



# Dieta y amplitud del nicho trófico del cormorán neotropical [*Nannopterum brasilianus* (Gmelin, 1789)] en el Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe de Colombia

## Diet and trophic niche breadth of the neotropical cormorant [*Nannopterum brasilianus* (Gmelin, 1789)] in the Flora and Fauna Sanctuary Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribbean Colombia

Aliano Tette-Pomarico<sup>1</sup>\*, Aristides López-Peña<sup>2</sup>, Rebeca Franke-Ante<sup>3</sup> y Luis Orlando Duarte<sup>4</sup>

0000-0003-2804-864X

0000-0002-9401-9348

0000-0002-0956-0915

0000-0001-5494-5390

1. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. [alianottpomarico@hotmail.com](mailto:alianottpomarico@hotmail.com)\*

2. Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Ciénaga, Colombia. [aristideslpz@gmail.com](mailto:aristideslpz@gmail.com)

3. Dirección Territorial Caribe, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Santa Marta, Colombia. [rebeca.franke@parquesnacionales.gov.co](mailto:rebeca.franke@parquesnacionales.gov.co)

4. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. [gieep@unimagdalena.edu.co](mailto:gieep@unimagdalena.edu.co)

\* Autor de correspondencia.

### RESUMEN

El cormorán neotropical (*Nannopterum brasilianus*) es un ave piscívora con reproducción colonial. Se distribuye desde el sur de Norteamérica hasta Argentina. La colonia más grande en Colombia se encuentra en la localidad de Punta Blanca, localizada en el Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta (SFF CGSM), en el complejo lagunar del mismo nombre (CL CGSM). En el presente estudio se analizó la dieta y la amplitud de nicho de *N. brasilianus* a partir de egagrópilas recolectadas en el borde occidental de la colonia de anidación de Punta Blanca durante la época reproductiva de 2017. La identificación de presas se basó principalmente en la morfología de los otolitos de peces encontrados en las egagrópilas ( $n = 64$ ). Se identificaron ocho especies de peces en la dieta de *N. brasilianus*, de las cuales tres fueron nuevos registros para la dieta de la población del complejo lagunar (*Mugil liza*, *M. curema* y *M. cephalus*). Se destacó la representatividad de *Cathorops mapale* como principal presa consumida durante el estudio (89,5 % en número y 91,8 % en frecuencia de ocurrencia). Se observó una amplitud de nicho trófico estrecha (Levin's de 0,002) y una dieta con baja equitatividad ( $q_2 = 2,1$ ), lo que corresponde a una respuesta adaptativa modelada por la disponibilidad de presas.

**PALABRAS CLAVES:** aves acuáticas, ciénagas, ecosistemas costeros, Phalacrocoracidae

### ABSTRACT

The neotropical cormorant (*Nannopterum brasilianus*) is a piscivorous bird with colonial nesting. It is distributed from southern North America to Argentina. The largest colony of *N. brasilianus* in Colombia is located in the locality of Punta Blanca, in the Flora and Fauna Sanctuary Ciénaga Grande de Santa Marta (FFS CGSM), in the lagoon complex with same name (LC CGSM). The diet and niche width of *N. brasilianus* were analyzed from pellets collected on the western edge of the Punta Blanca nesting colony during the breeding season of 2017. Prey identification was based on mainly on the morphology of the fish otoliths found in these pellets ( $n = 64$ ). There were eight fish species identified in the diet of *N. brasilianus* of which three are new records for the diet of the population of the lagoon complex (*Mugil liza*, *M. curema* y *M. cephalus*). It is highlighted the representativeness of *Cathorops mapale* is reported, as the main prey consumed during the study (89.5 % in number and 91.8% in frequency of occurrence). A narrow trophic niche breadth was observed (Levin's 0.002) and a diet with low equitability ( $q_2 = 2.1$ ), which corresponds to an adaptive response modeled by the availability of prey.

**KEY WORDS:** aquatic birds, swamps, coastal ecosystems, Phalacrocoracidae

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2020.49.SuplEsp.1072>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC

Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

## INTRODUCCIÓN

El sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del río Magdalena o complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta (CL CGSM) alberga altas concentraciones de aves acuáticas tanto residentes como migratorias, por lo que ha sido categorizado como un área de importancia para la conservación de las aves (Ruiz-Guerra *et al.*, 2008; BirdLife International, 2018). En su interior existen dos áreas protegidas de carácter nacional administradas por Parques Nacionales Naturales de Colombia: el Vía Parque Isla de Salamanca (VIPIS) y el Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta (SFF CGSM).

El CL CGSM ha sido afectado desde finales de 1960 por acciones humanas tanto en su interior como en sus afluentes, generando un desequilibrio hidrológico del sistema, la pérdida de bosque de manglar y la reducción de las poblaciones de peces, moluscos y crustáceos, los cuales juegan un papel fundamental en el funcionamiento del ecosistema y sustentan la pesquería artesanal, de la que dependen diferentes poblaciones locales (Botero y Salzwedel, 1999; Sánchez-Ramírez y Rueda, 1999; Lorenz y Serafy, 2006). Si bien se han realizado obras de rehabilitación hídrica, siguen presentándose afectaciones dentro del sistema (Invemar, 2019). Esta situación es percibida por los pobladores locales y por diferentes actores vinculados al sistema como la causante de una disminución en aproximadamente la mitad de los servicios ecosistémicos del humedal, lo cual amerita mayores esfuerzos de conservación (Vilardy *et al.*, 2012; Invemar, 2019).

Los estudios de ecología trófica son cruciales para la conservación de ecosistemas amenazados, debido a que proporcionan información importante sobre el rol funcional de las especies y sus hábitats (Bó *et al.*, 2007). Entre los aspectos más importantes de la ecología trófica se encuentra la composición dietaria, la partición de recursos tróficos y la amplitud de nicho alimentario, ya que permiten incrementar el conocimiento sobre las interacciones tróficas de un depredador con sus presas y sus implicaciones en la conservación y preservación de las especies y del ecosistema (López-Calleja, 1995; Bó *et al.*, 2007). Estos aspectos pueden variar con la abundancia de las presas, hábitats y/o sitios geográficos y pueden ser modelados, entre otros, con la teoría de forrajeo óptimo, que predice un aumento en la amplitud de nicho y en la diversidad de presas frente a la reducción en la disponibilidad de sus presas más óptimas y una mayor especificidad al aumentar la disponibilidad

## INTRODUCTION

The Magdalena River Estuary Delta System Ramsar Site of Ciénaga Grande de Santa Marta Lagoon Complex (CGSM LC) is home to high concentrations of both resident and migratory waterfowl, which is why it has been categorized as an area of importance for bird conservation. (Ruiz-Guerra *et al.*, 2008; BirdLife International, 2018). There are two national protected areas administered by National Natural Parks of Colombia: the Vía Parque Isla de Salamanca (VIPIS) and the Ciénaga Grande de Santa Marta Flora and Fauna Sanctuary (CGSM FFS).

The CGSM LC has been affected since the late 1960s by human actions both in its interior and in its tributaries, generating a hydrological imbalance in the system, the loss of mangrove forest, and the reduction of fish, mollusk, and crustacean populations; which play a fundamental role in the functioning of the ecosystem and sustaining artisanal fishery, on which different local populations depend (Botero and Salzwedel, 1999; Sánchez-Ramírez and Rueda, 1999; Lorenz and Serafy, 2006). Although water rehabilitation works have been carried out, conditions continue to appear within the system (Invemar, 2019) This situation is perceived by local inhabitants and by different actors linked to the system as the cause of a decrease in approximately half of the ecosystem services of the wetland, which warrants greater conservation efforts (Vilardy *et al.*, 2012; Invemar, 2019).

Trophic ecology studies are crucial for the conservation of threatened ecosystems because they provide important information on the functional role of species and their habitats (Bó *et al.*, 2007). Among the most important aspects of trophic ecology is the dietary composition, the partition of trophic resources, and the breadth of the food niche, since they allow increasing knowledge about the trophic interactions of a predator with its prey and its implications for conservation and preservation of species and the ecosystem (López-Calleja, 1995; Bó *et al.*, 2007). These aspects may vary with the abundance of prey, habitats, and/or geographic sites and are modeled with the optimal foraging theory, which predicts an increase in niche width and prey diversity versus a reduction in the availability of their most optimal prey, and greater specificity by increasing their availability (Valdovinos *et al.*, 2010; Román-Palacios and Román-Valencia, 2015). In cormorants, trophic ecology studies

de estas (Valdovinos *et al.*, 2010; Román-Palacios y Román-Valencia, 2015). En cormoranes los estudios de ecología trófica aportan bases para comprender su rol en los ecosistemas acuáticos, su influencia en la comunidad íctica y su interacción con poblaciones de pescadores (Dias *et al.*, 2012).

La principal colonia reproductiva del cormorán neotropical (*Nannopterum brasilianus*) de Colombia está ubicada en el CL CGSM, al noroccidente del SFF CGSM (Figura 1). Se estima que esta colonia puede superar los 30 000 individuos (Ruiz-Guerra *et al.*, 2008; Ruiz-Guerra *et al.*, 2012). Estudios tróficos previos han determinado que *N. brasilianus* es un ave piscívora y generalista, que se alimenta mediante buceo y zambullida en medios marinos, dulceacuicolas y estuarinos (Gil de Weir *et al.*, 2011; Conde-Tinco y Iannacone, 2013). Esta especie elimina las partes de las presas que no puede digerir, regurgitando egagrópilas generalmente una vez al día (Orta, 1992; Zijlstra y Van-Eerden, 1995).

