



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS CAMPUS YUCATÁN

Variaciones interanuales en la anidación del gremio de  
aves piscívoras que anida en Homochén,  
Reserva Estatal Ciénagas y Manglares de la  
Costa Norte de Yucatán.

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

M A E S T R O E N C I E N C I A S

P R E S E N T A:

**CARLOS ALBERTO LÓPEZ AGUIRRE**

Director de tesis:

Dr. Xavier Chiappa Carrara, ENES Mérida

Comité tutor:

Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga, FES Iztacala

Dr. Carlos Alberto Yáñez Arenas ENES Mérida

Dr. Guillermo Juan Fernández Aceves ICML, Mazatlán

Dra. Katherine Renton IBUNAM, Chamela

Ciudad Universitaria, CD. MX., Enero, 2024



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer el apoyo para llevar a cabo la presente tesis de maestría:

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología.

A los apoyos recibidos de la beca CONACYT del programa 00305 MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA.

Al Dr. Xavier Chiappa Carrara, gracias por aceptarme en su laboratorio, ofrecerme un apoyo incondicional, por todo el conocimiento que me brindó y por sobre todo por apoyarme para concluir este proyecto en el momento más difícil de mi vida.

A los integrantes del Comité tutor, la Dra. María del Coro Arizmendi, Dr. Carlos Alberto Yáñez Arenas, Dr. Guillermo Juan Fernández Aceves, Dra. Katherine Renton, gracias por su apoyo, comprensión y comentarios en la realización de este trabajo.

A BioCon, sus integrantes y exintegrantes, agradezco su apoyo para obtener la información necesaria para desarrollar este proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

A Dios, gracias, señor por permitirme terminar otro grado académico, por acompañarme en todas mis aventuras, por permitirme disfrutar con mi familia estos logros, pero sobre todo gracias por permitirme continuar con mi vida y brindarme lo más valioso que tenemos que es la salud.

A mis padres Ana María Aguirre y Marcos López, no tengo palabras para describir a los mejores papás del mundo, sólo quiero darles gracias por enseñarme todo lo que soy, apoyarme en todos mis sueños, cumplir cada uno de mis deseos y por supuesto por sus noches velando mis enfermedades, los amo.

A mi hermano Alejandro y a mi cuñada Irlanda, gracias por acompañarme en este camino de la adultez y de nuevos aprendizajes, les deseo siempre lo mejor.

A mis abuelas Tete y Eva por siempre orar por mí, preocuparse y por el amor que me dan cada que las veo, así como también, gracias a mis abuelos Layo y Ángel, que yo sé que están orgullosos viendo desde el cielo lo que sus nietos van logrando.

A mis padrinos, primos, tíos, sobrinos, a toda mi familia por ser un ejemplo de unidad, amor, respeto y cariño, los quiero a cada uno de ustedes.

A mi amiga, Aidé, gracias por ayudarme con mis datos, sin ti no podría haber concluido esta tesis además de todo lo demás con lo que me ayudaste, de igual forma a mi amigo Bruno, por el apoyo en darle forma y organización a tantos datos obtenidos.

A mi amiga Diana y a Roy, ustedes han estado conmigo en estos últimos años de mi vida, gracias por escucharme y por acompañarme siempre que pueden, valoro mucho su amistad y espero contar con ustedes para toda la vida.

Y a tantas personas especiales que me faltó por mencionar, los mantengo en mi mente y en mi corazón, en diferentes momentos han sido mis acompañantes y quiero agradecer a todos porque gracias a ustedes he llegado hasta estos momentos de mi vida, los quiero.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	2
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
1. RESUMEN .....	7
2. INTRODUCCIÓN.....	9
3. ANTECEDENTES .....	15
3.1. Área de estudio .....	15
3.2. Estudios previos .....	18
4. Justificación.....	21
5. Pregunta de investigación e hipótesis.....	22
6. OBJETIVO GENERAL.....	23
6.1. Objetivos particulares .....	23
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
8. resultados.....	34
9. DISCUSIÓN.....	59
10. CONCLUSIONES .....	68
11. LITERATURA CITADA.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de localización del área de estudio. ....	16
Figura 2. Especies que se mantuvieron anidando durante los años que se realizaron muestreos, así como las que anidaron de manera irregular.....	34
Figura 3. Número total de Individuos, pollos, huevos y nidos por mes (NOTA: datos transformados a raíz cuarta). ....	35
Figura 4. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>Ardea alba</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).....	36
Figura 5. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>C. cochlearius</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta). ....	36
Figura 6. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>E. rufescens</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta) .....	37
Figura 7. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>E. thula</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).....	37
Figura 8. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>E. tricolor</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).....	38
Figura 9. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>E. albus</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).....	38
Figura 10. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>N. nictycorax</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta). ....	39
Figura 11. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>N. auritum</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta). ....	39
Figura 12. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>N. brasilianum</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta). ....	40
Figura 13. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de <i>P. ajaja</i> entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).....	40
Figura 14. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por De Dios, 2019. ....	42
Figura 15. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por Contreras, 2016. ....	42
Figura 16. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por Huesca, 2017.....	43
Figura 17. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por Álvarez, 2018.....	43
Figura 18. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por Robles, 2019. ....	44
Figura 19. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por todos los autores. ....	44
Figura 20. Proporción de Individuos respecto al total registrado por cada una de las temporadas.....	46
Figura 21. Abundancia relativa de los nidos de las especies, durante los meses de enero a marzo de 2014 y 2016. ....	50
Figura 22. Abundancia relativa de los huevos de las especies, durante los meses de enero a marzo de 2014 y 2016. ....	51

Figura 23. Abundancia relativa de los pollos de las especies, durante los meses de enero a marzo de 2014 y 2016. .... 51

Figura 24. Condiciones ambientales promedio de los meses muestreados Precip, Evap en mm y Tmax y Tmin en °C, tomados de la estación meteorológica 31029 Sisal. .... 52

Figura 25. Análisis de correlación y nMDS del número total de individuos durante los meses de octubre a febrero. .... 53

Figura 26. Análisis de correlación y nMDS del número total de nidos durante los meses de enero a marzo. .... 54

Figura 27. Análisis de correlación y nMDS del número total de pollos durante los meses de enero a marzo. .... 55

Figura 28. Análisis de correlación y nMDS del número total de huevos durante los meses de enero a marzo. .... 56

Figura 29. Gráfico bivariado de  $\Delta^+$  vs.  $\Lambda^+$ . Las regiones que delimitan las probabilidades (IC<sub>95%</sub>) de encontrar nidos de distinto número de especies se muestran con diferentes colores. .... 58

Figura 30. (A) Índice de distinción taxonómica promedio (delta,  $\Delta^+$ ) y (B) variación en la distinción taxonómica (lambda,  $\Lambda^+$ ) de los nidos de las especies de aves que anidan en el petén Homochén a lo largo del período de observación (meses). Las líneas continuas (—) denotan los intervalos de confianza (IC95%) de las estimaciones. .... 58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables generadas de la recopilación de información de investigaciones en el área de estudio. .... 24

Tabla 2. Meses de muestreo durante las diferentes temporadas (1a-gris, 2a-naranja, 3-a amarillo, 4a-verde; D-De Dios, C-Contreras, H-Huesca, S-Solano, R-Robles, A-Álvarez )25

Tabla 3 Metodologías utilizadas por los diferentes autores. .... 27

Tabla 4. Variables, especies datos y período de tiempo utilizados para realizar los análisis. .... 28

Tabla 5. Variables registradas por los diferentes autores. .... 41

Tabla 6. Esfuerzo de muestreo realizado por cada uno de los autores. .... 45

Tabla 7. Número de muestreos que llevó a cada autor para detectar el 60% de las especies. .... 45

Tabla 8 Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *A. alba*. .... 47

Tabla 9. Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *C. cochlearius*. .... 47

Tabla 10. Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *E. rufescens*. .... 48

Tabla 11. Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *N. brasilianum*. .... 49

Tabla 12. Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *P. ajaja*. .... 50

## 1. RESUMEN

Los humedales de la costa norte de Yucatán representan ecosistemas de alta productividad que albergan una diversidad notable de flora y fauna. Las aves acuáticas dependen de estos lugares en varias etapas de su ciclo de vida. No obstante, factores naturales y la influencia humana han ejercido un impacto negativo en las poblaciones de aves y los recursos que se encuentran en estos sitios.

Este estudio se enfoca en explorar las variaciones interanuales que se han producido en la comunidad de aves que anidan en el petén Homochén, ubicado en la Reserva Estatal Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán. El período de análisis abarca desde 2012 hasta 2016, y se basa en datos recopilados por varios investigadores que han estudiado esta región.

En total, se registraron 10 especies de aves, 1,799 individuos, 1,576 pollos, 2,052 huevos y 3,755 nidos. A lo largo de estos años, no todas las especies anidaron de manera constante durante todas las temporadas en el petén. Hubo diferencias entre las especies en cuanto a la variación de individuos, pollos, huevos y nidos a lo largo de las temporadas registradas. Si bien estas variaciones indican cambios interanuales, no proporcionan evidencia concluyente para asociarlas directamente con el deterioro del hábitat utilizado por las aves.



## **ABSTRACT**

The wetlands of the northern coast of Yucatán represent highly productive ecosystems that harbor a remarkable diversity of flora and fauna. Aquatic birds rely on these places at various stages of their life cycle. However, natural factors and human influence have harmed bird populations and the resources in these sites.

This study focuses on exploring the year-to-year variations in the bird nesting community in the petén Homochén, located in the State Reserve of Marshes and Mangroves of the Northern Coast of Yucatán. The analysis period spans from 2012 to 2016 and is based on data from various researchers studying this region.

In total, 10 bird species, 1,799 individuals, 1,576 chicks, 2,052 eggs, and 3,755 nests were recorded. Over these years, not all species nested consistently during all seasons in the Petén. There were significant differences between species regarding the variation in the number of individuals, chicks, eggs, and nests throughout the recorded seasons. While these variations indicate year-to-year changes, they do not provide conclusive evidence to directly link them to the deterioration of the habitat used by the birds.

