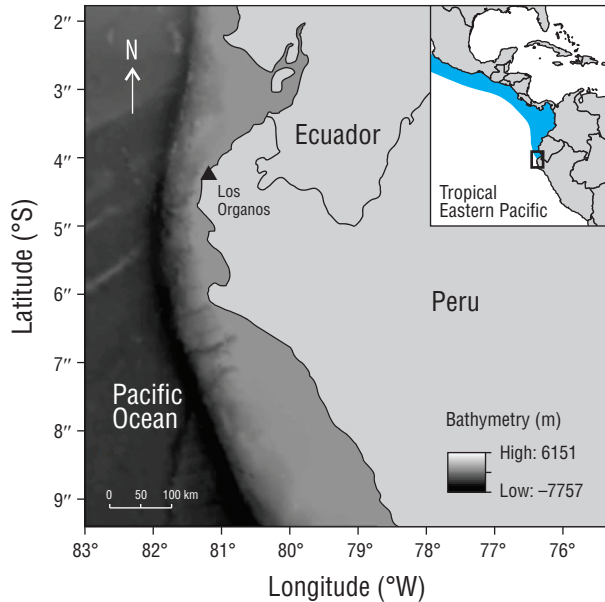


Figure 1. Sampling location for the study of stomach contents of the rasptail skate, *Rostroraja velezi*. The blue shaded area delimits the Tropical Eastern Pacific marine ecoregion.

Figura 1. Punto de muestreo para el estudio de contenido estomacal de la raya bruja *Rostroraja velezi*. El área sombreada de azul delimita la ecoregión marina del Pacífico Oriental Tropical.

accounts for the number of occurrences of individuals in a prey category and the total number of stomachs. The index of relative importance (IRI) was calculated by adding the numerical and the gravimetric percentages and then multiplying the sum by the percentage of frequency of occurrence (Pinkas et al. 1971). Next, the IRI percentage was obtained by dividing the IRI of each prey category by the total IRI of the prey items (Cortés 1997). Finally, the prey-specific IRI (%PSIRI) was obtained (Brown et al. 2012). The %PSIRI is independent of the taxonomic level, allowing for more reliable comparisons between studies (Brown et al. 2012).

The trophic position of the rasptail skate was calculated by adding the proportion of the weight of the prey item, multiplied by each trophic position of each prey item, all of this added to one (Christensen and Pauly 1992). The value of the trophic position of the prey items was obtained from the scientific literature (Cortés 1999, Espinoza 2014).

Analysis of the diet by sex

Analysis of similarity (ANOSIM) was used, where the value of the R statistic allows establishing the degree of similarity. A value of zero with a P value < 0.05 indicates that there are no significant differences between the diets, and a value of one with a P value < 0.05 indicates that there are significant differences (Clarke 1993). The similarity percentage was then used to determine the prey groups that contributed the most to the dissimilarity between diets by sex (Clarke

a uno acompañado de un valor de $P < 0.05$ determina un buen ajuste entre ambas curvas (Motulsky y Christopoulos 2003).

La dieta fue cuantificada a nivel general y por sexo mediante los siguientes porcentajes: numérico, que considera el número de individuos de una categoría presa y el total de individuos presa; gravimétrico, que considera el peso de individuos de una categoría presa y el peso total de individuos presa; y frecuencia de ocurrencia, que considera el número de ocurrencias de individuos de una categoría presa y el número total de estómagos. El índice de importancia relativa (IIR) se calculó sumando el porcentaje numérico y el gravimétrico y multiplicando la suma por el porcentaje de frecuencia de ocurrencia (Pinkas et al. 1971). Seguidamente, se obtuvo el porcentaje del IIR dividiendo el IIR de cada categoría presa entre el IIR total de los ítems presa (Cortés 1997). Finalmente, se obtuvo el IIR por presa específica (%IIRPS) (Brown et al. 2012). El %IIRPS es independiente del nivel taxonómico, lo cual permite comparaciones más fidedignas entre estudios (Brown et al. 2012).

La posición trófica de la raya bruja se calculó mediante la sumatoria de la proporción del peso del ítem presa, multiplicado por cada posición trófica de cada ítem presa, todo ello sumado a uno (Christensen y Pauly 1992). El valor de la posición trófica de los ítems presa se obtuvo de la bibliografía científica (Cortés 1999, Espinoza 2014).

Análisis de la dieta a nivel de sexo

Se empleó el análisis de similitud (ANOSIM), en donde el valor del estadístico R nos permite establecer el grado de similitud. Un valor de cero con valor de $P < 0.05$ indica que no existen diferencias significativas entre dietas, y un valor de uno con valor de $P < 0.05$ indica que existen diferencias significativas (Clarke 1993). Luego, se empleó el porcentaje de similitud para determinar los grupos presa que contribuyeron mayormente a la disimilitud entre las dietas por sexo (Clarke 1993). Se utilizó el programa estadístico R v.3.2.2 (Core Team 2016) para los análisis de la dieta a nivel de sexo.

RESULTADOS

Caracterización de muestra

Se recolectaron un total de 74 estómagos de *R. velezi*, de los cuales 59 (79.7%) presentaron contenido estomacal. Los individuos presentaron un rango de tallas de entre 47.6 y 81.9 cm LT (34.5–83.5 cm AD), con un promedio y desviación estándar de 64.6 ± 8.7 cm LT.

Representatividad de muestras

Las curvas de acumulación de presa a nivel de orden y familia alcanzaron una tendencia asintótica (pendiente para orden = 0.01, pendiente para familia = 0.006) y una eficiencia de muestreo del 93.7% para el nivel de orden y del 94.0%

1993). The R statistical program v.3.2.2 (Core Team 2016) was used for the analysis of the diet at the gender level.

RESULTS

Sample characterization

A total of 74 *R. velezi* stomachs were collected, 59 (79.7%) of which had stomach contents. The size of the individuals ranged between 47.6 and 81.9 cm TL (34.5–83.5 cm DW), with average and standard deviation values of 64.6 ± 8.7 cm TL.