El cormorán presenta una alta plasticidad que le permite adaptarse a la disponibilidad de presas, observándose casos como el del lago Dos Patos (Brasil) donde, siendo una especie generalista, cambia su estrategia a especialista durante una parte del año, condición que Barquete *et al.* (2008) llamaron “especialización temporal”. A la fecha se han reconocido como parte de la dieta del cormorán neotropical los peces óseos bentónicos o mesopelágicos de las familias Ariidae, Engraulidae, Sciaenidae, Mugilidae y Gerreidae (Barquete *et al.*, 2008; Muñoz *et al.*, 2008; Gil de Weir *et al.*, 2011). El único antecedente de la dieta de *N. brasilianus* en el CL CGSM fue realizado por Hennig (1997), cuyo estudio coincidió con las acciones de rehabilitación en el complejo lagunar de 1995-1999 y los eventos de muerte masiva de peces de 1994-2000.

El conocimiento sobre la ecología trófica de *N. brasilianus* dentro el CL CGSM es importante considerando su tamaño poblacional y su rol como depredador de peces, lo que le confiere influencia en la estructura y función de los humedales (Smith y Smith, 2001; Begon *et al.*, 2005). El presente estudio pretende aportar información de la ecología trófica de *N. brasilianus* durante su periodo de nidación en el CL CGSM en 2017. Para ello se revisó la composición taxonómica de la dieta, la amplitud de nicho alimentario, la riqueza de presas, la diversidad trófica y la equitatividad de presas. Los resultados obtenidos se analizaron en el contexto de estudios previos realizados en Latinoamérica.

provide the basis for understanding their role in aquatic ecosystems, their influence on the fish community, and their interaction with fishing populations (Dias *et al.*, 2012).

The main reproductive colony of the Neotropical cormorant (*Nannopterum brasilianus*) from Colombia is located in the CGSM LC, northwest of the CGSM FFS (Figure 1). It is estimated that this colony can exceed 30 000 individuals (Ruiz-Guerra *et al.*, 2008; Ruiz-Guerra *et al.*, 2012). Previous trophic studies have determined that *N. brasilianus* is a generalist and piscivorous bird, which feeds by diving in marine, freshwater, and estuarine environments (Gil de Weir *et al.*, 2011; Conde-Tinco and Iannacone, 2013). This species eliminates the parts of the prey that it cannot digest, regurgitating pellets generally once a day, just before dawn or going out to forage (Orta, 1992; Zijlstra and Van-Eerden, 1995).

The cormorant has high plasticity that allows it to adapt to the availability of prey, observing cases such as Dos Patos Lake (Brazil) where it is a generalist who presents a breadth of specialist niche during part of the year, a condition that Barquete *et al.* (2018) called “temporal specialization”. To date, benthic or mesopelagic bony fishes of the Ariidae, Engraulidae, Sciaenidae, Mugilidae, and Gerreidae families have been recognized as part of the diet of the Neotropical cormorant (Barquete *et al.*, 2008; Muñoz *et al.*, 2008; Gil de Weir *et al.*, 2011). The only antecedent of the *N. brasilianus* diet in the CGSM LC was made by Hennig (1997), whose study coincided with the rehabilitation actions in the lagoon complex in 1995-1999 and the massive fish death events of 1994-2000.

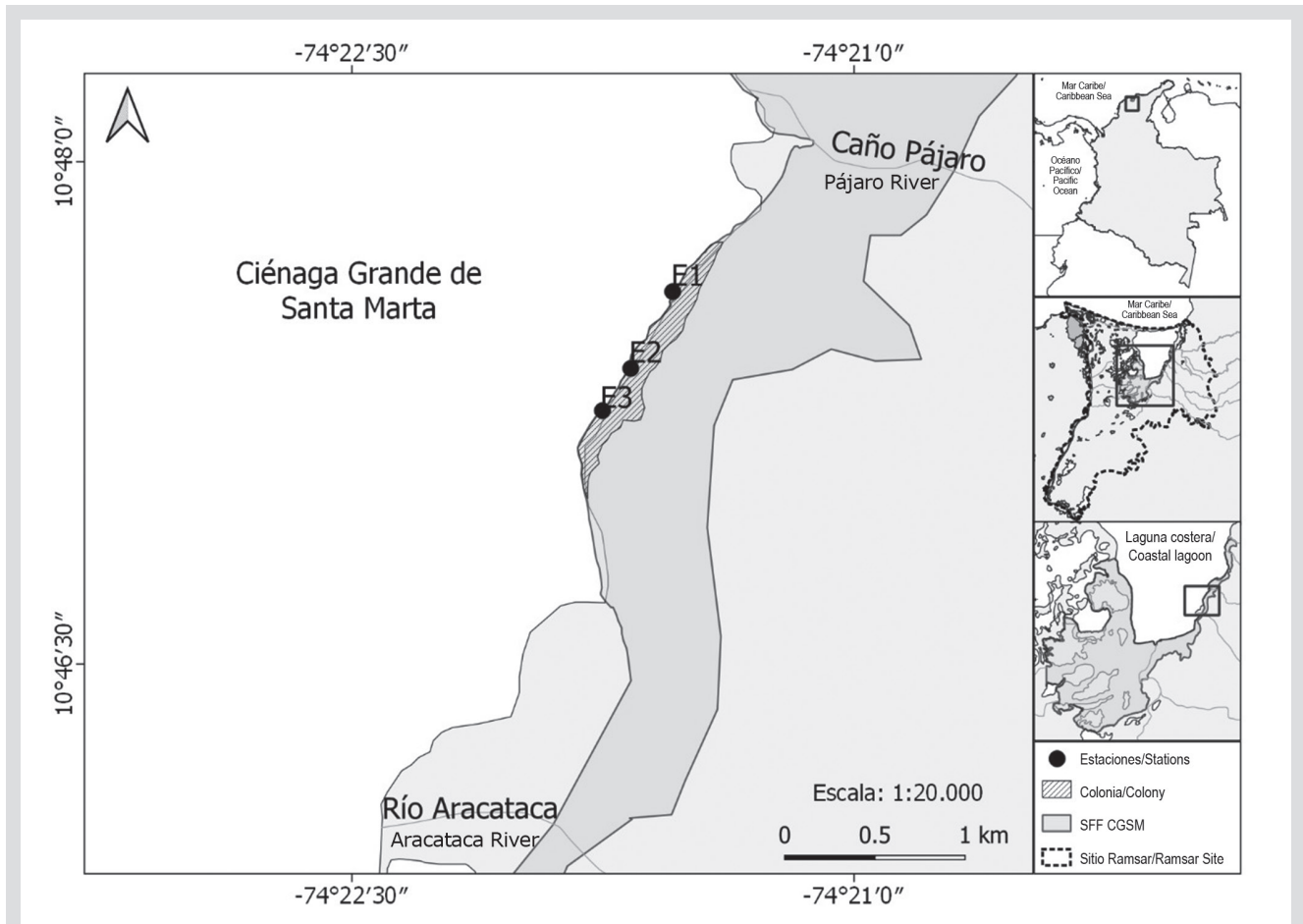
Knowledge about the trophic ecology of *N. brasilianus* within the CGSM LC is important considering its population size and its role as a fish predator which could give it an influence on the structure and function of wetlands (Smith and Smith, 2001; Begon *et al.*, 2005). The present study aims to provide information on the trophic ecology of *N. brasilianus* during its nesting period in the CGSM LC in 2017. For this, the taxonomic composition of the diet, the breadth of the food niche, the richness of prey, the trophic diversity, and prey fairness; by minimally invasive pellet analysis. The results obtained were analyzed in the context of previous studies carried out in Latin America.

## ÁREA DE ESTUDIO

La colonia reproductiva de *N. brasilianus* se encuentra ubicada en el sector nororiental del SFF CGSM, entre la desembocadura del río Aracataca y la desembocadura de caño Pájaro (Figura 1). El clima del CL CGSM es tropical árido, ya que la acción de los vientos alisios al norte de los 10° N es suficiente durante todo el año para inhibir en gran medida las precipitaciones, presentándose temperaturas promedio anuales entre 27° y 30 °C en la columna de agua y una humedad relativa entre 50-100 % (Andrade-Amaya, 2000; Blanco *et al.*, 2006). El régimen anual de lluvias varía entre 401 y 1321 mm, con un promedio de 897 mm/año, el cual se distribuye en un patrón climático unimodal con un periodo de vientos entre diciembre y abril, y un periodo de calmas, en el cual se observan las precipitaciones de mayo a noviembre, teniendo un máximo de pluviosidad entre septiembre y noviembre (Blanco *et al.*, 2006; García *et al.*, 2013).

## STUDY AREA

The reproductive colony of *N. brasilianus* is located in the northeastern sector of the CGSM FFS, between the mouth of the Aracataca River and the mouth of Caño Pájaro (Figure 1). The climate of the CGSM LC is tropical arid since the action of the trade winds north of 10 °N is sufficient throughout the year to greatly inhibit precipitation, with average annual temperatures between 27° and 30 °C in the water column and relative humidity between 50-100 % (Andrade-Amaya, 2000; Blanco *et al.*, 2006). The annual rainfall regime varies between 401 and 1321 mm, with an average of 897 mm/year, which is distributed in a unimodal climatic pattern with a period of winds between December and April, and a period of calm, in which rainfall from May to November, with maximum rainfall between September and November (Blanco *et al.*, 2006; García *et al.*, 2013).



**Figura 1.** Estaciones de muestreo ubicadas en la colonia de *Nannopterum brasilianus* ubicada al nororiente del SFF CGSM., en el sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del río Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe de Colombia en 2017.

**Figure 1.** Sampling stations located in the *Nannopterum brasilianus* colony located northeast of the CGSM FFS, in the Magdalena River Estuary Delta System Ramsar Site of Ciénaga Grande Santa Marta, Caribbean of Colombia in 2017.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Fase de campo

El muestreo se efectuó semanalmente entre mayo (cuatro semanas) y junio (dos semanas) de 2017 coincidiendo con el periodo reproductivo de *N. brasilianus* en ese año. Se visitaron tres estaciones de muestreo entre las 9 y 11 a. m., seleccionadas previamente por su accesibilidad y disposición de material para recolectar, evitando estresar a las aves según lo proponen Olmos *et al.* (2000) y Petracci *et al.* (2009). La recolección de egagrópilas se realizó manualmente con ramas, hojas y raíces de mangle, con el esfuerzo de dos recolectores durante 30-35 min por sitio. Las egagrópilas se guardaron en seco dentro de bolsas con sello hermético, rotuladas externamente con sellos adhesivos e internamente con etiquetas de papel pergamino, y se refrigeraron por menos de dos horas hasta ser llevadas a procesar en el laboratorio.