## 2. INTRODUCCIÓN

La península de Yucatán es una provincia biogeográfica cuyas características geológicas y fisiográficas permiten la existencia de un gran número de especies de flora y fauna (Ramírez-Barahona et al., 2009; Cortés-Ramírez et al., 2012; Morrone et al., 2019). En esta provincia se han descrito 4 distritos (Morrone, 2017) en los que se han identificado al menos 436 especies de aves (Cortés-Ramírez et al., 2012). Este patrón de diversidad se debe, en parte, a la presencia de aves migratorias de invierno que utilizan la península como refugio y descanso durante sus rutas migratorias (Greenberg, 1992).

Existe una franja en el norte de la península donde se registra un alto grado de endemismos (Navarro-Sigüenza et al., 2014). Esta franja se caracteriza por tener una extensa línea costera que abarca más de 378 km, desde el municipio de Celestún hasta los límites orientales de Río Lagartos y Tizimín (INAFED, 2010). A lo largo de la costa se encuentra un complejo sistema de humedales que presentan áreas inundables de forma temporal o permanente, sujetos a la influencia de las mareas, del régimen de precipitación y del afloramiento de aguas subterráneas (Flores, 2020). Ello permite la existencia de diversos hábitats que ofrecen condiciones idóneas para la estancia de las aves, ya sea de forma temporal o permanente.

Los humedales son considerados como uno de los ecosistemas más productivos gracias a sus características fisicoquímicas y biológicas (Mera-Ortiz et al., 2016). Además, mantienen una fuerte interacción con otros ecosistemas cercanos como son los arrecifes de coral y los pastos marinos (Serrano et al., 2013).

Algunos de los humedales presentes en la costa norte de Yucatán cuentan con reconocimiento y protección internacional debido a su extensión, diversidad, importancia biogeográfica, así como por los servicios ambientales que brindan (Kusler et al., 1994). Entre los servicios más destacados se incluye la retención de nutrientes, el almacenamiento y purificación del agua, la protección contra

tormentas tropicales, la mitigación de crecidas hídricas, la estabilización de costas y el control de la erosión (Dahdouh-Guebas et al., 2005).

Los humedales albergan una gran riqueza de flora y fauna de gran valor ecológico, ya que muchos organismos utilizan estos ecosistemas para protegerse, alimentarse y reproducirse (Smardon, 2014). Por ejemplo, las aves acuáticas utilizan de manera temporal o permanente, en alguna etapa de su vida, los diferentes recursos que estos ecosistemas ofrecen (Blanco, 1999; Ruiz-Campos et al., 2005). Las aves desempeñan un papel importante en estos humedales, cumpliendo funciones como consumidoras, transportadoras de materia orgánica (Espínola-Novelo et al. 2023) y modificadoras del ambiente circundante. A su vez, los humedales ofrecen a estas aves sitios para alimentarse, reproducirse y descansar durante sus rutas migratorias, las cuales son reconocidas como funciones ecológicas de gran importancia (Blanco, 1999).

Las aves acuáticas han servido como especies bandera para la conservación, lo que ha llevado a estudiar aspectos de su biología y ecología, incluyendo las descripciones de los hábitats necesarios en las distintas fases de sus ciclos de vida (Rangel-Salazar et al., 2013). Además, se consideran bioindicadores de cambios ambientales debido a su posición en la cadena trófica y su capacidad para rastrear cambios ambientales a lo largo del tiempo (Amat y Green, 2010).

Entre los rasgos que permiten definir el carácter de estas especies como indicadores de las condiciones de los hábitats, se encuentra la conducta de anidación comunal. Además de facilitar el estudio de atributos poblacionales y comunitarios (Kushlan, 1993; Murkin et al., 1997), como evaluar las condiciones para la construcción de los nidos, la supervivencia y el crecimiento de los pollos. Contar con series de tiempo de estas variables permite conocer los cambios a través de los años (Mellink y Riojas-López, 2007).

En este contexto, el éxito de anidación se refiere a la capacidad de las aves para reproducirse y criar individuos que sobrevivan en su entorno natural. Ello puede medirse con conteos de los nidos exitosos, la cantidad de huevos depositados y el

número de eclosiones que se producen (Rodríguez-Barrios y Troncoso, 2006). El éxito en la anidación de las aves se encuentra influenciado por una serie de factores tanto naturales como antropogénicos. A continuación, se enlistan los más importantes.

1. Disponibilidad de hábitat: La presencia de hábitats adecuados es fundamental, ya que las aves anidan en áreas que ofrecen refugio, alimento y condiciones adecuadas para la reproducción (López-Ornat y Ramo, 1992; Bates et al., 2016).
2. Disponibilidad de alimento: La disponibilidad de alimentos es esencial durante la temporada de anidación, las aves buscan áreas donde puedan encontrar suficiente comida para alimentar a sus crías. Las lagunas costeras suelen albergar una abundante vida marina, lo que puede constituir un recurso alimenticio esencial para las aves acuáticas (Hill y Green, 2011; Holderby et al., 2014; De Dios et al., 2019).
3. Variaciones en las condiciones ambientales: Las condiciones ambientales, como la temperatura del agua, la salinidad y los patrones de marea, pueden influir en la presencia de aves y en su elección de anidar en un lugar específico puesto que estas deben ser adecuadas para garantizar la supervivencia de los pollos (Jeffrey y Madden, 1991).
4. Disponibilidad de materiales para la construcción de nidos y sitios de anidación: Las aves necesitan lugares adecuados para construir nidos o sitios de anidación, en el caso de las aves acuáticas, esto puede incluir la vegetación densa, islas de anidación o áreas con un sustrato adecuado (Si Bachir et al., 2008).
5. Perturbaciones antropogénicas: El crecimiento demográfico y la urbanización han llevado a la degradación de los humedales costeros a medida que se establecen nuevos centros urbanos y se expanden los existentes. Además, la calidad del agua se ve comprometida debido al uso semi-intensivo de las costas para actividades turísticas, el cambio en el uso de la tierra para la agricultura y la ganadería también ha tenido un impacto

negativo al reducir la extensión de sus hábitats. Por otra parte, la caza, la tala indiscriminada, la contaminación y la introducción de especies exóticas representan amenazas adicionales que tienen un impacto significativo en las poblaciones de aves acuáticas (Cupul, 2000, Bojorges, 2009; Árcega-Cabrera et al., 2014; Vidal et al., 2015; Guadarrama et al., 2018).

6. Presencia de depredadores: La presencia de depredadores puede afectar negativamente la anidación de las aves, ya que estos representan un riesgo para los huevos y pollos (McCrimmon et al., 2001).
7. Cambios en el nivel del agua: Los cambios en el nivel del agua, ya sea debido a las mareas o las lluvias, pueden tener un impacto significativo en la disponibilidad de hábitats de anidación y pueden influir en la selección del sitio de anidación (Bates y Ballard, 2014).
8. Cambios en la vegetación: Los cambios en la vegetación y su estructura afectan la disponibilidad de lugares de anidación y refugio para las aves. La degradación de los manglares u otros hábitats tiene un impacto negativo en sus poblaciones (Keyel et al., 2013).
9. Interacciones con otras especies: La interacción con otras especies, ya sean competidores por recursos o depredadores de huevos o pollos, influyen directamente en la selección del sitio de anidación (Ramo y Busto, 1993; De Dios et al., 2019).
10. Factores climáticos: Los eventos climáticos extremos, como huracanes o sequías, pueden tener un impacto importante en la anidación y la supervivencia de las aves y sus crías (Moreno y Moller, 2011).
11. Disposición hacia el interior de la colonia: Este factor se refiere a la ubicación de los nidos de las aves dentro de la colonia de anidación. Su importancia radica en la disposición y estructura dentro de la colonia de aves acuáticas, ya que se modifica el acceso a diferentes recursos, la competencia entre individuos y la protección contra depredadores (Keyel et al., 2013).

12. Localización vertical de los nidos en los árboles: Este factor se refiere a la altura a la que se encuentran los nidos de las aves en los árboles. La altura de los nidos es relevante ya que afecta la accesibilidad de los nidos para los depredadores terrestres y acuáticos, así como la exposición a condiciones climáticas y otros riesgos ambientales (McCrimmon et al., 2001).

Los humedales son vulnerables al impacto de diversos fenómenos naturales (Árcega-Cabrera et al., 2014). Por ejemplo, en la costa norte de Yucatán el huracán Gilberto rompió la isla de barrera, mientras que el huracán Isidoro rompió el cordón arenoso que separaba la ciénega del mar, lo que permitió el contacto directo entre el mar y la ciénega (Guadarrama et al., 2018). Asimismo, el crecimiento demográfico en la costa ha llevado a la expansión de asentamientos urbanos, al deterioro de la calidad del agua debido al uso urbano y al turismo, cambios en el uso del suelo para la agricultura y la ganadería, así como la caza, tala, contaminación e introducción de especies exóticas. Esto ha impactado negativamente a estos ecosistemas afectando a los servicios ambientales que brindan (Herrera-Silveira et al., 2005; Bojorges, 2009). En la costa norte de Yucatán, estos hábitats presentan deterioros ocasionados por la contaminación generada por los asentamientos en el borde de la ciénega y la tendencia a ganar terreno para ampliar el área habitacional (Pérez-Medina et al., 2013). Otra afectación no cuantificada es la ocasionada por actividades cinegéticas de patos que, además de mermar las poblaciones, los cartuchos de plomo que se utilizan contaminan y deterioran la calidad del agua (Árcega-Cabrera et al., 2014).

Si bien estas presiones afectan al ecosistema, las acciones de conservación han sido dirigidas a la protección de algunas *especies bandera* para favorecer la subsistencia de otras menos llamativas (Vidal et al., 2015). Ello ha motivado la necesidad de revisar, actualizar o implementar distintos planes para conservar estos ambientes. Una de las estrategias ha sido idear sitios prioritarios para la conservación de especies y ecosistemas mediante la creación de áreas naturales protegidas (Rangel-Salazar et al., 2013).