Sample representativeness

The cumulative prey curves by order and family ranks showed an asymptotic trend (slope for order = 0.01, slope for family = 0.006) and a sampling efficiency of 93.7% for order and 94.0% for family (Figs. 2, 3). Thus, the number of samples is representative of the diet of *R. velezi* at both taxonomic levels. The coefficient of determination indicated a good fit between both curves ($R^2 = 0.98$, P value < 0.05) at both taxonomic levels analyzed. Likewise, the bias (0.08) and accuracy (<0.01) values indicated good estimator performance.

General diet composition

The diet of *R. velezi* included 8 prey items: Decapoda, Myctophiformes, Ophidiiformes, Scorpaeniformes, Octopoda, Teuthida, Cephalopa (unidentified), and Teleostei (unidentified) (Table 1). According to the %PSIRI, the most important prey groups were decapod crustaceans (54.1%), mainly the genus *AcanthePHYRA* (31.4%) and unidentified

para el nivel de familia (Figs. 2, 3). Así, el número de muestras fue representativo para describir la dieta de *R. velezi* para ambos niveles taxonómicos. El coeficiente de determinación indicó un buen ajuste entre ambas curvas ($R^2 = 0.98$, $P < 0.05$) para ambos niveles taxonómicos analizados. Asimismo, el sesgo (0.08) y la exactitud (<0.01) indicaron un buen desempeño del estimador.

Composición de dieta general

La dieta de *R. velezi* estuvo compuesta por 8 ítems presa: Decapoda, Myctophiformes, Ophidiiformes, Scorpaeniformes, Octopoda, Teuthida, Cephalopoda (no identificados) y Teleostei (no identificados) (Tabla 1). Los grupos presa más importantes fueron, según el %IIRPS, los decápodos (54.1%), entre los cuales resaltaron el género *AcanthePHYRA* (31.4%) y decápodos no identificados (15.1%), y los peces teleosteos (31.5%). Para la zona norte del Perú, existen registros de *AcanthePHYRA faxoni* y *AcanthePHYRA trispinosa* (Méndez 1981, Moscoso 2012), por lo que es posible que *R. velezi* depreda cualquiera de estas 2 especies.

Composición y diferenciación de dieta por sexo

Se obtuvo un total de 32 hembras, cuyas tallas presentaron un rango de 44.4 a 81.9 cm LT (37.4 a 62.3 cm AD) y un promedio de 65.1 ± 10.3 cm LT, y un total de 27 machos, cuyas tallas presentaron un rango de 47.6 a 74.9 cm LT (37.7 a 57.0 cm AD) y promedio de 64.3 ± 6.7 cm LT. Se observó en los estómagos de las hembras una dominancia de crustáceos decápodos (59.1%) y en los de los machos, una dominancia compartida entre crustáceos decápodos (46.4%) y peces teleosteos (35.6%) (Tabla 1). Se estableció una diferencia significativa en las dietas entre sexos; sin embargo,

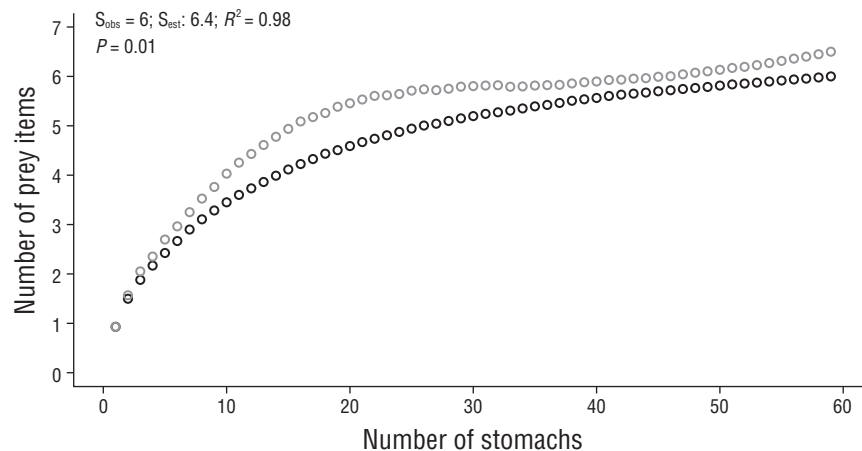


Figure 2. Cumulative curve of prey items identified to the taxonomic level of order for the rasptail skate, *Rostroraja velezi*. Black open circles: observed data (S_{obs}); gray open circles: estimated data (S_{est}) ($N = 59$).

Figura 2. Curva acumulativa de los ítems presa identificados a nivel taxonómico de orden para la raya bruja *Rostroraja velezi*. Círculos negros: datos observados (S_{obs}); Círculos grises: datos estimados (S_{est}) ($N = 59$).

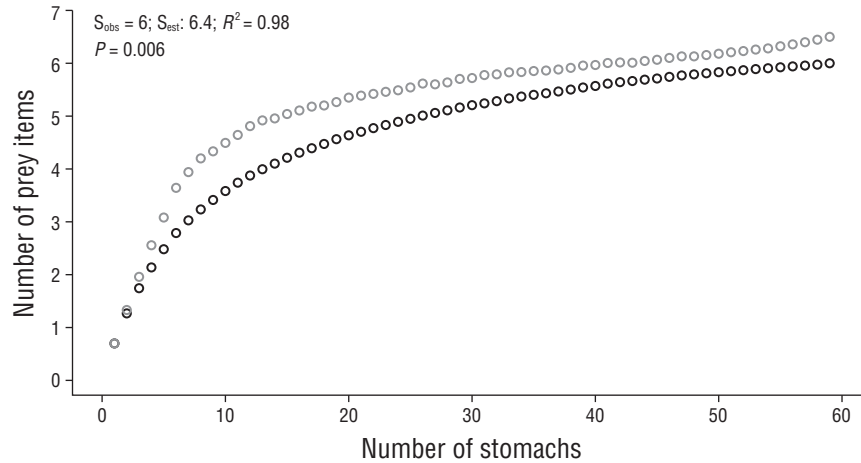


Figure 3. Cumulative curve of prey items identified to the taxonomic level of family for the rasptail skate, *Rostroraja velezi*. Black open circles: observed data (S_{obs}); gray open circles: estimated data (S_{est}) ($N = 59$).