### Fase de laboratorio

Las egagrópilas se lavaron con etanol al 70 % y se desintegraron con la ayuda de pinzas y lancetas para separar los restos óseos como mandíbulas, otolitos, vértebras y demás restos del material. Las estructuras óseas encontradas se lavaron y almacenaron en etanol al 70 % (Olmos *et al.*, 2000). Los otolitos de peces óseos se utilizaron para la identificación del componente íctico hasta el nivel taxonómico más bajo posible utilizando diferentes guías de identificación (Abilhoa y Correa, 1992; Volpedo y Echeverría, 2000; Hernández-García *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2007; Espino-Barr *et al.*, 2013) y las bases de datos de otolitos Anàlisi de FORMes d'Otòlits (AFORO) y COSS-BRASIL (Lombarte *et al.*, 2006; Rossi-Wongtschowski *et al.*, 2016). El trabajo de caracterización de otolitos de Rossi-Wongtschowski *et al.* (2016) fue utilizado para la descripción de los otolitos tipo *sagitta*. La descripción de los otolitos tipo *asteriscus* se basó en Assis (2003) y para los otolitos tipo *lapillus* se basó en Assis (2005). Para las descripciones de los otolitos se utilizó un microscopio estereoscópico Leica M205A y se fotografiaron con una cámara integrada Leica DFC450.

### Análisis de datos

Para evaluar la representatividad o completitud de la muestra, estimado como la cobertura de muestreo según Chao *et al.* (2014), se empleó el estimador ( $\hat{C}_{ind}$ ). Dicho análisis se realizó mediante el paquete estadístico iNEXT, en el entorno de programación RStudio V.1.3.959

## MATERIALS AND METHODS

### Field phase

The sampling was carried out weekly between May (four weeks) and June (two weeks) of 2017, coinciding with the reproductive period of *N. brasilianus* in that year. Three sampling stations were visited between 9 and 11 a.m., previously selected for their accessibility and availability of material to collect, avoiding stressing the birds as proposed by Olmos *et al.* (2000) and Petracci *et al.* (2009). The pellet collection was performed manually from mangrove branches, leaves and roots, with the effort of two collectors for 30-35 min per site. The pellets were stored dry in hermetically sealed bags, externally labeled with adhesive seals and internally with parchment paper labels, and were refrigerated for less than two hours until they were taken to the laboratory for processing.

### Laboratory phase

The pellets were washed with 70 % ethanol, disintegrated with the help of forceps and lancets to separate the bone remains such as jaws, otoliths, vertebrae, and other remains of the material. The bone structures found were washed and stored in 70 % ethanol (Olmos *et al.*, 2000). The bony fish otoliths were used for the identification of the fish component down to the lowest possible taxonomic level using different identification guides (Abilhoa and Correa, 1992; Volpedo and Echeverría, 2000; Hernández-García *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2007; Espino-Barr *et al.*, 2013) and the Anàlisi de FORMes d'Otòlits (AFORO) and COSS-BRASIL (Lombarte *et al.*, 2006; Rossi-Wongtschowski *et al.*, 2016). The otolith characterization work by Rossi-Wongtschowski *et al.* (2016) was used for the description of the *sagitta*-type otoliths. The description of *asteriscus*-type otoliths was based on Assis (2003) and for *lapillus*-type otoliths it was based on Assis (2005). For descriptions of the otoliths, a Leica M205A stereomicroscope was used and they were photographed with an integrated Leica DFC450 camera.

### Analysis of data

To evaluate the representativeness or completeness of the sample, estimated as the sampling coverage according to Chao *et al.* (2014), the estimator ( $\hat{C}_{ind}$ ). This analysis was carried out using the iNEXT statistical package, in the RStudio V.1.3.959 programming environment (Hsieh *et al.*, 2016; RStudio, 2020). For this, each pellet was taken as the sampling unit, assuming that each bird generally throws one

(Hsieh *et al.*, 2016; RStudio, 2020). Para ello se tomó como unidad de muestreo cada egagrópila, asumiendo que cada ave arroja generalmente una egagrópila en la mañana antes del forrajeo (Orta, 1992; Zijlstra y Van-Eerden, 1995). Para determinar la composición alimentaria de la dieta se utilizaron dos medidas relativas de cuantificación de presas, detalladas por Hureau (1970) e Hyslop (1980) para el análisis de contenidos estomacales:

(1) Frecuencia de ocurrencia (%FO), que expresa el porcentaje de ocurrencia de cada una de las presas y se calculó como:

$$\%FO = \frac{n}{N} \times 100$$

Donde:

$n$  es el número de egagrópilas en las que estuvo presente la presa  $i$ , y

$N$  es el número total de egagrópilas observadas.

(2) Porcentaje en número (%N), que explica la proporción numérica de cada presa presente en relación al total de individuos de todas las presas y se calculó como:

$$\%N = \frac{N_n}{N_p} \times 100$$

Donde:

$N_n$  es el número de individuos de la presa  $i$  encontrados en la egagrópila  $j$ , y

$N_p$  es el número total de individuos de todas las presas encontrados en todas las egagrópilas.

Para calcular la amplitud del nicho trófico se usó el índice de Levins Estandarizado ( $B_j$ ), a partir de la medición de la uniformidad en los individuos consumidos. Los valores de  $B_j$  oscilan entre 0 y 1, siendo los valores superiores a 0,6 propios de especies generalistas, mientras que valores inferiores corresponden a especies especialistas (Krebs, 1989). Su ecuación es:

$$B_j = \frac{1}{n-1} \times \left\{ \left[ \frac{1}{\sum p_{ij}^2} \right] - 1 \right\}$$

Donde:

$n$  es el número de ítems presa consumidos por la especie, y

$p$  es la probabilidad de hallar el ítem ( $i$ ) en la muestra ( $j$ ).

pellet in the morning before foraging (Orta, 1992; Zijlstra and Van-Eerden, 1995). To determine the food composition of the diet, two relative measures of prey quantification were used, detailed by Hureau (1970) and Hyslop (1980) for analysis of stomach contents:

(1) Frequency of Occurrence (%FO): expresses the percentage of occurrence of each of the dams (Hyslop, 1980) and is calculated as:

$$\%FO = \frac{n}{N} \times 100$$

Where,

$n$  is the number of pellets in which prey  $i$  was present, and

$N$  is the total number of pellets observed.

(2) Numerical Frequency (%N): explains the numerical frequency of each prey present in relation to the total number of individuals of all prey and is calculated by:

$$\%N = \frac{N_n}{N_p} \times 100$$

Where,

$N_n$  is the number of individuals from prey  $i$  found in the pellet  $j$ , and

$N_p$  is the total number of individuals from all prey in pellets.

On the other hand, to calculate the breadth of the trophic niche, the Standardized Levins index ( $B_j$ ) was used, based on the measurement of uniformity in the individuals consumed. The values of  $B_j$  oscillate between 0 and 1, with values higher than 0.6 typical of generalist species, while lower values correspond to specialist species (Krebs, 1989). Its equation is:

$$B_j = \frac{1}{n-1} \times \left\{ \left[ \frac{1}{\sum p_{ij}^2} \right] - 1 \right\}$$

Where,

$n$  is the number of prey items consumed by the species, and

$p$  is the probability of finding the item ( $i$ ) in the sample ( $j$ ).

La riqueza de especies en la dieta, diversidad trófica y equitatividad de las presas se calcularon con los números Hill. Estos son una medida de diversidad que permite una interpretación unificada e intuitiva en unidades de especies efectivas con base en datos de abundancia relativa (Jost, 2006). Para la estimación de los números Hill se utilizó el modelo propuesto por Chao *et al.* (2014) para datos de frecuencia de incidencia incluido en la función “iNEXT()” del paquete iNEXT (Hsieh *et al.*, 2016). Los números Hill presentan un exponente  $q$  que determina su sensibilidad a la frecuencia de incidencia, siendo  $q = 0$  equivalente a la riqueza de especies,  $q = 1$  a la diversidad y  $q = 2$  la equitatividad (Hill, 1973; Chao *et al.*, 2014).

## RESULTADOS

Se colectó un total de 76 egagrópilas, en las cuales se encontraron restos de peces, moluscos y crustáceos, con un promedio de  $4,4 \pm 2,8$  peces por egagrópila (Figura 2). La cobertura de la muestra ( $\hat{C}_{ind} = 0,94$ , IC = 0,95) indicó que los resultados fueron representativos de la dieta de *N. brasilianus* para el periodo de mayo-junio del 2017. El intervalo de confianza mostró que la probabilidad de encontrar una nueva especie si se agregara una nueva egagrópila a la muestra es de 0,06 ( $1-\hat{C}_{ind}$ ) (Figura 3).