En la actualidad, el estado de Yucatán cuenta con nueve áreas naturales protegidas (ANP), que abarcan el 12.3% de su superficie total (SANPY, 2020). Estas ANP desempeñan un papel fundamental en la conservación de especies y ecosistemas, considerando que alrededor del 44% de la avifauna mexicana está en alguna categoría de amenaza según normativas nacionales e internacionales (Navarro-Sigüenza et al., 2014). Entre las ANP se encuentra la Reserva Estatal Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán (RECMCNY) que presenta diferentes tipos de formaciones vegetales, como los petenes, que resultan de las emanaciones de la red hidrológica subterránea a través de manantiales. Ello permite el establecimiento de formaciones vegetales de tipo selvático o de manglar (Carnevali et al., 2010) que son utilizadas por varias especies de aves como sitios de anidación. En el petén conocido localmente como Homochén anida regularmente una colonia de aves piscívoras formada por especies como *Platalea ajaja*, *Nannopterum brasilianum*, *N. auritum*, *Egretta thula*, *E. rufescens*, *E. tricolor*, *Cochlearius cochlearius*, *Ardea alba*, *Eudocimus albus* y *Nycticorax nycticorax* (De Dios, 2014, Contreras, 2016; Solano, 2017; Álvarez, 2018; Robles, 2019). En estos trabajos se describe el éxito reproductivo de estas aves en eventos puntuales de anidación, más no se ha explorado la posibilidad de que existan variaciones interanuales que aporten información para complementar las estrategias de conservación de estas especies, especialmente en un momento en el que la biodiversidad se enfrenta a amenazas significativas (Gillespe y Walter, 2001; Bojorges, 2011; Mera-Ortiz et al., 2016; CONABIO, 2016).

En este trabajo se recopiló información sobre la anidación de las aves piscívoras en el petén Homochén proveniente de muestreos realizados entre 2013 y 2019 por distintos autores. Ello permitió explorar los cambios temporales utilizando el número de nidos como una variable para estimar el éxito de anidación de este grupo de especies.

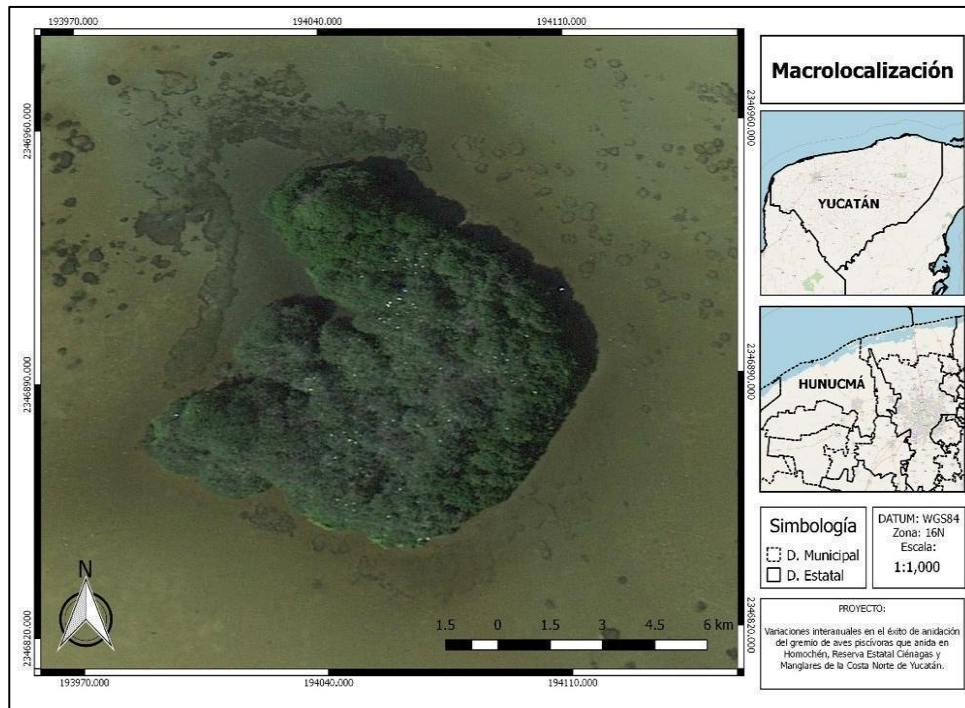
### **3. ANTECEDENTES**

En esta sección se presenta una descripción del área de estudio, así como una síntesis de los antecedentes directos que constituyen el insumo de información que se utilizó para desarrollar este trabajo de tesis que se ha planteado a modo de metaanálisis puesto que, una vez que se hubo compilado la información disponible sobre la anidación de las aves piscívoras en el petén Homochén proveniente de distintas fuentes, ésta se evaluó utilizando distintas herramientas analíticas.

#### **3.1. Área de estudio**

El petén Homochén se encuentra en el municipio Hunucmá del estado de Yucatán, se ubica en las coordenadas centrales  $21^{\circ}11'52.4''N$  y  $89^{\circ}56'48-0''W$  (Figura 1), forma parte de la Reserva Estatal Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán (RECMCNY). Dicho municipio colinda al norte con el Golfo de México y el municipio de Progreso, al este con los municipios de Progreso, Ucú, Umán y Samahil, al sur con los municipios de Samahil, Tetiz y Celestún y al oeste con el municipio de Celestún y el Golfo de México. Cuenta con siete localidades y una población de 30,731 habitantes, se le considera un municipio urbano (INEGI, 2015). La localidad más cercana al área de estudio es Sisal, que se encuentra aproximadamente a 9.2 km, cuenta con 1,837 habitantes y 485 viviendas, presenta un grado de marginación medio y un grado muy bajo de rezago social con un índice de -1.10774 (INEGI, 2010; CONAPO, 2010).





**Figura 1. Plano de localización del área de estudio.**

La costa norte de Yucatán, en la que se encuentra la RECMCNY, se ubica en la provincia fisiográfica Península de Yucatán y la subprovincia del *carso yucateco* cuya geología es producto de procesos que ocurrieron en la era Cenozoica y el período Cuaternario (INEGI, 1994). En la actualidad presenta un sistema de topofomas de playa o barra (INEGI, 2001) con un tipo de suelo dominante que es conocido como Solonchak, de textura fina (INEGI, 2004).

El sitio de estudio forma parte de la Región Hidrológica Yucatán Norte (RH-32) (INEGI, 1983). Presenta un clima de tipo seco muy cálido, de tipo BS0(h')w(x)', según la clasificación de Köppen, modificada por García (2004). El intervalo de temperatura es de 24 a 28°C y el de precipitación de 400-1,100 mm (CIBCEC, 2006). En la península de Yucatán se distinguen tres temporadas climáticas que están definidas por el comportamiento de la temperatura y la precipitación, denominadas “lluvias”, “secas” y “nortes”. Además, existe una variabilidad interanual determinada por procesos de mayor escala como son El Niño y la Oscilación del Atlántico Norte (Sánchez-Santillán et al., 2012).

Si bien el tipo de suelo en la región se reporta como *no clasificado*, la cercanía con sitios similares permite categorizar la vegetación como típica de los petenes (INEGI, 2017). Ésta se encuentra formada principalmente por mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), mangle negro (*Avicennia germinans*) y mangle rojo (*Rizophora mangle*) (Contreras, 2016).

En la zona de estudio se ha registrado la presencia de reptiles, como la iguana negra de cola espinosa (*Ctenosaura similis*), lagartija arcoíris (*Holcosus undulatus*), lagartija espinosa de Cozumel (*Sceloporus cozumelae*), abaniquillo pardo (*Anolis sagrei*) y mazacuata (*Boa imperator*). Existen registros de mamíferos, entre los que se encuentra el ratón yucateco (*Peromyscus yucatanicus*) y la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) (Naturalista, 2020). Se han registrado 55 especies de aves de las cuales cinco se encuentran en alguna categoría de protección (Solano, 2017).

Como se ha mencionado anteriormente, el área de estudio se ubica en un área natural protegida de jurisdicción estatal, pero no es la única protección con la que cuenta la zona. A continuación, se mencionan los diferentes reconocimientos, entre ellos:

### **Área de Importancia para la Conservación de las aves (AICA)**

Forma parte de la denominada AICA Ría Celestún, que es una de las más grandes áreas de manglar en buen estado de conservación del Golfo de México. En ella se han registrado unas 334 especies que corresponden al 59.7% del total de aves registradas para la Península de Yucatán.

### **Important Bird Area (IBA)**

El sitio pertenece a la IBA Ichka' Ansijo, que abarca una superficie de 86,050 ha. A pesar de que está sujeta a procesos de fragmentación y desecación, cuenta con una gran variedad de microambientes, lo que le confiere la posibilidad de albergar a una alta diversidad de especies.

### 3.2. Estudios previos

Los estudios previos directamente relacionados con este trabajo de tesis consisten en varios reportes que se publicaron, a manera de tesis o artículos, entre 2016 y 2019. En ellos se presentan observaciones sobre distintas características del gremio de aves piscívoras que anidan en el petén Homochén.

Contreras (2016) realizó nueve visitas al petén durante la temporada de “nortes” comprendidas entre el mes de septiembre de 2013 a marzo de 2014 e identificó a siete especies anidantes: *Nannopterum brasilianum*, *N. auritum*, *Egretta rufescens*, *Ardea alba*, *E. thula*, *Cochlearius cochlearius* y *Platalea ajaja*. Registró una abundancia acumulada de 3,247 aves y 1,794 nidos. *Egretta rufescens* presentó el mayor número de nidos. Por otra parte, no encontró un patrón espacial de anidación, excepto por dos casos. *Platalea ajaja*, que utiliza los estratos superiores de la vegetación para construir sus nidos a una altura promedio de 455 cm desde el suelo y *N. brasilianum*, que los construye a 378 cm.