Figura 3. Curva acumulativa de los ítems presas identificados a nivel taxonómico de familia para la raya bruja *Rostroraja velezi*. Círculos negros: datos observados (S_{obs}), Círculos grises: datos estimados (S_{est}) ($N = 59$).

decapods (15.1%), and teleost fish (31.5%). *Acanthephyra faxoni* and *Acanthephyra trispinosa* have been recorded off northern Peru (Méndez 1981, Moscoso 2012), so it is possible that *R. velezi* preys on either of these 2 species.

Diet composition and differentiation by sex

A total of 32 females, with sizes that ranged between 44.4 and 81.9 cm TL (37.4–62.3 cm DW) and averaged 65.1 ± 10.3 cm TL, and 27 males, with sizes that ranged between 47.6 and 74.9 cm TL (37.7–57.0 cm DW) and averaged 64.3 ± 6.7 cm TL, were sampled. Decapod crustaceans (59.1%) were dominant in female stomachs, while male stomachs showed a shared dominance of decapod crustaceans (46.4%) and teleost fish (35.6%) (Table 1). There was a significant difference in the diets between sexes; however, this difference was small (ANOSIM: R -statistic = 0.21, P value < 0.01). According to the similarity percentage analysis, the prey groups that contributed the highest percentage of dissimilarity were teleosts (45.4%) and crustaceans (37.3%). The trophic position of *R. velezi* regarding its diet in northern Peru was 3.90 ± 0.7 .

DISCUSSION

The results of this study are similar to those obtained in previous studies on the diet *R. velezi* in the eastern Pacific, which found similar dominant prey categories. The study by Navia et al. (2007) was the first to describe the diet of *R. velezi*, highlighting the importance of the decapod crustacean *Trachypenaeus* sp. (IRI = 30%) and fish (unidentified teleosts, IRI = 61%) as their main prey on the Pacific coast of Colombia. In Costa Rica, Espinoza et al. (2012) also found crustaceans (IRI = 57%) and teleost fish (IRI = 41%) to be

esta diferencia fue pequeña (ANOSIM: $R = 0.21$, $P < 0.01$). Según el análisis del porcentaje de similitud, los grupos presa con mayor porcentaje de contribución de disimilitud fueron los teleosteos (45.4%) y los crustáceos (37.3%). La posición trófica de *R. velezi* respecto a su dieta en el norte del Perú fue de 3.90 ± 0.7 .

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los obtenidos en otros estudios sobre la dieta de *R. velezi* en el Pacífico oriental, en los cuales se encontraron similares categorías de presas dominantes. El estudio de Navia et al. (2007) fue el primero en describir la dieta de *R. velezi*, y resaltó la importancia del decápodo *Trachypenaeus* sp. (IIR = 30%) y los peces (teleosteos no identificados, IIR = 61%) en su alimentación en costas colombianas del Pacífico. En Costa Rica, Espinoza et al. (2012) encontraron, igualmente, predominancia de crustáceos (IIR = 57%) y peces teleosteos (IIR = 41%). En México, Simental (2013) determinó que la dieta de esta especie estuvo dominada por peces teleosteos (IIR = 76%). Otros estudios sobre rayas del género *Rostroraja* demuestran, igualmente, dominancia de crustáceos decápodos y peces teleosteos (Woodland et al. 2010, Bornatowski et al. 2014b).

Rostroraja velezi es considerada una especie demersal debido a su frecuente cercanía a los fondos y sus características morfológicas (López et al. 2014, Barbini et al. 2018). Sin embargo, los hallazgos sobre sus taxones presa permiten inferir que esta especie presenta hábitos alimenticios bentopelágicos (Bianchi 1992, Wetherbee y Cortés 2004, Barbini et al. 2018, Silva-Garay et al. 2018). En Costa Rica, se ha determinado un cambio en el hábitat trófico de *R. velezi*, de la zona bentónica a la zona pelágica, a medida que el

Table 1. Diet composition by sex for the rasptail skate, *Rostroraja velezi*, ($N = 59$) in northern Peru. %N, percentage by number; %W, percentage by weight; %FO, percentage by frequency of occurrence; %IRI, index of relative importance expressed as a percentage; %PSIRI, prey-specific index of relative importance; and SD, standard deviation.**Table 1.** Composición de la dieta de la raya bruja *Rostroraja velezi* ($N = 59$) con relación al sexo en el norte del Perú. %N, porcentaje por número; %W, porcentaje por peso; %FO, porcentaje por frecuencia de ocurrencia; %IRI, índice de importancia relativa expresado como porcentaje, por sus siglas en inglés; %PSIRI, índice de importancia relativa por presa específica, por sus siglas en inglés; y SD, desviación estándar.

| Prey items | Female ($n = 32$) | | | | | | Male ($n = 27$) | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | % N | % W | %FO | %IRI | %PSIRI | SD | %N | %W | %FO | %IRI | %PSIRI | SD |
| Crustacea | 70.67 | 47.55 | 90.63 | 55.32 | 59.11 | | 61.40 | 31.30 | 66.67 | 49.85 | 46.35 | |
| Decapoda | | | | | | | | | | | | |
| Unidentified decapods | 26.67 | 9.45 | 31.25 | 20.83 | 18.06 | 36.35 | 17.54 | 3.50 | 29.63 | 19.68 | 10.52 | 34.03 |
| Penaeidea | | | | | | | 1.75 | 0.87 | 3.70 | 0.13 | 1.31 | 0.67 |
| Munidae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pleuroncodes monodon</i> | 9.33 | 5.12 | 21.88 | 8.10 | 7.23 | 17.58 | 8.77 | 9.46 | 11.11 | 11.09 | 9.11 | 31.98 |
| Ophichthidae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acanthephyra</i> sp. | 34.67 | 32.98 | 37.50 | 26.39 | 33.82 | 40.80 | 33.33 | 17.48 | 22.22 | 18.94 | 25.41 | 37.21 |
| Teleostei | 21.33 | 35.80 | 46.88 | 34.41 | 28.57 | | 21.05 | 50.11 | 40.74 | 33.85 | 35.58 | |
| Unidentified teleosts | 18.67 | 9.95 | 40.63 | 29.87 | 14.31 | 43.16 | 14.04 | 46.93 | 29.63 | 22.74 | 30.48 | 38.28 |
| Myctophiformes | | | | | | | | | | | | |
| Myctophidae | | | | | | | 1.75 | 1.40 | 3.70 | 3.70 | 1.58 | 19.25 |
| Ophidiiformes | | | | | | | 5.26 | 1.78 | 7.41 | 7.41 | 3.52 | 26.69 |
| Ophidiidae | | | | | | | | | | | | |
| Scorpaeniformes | | | | | | | | | | | | |
| Peristediidae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Peristedion barbiger</i> | 2.67 | 25.86 | 6.25 | 4.54 | 14.26 | 19.17 | 17.54 | 18.59 | 37.04 | 16.30 | 18.07 | |
| Cephalopoda | 8.00 | 16.65 | 18.75 | 10.27 | 12.32 | | 5.26 | 0.34 | 11.11 | 2.09 | 2.80 | 6.80 |
| Unidentified cephalopods | | | | | | | 3.51 | 2.39 | 7.41 | 4.01 | 2.95 | 19.22 |
| Octopoda | 5.33 | 0.78 | 12.50 | 6.67 | 3.06 | 20.61 | | | | | | |
| Teuthida | | | | | | | | | | | | |
| Loliginidae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Doryteuthis gahi</i> | 2.67 | 15.87 | 6.25 | 3.60 | 9.27 | 13.58 | 8.77 | 15.87 | 18.52 | 10.20 | 12.32 | 27.64 |