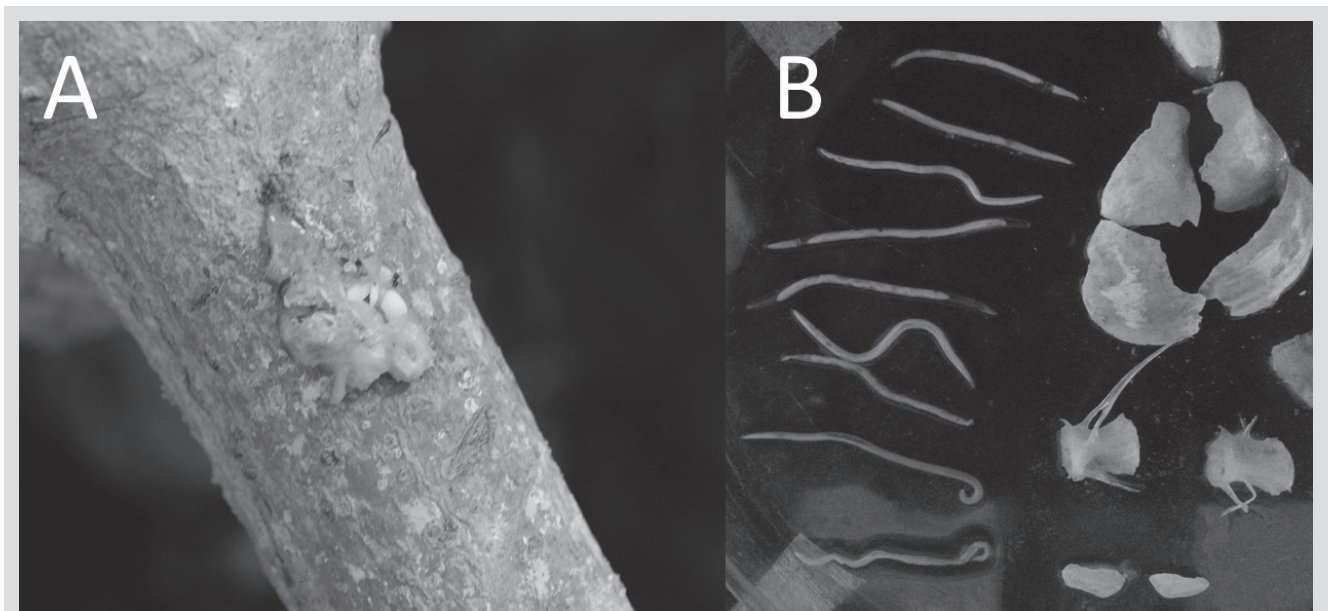
En las egagrópilas se encontraron restos de material no digerido de tres grupos: i) crustáceos, representado

Diet species richness, trophic diversity, and prey fairness were calculated with Hill numbers. These are a measure of diversity that allows a unified and intuitive interpretation in effective species units based on relative abundance data (Jost, 2006). To estimate the Hill numbers, the model proposed by Chao *et al.* (2014) was used for incidence frequency data included in the “iNEXT()” function of the iNEXT package (Hsieh *et al.*, 2016). Hill numbers present an exponent  $q$  that determines their sensitivity to incidence frequency, where  $q = 0$  is equivalent to species richness,  $q = 1$  to diversity, and  $q = 2$  equitability (Hill, 1973; Chao *et al.*, 2014).

## RESULTS

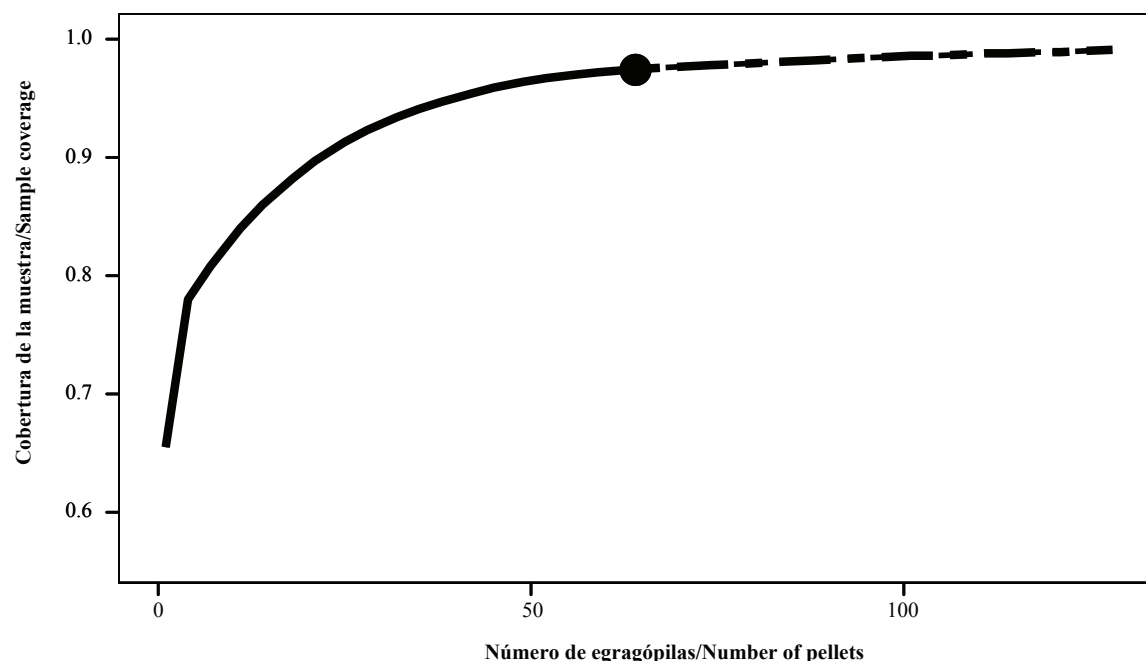
76 pellets were collected, in which remains of fish, mollusks, and crustaceans were found (Figure 2). An average of  $4.4 \pm 2.8$  fish per pellet was calculated (Figure 2). Sample coverage ( $\hat{C}_{ind} = 0.94$ ) points out that the results are representative of the diet of *N. brasilianus* for the period May-June 2017, with a confidence interval of 0.95. Thus, the probability of finding a new species if a new pellet were added to the sample is 0.06 ( $1-\hat{C}_{ind}$ ) (Figure 3).

In the pellets, remains of undigested material from three groups were found: i) crustaceans, represented by an exoskeleton; ii) mollusks, represented by a bivalve valve, and iii) teleost fish, represented by spines, vertebrae, fins,



**Figura 2.** A) Egagrópilas de *Nannopterum brasilianus* sobre una raíz de *Rhizophora mangle*, L. B) Estructuras duras de las presas de *N. brasilianus* y parásitos que se observaron en una egagrópila procesada en laboratorio.

**Figure 2.** A) *Nannopterum brasilianus* pellets on a root of *Rhizophora mangle*, L. B) Hard structures of *N. brasilianus* prey and parasites that were observed in a laboratory-processed pellet.



**Figura 3.** Curva de muestreo basada en la rarefacción (líneas continuas) y extrapolación (líneas punteadas) de la cobertura del muestreo de egragópilas de *Nannopterum brasilianus* en la colonia de Punta Blanca, con intervalos de confianza del 95 % (áreas sombreadas) recolectadas en mayo y junio de 2017.

**Figure 3.** Sampling curve based on the rarefaction (solid lines) and extrapolation (dotted lines) of the coverage of the pellet sampling of *Nannopterum brasilianus* in the Punta Blanca colony, with 95 % confidence intervals (shaded areas) collected in May and June of 2017.

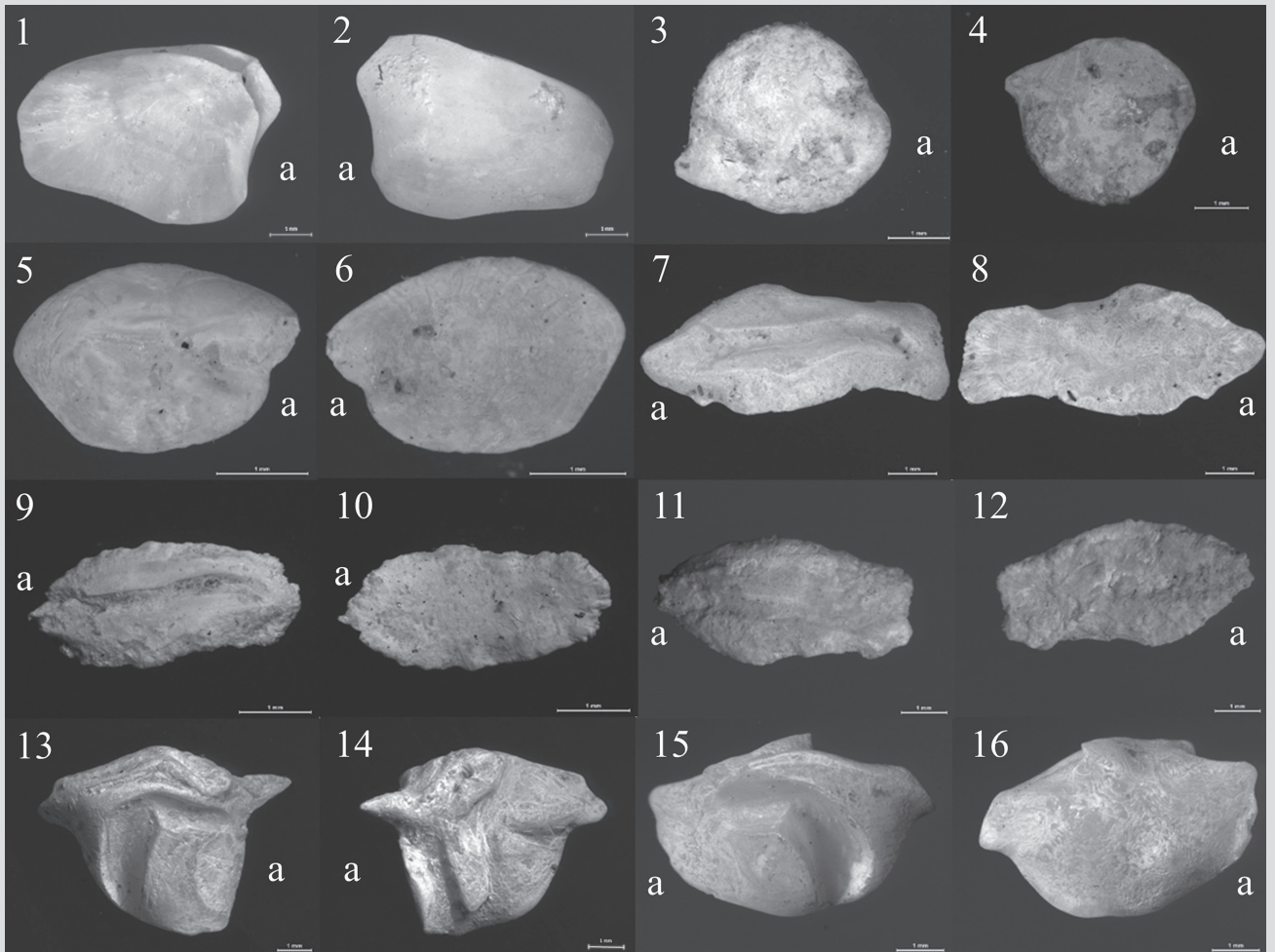
por un exoesqueleto; ii) moluscos, representado por una valva de bivalvo, y iii) peces teleósteos, representados por espinas, vertebras, aletas, cráneos y otolitos. Del total de egragópilas recolectadas, se encontraron otolitos en 64 (84,2 %) identificando ocho morfoespecies, cinco a nivel de especie, dos a nivel de género y una a nivel de familia (Figura 4).