Huesca (2017) realizó 10 visitas durante las temporadas de secas y lluvias, de abril a octubre de 2014. En su reporte, señala que 10 especies anidan en el petén: *P. ajaja*, *N. brasilianum*, *N. auritum*, *E. thula*, *E. rufescens*, *E. tricolor*, *C. cochlearius*, *A. alba*, *Eudocimus albus* y *Nycticorax nycticorax*. A lo largo de estas observaciones cuantificó 1,532 nidos, de los cuales el 54% corresponden a *E. thula*. En los meses de abril y mayo de ese año se presentaron tanto el mayor número de especies como de nidos. En este reporte se señalan, además, algunas amenazas para este gremio de aves. Entre ellas, la depredación de los huevos por *Q. mexicanus*, la presión de la urbanización y los disturbios al ambiente causados por la contaminación por plomo derivado del aprovechamiento cinegético y el turismo no controlado, son las más importantes.

Solano (2017) presenta los resultados de las expediciones mensuales que se realizaron al petén Homochén entre 2015 y 2016, abarcando las tres temporadas climáticas (“nortes”, lluvias y secas). En sus observaciones registró la presencia de 55 especies de aves de las cuales cinco se encuentran en alguna categoría de

protección de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. Indicó que el mayor número de especies se observó en marzo y diciembre mientras que para la abundancia fue en marzo y junio. Además, determinó la estructura de la comunidad de peces que se encuentran en la zona.

Álvarez (2018) identificó a siete especies de aves anidando en el petén de Homochén durante el periodo de febrero a junio de 2016. Analizó la dieta de las crías que está formada en un 99% por peces. Determinó que existe una preferencia alimentaria hacia las hembras de *Poecilia velifera* y *Cyprinodon artifrons*, así como los machos de *Floridichthys polyommus*. *Nannopterum brasilianum* fue la especie que presentó una amplitud de nicho trófico menor, mientras que *C. cochlearius* presentó una amplitud mayor. En este estudio se identificaron diferencias con la información reportada por estudios anteriores lo que podría interpretarse a partir de la existencia de variaciones interanuales en la disponibilidad de las presas.

En los nueve muestreos que realizó Robles (2019) entre enero y mayo de 2016, se registraron siete especies de aves anidantes en el petén Homochén. De los 338 nidos que se contabilizaron, la mayor parte fueron de *E. thula* y *E. rufescens*. En este trabajo se muestran las diferencias temporales en la anidación y la asincronía de los picos de presencia de los nidos de cada especie. Asimismo, se muestra que existe un uso diferenciado de los estratos arbóreos característicos del petén Homochén en función de la talla. Robles (2019) registró 13 especies de peces y una de crustáceos como parte de la dieta de los polluelos, las presas más consumidas fueron *C. artifrons*, *P. velifera* y *Gambusia yucatanana* resaltando que, al reducirse el nivel del agua del sistema de humedales, la abundancia de las presas disminuye favoreciendo la competencia por los recursos alimentarios. En este estudio se señala que las principales amenazas durante la temporada de anidación son los fuertes vientos en la zona durante la época de “nortes”, la depredación de huevos por otras especies y el incremento en las actividades turísticas.

De Dios *et al.* (2019) realizaron nueve muestreos entre noviembre de 2012 a febrero de 2013 que arrojaron resultados sobre la dieta general de las crías de las aves que

anidan en el petén. En los bolos alimenticios de *N. brasilianum* se presentaron hasta 20 especies de presas, de las cuales 17 corresponden a peces. Se señala que existe un traslape trófico entre *N. brasilianum* y las garzas *E. rufescens*, *C. cochlearius* y *A. Alba*: entre *C. cochlearius* y *E. rufescens* por el consumo de *C. artifrons* y *F. polyommus*, mientras que en el caso de *A. alba* y *E. thula* por el consumo de invertebrados.

Los datos obtenidos en estos trabajos constituyen el insumo principal de información que se utilizó para elaborar la presente tesis. Se obtuvieron las bases de datos de cada uno de los diferentes autores señalados anteriormente lo que permitió recopilar una base de datos con los valores observados de distintas variables. Si bien los datos provienen de trabajos realizados con diferentes objetivos, todos ellos están enfocados a describir la anidación del gremio de aves piscívoras presentes en el petén Homochén. En su conjunto, estos registros abarcan el periodo de 2012 a 2016.

## 4. JUSTIFICACIÓN

Las aves acuáticas han sido utilizadas como indicadoras del estado de conservación de los ecosistemas debido a su posición en la cadena trófica, entre otros atributos específicos. Los humedales, por su parte, son ecosistemas en los que habita un gran número de especies de aves que encuentran ahí recursos esenciales tanto para su alimentación como para su reproducción. En la costa norte de Yucatán existe un extenso sistema de humedales que forma parte de la Reserva Estatal de Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán, que alberga sitios reconocidos internacionalmente para la conservación de un gran número de aves. En el petén Homochén, perteneciente a esta región, se han llevado a cabo una serie de investigaciones con diferentes objetivos, relacionados con la anidación del gremio de aves piscívoras. A pesar de tener registros multianuales, no se ha explorado, hasta ahora, la existencia de variaciones interanuales en los patrones de anidación de esta comunidad.

Este trabajo se ha planteado para analizar algunas variables descriptivas de la anidación de un gremio de aves piscívoras (sensu De Dios Arcos et al., 2019) en Homochén, entre 2012 y 2016. La recopilación y análisis de datos obtenidos por diferentes autores a lo largo del tiempo brinda una visión más completa y precisa de la dinámica de estas aves y de su entorno, facilitando las propuestas para una gestión más efectiva y sostenible de este ecosistema en la costa Norte de Yucatán.

Esta información permitirá realizar inferencias cruciales sobre la efectividad de los esfuerzos de conservación implementados hasta la fecha tal y como lo es la actualización de las áreas naturales protegidas. De esta manera, se podrá determinar si es necesario reevaluar y ajustar las estrategias de conservación propuestas en este hábitat.

## 5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

### **Pregunta**

El presente trabajo se ha planteado para responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Existen variaciones interanuales en la presencia y abundancia de las especies de aves piscívoras que anidan en un sitio conocido como el petén Homochén, que forma parte de la Reserva Estatal de Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán (RECMCNY)?

### **Hipótesis**

Considerando que existen variaciones interanuales en las variables ambientales que determinan las características del sistema de humedales de la costa yucateca, algunas determinadas por procesos tanto locales, como las variaciones en la hidrología del sistema de humedales, así como globales, como El Niño y la Oscilación del Atlántico Norte (Sánchez-Santillán et al., 2012), se espera que existan diferencias interanuales en la presencia y abundancia de las especies de aves piscívoras que anidan en el petén Homochén. Además, se espera que estas variaciones no solo reflejan cambios en la abundancia de las especies, sino también en su éxito reproductivo y en la selección de sitios de anidación. Estas variaciones, además de estar relacionadas con factores ambientales, como cambios en la disponibilidad de hábitat y alimento, podrían deberse a perturbaciones antropogénicas, como la urbanización y la actividad cinegética.

## 6. OBJETIVO GENERAL

Analizar las variaciones interanuales en la comunidad de aves que anidan en el petén Homochén, Reserva Estatal Ciénegas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán utilizando información sobre la anidación de las aves piscívoras proveniente de distintas fuentes.

### 6.1. Objetivos particulares

- ✓ Analizar la tendencia temporal de variables como la cantidad de individuos, nidos, pollos y huevos registrados por los diferentes autores en el periodo comprendido entre 2012 y 2016.
- ✓ Establecer las relaciones entre las variables ambientales con la cantidad de individuos, pollos, nidos y huevos mediante análisis de correlación.
- ✓ Representar la relación entre las variables ambientales con la cantidad de individuos, pollos, nidos y huevos por medio del análisis de escalamiento multidimensional.
- ✓ Analizar las tendencias interanuales en el número de nidos de cada especie por medio de los índices de distinción taxonómica.



## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron las bases de datos de los diferentes autores descritos en los antecedentes para recopilar datos de aves piscívoras durante el periodo de 2012 a 2016. En la tabla 1 se muestran las variables consideradas por cada uno de los autores, ya que cada uno de los trabajos contempló diferentes objetivos. A partir de estas variables se determinó utilizar las que fueran registradas por al menos dos de los seis autores, esto con la finalidad de poder contrastar los cambios que ha sufrido la comunidad de aves piscívoras en el petén Homochén a través de los años.

**Tabla 1. Variables generadas de la recopilación de información de investigaciones en el área de estudio.**

Datos Generales	Características muestreos	Georreferenciación	Organismo	Nidos	Vegetación	Pollo-Huevos	Parámetros Físicoquímicos	Parámetros Ambientales	Observaciones
ID	Día	Cuadrante/Punto	Especie	Nidos generales	I/D Árbol autor	Huevos	Salinidad Peten	Precipitación mm	Observaciones
Clave	Mes	Coordenada N (Si UTM--N)	Individuos	ID nido autor	Altura a la que está el nido	Pollos	Salinidad Ciénaga	Evaporación mm	
	Año	Coordenada W (Si UTM--E)	Indiv entraron islote	Adultos empollando	Vegetación	ID pollo autor	T°C Petén	T° Max	
	Fecha		Individuos salieron islote	Largo		Longitud ala	T°Cienaga	T° min	
	Temporada			Ancho		Longitud estandar del pico	Profundidad ojo de agua		
	Autor			Profundidad		Longitud total del pico	Profundidad cienaga		
	Hora Inicio					Peso	pH Petén		
	Hora final					Ancho del pico	pH cienaga		
	Metodología					Altura del pico	TDS peten		
						Abertura del pico	TDS cienaga		
						vomito si/no	OD% peten		
							OD% cienaga		
							OD m/l peten		

Se vertió la información de las variables contempladas en los seis estudios previos para construir una base de datos útil para poder realizar las comparaciones y discriminar las variables que podrían considerarse aptas para su análisis. Asimismo, no se consideraron aquellos datos que no podían ser comparados entre autores. Por ejemplo, la altura de los nidos, la especie de mangle y las medidas morfométricas de los pollos.