predominant. In Mexico, Simental (2013) determined that the diet of this species was dominated by teleost fish (IRI = 76%). Other studies on the diet of *Rostroraja* rays have also shown predominance of decapod crustaceans and teleost fish (Woodland et al. 2010, Bornatowski et al. 2014b).

Rostroraja velezi is considered a demersal species given its frequent proximity to the seabed and its morphological characteristics (López et al. 2014, Barbini et al. 2018). However, the findings on its prey taxa allow us to infer that this species has benthopelagic feeding habits (Bianchi 1992, Wetherbee and Cortés 2004, Barbini et al. 2018, Silva-Garay et al. 2018). In Costa Rica, the trophic habitat of *R. velezi* has been found to shift from benthic to pelagic regions as individuals reach the adult stage (Espinoza et al. 2012). Therefore, we recommend studying the habitat of prey species in order to better understand the feeding habits and habitat of their predators (Munroe et al. 2013). For example, on the central coast of Peru, this benthopelagic displacement, from pelagic to benthic zones, has been observed in other batoid species (i.e., *Myliobatis peruvianus* and *Hypanus dipterurus*) through the study of their diets, with benthic (e.g., polychaetes and gastropods) and pelagic (e.g., *Engraulis ringens*) prey predominating (Silva-Garay et al. 2018). Future research should study the diet of *R. velezi* by life stages and thus determine if this benthopelagic feeding behavior is associated with their life stages or if it remains constant throughout their ontogeny.

Dominance of pelagic and benthic prey could also be influenced by a time scale (i.e., seasonality and day-night time variability). For example, the diet of *Zapteryx brevirostris* is composed of mainly polychaetes and amphipods in the summer and cumacean crustaceans in the winter (Barbini et al. 2011). A difference has also been observed between the diets of *Rhinobatos leucorhynchus*, which has diurnal feeding habits, and *R. velezi*, which has nocturnal feeding habits (Navia et al. 2007).

Fishing gear in relation to its position in the water column could influence dominance of pelagic or benthic prey (Wehrtmann and Echeverría-Sáenz 2007, Wehrtmann and Nielsen-Muñoz 2009, Espinoza et al. 2012). A dietary preference for benthic prey has been determined in various batoid studies that used bottom trawling as the sampling method (Ebert and Bizzarro 2007, Barbini et al. 2011, Espinoza et al. 2012). In contrast, other studies, including this one, used gillnets as the sampling gear and found mainly pelagic prey (Simental 2013, Bornatowski et al. 2014a, Bornatowski et al. 2014b); this fishing gear is set throughout the water column (Northridge 1992) and allows capturing batoids that are probably feeding on pelagic prey throughout the water column. Future studies of *R. velezi* in northern Peru could include individuals sampled with different fishing gears, as well as extending the sampling time scale to account for the winter season and the hourly variability in the catch. This would allow us to determine if diet composition changes with different fishing gears and temporal variability.

individuo llega al estado adulto (Espinoza et al. 2012). Es por ello que se recomienda conocer el hábitat de las especies presa para, así, entender los hábitos alimentarios y el hábitat de su depredador (Munroe et al. 2013). Por ejemplo, en la costa central del Perú se ha observado este desplazamiento benthopelágico (entre zonas pelágicas y bentónicas) en batoides (e.g., *Myliobatis peruvianus* y *Hypanus dipterurus*) a través del estudio de su dieta, con un dominio de presas bentónicas (e.g., poliquetos y gasterópodos) y pelágicas (e.g., *Engraulis ringens*) (Silva-Garay et al. 2018). Futuros estudios deberán examinar la dieta de *R. velezi* por estadio de vida y, así, determinar si este comportamiento alimenticio benthopelágico está asociado a estadios de vida o si es constante a lo largo de su ontogenia.

La dominancia de presas tanto pelágicas como bentónicas también podría estar influenciada por una escala temporal (i.e., estacionalidad y variabilidad horaria de día-noche). Por ejemplo, *Zapteryx brevirostris* presenta una dieta compuesta principalmente de poliquetos y anfipodos en verano, mientras que en invierno predominan crustáceos del orden Cumacea (Barbini et al. 2011). Asimismo, se ha observado una diferencia entre las dietas de *Rhinobatos leucorhynchus*, que presenta hábitos alimenticios diurnos, y *R. velezi*, que presenta hábitos alimenticios principalmente nocturnos (Navia et al. 2007).