En cuanto a la frecuencia de ocurrencia, la familia Ariidae presentó los valores más altos (92,5 %FO), seguido de Mugilidae (17,9 %FO). A nivel de especie, *Cathorops mapale* (Ariidae) se destacó por su presencia en gran parte de las egragópilas (92,1 %FO) (Tabla 1). En cuanto al porcentaje en número, se observó un total de 275 individuos presa en las muestras, la mayoría pertenecientes a la familia Ariidae, seguido de lejos por Mugilidae y Engraulidae (93,7, 4,9 y 0,4 %N, respectivamente). La especie con mayor representatividad en número fue *C. mapale* (89,5 %N), seguida de *Mugil liza* (Mugilidae) con un 2,2 %N. La amplitud del nicho estimada para *Nannopterum brasilianus* mostró un comportamiento especialista ( $B_j = 0,02$ ) mientras que la riqueza de especies en la dieta ( $q = 0$ ) fue de un número efectivo de 12 especies igualmente frecuentes, la diversidad trófica ( $q = 1$ ) fue 3,9 y la equitatividad ( $q = 2$ ) fue de 2,1.

skulls, and otoliths. Of the total of pellets collected, otoliths were found in 64 (84.2 %) of them, and in total, eight morpho-species were identified from the otoliths: five at the species level, two at the genus level, and one at the family level (Figure 4).

In the frequency of occurrence, the Ariidae family presented the highest values (92.5 %FO), followed by Mugilidae (17.9 %FO). At the species level, *Cathorops mapale* (Ariidae) stood out for its presence in a large part of pellets (92.1 %FO) (Table 1). Regarding the numerical frequency, a total of 275 prey individuals were observed in the samples. Most belonging to the Ariidae family, followed far behind by Mugilidae and Engraulidae (93.7, 4.9, and 0.4 %N, respectively). The species with the highest numerical frequency was *C. mapale* (89.5 %N), followed by *Mugil liza* (Mugilidae) with 2.2 %N. The niche width for *Nannopterum brasilianus* presented a specialist behaviour of 0.02. While the richness of species in the diet ( $q = 0$ ) was an effective number of 12 equally frequent species, trophic diversity ( $q = 1$ ) was 3.9 and fairness ( $q = 2$ ) was 2.1.





**Figura 4.** Otolitos encontrados en egagrópilas de *Nannopterum brasilianus*. (1-2) Otolito tipo *lapillus* de *Cathorops mapale*. (3-4) Otolito tipo *lapillus* de *Ariopsis* sp. (5-6) Otolito tipo *sagitta* de *Anchovia* sp. (7-8) Otolito tipo *sagitta* de *Mugil liza*. (9-10) Otolito tipo *sagitta* de *Mugil curema*. (11-12) Otolito tipo *sagitta* de *Mugil cephalus*. (13-14) Otolito tipo *sagitta* de *Bairdiella ronchus*. (15-16) Otolito tipo *sagitta* de Sciaenidae sp. Los otolitos están dispuestos con el borde dorsal hacia la parte superior de la imagen, excepto en las imágenes 8 y 10 donde el borde dorsal se dispone hacia abajo. La región anterior se señala con la letra A).

**Figure 4.** Otoliths are found in pellets of *Nannopterum brasilianus*. (1-2) *Cathorops mapale* *lapillus*-type otolith. (3-4) *Lapillus*-type otolith of *Ariopsis* sp. (5-6) *Sagitta*-type otolith of *Anchovia* sp. (7-8) *Mugil liza* *sagitta*-type otolith. (9-10) *Sagitta*-type otolith of *Mugil curema*. (11-12) *Mugil cephalus* *sagitta*-type otolith. (13-14) *Bairdiella bronchus* *sagitta*-type otolith. (15-16) *Sagitta*-type otolith of Sciaenidae sp. The otoliths are arranged with the dorsal edge towards the top of the image, except for images 8 and 10 where the dorsal edge is disposed downward. The anterior region is indicated by the letter (A).

**Tabla 1.** Medidas relativas de cuantificación de presas de los ítems encontrados en las egagrópilas de *Nannopterum brasilianus* entre mayo y junio del 2017 en el CL-CGSM. %FO: frecuencia de ocurrencia. %N: porcentaje en número.

| Familia/Family | Especie/Species                                | %FO  | %N   |
|----------------|--|------|------|
| Ariidae        |  | 92.5 | 93.7 |
|                | <i>Cathorops mapale</i> Betancur y Acero, 2005 | 92.1 | 89.5 |
|                | <i>Ariopsis</i> sp. Peyer, 1928                | 6.3  | 1.9  |

**Table 1.** Relative measures of prey quantification of the items found in *Nannopterum brasilianus* pellets between May and June 2017 in the CGSM LC. %FO: Frequency of occurrence. %N: Numerical frequency.

| Familia/Family                | Especie/Species                             | %FO  | %N  |
|-------------------------------|---|------|-----|
| Mugilidae                     |   | 17.9 | 4.8 |
|                               | <i>Mugil liza</i> Valenciennes, 1836        | 9.5  | 2.2 |
|                               | <i>Mugil curema</i> Valenciennes, 1836      | 4.8  | 1.1 |
|                               | <i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758        | 4.8  | 1.5 |
| Sciaenidae                    |   | 4.5  | 1.1 |
|                               | <i>Bairdiella ronchus</i> (Cuvier, 1830)    | 3.2  | 0.7 |
|                               | Sciaenidae sp.                              | 1.6  | 0.4 |
| Engraulidae                   | <i>Anchovia</i> sp. Jordan & Evermann, 1895 | 1.6  | 0.4 |
| No identificados/Unidentified |   | 10.9 | 2.5 |

## DISCUSIÓN

La completitud de los muestreos es un parámetro importante a la hora de realizar comparaciones entre diferentes estudios (Chao *et al.*, 2014). Sin embargo, las investigaciones revisadas sobre la dieta de *N. brasiliensis* en Latinoamérica no precisan esta información (Tabla 2). En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio pueden servir de línea base para futuras investigaciones que deseen evaluar con mayor certeza diferencias espaciales y temporales en la ecología trófica de la especie, especialmente cuando se tienen periodos o coberturas espaciales limitadas como en este estudio.

La dieta de *N. brasiliensis* estuvo representada por peces bentónicos y demersales mientras que los moluscos y crustáceos se consideraron como ingesta indirecta, conforme a lo registrado en otros estudios (Regidor y Terroba, 2001; Barquete *et al.*, 2008; Muñoz *et al.*, 2008; Petracci *et al.*, 2009). La familia Ariidae estuvo representada por dos especies en la dieta del cormorán, que significaron casi su totalidad tanto en frecuencia de ocurrencia como en porcentaje en número. Esta familia de peces tiene hábitos de vida bentónicos, ideales para el tipo de captura por buceo, característico de los cormoranes (Mejía-Ladino *et al.*, 2002; Barquete *et al.*, 2008). Los resultados corroboran la importancia de esta familia de peces en la dieta del cormorán neotropical, registrada en otros países tropicales como Brasil y Venezuela (Tabla 2).

## DISCUSSION

The completeness of the samplings is an important parameter when making comparisons between different studies (Chao *et al.*, 2014). However, the researchers reviewed that the diet of *N. brasiliensis* in Latin America does not require this information (Table 2). In this sense, the results obtained in the present study can serve as a baseline for future investigations that wish to evaluate spatial and temporal differences in the trophic ecology of the species with greater certainty, especially when you have limited periods or spatial coverage as in this study.

The diet of *N. brasiliensis* was represented by benthic and demersal fish, while mollusks and crustaceans were considered as indirect ingestion, as reported in other studies (Regidor and Terroba, 2001; Barquete *et al.*, 2008; Muñoz *et al.*, 2008; Petracci *et al.*, 2009). The Ariidae family was represented by two species in the cormorant diet, which represented almost all of them both in the frequency of occurrence and in numerical frequency. This family of fish has benthic life habits, ideal for the type of capture by diving, characteristic of cormorants (Mejía-Ladino *et al.*, 2002; Barquete *et al.*, 2008). The results corroborate the importance of this family of fish in the diet of the Neotropical cormorant, reported in other tropical countries such as Brazil and Venezuela (Table 2).