Si bien los muestreos se llevaron a cabo desde el 2012 al 2016, no en todos los meses se obtuvieron registros. En la tabla 2 se muestran los meses en los que se realizaron los registros que se utilizaron en el desarrollo de este trabajo, así como los autores que generaron la información.

El análisis preliminar de la información permitió establecer que la temporada de anidación de las aves comienza en los meses de agosto a septiembre y el final ocurre en el mes de junio.

**Tabla 2. Meses de muestreo durante las diferentes temporadas (1a-gris, 2a-naranja, 3-a amarillo, 4a-verde; D-De Dios, C-Contreras, H-Huesca, S-Solano, R-Robles, A-Álvarez )**

Año	Meses de muestreo											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012											D	D
2013		D							C	C	C	C
2014	C	C	C	H	H	H		H	H	H		
2015										S	S	S
2016	S/R	S/A/ R	A/R	S/A/ R	S/A	S	S	S				

Dado que cada autor utilizó metodologías distintas para cumplir con sus respectivos objetivos, se presenta un resumen de los métodos empleados y la información que cada uno de ellos arroja.

### **Búsqueda libre.**

De acuerdo con CONABIO (2012), la búsqueda libre o intensiva consiste en recorrer un área determinada sin seguir una trayectoria fija para localizar e identificar aves,

nidos, pollos o huevos. Se recomienda mantener el mismo recorrido en la parcela de muestreo, durante todos los muestreos que se realicen. En los casos en los que se utilizó esta técnica, los observadores recorrieron el islote y registraron, por observación directa, las especies presentes, el número de nidos, pollos o huevos, de acuerdo con los objetivos de cada estudio. Esta metodología fue empleada por Contreras (2016), Huesca (2017), Álvarez (2018) y De Dios (2019).

### **Puntos de conteo.**

Los conteos por puntos son el principal método de monitoreo de aves debido a su eficacia en diferentes hábitats. Asimismo, resultan efectivos para estudiar los cambios temporales en las poblaciones de aves (Ralph et al., 1996).

En este método, el observador permanece en un punto fijo y toma nota de las aves vistas y oídas en un área limitada durante un tiempo determinado. Estos puntos, así como el radio de observación, fueron utilizados por Solano (2017) de acuerdo con las características de su estudio, considerando el hábitat en el que se realizó el muestreo.

### **Cuadrantes.**

Esta metodología es poco usual en monitoreos de aves. Sin embargo, para cumplir con los objetivos del estudio de Robles (2019) se utilizaron cuadrantes de 15x15 m para realizar el seguimiento de nidos. De esta forma se evitó duplicar observaciones.

La metodología consistió en contar todos los nidos que se encuentren dentro de los cuadrantes determinados. Ello permitió realizar el seguimiento de los huevos y pollos presentes en cada uno de los nidos registrados.

En la siguiente tabla se resumen las metodologías utilizadas por cada uno de los autores.

**Tabla 3 Metodologías utilizadas por los diferentes autores.**

Metodología	Autor
Búsqueda libre	De Dios, 2019
	Contreras, 2016
	Huesca, 2017
	Álvarez, 2018
Puntos de conteo	Solano, 2017
Cuadrantes	Robles, 2019

## Análisis estadísticos.

### Estadísticos descriptivos.

Se utilizaron estadísticos descriptivos para resumir y presentar información de manera visual. De esta forma fue posible representar algunas tendencias y evaluar el patrón de los datos.

### Curvas de rarefacción.

Se realizó una curva de acumulación de especies con los datos obtenidos por los distintos autores utilizando el estimador Jackknife 1, esto con la finalidad de conocer el esfuerzo de muestreo.

Este método considera el número de especies ( $S$ ) que ocurre en una muestra ( $L$ ) y en el total de muestras ( $m$ ). Es una técnica para reducir el sesgo de los valores estimados, para reducir la subestimación del verdadero número de especies en una comunidad.

$$Jack\ 1 = S + L \frac{m - 1}{m}$$

Estos análisis se realizaron en el paquete computacional Estimates v. 9.

### Comparación de proporciones entre los datos.

Como se describió anteriormente, los datos registrados por los diferentes autores fueron obtenidos con diferentes metodologías, esto de acuerdo con los objetivos que pretendían cumplir en cada una de las investigaciones. Por ello, resulta complicado comparar directamente los datos registrados por cada autor considerando que las variaciones observadas podrían deberse a las metodologías utilizadas y no necesariamente a los cambios en la comunidad de aves y los atributos que se registraron. Con ello en mente, se utilizaron comparaciones entre las diferentes variables utilizando los datos expresados como proporciones y así detectar cambios en el tiempo.

En las siguientes tablas se muestran las variables utilizadas para obtener los valores proporcionales utilizados para realizar comparaciones a través de los años, así como el periodo de muestreo considerado y las especies registradas.

**Tabla 4. Variables, especies datos y período de tiempo utilizados para realizar los análisis.**

Variables	Especies	Periodo	Datos utilizados
<b>Individuos</b>	<i>Ardea alba</i> <i>Egretta rufescens</i> <i>Eudocimus albus</i> <i>Platalea ajaja</i>	Octubre/2013 a Febrero/2014 vs. Octubre/2015 a Febrero/2016	Proporción en porcentaje con respecto al total de especies.
<b>Nidos</b> <b>Pollos</b> <b>Huevos</b>	<i>Ardea alba</i> <i>Cochlearius cochlearius</i> <i>Egretta rufescens</i> <i>Nannopterum brasilianum</i> <i>Platalea ajaja</i>	Enero a Marzo/2014 Vs. Enero a Marzo/2016	-Pollos/Huevos -Pollos/Nidos -Nidos/Huevos

### Prueba exacta de Fisher.

La prueba de Fisher es utilizada para estudiar la asociación entre dos variables cualitativas. La prueba permite definir si los valores proporcionales de una variable son significativamente distintos en función del valor de la otra variable.

La hipótesis nula señala que las dos variables son independientes. Los supuestos para utilizar esta prueba son que las observaciones de la muestra sean inferiores al 10% del tamaño de la población y que cada observación contribuye únicamente a uno de los niveles de la variable cuantitativa.

$$p = \frac{(A + B)! (C + D)! (A + C)! (B + D)!}{N! A! B! C! D!}$$

Cuando el valor de  $p < 0.05$  se rechaza la hipótesis nula y, por lo tanto, se asume que las variables están asociadas (Díaz y Fernández, 2004).

### **Coefficiente de phi.**

En los casos en los que se obtuvieron diferencias significativas se procedió a realizar un análisis que indica la intensidad de la asociación entre las variables, calculando el coeficiente phi ( $\phi$ ).

Este coeficiente es una medida de la asociación entre dos variables binarias y se utiliza en tablas de contingencia de  $2 \times 2$ . Su valor oscila entre 0 y 1 (Solanas et al., 2005).

$$\phi = \sqrt{\frac{X^2}{n}}$$

$\phi \leq 0.3$  indica un nivel “bajo” de asociación

$0.3 < \phi \leq 0.5$  indica un nivel “medio” de asociación

$\phi > 0.5$  indica un nivel “alto” de asociación

### **Coeficiente de Correlación de Spearman.**

El análisis de correlación permite cuantificar el grado de relación o asociación que existe entre dos o más variables, ya sean continuas (paramétricas) u ordinales (no paramétricas), estos análisis indican la intensidad y la dirección de la relación.

Los datos que se analizaron no presentaron una distribución normal por lo que fue necesario utilizar un coeficiente de correlación no paramétrico, como es el caso del coeficiente de correlación de Spearman.

La correlación de Spearman evalúa la relación monótona entre dos variables continuas u ordinales. El coeficiente adquiere valores cercanos a -1 cuando existe una correlación negativa, si toma valores cercanos a +1 indicará una correlación positiva, mientras que los valores cercanos a 0 indicarán que no existe una correlación entre las variables (Palacio et al., 2020).

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

d=diferencia entre los rangos X y Y

n=número de datos

### **Escalamiento Multidimensional**

El escalamiento multidimensional es una técnica utilizada en el análisis multivariado que parte de una matriz de distancias o similitudes. Produce una representación en una escala euclidiana de modo que las distancias en dicha escala se aproximen lo mejor posible a las distancias originales. Ello permite generar un mapa de ordenamiento, usualmente representado en dos o tres dimensiones. Las distancias entre los puntos del mapa representan la disimilitud o similitud entre las muestras.

El análisis multidimensional no métrico permite analizar datos cuantitativos o cualitativos, que son tratados en rangos. Producto del análisis se puede obtener el

valor de *estrés* que es un coeficiente que informa sobre la confiabilidad del modelo (Palacio et al., 2020). Cuando los valores de estrés:

<5% Excelente representación sin riesgo de error de interpretación.

5-10% Buen ordenamiento, sin riesgo real de falsas inferencias.

10-20% Ordenamiento regular, necesita una interpretación cautelosa.

>20% No confiable para su interpretación.

Para analizar la influencia de las condiciones ambientales en las variables se obtuvieron los datos meteorológicos históricos disponibles en la base de datos climatológicas de la estación 31029 Sisal, ubicada aproximadamente a 9 km del petén Homochén.

### **Distinción taxonómica**

Para determinar la existencia de asociaciones de las especies de aves en la serie de tiempo considerada, se calcularon los índices de distinción taxonómica promedio ( $\Delta^+$ ) y de variación en la distinción taxonómica ( $\Lambda^+$ ) de acuerdo con Warwick y Clarke (1995). Estos índices consideran las distancias filogenéticas entre las especies y su cálculo se basa en matrices de presencia/ausencia. Son independientes del tamaño de muestra y no están sesgados en caso de provenir de distintos diseños de muestreo (Clarke y Warwick, 1998; Rogers et al., 1999; Warwick y Light, 2002).

El índice de distinción taxonómica promedio ( $\Delta^+$ ) evalúa la presencia de nidos de cada especie en función de las distancias taxonómicas entre ellas utilizando un árbol de clasificación Linneano para cuya construcción, a cada nivel jerárquico de la clasificación, se le asigna un valor entre 0 y 100 unidades, dependiendo del número de niveles involucrados en el análisis<sup>1</sup>. Ello permite ponderar la distancia entre la especie *i* y el nodo taxonómico común con la especie.