Por otro lado, la posición del arte de pesca en la columna de agua podría influir en el dominio de presas pelágicas o presas bentónicas (Wehrtmann y Echeverría-Sáenz 2007, Wehrtmann y Nielsen-Muñoz 2009, Espinoza et al. 2012). Diversos estudios de rayas en los que se ha empleado la pesca de arrastre de fondo como método de captura han determinado una dieta prioritaria de presas bentónicas (Ebert y Bizzarro 2007, Barbini et al. 2011, Espinoza et al. 2012). Al contrario, otros estudios, incluso el presente, emplearon la red de enmalle como herramienta de recolecta y encontraron principalmente presas pelágicas (Simental 2013, Bornatowski et al. 2014a, Bornatowski et al. 2014b); este tipo de red se encuentra a lo largo de la columna de agua (Northridge 1992) y permite capturar rayas que probablemente se estén alimentando de organismos a lo largo de la columna de agua. Futuros estudios de *R. velezi* en el norte del Perú podrían incluir individuos capturados con distintos artes de pesca, además de ampliar la escala temporal del muestreo para considerar la estación de invierno y la variabilidad horaria en la captura. Así, se podrá determinar si la composición de la dieta varía según los diferentes artes de pesca y la variabilidad temporal.

Rostroraja velezi es considerada un depredador secundario con una posición trófica (PT) inferior a cuatro (Cortés 1999). Sin embargo, la baja desviación estándar obtenida en el presente estudio indica que podría comportarse como un depredador terciario. Esto lo demostró Simental (2013), quien reportó que *R. velezi* ocupa el rol de depredador terciario (PT = 4.68 ± 0.52). Las rayas del orden Rajiformes pueden comportarse como depredadores secundarios

Rostroraja velezi is considered a secondary predator with a trophic position (TP) of less than four (Cortés 1999). However, the low standard deviation obtained in this study indicates that it could also behave as a tertiary predator. This was reported by Simental (2013), who found that *R. velezi* occupies the role of tertiary predator (TP = 4.68 ± 0.52). Other Rajiformes rays can behave as secondary and tertiary predators (TP = 3.48–4.22) given their fluctuating feeding habits and the diverse range of prey (Ebert and Bizzarro 2007, Navarro-González et al. 2012, Flores-Ortega et al. 2015). The size of the predator can influence its TP in the ecosystem, with small rays (<100 cm) as secondary predators (TP < 4) and large rays (>100 cm) as tertiary predators (TP > 4) (Ebert and Bizzarro 2007, Simental 2013). Future studies could evaluate if there are dietary differences throughout ontogenetic development and determine if TP changes.

Various diet studies of batoids have shown that there is no significant difference in feeding behavior between sexes, unless the factor maturity stages is included, with which a difference has been found between the diets of adult males and adult females (Espinoza et al. 2012, De la Rosa-Mesa et al. 2013, Bornatowski et al. 2014b, Silva-Garay et al. 2018). This is due to the fact that during the gestation period in females and the gonadal development from juvenile to adult stages in males, feeding requirements vary and influence food preferences (Belleggia et al. 2008, De la Rosa-Mesa et al. 2013). The results obtained in the present study show minor differences in feeding behavior according to sex. However, these results may be biased by ontogeny (Espinoza et al. 2012), since different life stages were present in the samples of both sexes (45.3% mature individuals and 54.7% immature individuals). For this reason, it will be important to carry out future studies that evaluate diet according to the stage of maturity by sex.

When comparing the results of this study, by sex, with the results obtained in Mexico for the same species, we find differences. In this study we observed that both *R. velezi* females and males feed mainly on crustaceans and, in the case of males, teleost fish too. However, the results obtained in Mexico show that *R. velezi* females feed on teleosts and cephalopods and males feed mainly on teleost fish (Simental 2013). In this way, locality is also a factor that influences the diet.

These results should be taken cautiously given the high level of taxonomic clustering of prey categories, which could decrease the degree of dissimilarity between diets by sex (Navia et al. 2011). Future studies should consider including maturity stages by sex and increasing spatial coverage and sample size. This study represents the second report on the diet of *R. velezi* for the southeastern Pacific and the first for Peru, and it therefore represents a baseline for future research on the Rajidae family in this Pacific region.

y terciarios (PT = 3.48–4.22) debido a sus fluctuantes hábitos alimenticios y sus diversas presas (Ebert y Bizzarro 2007, Navarro-González et al. 2012, Flores-Ortega et al. 2015). El tamaño del depredador puede influir en la posición que este ocupe en el ecosistema, y se consideran a las rayas pequeñas (<100 cm) depredadores secundarios (PT < 4) y a las rayas grandes (>100 cm) depredadores terciarios (PT > 4) (Ebert y Bizzarro 2007, Simental 2013). Futuros estudios podrían evaluar si existen diferencias en la alimentación a lo largo de su desarrollo ontogénico y determinar si su PT varía.

En diversos estudios de rayas se ha demostrado que no existe una disimilitud significativa en la alimentación entre sexos, a menos que se incluya el factor estadios de madurez, donde sí se han encontrado diferencias entre las dietas de machos y hembras adultos (Espinoza et al. 2012, De la Rosa-Mesa et al. 2013, Bornatowski et al. 2014b, Silva-Garay et al. 2018). Esto se debe a que durante el periodo de gestación en hembras y el desarrollo gonadal de la etapa juvenil a la adulta en machos, las necesidades alimentarias varían e influyen las preferencias alimentarias (Belleggia et al. 2008, De la Rosa-Mesa et al. 2013). Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran una ligera diferencia en la alimentación según el sexo. Sin embargo, estos resultados pueden estar sesgados por el estadio de vida (Espinoza et al. 2012), ya que las muestras de ambos sexos incluyen individuos en distintos estadios de vida (45.3% individuos maduros y 54.7% individuos inmaduros). Por ello, será importante realizar futuros estudios que evalúen la dieta según el estadio de madurez por sexo.

Al comparar los resultados a nivel de sexo encontrados en este estudio con los resultados encontrados en México para la misma especie, se observaron diferencias. En el presente estudio se observó que tanto las hembras como los machos de *R. velezi* en el norte del Perú se alimentan principalmente de crustáceos y, en el caso de machos, también de peces teleósteos. Por el contrario, en México se encontró que las hembras de *R. velezi* se alimentan de peces teleósteos y cefalópodos y los machos se alimentan principalmente de peces teleósteos (Simental 2013). De esta manera, la localidad también es un factor que influye en la dieta a nivel de sexos.