**Tabla 2.** Familias de peces encontradas en la dieta del cormorán neotropical en otras regiones de Suramérica y en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM). %N: frecuencia numérica. %FO: frecuencia de ocurrencia.**Table 2.** Fish families found in the diet of the Neotropical cormorant in other regions of South America and the Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM). %N: numerical frequency. %FO: frequency of occurrence.

| Fuente/Source                               | Hennig (1997)                                 | Gil de Weir et al. (2011)                        | Barquete et al. (2008)                     |      | Muñoz et al. (2008)                                | Petracci et al. (2009)                  | Alarcon et al. (2012)                 |      | Este estudio/ This study |      |
|---|---|--|--|------|--|---|---------------------------------------|------|--------------------------|------|
| Área de estudio/<br>Study area              | CGSM  | Ciénaga los Olivos (Venezuela)                   | Lago Dos Patos/<br>Dos Patos Lake (Brasil) |      | Península de Araya/<br>Araya Peninsula (Venezuela) | Bahía Blanca/<br>Blanca Bay (Argentina) | Río Limay/<br>Limay River (Argentina) |      | CGSM                     |      |
| Año de estudio/<br>Year of study            | 1996-1997                                     | 1998-1999  | 2001-2002                                  |      | 2003-2004  | 2003-2006                               | 2008                                  |      | 2017                     |      |
| Muestras/Samples                            | Estómago y vomitados/<br>Stomach and vomiting | Estómagos y egagrópilas/<br>Stomachs and pellets | Egagrópilas/<br>Pellets                    |      | Estómagos/<br>Stomachs                             | Egagrópilas/<br>Pellets                 | Egagrópilas/<br>Pellets               |      | Egagrópilas/<br>Pellets  |      |
| n   | 13 y 53                                       | 73 y 40  | 289  |      | 34   | 200                                     | 106                                   |      | 76                       |      |
| Cobertura de la muestra/<br>Sample coverage | ---   | ---  | ---  |      | ---  | ---                                     | ---                                   |      | 94 %                     |      |
| Índice/Index                                | %N  | %N   | %FO  | %N   | %N   | %FO                                     | %FO                                   | %N   | %FO                      | %N   |
| Ariidae                                     | 23.4  | 41.0   | 43.6                                       | 10.3 | 45.0   | -                                       | -                                     | -    | 92.5                     | 93.7 |
| Mugilidae                                   | 1.1   | <2.0   | 20.0                                       | 2.8  | ¿?   | -                                       | -                                     | -    | 17.9                     | 4.8  |
| Sciaenidae                                  | -   | 4.0  | 73.7                                       | 43.3 | -  | 13.0                                    | -                                     | -    | 4.5                      | 1.1  |
| Engraulidae                                 | 67.1  | 32.0   | 18.3                                       | 27.4 | 7.5  | -                                       | -                                     | -    | 1.6                      | 0.4  |
| Gerreidae                                   | 6.1   | 11.0   | -  | -    | -  | -                                       | -                                     | -    | -                        | -    |
| Atherinopsidae                              | -   | -  | 1.0  | 0.1  | -  | 9.0                                     | 1.1                                   | 0.2  | -                        | -    |
| Dactylopteridae                             | -   | -  | -  | -    | 10.0   | -                                       | -                                     | -    | -                        | -    |
| Batrachoididae                              | -   | -  | -  | -    | 27.0   | 90.0                                    | -                                     | -    | -                        | -    |
| Salmonidae                                  | -   | -  | -  | -    | -  | -                                       | 98.9                                  | 60.3 | -                        | -    |
| Galaxidae                                   | -   | -  | -  | -    | -  | -                                       | 9.6                                   | 3.6  | -                        | -    |
| Percichthyidae                              | -   | -  | -  | -    | -  | 0.5                                     | 6.4                                   | 1.1  | -                        | -    |
| Invertebrados/<br>Invertebrates             | -   | -  | 5.8  | 0.3  | -  | 15.0                                    | 55.3                                  | 20.1 | -                        | -    |
| Otros/Others                                | 2.3   | 13.5   | -  | 15.2 | -  | -                                       | 50.0                                  | 14.7 | -                        | -    |

El registro relativamente alto de *C. mapale* en la dieta del cormorán neotropical durante este estudio coincidió con los altos desembarcos pesqueros registrados para *C. mapale* en el CL CGSM durante el mes de mayo de 2017, cuando fue la segunda especie más capturada con un total de 330,5 toneladas (Invemar, 2020). Por su lado, Hening (1997) registró que la dieta de *N. brasiliensis* durante la reproducción en agosto del 1996 estuvo dominada en un 92,99 % por individuos pertenecientes a la subfamilia

The relatively high record of *C. mapale* in the diet of the Neotropical cormorant during this study coincided with the high fishing landings recorded for *C. mapale* in the CGSM LC during May 2017, when it was the second most captured species with a total of 330.5 tons (Invemar, 2020). On the other hand, Hening (1997) reported that the diet of *N. brasiliensis* during the reproduction of the cormorant, in August 1996, was dominated by 92.99 % by individuals belonging to the subfamily Engraulidae

Engraulidae (*Anchovia clupeioides* y *Cetengraulis edentulus*). Sin embargo, estas especies representaron menos del 1 % de las capturas registradas en el CL CGSM en ese mismo año. No obstante, Manjarrés *et al.* (2007) registraron que *C. edentulus* fue la especie más importante en los desembarcos pesqueros provenientes del área marina adyacente al CL CGSM, entre 1994 y 1998, siendo especialmente abundante en 1996 cuando se estimaron capturas de aproximadamente 484 toneladas. Esto indica que los individuos de *N. brasiliensis* pertenecientes a la colonia ubicada al nororiente del SFF CGSM pueden alimentarse en el mar Caribe, en busca de individuos que tengan los tamaños adecuados para ser consumidos.

Es importante mencionar que el presente estudio, aunque complementario, no es comparable con el de Hennig (1997). Esto se debe principalmente a que ese autor analizó estómagos y vomitados durante condiciones climáticas influenciadas por una fase cálida del evento El Niño Oscilación Sur (ENOS), mientras que en el presente estudio se analizaron egagrópilas durante una fase neutral del ENOS (NOAA, 2020). En efecto, para el CL CGSM se ha registrado que el ENOS incide en la abundancia de las especies de peces e invertebrados capturadas por la flota pesquera artesanal (Invemar, 2019).

La importancia numérica de la familia Mugilidae en la dieta de *N. brasiliensis* fue más significativa que en otros estudios; sin embargo, en términos de ocurrencia fue similar a Barquete *et al.* (2008) (Tabla 2). Esto corrobora la importancia de los mugilidos en la dieta de la familia Phalacrocoracidae, donde son presas recurrentes (Jahncke y Goya, 1997; Olmos *et al.*, 2000). Cabe mencionar que Hennig (1997) identificó en la dieta del cormorán sólo una especie de esta familia (*M. incilis*), mientras que en el presente estudio se lograron identificar tres especies (*M. liza*, *M. curema*, y *M. cephalus*), cuyas dietas están dominadas por la producción primaria del complejo lagunar (detritos, diatomeas y sedimentos inorgánicos), por lo que desempeñan un rol importante en la transferencia de energía del sistema estuarino hacia los cormoranes (Jacot, 1920; Osorio, 1988).

Los peces de la familia Sciaenidae tuvieron una contribución menor en la dieta de *N. brasiliensis*, indicando un consumo esporádico, similar a otros estudios (Hennig, 1997; Olmos *et al.* 2000; Gil de Weir *et al.* 2011). Por el contrario, Barquete *et al.* (2008) encontraron que la familia Sciaenidae hizo la mayor contribución en número y ocurrencia, lo cual coincidió con la alta abundancia de *Micropogonia furnieri* (Desmarest, 1823) en aguas profundas y sitios con mayor

(*Anchovia clupeioides* and *Cetengraulis edentulus*). However, these species represented less than 1 % of the catches recorded in the CGSM LC during that year. However, Manjarrés *et al.* (2007) reported that *C. edentulus* was the most important species in the fishing landings from the marine area adjacent to the CGSM LC, between 1994 and 1998, being especially abundant in 1996 when catches of approximately 484 tons were estimated. This indicates that the individuals of *N. brasiliensis* belonging to the colony located to the northeast of the CGSM FFS can feed in the Caribbean Sea, in search of individuals that have the adequate sizes to be consumed.

It is important to mention that the present study, although it is complementary, is not comparable with that of Hennig (1997). This is mainly because this author analyzed stomachs and vomits during climatic conditions influenced by a warm phase of the El Niño Southern Oscillation (ENSO) event, while in the present study pellets were analyzed during a neutral phase of ENSO (NOAA, 2020). Indeed, for the CL CGSM it has been reported that ENSO affects the abundance of fish and invertebrate species caught by the artisanal fishing fleet (Invemar, 2019).

The numerical frequency of the Mugilidae family in the *N. brasiliensis* diet was more significant than in other studies; however, in terms of occurrence it was similar to Barquete *et al.* (2008) (Table 2). This corroborates the importance of Mugilidae in the diet of Phalacrocoracidae, where they are recurrent prey (Jahncke and Goya, 1997; Olmos *et al.*, 2000). It is worth mentioning that Hennig (1997) identified only one species of this family (*M. incilis*) in the cormorant diet, while in the present study three species were identified (*M. liza*, *M. curema*, and *M. cephalus*), whose diets are based on the primary production of the lagunar complex (debris, diatoms, and inorganic sediments), for which they play an important role in the transfer of energy from the estuarine system to cormorants (Jacot, 1920; Osorio, 1988).

The fish of the Sciaenidae family had a minor contribution to the *N. brasiliensis* diet, indicating sporadic consumption, similar to other studies (Hennig, 1997; Olmos *et al.*, 2000; Gil de Weir *et al.*, 2011). On the contrary, Barquete *et al.* (2008) found that the Sciaenidae family made the highest contribution in numerical frequency and occurrence, which coincided with the high abundance of *Micropogonia furnieri* (Desmarest, 1823) in deep waters and sites with greater marine influence (Marín

influencia marina (Marín *et al.*, 2013). Esto se explica porque la importancia de esta familia en la dieta del cormorán es mayor en poblaciones que habitan en ecosistemas marinos (Pettracci *et al.*, 2009).