---

<sup>1</sup> Las ponderaciones de distinción taxonómica utilizadas en este estudio fueron las propuestas por Clarke y Warwick (1998), en el contexto del filo Chordata:  $\omega = 1$  (especies del mismo género), 2 (misma familia, pero género diferente), 3 (mismo orden, pero diferente familia), 4 (misma clase, pero



Para comparar estadísticamente las observaciones temporales se calcularon los índices de distinción taxonómica promedio ( $\Delta^+$ ) y de variación en la distinción taxonómica ( $\Lambda^+$ ), utilizando las siguientes expresiones (Clarke y Warwick, 2001):

$$\Delta^+ = \left( \sum \sum_{i < j} \omega_{ij} \right) / [S(S-1)/2]$$

y

$$\Lambda^+ = \left[ \sum \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2 \right] / [S(S-1)/2]$$

Donde S es el número de especies que anidan en el petén, presentes en cada muestreo. La doble sumatoria se realiza sobre la serie  $\{i = 1; j = 1, S; S, \text{ de tal manera que } i < j\}$  y  $\omega_{ij}$  es un término que pondera la distancia entre la especie  $i$  y el nodo taxonómico común con la especie  $j$ . A partir de las propiedades estadísticas de los valores de  $\Delta^+$  y  $\Lambda^+$  mostradas por Clarke y Warwick (1998), es posible calcular los promedios, varianzas y los intervalos de confianza (IC<sub>95%</sub>) de las estimaciones. Así, las propiedades estadísticas de  $\Delta^+$  permiten comparar los valores de distinción taxonómica observados y su intervalo de variación esperado. Se realizaron 1,000 permutaciones al azar sobre el intervalo esperado de los valores promedio de distinción taxonómica ( $\Delta^+$ ) y se compararon con los valores observados (S) en cada muestreo. Se considera que los valores fuera de los límites de confianza del 95% son significativamente distintos en la serie de tiempo (mayor amplitud taxonómica, para aquellos por arriba o menor amplitud taxonómica, para aquellos por debajo) que la media simulada.

Se utilizaron estos índices pues son “robustos” respecto de variaciones en el esfuerzo de muestreo y existe un marco estadístico para evaluar su significancia. Si bien estos índices han sido utilizados principalmente para analizar patrones temporales o espaciales de biodiversidad (Tolimieri y Anderson, 2010), resultan idóneos para analizar la serie de tiempo en la que se han contabilizado los nidos de

---

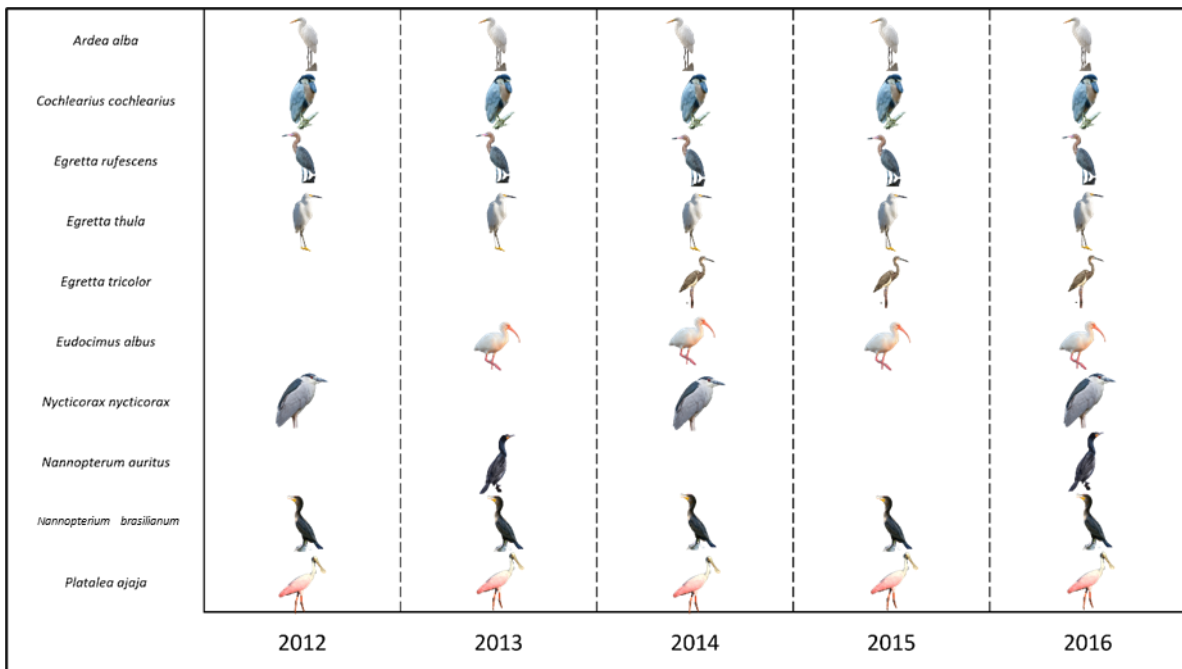
diferente orden) y 5 (mismo filo pero diferente clase). La distinción de dos especies conectadas en el nivel taxonómico más alto se establece en 100 (Clarke y Warwick, 1998; Warwick y Clarke, 2001).

cada especie en el petén Homochén. Dado que el cálculo de los índices se basa en datos de presencia/ausencia, no se ven afectados por el número de especies o el esfuerzo de muestreo. Estos análisis se realizaron con el programa Primer 6.0 (Clarke y Gorley, 2006)

## 8. RESULTADOS

Se procesaron 2,704 observaciones realizadas durante 25 meses a lo largo de 5 años. En total, se registraron 21 variables diferentes de la comunidad de aves piscívoras en el petén Homochén. Entre 2012 y 2016, estas observaciones permitieron el registro de 10 especies, 1,799 individuos, 1,576 pollos, 2,052 huevos y 3,755 nidos.

Durante los distintos muestreos no se registraron las mismas especies anidando en todas las temporadas. En la figura 2 se observan las especies que se mantuvieron anidando durante los años que se realizaron muestreos, así como las que anidaron de manera irregular como es el caso de *Egretta tricolor*, *Nycticorax nycticorax* y *Nannopterum auritum*.

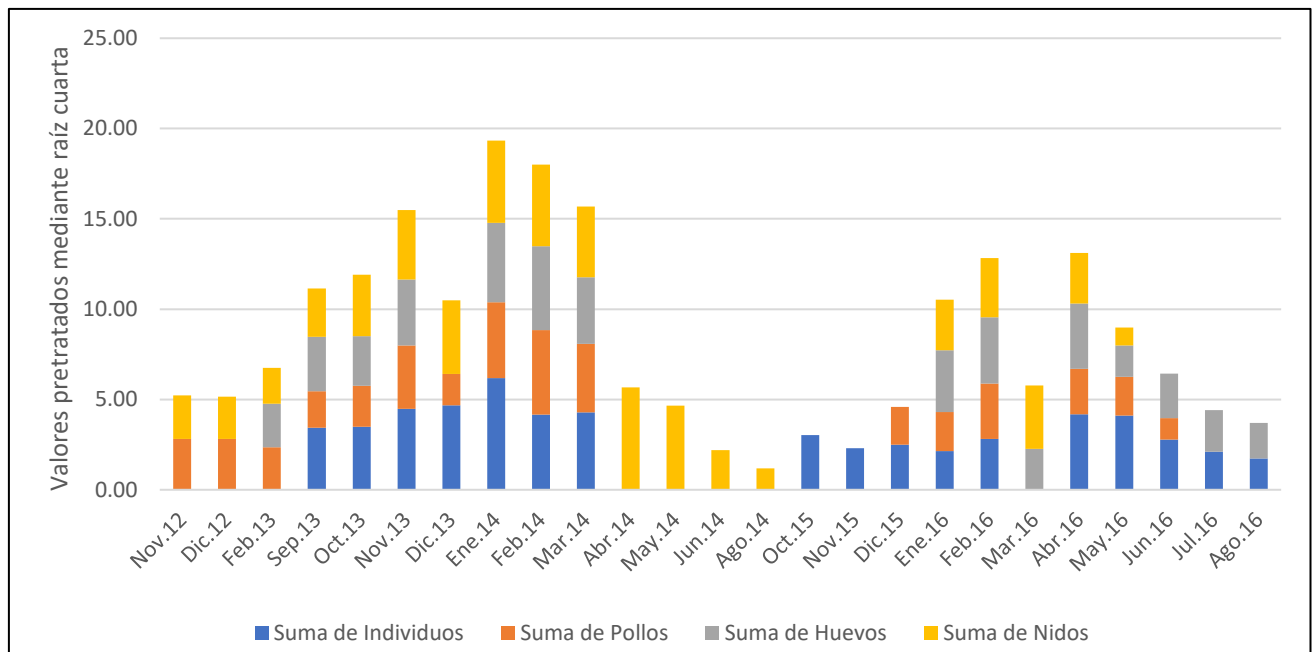


**Figura 2. Especies que se mantuvieron anidando durante los años que se realizaron muestreos, así como las que anidaron de manera irregular**

En la figura 3 se muestran los individuos, pollos, huevos y nidos totales por cada mes de muestreo. Con el objetivo de disminuir el efecto de la escala en la

representación de los datos, se realizó una transformación (raíz cuarta) a los valores. Ello permite observar los cambios que han ocurrido a lo largo del tiempo, durante los meses muestreados.

La razón por la que en los meses que no se presenta alguna de las categorías, es que durante ese período de muestreo el atributo de la comunidad faltante no fue contabilizado.



**Figura 3. Número total de Individuos, pollos, huevos y nidos por mes (NOTA: datos transformados a raíz cuarta).**

Los cambios que existen en los totales de individuos, pollos, huevos y nidos registrados en cada mes, no muestran una tendencia definida (Fig. 3). Sin embargo, se aprecian fluctuaciones en los datos a través del periodo de muestreo.