Estos resultados deben tomarse con reservas debido al alto nivel de agrupación taxonómica de las categorías presa, lo cual podría evitar que se incremente el grado de disimilitud entre ambas dietas (Navia et al. 2011). En los próximos estudios se recomienda incluir los estadios de madurez por sexos y ampliar la cobertura espacial y el tamaño de muestra. Este estudio representa el segundo reporte sobre la dieta de *R. velezi* en el Pacífico sudeste y el primero en Perú, por lo que representa una línea base para futuras investigaciones sobre la familia Rajidae en esta zona del Pacífico.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Jorge Mostacero y Víctor Moscoso por su apoyo en la identificación de otolitos y crustáceos,

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Jorge Mostacero and Víctor Moscoso for their support in the identification of otoliths and crustaceans, Francisco Córdova for the advice and contributions to the manuscript, and Universidad Científica del Sur and ProDelphinus for allowing the use of their facilities for the analysis of samples. A special appreciation to the fishermen of Los Organos for the samples and information provided during this work, and to Mision Raya project and its volunteers for their support in the field work.

REFERENCES

- Arellano CE, Swartzman G. 2010. The Peruvian artisanal fishery: changes in patterns and distribution over time. *Fish Res.* 101(3):133–145.
<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.08.007>
- Barbini SA, Lucifora LO, Hozbor NM. 2011. Feeding habits and habitat selectivity of the shortnose guitarfish, *Zapteryx brevirostris* (Chondrichthyes, Rhinobatidae), off north Argentina and Uruguay. *Marine and Biological Research.* 7(4):365–377.
<https://doi.org/10.1080/17451000.2010.515229>
- Barbini SA, Sabadin DE, Lucifora LO. 2018. Comparative analysis of feeding habits and dietary niche breadth in skates: the importance of body size, snout length, and depth. *Rev Fish Biol Fisher.* 28(3):625–636.
<https://doi.org/10.1007/s11160-018-9522-5>
- Belleggia M, Mabrugaña E, Figueroa DE, Scenna LB, Barbini SA, Díaz de Astarloa J. 2008. Hábitos alimentarios de la raya de cola corta, *Bathyraja brachyurops* (Chondrichthyes, Rajidae), en el Atlántico Sudoccidental = Food habits of the broad nose skate, *Bathyraja brachyurops* (Chondrichthyes, Rajidae), in the southwest Atlantic. *Sci Mar.* 72(4):701–710.
<https://doi.org/10.3989/scimar.2008.72n4701>
- Bianchi G. 1992. Demersal assemblages of tropical continental shelves [dissertation]. [Bergen (Norway)]: Bergen University. 217 p.
- Bornatowski H, Navia AF, Braga RR, Abilhoa V, Corrêa MMF. 2014a. Ecological importance of sharks and rays in a structural foodweb analysis in southern Brazil. *ICES J Mar Sci.* 71(7):1586–1592.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu025>
- Bornatowski H, Wosnick N, do Carmo WPD, Corrêa MFM, Abilhoa V. 2014b. Feeding comparisons of four batoids (Elasmobranchii) in coastal waters of southern Brazil. *J Mar Biol Assoc UK.* 94(7):1491–1499.
<https://doi.org/10.1017/s0025315414000472>
- Brose U, Martinez ND, Williams RJ. 2003. Estimating species richness: sensitivity to sample coverage and insensitivity to spatial patterns. *Ecology.* 84(9):2364–2377.
<https://doi.org/10.1890/02-0558>
- Brown SC, Bizzarro JJ, Cailliet GM, Ebert DA. 2012. Breaking with tradition: redefining measures for diet description with a case study of the Aleutian skate *Bathyraja aleutica* (Gilbert 1896). *Environ Biol Fish.* 95(1):3–20.
<https://doi.org/10.1007/s10641-011-9959-z>
- Céspedes C. 2014. Captura incidental de fauna marina en la pesquería de *Merluccius gayi peruanus*: Análisis y recomendaciones para su mitigación [MSc thesis]. [Lima (Peru)]: Universidad Nacional Agraria la Molina. 89 p.
- a Francisco Córdova por su asesoramiento y aportes al manuscrito y a la Universidad Científica del Sur y a ProDelphinus por permitir el uso de sus instalaciones para el análisis de muestras. Un agradecimiento especial al gremio de pescadores de Los Organos por las muestras y la información provista durante este trabajo, y al proyecto Misión Raya y sus voluntarios por el apoyo en el trabajo de campo.
- Chiarucci A, Enright NJ, Perry GLW, Miller BP, Lamont BB. 2003. Performance of nonparametric species richness estimators in a high diversity plant community. *Divers Distrib.* 9:283–295.
<https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2003.00027.x>
- Chirichigno-Fonseca N, Velez-Dieguez J. 1998. Clave para Identificar los Peces Marinos del Perú. 2nd ed. Callao (Peru): Instituto del Mar del Perú. 496 p.
- Christensen V, Pauly D. 1992. ECOPATH II—A software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecol Model.* 61(3–4):169–185.
[https://doi.org/10.1016/0304-3800\(92\)90016-8](https://doi.org/10.1016/0304-3800(92)90016-8)
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust J Ecol.* 18(1):117–143.
<https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>
- Coasaca-Céspedes J, Segura-Cobeña E, Montero-Taboada R, Gonzalez-Pestana A, Alfaro-Córdova E, Alfaro-Shigueto J, Mangel JC. 2018. Preliminary analysis of the feeding habits of batoids from the genera *Mobula* and *Myliobatis* in Northern Peru. *Rev Biol Mar Oceanog.* 53(3):367–374.
<https://doi.org/10.22370/rbmo.2018.53.3.1368>
- Colwell RK. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.1.0 User's guide. [place unknown]: [publisher unknown]; accessed 2019 May 30. <http://viceroy.colorado.edu/estimates/>
- Colwell RK, Coddington JA. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philos T Roy Soc B.* 345(1311):101–118.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1994.0091>
- Cornejo R, Vélez-Zuazo X, González-Pestana A, Kouri JC, Mucientes G. 2015. An updated checklist of Chondrichthyes from the southeast Pacific off Peru. *Biodiv Data.* 11(6):1–7.
- Cortés E. 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: Application to elasmobranch fishes. *Can J Fish Aquat Sci.* 54(3):726–738.
<https://doi.org/10.1139/f96-316>
- Cortés E. 1999. Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. *ICES J Mar Sci.* 56(5):707–717.
<https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0489>
- De la Rosa-Meza K, Sosa-Nishizaki O, de la Cueva-Salcedo H. 2013. Feeding habits of the speckled guitarfish *Rhinobatos glaucostigma* (Elasmobranchii, Batoidea) in the southern Gulf of California = Hábitos alimentarios de la guitarra punteada *Rhinobatos glaucostigma* (Elasmobranchii, Batoidea) en el sureste del golfo de California. *Cienc Mar.* 39(3):277–290.
<https://doi.org/10.7773/cm.v39i3.2229>
- Dulvy NK, Baum JK, Clarke S, Compagno LJV, Cortés E, Domingo A, Fordham S, Fowler S, Francis MP, Gibson C, et al. 2008. You