La familia Engraulidae tuvo poca ocurrencia e importancia numérica en la dieta, en contraste con estudios previos que registran una contribución mayor de esta familia en la dieta de *N. brasiliensis* (Tabla 2). La disminución en la población de *Cetengraulis edentulus* (Cuvier, 1829), inferida por la tendencia decreciente de sus desembarcos y la captura de juveniles, llevaron a que fuese categorizada como casi amenazada en la región (Duarte *et al.*, 2017), lo cual plantea una reducción en su oferta como alimento para el cormorán. Respecto a *Anchovia clupeioides* (Swainson, 1839), Hennig (1997) registra una talla media de consumo de 14 cm (entre 10-20 cm), y la talla media de captura por pescadores se ha reducido de 19 cm (longitud total en 1999) a 12 cm (longitud total en mayo y junio de 2017) (Invemar, 2020). Esto sugiere que la explotación pesquera de *A. clupeioides* podría haber afectado la disponibilidad de las presas con tallas apetecibles para *N. brasiliensis*.

Con base en estudios de ecología trófica, se ha considerado que *N. brasiliensis* es una especie generalista u oportunista que selecciona sus presas en función de la disponibilidad y la cual aprovecha los recursos más abundantes y fáciles de capturar (Conde-Tinco y Iannacone, 2013; Ovegård, 2017). La amplitud de nicho observada en el presente estudio sugiere un hábito especialista, lo cual se corrobora con los valores de diversidad y equitatividad trófica. Sin embargo, al considerar la riqueza de especies en la dieta y en conformidad a lo registrado por Hennig (1997), podría ser un caso de “especialización temporal” como el descrito por Barquete *et al.* (2008) para el cormorán neotropical en el lago Dos Patos al sur de Brasil y moldeado por la teoría de forrajeo óptimo (Valdovinos *et al.*, 2010). Para especies de cormoranes, se conoce que la puesta y la eclosión de los huevos son asíncronas y están probablemente relacionadas con la oferta de alimentos más disponibles y parecen permitir una respuesta rápida a las condiciones ambientales (Siegel-Causey, 1997). Este caso de la relación entre el éxito reproductivo y la oferta alimentaria se ha observado en otras aves piscívoras, como el caso de los pelícanos y su éxito reproductivo debido a los eventos de surgencia de aguas frías temporales que concentran agregaciones de peces presa en meses de manera predecible (*Pelecanus occidentalis* en México: Hernández-Vázquez *et al.*, 2011; en Panamá: Martínez, 1983; en Gorgona: Falk-Fernández, 1993).

*et al.*, 2013). This is explained because the importance of this family in the cormorant diet is greater in populations that inhabit marine ecosystems (Pettracci *et al.*, 2009).

The family Engraulidae had little occurrence and numerical frequency in the diet, in contrast to previous studies that record a greater contribution of this family in the diet of *N. brasiliensis* (Table 2). The decrease in the *Cetengraulis edentulus* population (Cuvier, 1829), inferred by the decreasing trend of its landings and the capture of juveniles led to it being categorized as near threatened in the region (Duarte *et al.*, 2017), which poses a reduction in its supply as food for the cormorant. Regarding *Anchovia clupeioides* (Swainson, 1839), Hennig (1997) reports an average consumption length of 14 cm (between 10-20 cm), and the average size of catch by fishermen has been decreasing from 19 cm (total length in 1999) to 12 cm (total length in May and June 2017) (Invemar, 2020). This suggests that the fishing exploitation of *A. clupeioides* could have affected the availability of prey with palatable sizes for consumption by *N. brasiliensis*.

Based on trophic ecology studies, *N. brasiliensis* has been considered to be a generalist or opportunistic species, which selects its prey based on availability and which takes advantage of the most abundant and easy-to-capture resources (Conde-Tinco and Iannacone, 2013; Ovegård, 2017). The niche width observed in the present study suggests a specialist habit, which is corroborated by the values of trophic diversity and equitability. However, when considering the richness of species in the diet and in accordance with that reported by Hennig (1997), it could be a case of “temporal specialization” as described by Barquete *et al.* (2008) for the Neotropical cormorant in Dos Patos Lake in southern Brazil and modeled by the optimal foraging theory (Valdovinos *et al.*, 2010). For cormorant species, egg-laying and hatching are known to be asynchronous, and are probably related to the supply of more available food and seem to allow a rapid response to environmental conditions (Siegel-Causey, 1997). This case of the relationship between reproductive success and food supply has been observed in other piscivorous birds, such as the case of pelicans and their reproductive success due to the upwelling events of temporary cold waters that concentrate aggregations of prey fish in months of predictably (*Pelecanus occidentalis* in Mexico: Hernández-Vázquez *et al.*, 2011; in Panama: Martínez, 1983; in Gorgona: Falk-Fernández, 1993).

## CONCLUSIONES

*Nannopterum brasilianus* presentó un hábito alimentario especializado durante su anidación del año 2017, pero los valores de riqueza en la dieta y los antecedentes sugieren que es un ave generalista y lo observado corresponde a una respuesta adaptativa moldeada por la disponibilidad de presas. Sin embargo, se requieren estudios más amplios en tiempo y espacio para corroborar lo planteado.

El uso de egagrópilas en el estudio de la dieta del cormorán es un método informativo, poco invasivo y no letal, pero presenta desafíos para su implementación óptima en el CL CGSM, como es la ausencia de registros de otolitos de las presas potenciales presentes en el ecosistema, así como análisis de correlación entre el tamaño de los otolitos y las tallas de los peces. Debido a que no se cuentan con dichos insumos, no se pudieron identificar todos los componentes de la riqueza de presas, ni calcular las tallas de las presas consumidas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al SFF CGSM y a la Dirección Territorial Caribe de Parques Nacionales Naturales de Colombia (DTCA) por el apoyo técnico, logístico y administrativo ofrecido durante el transcurso de la investigación. También agradecen al grupo de investigación Evaluación y Ecología Pesquera de la Universidad del Magdalena (GIEEP) por facilitar sus laboratorios y equipos para el procesamiento de las muestras y a la Asociación para el Estudio y la Conservación de las Aves Playeras de Colombia (Calidris) por sus aportes durante la fase inicial de la investigación.

## CONCLUSIONS

*Nannopterum brasilianus* presented a specialized feeding habit during its nesting in 2017, but the richness values in the diet and the antecedents suggest that it is a generalist bird and the observed corresponds to an adaptive response modeled because of the availability of dams. However, larger studies are warranted in time and space to corroborate what has been raised.

The use of pellets in the study of the cormorant diet is an informative, minimally invasive, and non-lethal method, but it presents challenges for its optimal implementation in the CGSM LC, such as the absence of otolith records of the potential prey present in the ecosystem, as well as correlation analysis between the size of the otoliths and the sizes of the fish. Since these inputs are not available, it was not possible to identify all the components of the richness of prey, nor to calculate the sizes of the prey consumed.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the CGSM FFS and the Caribbean Territorial Directorate of Natural National Parks of Colombia (DTCA) for the technical, logistical, and administrative support offered during the investigation. They also thank the Evaluation and Fisheries Ecology Research Group of the University of Magdalena (GIEEP) for providing their laboratories and equipment for processing the samples and the Asociación para el Estudio y la Conservación de las Aves Playeras de Colombia (Calidris) for their contributions during the initial phase of the investigation.

## BIBLIOGRAFÍA/LITERATURE CITED

- Abilhoa, V. y M.F.M. Correa. 1992. Catálogo de otólitos de Carangidae (Osteichthyes-Perciformes) do litoral do Estado do Paraná, Brasil. *Neritica*, 7(1-2):119-131.
- Andrade-Amaya, C.A. 2000. The circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Tesis Ph. D., Univ. Wales. 223p.
- Assis, C.A. 2003. The Lagenar otoliths of teleosts: their morphology and its application in species identification, phylogeny and systematics. *J. Fish Biol.*, 62(6): 1268-1295.
- Assis, C.A. 2005. The utricular otoliths, lapilli, of teleosts: their morphology and relevance for species identification and systematics studies. *Sci. Mar.*, 69(2): 259-273.
- Barquete, V., L. Bugoni y C.M. Vooren. 2008. Diet of Neotropical cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*) in an estuarine environment. *Mar. Biol.*, 153(3): 431-443.
- BirdLife International. 2018. Important bird areas factsheet: Ciénaga Grande, isla de Salamanca and Sabana Grande Ramsar Biosphere Reserve. <http://www.birdlife.org>. 17/07/2020.