Se realizaron gráficos para representar el cambio en el número de individuos, pollos, huevos y nidos por cada una de las especies registradas.

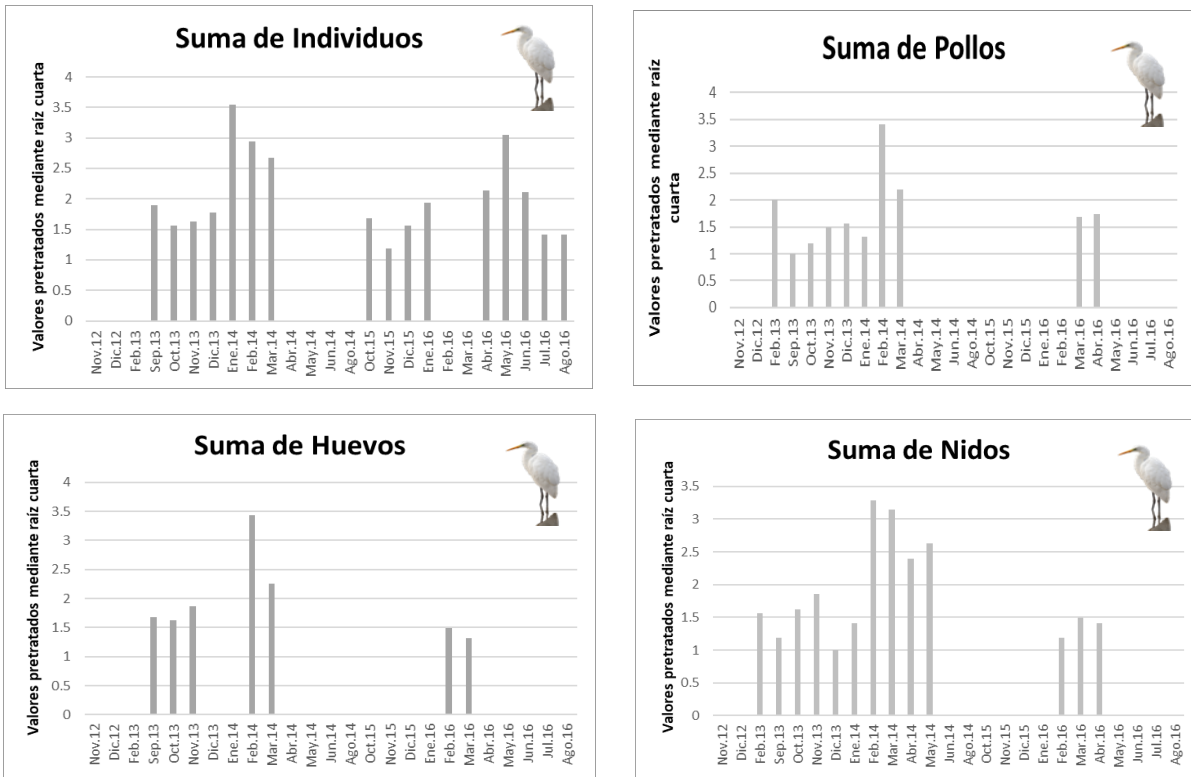


Figura 4. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *Ardea alba* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).

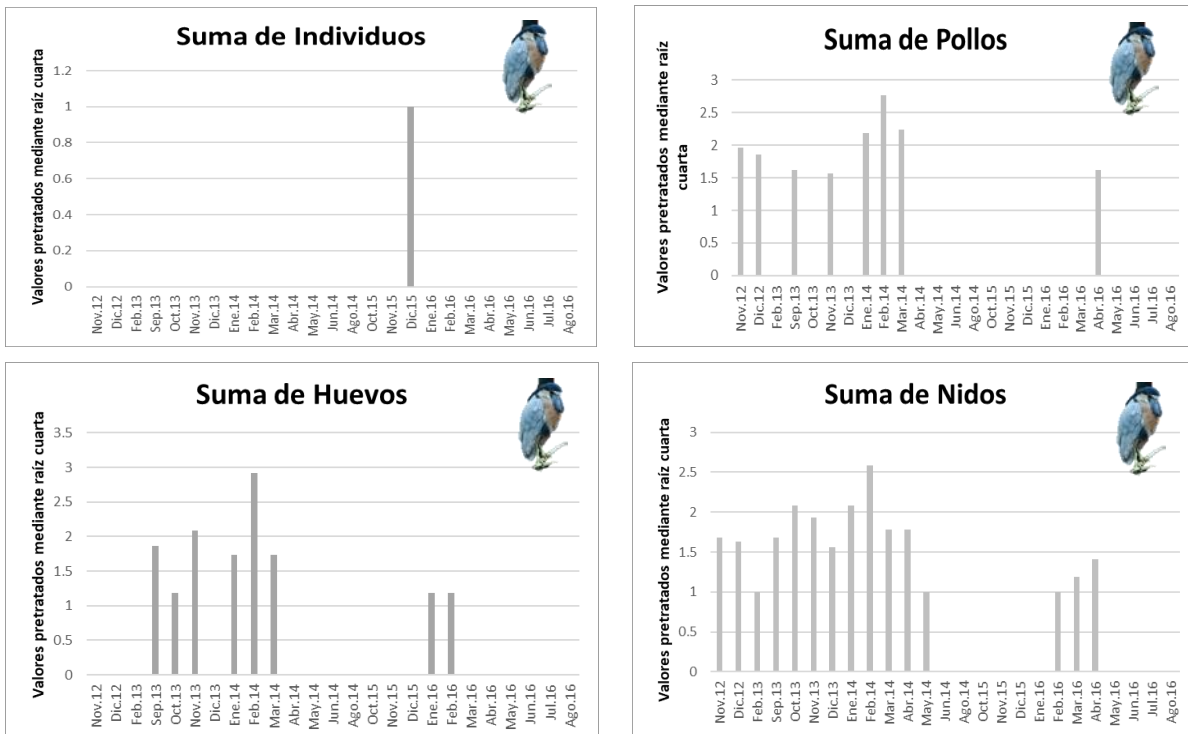


Figura 5. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *C. cochlearius* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).

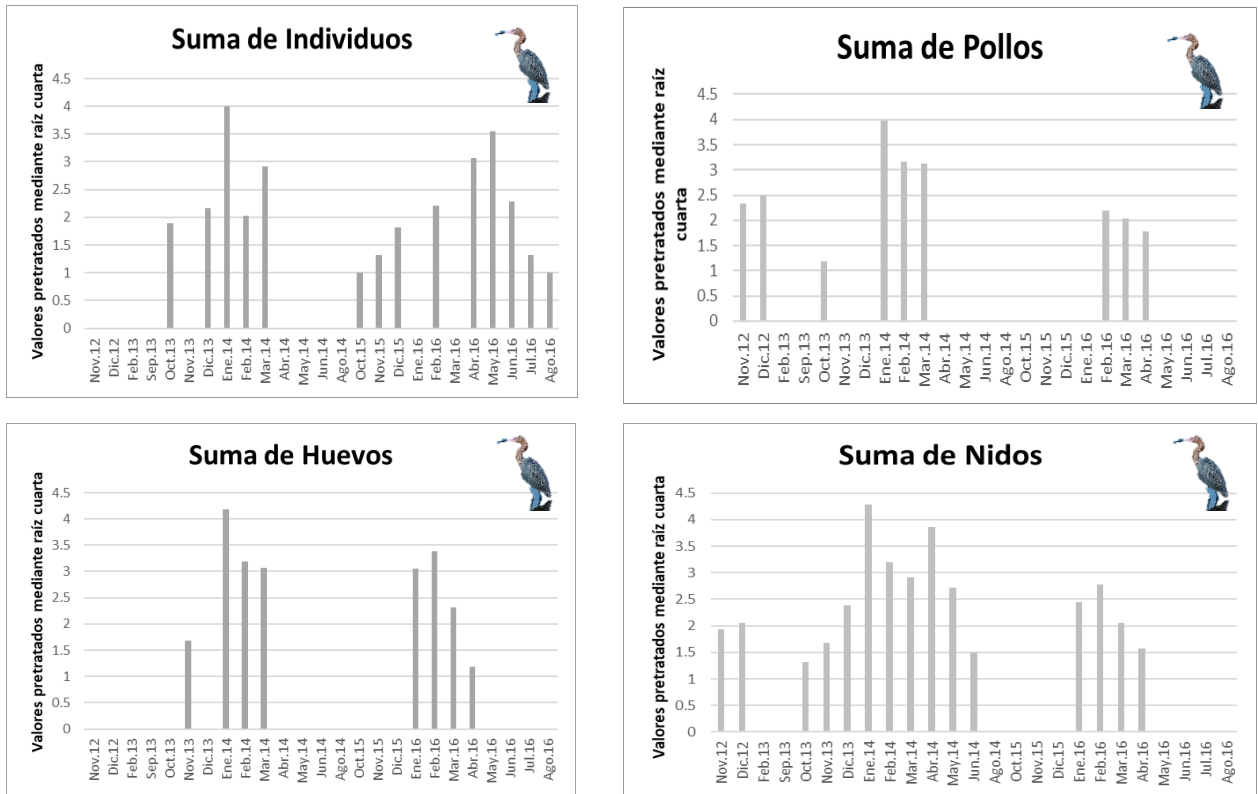


Figura 6. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *E. rufescens* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta)