- can swim but you can't hide: the global status and conservation of oceanic pelagic sharks and rays. *Aquat Conserv: Mar Freshw Eco.* 18(5):459–482.
<https://doi.org/10.1002/aqc.975>
- Ebert DA, Bizzarro JJ. 2007. Standardized diet compositions and trophic levels of skates (Chondrichthyes: Rajiformes: Rajoidei). *Environ Biol Fish.* 80(2–3):221–237.
<https://doi.org/10.1007/s10641-007-9227-4>
- Escalante-Espinosa T. 2003. ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao 1 Elementos: ciencia y cultura, número. Puebla (México): Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. p. 53–56.
- Espinoza M, Clarke TM, Villalobos-Rojas F, Wehrtmann IS. 2012. Ontogenetic dietary shifts and feeding ecology of the rasptail skate *Raja velezi* and the brown smoothhound shark *Mustelus henlei* along the Pacific coast of Costa Rica, Central America. *J Fish Biol.* 81(5):1578–1595.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03410.x>
- Espinoza P. 2014. Trophic dynamics in the northern Humboldt Current system: insights from stable isotopes and stomach content analyses [dissertation]. [Brest (France)]: University of western Brittany. 159 p.
- Ferretti F, Worm B, Britten GL, Heithaus MR, Lotze HK. 2010. Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecol Lett.* 13:1055–1071.
<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01489.x>
- Ferry LA, Cailliet GM. 1996. Sample size and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly? In: MacKinlay D, Shearer K (eds.), *Feeding Ecology and Nutrition in Fish*, Symposium Proceedings. San Francisco: American Fisheries Society. p. 71–80.
- Flores-Ortega JR, Godínez-Domínguez E, González-Sansón G. 2015. Ecología trófica de siete especies de batoideos (Batoidea) en el Pacífico Central Mexicano = Trophic ecology of seven batoids species (Batoidea) of the Mexican Central Pacific. *Rev Biol Mar Oceanogr.* 50(3):521–533.
<https://doi.org/10.4067/S0718-19572015000400010>
- García-Godos IN. 2001. Patrones Morfológicos del Otolito Sagitta de algunos Peces Óseos del Mar Peruano. Callao (Peru): Instituto del Mar del Perú. 83 p.
- González-Pestana A, Acuña-Perales N, Coasaca-Cespedes J, Cordova-Zavaleta F, Alfaro-Shigueto J, Mangel JC, Espinoza P. 2017. Trophic ecology of the smooth hammerhead shark (*Sphyrna zygaena*) off the coast of northern Peru. *Fish Bull Natl Oc At.* 115(4):451–459.
<https://doi.org/10.7755/fb.115.4.2>
- González-Pestana A, Acuña-Perales N, Cordova-Zavaleta F, Coasaca-Cespedes J, Alfaro E, Alfaro-Shigueto J, Mangel JC. 2018. Feeding habits of thresher sharks *Alopias* sp. in northern Peru: predators of Humboldt squid (*Dosidicus gigas*). *J Mar Biol Assoc UK.* 99(3):695–702.
<https://doi.org/10.1017/S0025315418000504>
- González-Pestana A, Kouri JC, Velez-Zuazo X. 2016. Situación de los batoideos en el Perú: Lo que sabemos y lo que no sabemos. Libro de resúmenes. V Congreso de Ciencias del Mar del Perú; 2016 Nov 21–25; Lambayeque, Peru. [Lambayeque, Peru]: [Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo].
- Grove JS, Lavenberg RJ. 1997. *The Fishes of the Galápagos Islands*. Stanford (CA): Stanford University Press.
- Hoffmann M, Hilton-Taylor C, Angulo A. 2010. The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *Science.* 33:1503–1509.
- Last P, White W, de Carvalho M, Naylor G, Seret B, Stehmann M. 2016. *Rays of the World*. Ithaca (USA): Cornell University Press. 800 p.
- López LN, González A, Torruco D. 2014. Peces bentónicos y demersales de la Sonda de Campeche: sur del Golfo de México. *CONABIO. Biodiversitas.* 113:12–16.
- Lu CC, Ickeringill R. 2002. Cephalopod beak identification and biomass estimation techniques: tools for dietary studies of southern Australian finfishes. *Museum Victoria Science Reports.* 6:1–65.
<https://doi.org/10.24199/j.mvsvr.2002.06>
- Mar-Silva V, Hernández-Morales R, Medina-Nava M. 2014. Métodos clásicos para el análisis del contenido estomacal en peces. *Biológicas.* 16(2):13–16.
- Magurran AE. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Oxford (UK): Blackwell Publishing. 256 p.
- Méndez G. 1981. Claves de identificación y distribución de langostinos y camarones (Crustacea: Decapoda) del mar y ríos de la costa del Perú. *Boletín Vol. 5*. Callao (Peru): Biblioteca Instituto del Mar del Perú. p. 1–170.
- Moscoso V. 2012. Catálogo de crustáceos decápodos y estomatópodos del Perú. *Boletín Vol. 27(1–2)*. Callao (Peru): Instituto del Mar del Perú. 209 p.
- Motulsky H, Christopoulos A. 2003. *Fitting Models to Biological Data using Linear and Nonlinear Regression. A Practical Guide to Curve Fitting*. San Diego (CA): GraphPad Software Inc.
- Munroe SEM, Simpfendorfer CA, Heupel MR. 2013. Defining shark ecological specialisation: concepts, context, and examples. *Rev Fish Biol Fisheries.* 24(1):317–331.
<https://doi.org/10.1007/s11160-013-9333-7>
- Navarro-González JA, Bohórquez-Herrera J, Navia AF, Cruz-Escalona VH. 2012. Diet composition of batoids on the continental shelf off Nayarit and Sinaloa, Mexico = Composición trófica de batoideos en la plataforma continental frente a Nayarit y Sinaloa, México. *Cienc Mar.* 38(2):347–362.
<https://doi.org/10.7773/cm.v38i2.1999>
- Navia AF, Cortés E, Mejía-Falla PA. 2010. Topological analysis of the ecological importance of elasmobranch fishes: A food web study on the Gulf of Tortugas, Colombia. *Ecological Modelling.* 221(24):2918–2926.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.09.006>
- Navia AF, Mejía-Falla PA, Giraldo A. 2007. Feeding ecology of elasmobranch fishes in coastal waters of the Colombian Eastern Tropical Pacific. *BMC Ecology.* 7(1):8.
<https://doi.org/10.1186/1472-6785-7-8>
- Northridge SP. 1992. La pesca con redes de deriva y sus repercusiones en las especies capturadas incidentalmente: situación mundial. *FAO Documento Técnico de Pesca*. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations. 126 p. Paper No.: 320.
- O'Shea OR, Thums M, van Keulen M, Meekan M. 2011. Bioturbation by stingrays at Ningaloo Reef, Western Australia. *Mar Freshwater Res.* 63(3):189–197.
<https://doi.org/10.1071/MF11180>
- Palmer MW. 1990. The estimation of species richness by extrapolation. *Ecology.* 71(3):1195–1198.
<https://doi.org/10.2307/1937387>
- Pennington JT, Mahoney KL, Kuwahara VS, Kolber DD, Calienes R, Chavez FP. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A Review. *Prog Oceanogr.* 69(2–4):285–317.
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.012>
- Pérez-Roda MA, Gilman E, Huntington T, Kennelly SJ, Suuronen P, Chaloupka M, Medley P. 2019. A third assessment of global marine fisheries discards. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations. 78 p. Paper No.: 633.