- Blanco, J.A., E.A. Vioria, and J.C. Narváez. 2006. ENSO and salinity changes in the Ciénaga Grande de Santa Marta coastal lagoon system, Colombian Caribbean. *Estuar. Coast Shelf Sci.*, 66(1-2): 157-167.
- Bó, M., A. Baladrón y L. Biondi. 2007. Ecología trófica de falconiformes y strigiformes: tiempo de síntesis. *Hornero*, 22(2): 97-115.
- Botero, L. y H. Salzwedel. 1999. Rehabilitation of the Ciénaga Grande de Santa Marta, a mangrove-estuarine system in the Caribbean coast of Colombia. *Ocean Coast Manage.*, 42(2-4): 243-56.
- Chao, A., N.J. Gotelli, T.C. Hsieh, E.L. Sander, K.H. Ma, R.K. Colwell, and A.M. Ellison. 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol. Monogr.*, 84(1): 45-67.
- Conde-Tinco, M.A. y J. Iannaccone. 2013. Bioecología de *Phalacrocorax brasilianus* (Gmelin, 1789) (Pelecaniformes: Phalacrocoracidae) en Sudamérica. *Biologist*, 11(1): 151-166.
- Dias, E., P. Morais, M. Leopold, J. Campos, and C. Antune. 2012. Natural born indicators: Great cormorant *Phalacrocorax carbo* (Aves: Phalacrocoracidae) as monitors of river discharge influence on estuarine ichthyofauna. *J Sea Res*, 73: 101-108.
- Duarte, L.O., L. Manjarrés y J. Leal. 2017. *Cetengraulis edentulus* (Cuvier, 1829). En: Chasqui L., A. Polanco, A. Acero P., P. Mejía-Falla, A. Navia, L.A. Zapata, J.P. Caldas (Eds.). Libro rojo de los peces marinos de Colombia. Ser. Publ. Gener. Invermar, (93). Santa Marta. 552 p.
- Espino-Barr, E., M. Gallardo-Cabello, E.G. Cabral-Solís, M. Puente-Gómez y A. García-Boa. 2013. Otoliths analysis of *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae) in Cuyutlan lagoon, Mexico. *Av Investig. Agropecu.*, 17(1): 35-64.
- Falk-Fernández, P. 1993. Variación poblacional y aspectos del ciclo reproductivo del pelicano (*Pelecanus occidentalis murphy*) en el Parque Nacional Natural Gorgona. Tesis Biol., Univ. Valle. 71 p.
- García, C.B., L.O. Duarte y G. Ramírez. 2013. Fisiografía y oceanografía del golfo de Salamanca (mar Caribe, Colombia). 111-140. En: Melgarejo L.M. y C.B. García-Ramírez (Eds.). Investigación en ciencias del mar: aportes de la Universidad Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 200 p.
- Gil de Weir, K., E. Weir, C.L. Casler y S. Aniyar. 2011. Ecological functions and economic value of the Neotropic cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*) in Los Olivitos estuary, Venezuela. *Environ. Dev. Econ.*, 16(5): 553-572.
- Hennig, V. 1997. Investigaciones sobre la biología del cormorán o pato cuervo (*Phalacrocorax brasilianus*) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Alemania. 41 p.
- Hernández-García, R., J.A. Martínez-Pérez, T.A. Bautista-López y J.M. Reséndiz-Rodríguez. 2004. Descripción morfológica de los otolitos de las familias Engraulidae, Haemulidae y Achiridae del sistema estuarino de Tecolutla, Veracruz. *Rev. Zool.*, 15: 7-13.
- Hernández-Vázquez, S., E. Iñigo-Elías, J.Á. Hinojosa Larios, B. Durand Martínez, J.A. Rojo-Vázquez y C. Valadez-González. 2011. Abundancia y reproducción del pelicano pardo (*Pelecanus occidentalis*) en dos pequeñas bahías del Pacífico central, México. *Acta Zool. Mex.*, 27(2): 257-271.
- Hill, M.O. 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54(2): 427-432.
- Hsieh, T.C., K.H. Ma, and A. Chao. 2016. iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods Ecol. Evol.*, 7(12): 1451-1456.
- Hureau, J.C. 1970. Biologie comparée de quelques poissons antarctiques (Nototheniidae). *Expéditions Polaires Françaises*, Paris. 244 p.
- Hyslop, E.J. 1980. Stomach contents analysis- a review of methods and their application. *J. Fish Biol.*, 17: 411-429.
- Invermar. 2019. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2018, Invermar, Santa Marta. 214 p.
- Invermar. 2020. Sistema de información pesquera de Invermar-SIPEIN [base de datos]. <http://sipein.invermar.org.co/informes/cpue/externos/>. 18/06/2020.
- Jacot, A.P. 1920. Age, growth and scale characters of the mullet *Mugil cephalus* and *M. curema*. *Trans. Amer. Micr. Soc.*, 39(3): 199-229.
- Jahncke, J. y E. Goya. 1997. Variación latitudinal y estacional en la dieta del guanay (*Leucocarbo bougainvilli*) y el piquero peruano (*Sula variegata*) en la costa peruana. *Bol. Inst. Mar Perú*, 16(1): 22-41.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2): 363-375.
- Lombarte, A., O. Chic, V. Parisi-Baradad, R. Olivella, J. Piera y E. García-Ladona. 2006. A web-based environment for shape analysis of fish otoliths. The AFORO database. *Sci. Mar.*, 70(1): 147-152.
- López-Calleja, V. 1995. Dieta de *Zonotrichia capensis* (Emberizidae) y *Diuca diuca* (Fringillidae): efecto de la variación estacional de los recursos tróficos y la riqueza de aves granívoras en Chile central. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 68: 321-331.
- Lorenz, J.J. y J.E. Serafy. 2006. Subtropical wetland fish assemblages and changing salinity regimes: implications for everglades restoration. *Hydrobiología*, 569: 401-422.

- Manjarrés, L., S. Sánchez, C.A. López-Anaya, A. Suárez, L. Martínez, Castro, A. y L. Pacheco. 2007. Captura y esfuerzo de las pesquerías de pequeña escala en las áreas protegidas. En: Manjarrés, L. (Ed). Caracterización participativa de las pesquerías de pequeña escala de las áreas protegidas de la Territorial Caribe. Informe técnico final, Univ. Magdalena, Santa Marta. 86 pp.
- Martínez, J.A., M.M.C. Arteaga, J.L.T. Musi y A.A.M. Aranda. 2007. Utilización de otolitos como herramienta en la determinación de especies. Rev. Zool., 1813-18.
- Martínez, M.L. 1983. Biología reproductiva de *Pelecanus occidentalis* en relación con el afloramiento de la bahía de Panamá. Tesis Ph.D., Univ. Valle, Cali.
- Muñoz, J., G. Marín, J. Andrade y R. Alzola. 2008. Notas sobre la dieta de la cotúa olivácea (*Phalacrocorax olivaceus*) en una laguna marino-costera de la península de Araya, Venezuela. Saber, 20(2): 253-258.
- NOAA. 2020. Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2). <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>. 2/10/2020.
- Olmos, V., J. Aragoneses, J. L. Echevarrias y R. Oltra. 2000. Composición de la dieta e impacto del cormorán grande (*Phalacrocorax carbo sinensis*) de Santa Pola, Alicante, este de España. Ardeola, 47(2): 227-236.
- Orta, J. 1992. Family Phalacrocoracidae (cormorants). 326-353. En: del Hoyo, J., A. Elliott y J. Sargatal (Eds.). Handbook of the birds of the world. Lynx Edicions, Barcelona.
- Osorio, D. 1988. Ecología trófica de *Mugil curema*, *M. incilis* y *M. liza* (Pices: Mugilidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano I. Análisis cualitativo y comparativo. An. Inst. Inv. Mar., 18: 113-126.
- Ovegård, M. 2017. The interactions between cormorants and wild fish populations analytical methods and applications. Tesis Aquatic Resources. Univ. Agric. Sci., Lysekil. 55 p.
- Petracci, P., J. Cereghetti, J. Martín y S. Obed. 2009. Dieta del biguá (*Phalacrocorax olivaceus*) durante la primavera en el estuario de bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Hornero, 24(2): 73-78.
- R Studio Team. 2020. R Studio: Integrated development environment for R. R Studio, Boston. <http://www.rstudio.com/>
- Ramsar. 2017. Misión Ramsar de asesoramiento n.º 82: Sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del río Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe. Convención Ramsar. 61 p.
- Regidor, H. y A. Terroba. 2001. Hábitos alimentarios del biguá *Phalacrocorax brasilianus* (Gmelin 1789) (Aves, Phalacrocoracidae) en el noroeste de Argentina. Bol. Soc. Biol. Concepción, (72): 121-123.
- Román-Palacios, C. y C. Román-Valencia. 2015. Hábitos tróficos de dos especies sintópicas de carácidos en una quebrada de alta montaña en los Andes colombianos. Rev Mex Biodivers, 86: 782-788
- Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B., A. Chalom, C.C. Siliprandi, M.R. Brenha-Nunes, V.R.M. Conversani, C. Santificetur y M.B. Giaretta. 2016. COSS-Brasil: Coleção de otólitos de peixes marinhos da região sudeste-sul do Brasil. Instituto Oceanográfico Universidade de São Paulo, São Paulo. [www.usp.br/cossbrasil](http://www.usp.br/cossbrasil)
- Ruiz-Guerra, C., D. Eusse, R. Johnston-González, L. Castillo, C. Angulo y A. González. 2012. Distribución de aves acuáticas de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta, costa Caribe colombiana. Calidris, Cali. 23 p.
- Ruiz-Guerra, C., R. Johnston-González, L.F. Castillo-Cortés, Y. Cifuentes-Sarmiento, D. Eusse y F.A. Estela. 2008. Atlas de aves playeras y otras aves acuáticas en la Costa Caribe Colombiana. Calidris, Cali. 72 p.
- Sánchez-Ramírez, C. y M. Rueda. 1999. Variación de la diversidad y abundancia de especies ícticas dominantes en el delta del río Magdalena, Colombia. Rev. Biol. Trop., 47(4): 1067-1079.
- Siegel-Causey, D. 1997. The problems of being successful: managing interactions between humans and double-crested cormorants. Symposium on Double-Crested Cormorants: Population Status and Management Issues in the Midwest: 5-14.
- Valdovinos, F., P. Urbani y R. Ramos-Jiliberto. 2010. Análisis de las consecuencias del comportamiento adaptativo individual sobre la estabilidad poblacional: el caso del forrajeo óptimo. Rev. Chil. Hist. Nat., 83: 207-218.
- Vilardy, S.P., J.A. González, B. Martín-López, E. Oteros-Rozas y C. Montes. 2012. Los servicios de los ecosistemas de la reserva de biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta. Revibec, 19: 66-83.
- Volpedo, A.V y D.D. Echeverría. 2000. Catálogo y claves de otolitos para la identificación de peces del mar argentino, vol. 1. Dunken, Buenos Aires. 69 p.
- Zijlstra, M. and M.R. Van-Eerden. 1995. Pellet production and the use of otoliths in determining the diet of Cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis*: trials with captive birds. Ardea, 83: 123-131.