- Pinkas L, Oliphant MS, Iverson LK. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in Californian waters. California Department of Fish and Game, Fish Bulletin. 152:1–105.
- R Core Team. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna (Austria): R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Roque-Ventura A. 2017. Hábitat trófico y relaciones alimenticias de peces costeros en el norte del ecosistema de la corriente del Humboldt [MSc thesis]. [Lima (Peru)]: Universidad Peruana Cayetano Heredia. 112 p.
- Ruiz-Campos G, Castro-Aguirre JL, Balart EF, Campos-Dávila L, Vélez-Marín R. 2010. New specimens and records of chondrichthyan fishes (Vertebrata: Chondrichthyes) off the Mexican Pacific coast = Nuevos ejemplares y nuevos registros de peces cartilaginosos (Vertebrata: Chondrichthyes) de la costa del pacífico mexicano. *Rev Mex Biodivers.* 81(2):363–371.
- Shepherd G, Andrade A. 2006. El Enfoque Ecosistémico: Cinco Pasos para su Implementación. Gland (Switzerland): International Union for Conservation of Nature. 30 p.
- Silva-Garay L, Pacheco AS, Vélez-Zuazo X. 2018. First assessment of the diet composition and trophic level of an assemblage of poorly known chondrichthyans off the central coast of Peru. *Environ Biol Fish.* 101:1525–1536. <https://doi.org/10.1007/s10641-018-0797-0>
- Simental M. 2013. Ecología trófica de Raja velezi (Chirichigno, 1973), en la Costa Occidental de Baja California Sur, México [MSc thesis]. [La Paz (Mexico)]: Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 80 p.
- Soberón J, Llorente J. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conserv Biol.* 7(3):480–488. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.07030480.x>
- Valenti SV, Kyne PM. 2009. Raja velezi. The IUCN Red List of Threatened Species 2009.e.T161344A5402772. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161344A5402772.en>
- Vaudo JJ, Heithaus MR. 2011. Dietary niche overlap in a nearshore elasmobranch mesopredator community. *Mar Ecol: Prog Ser.* 425:247–260. <https://doi.org/10.3354/meps08988>
- Walther BA, Moore JL. 2005. The concepts of bias, precision, and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography.* 28(6):815–829. <https://doi.org/10.1111/j.2005.0906-7590.04112.x>
- Wehrtmann IS, Echeverría-Sáenz S. 2007. Crustacean fauna (Stomatopoda: Decapoda) associated with the deepwater fishery of *Heterocarpus vicarius* (Decapoda: Pandalidae) along the Pacific coast of Costa Rica. *Rev Biol Trop.* 55(S1):121–130. <https://doi.org/10.15517/rbt.v55i0.5812>
- Wehrtmann IS, Nielsen-Muñoz V. 2009. The deepwater fishery along the Pacific coast of Costa Rica, Central America. *Lat Am J Aquat Res.* 37(3):543–554. <https://doi.org/10.3856/vol37-issue3-fulltext-19>
- Wetherbee BM, Cortés E. 2004. Food consumption and feeding habits. In: Carrier JC, Musick JA, Heithaus MR (eds.), *Biology of Sharks and their Relatives*. Boca Raton (FL): CRC Press. p. 225–246. <https://doi.org/10.1201/9780203491317.ch8>
- Wolff GA. 1984. Identification and estimation of size from the beaks of 18 species of cephalopods from the Pacific Ocean. [place unknown]: US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. 50 p. NOAA Technical Report NMFS 17.
- Woodland RJ, Secor DH, Wedge ME. 2010. Trophic resource overlap between small elasmobranchs and sympatric teleosts in Mid-Atlantic Bight nearshore habitats. *Estuar Coasts.* 34(2):391–404. <https://doi.org/10.1007/s12237-010-9331-0>
- Zavalaga F, Elliott W, Pastor R, Palacios J. 2018. Guía ilustrada para el reconocimiento de peces capturados en la pesquería de arrastre. Lima (Peru): Instituto del Mar del Perú. 90 p.

Received 22 March 2020,
accepted 25 September 2020.