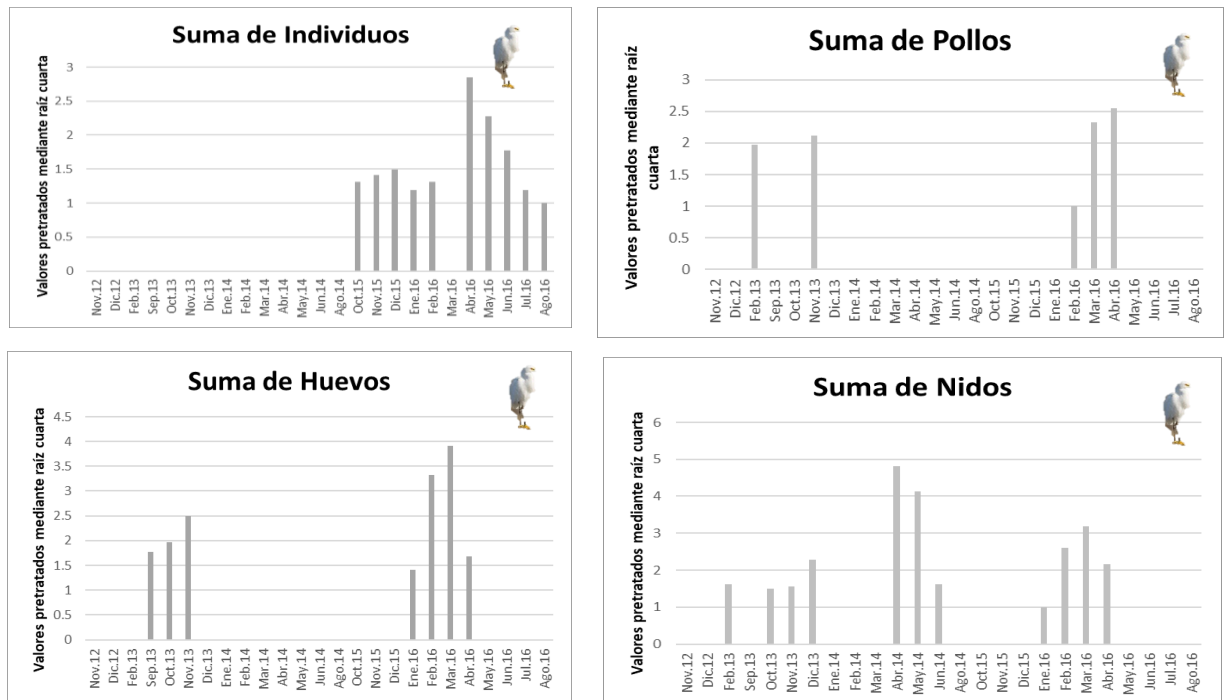


Figura 7. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *E. thula* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).

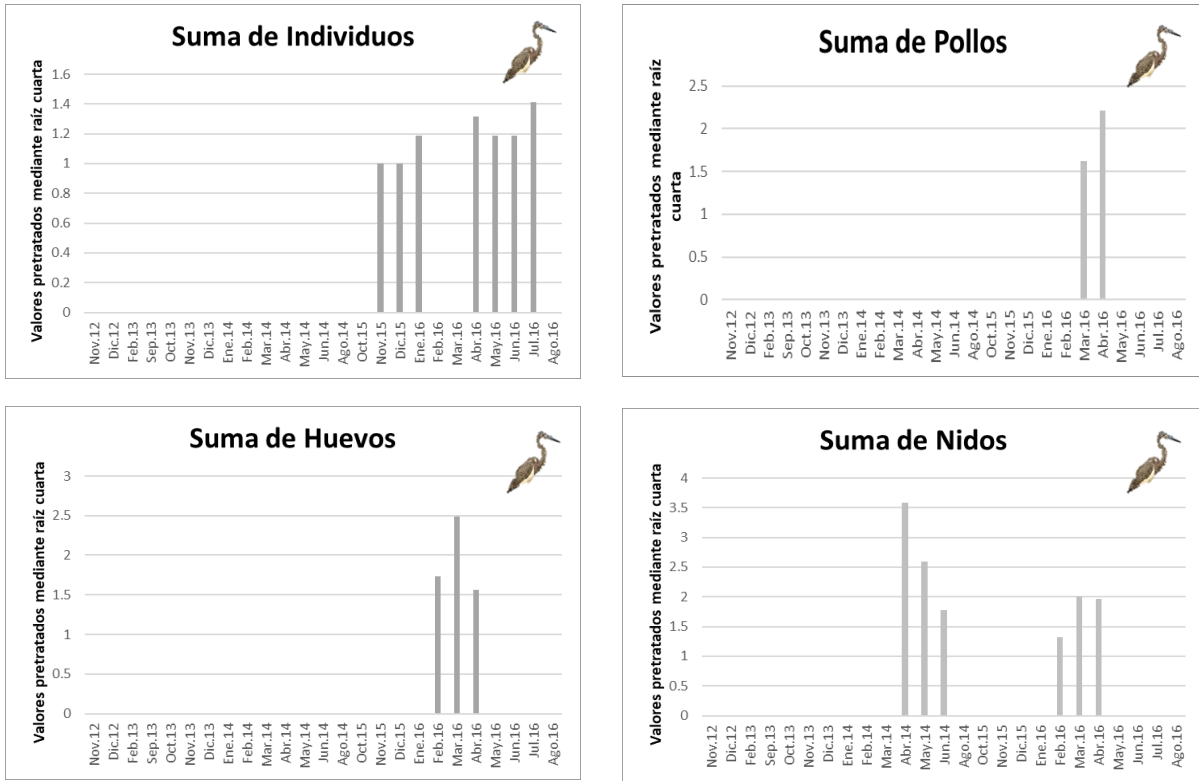


Figura 8. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *E. tricolor* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta)

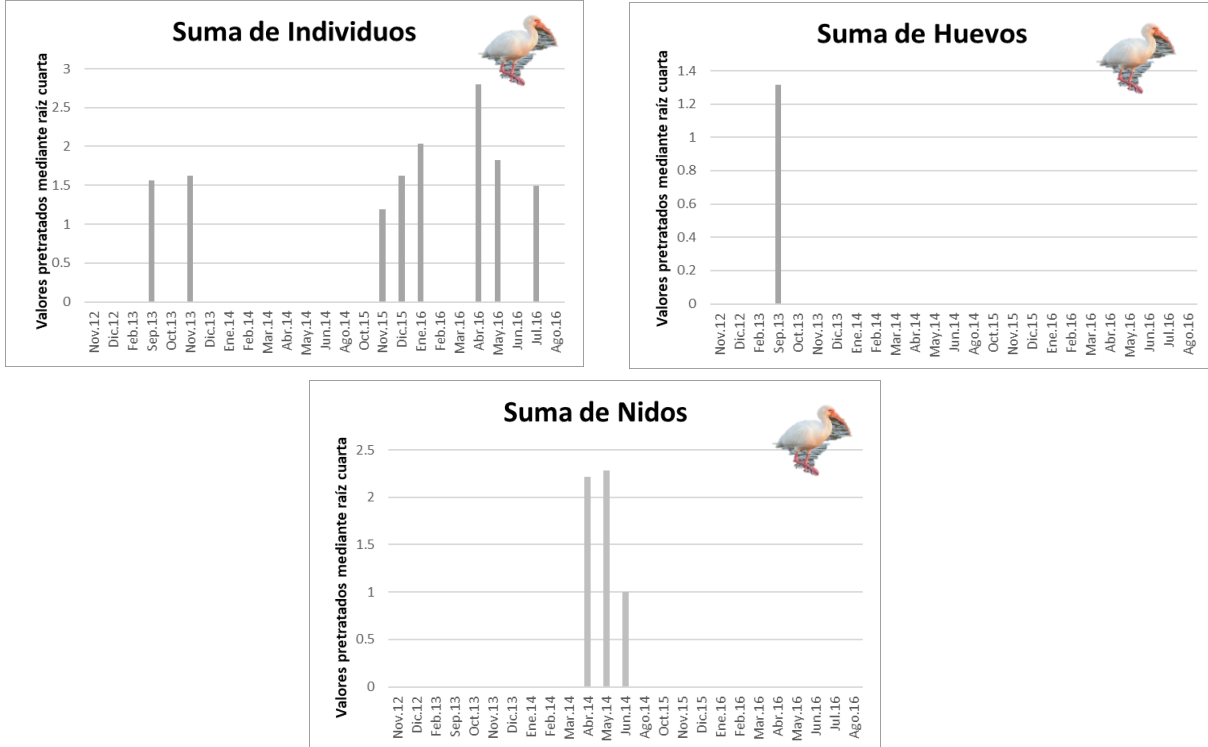


Figura 9. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *E. albus* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).

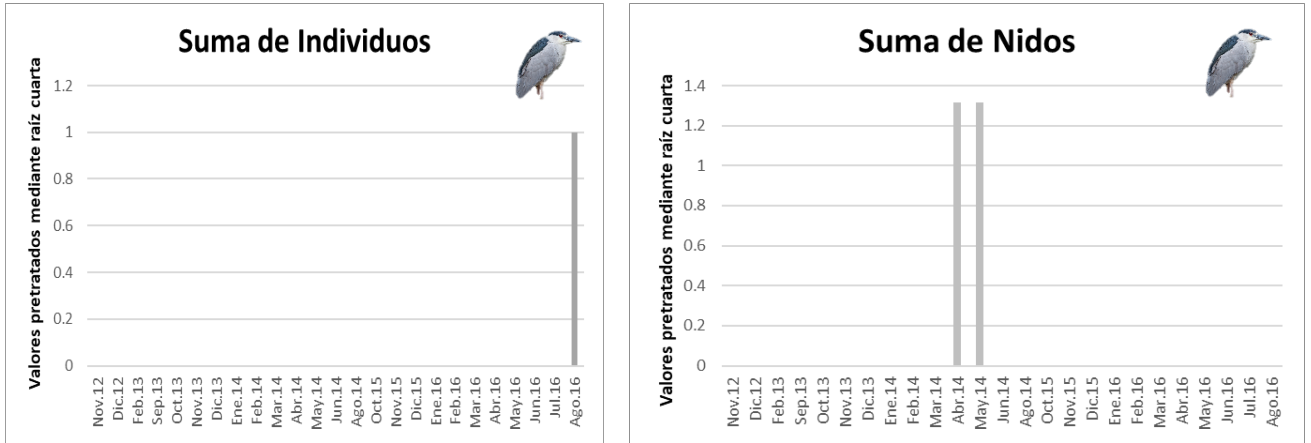


Figura 10. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *N. nictycorax* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).

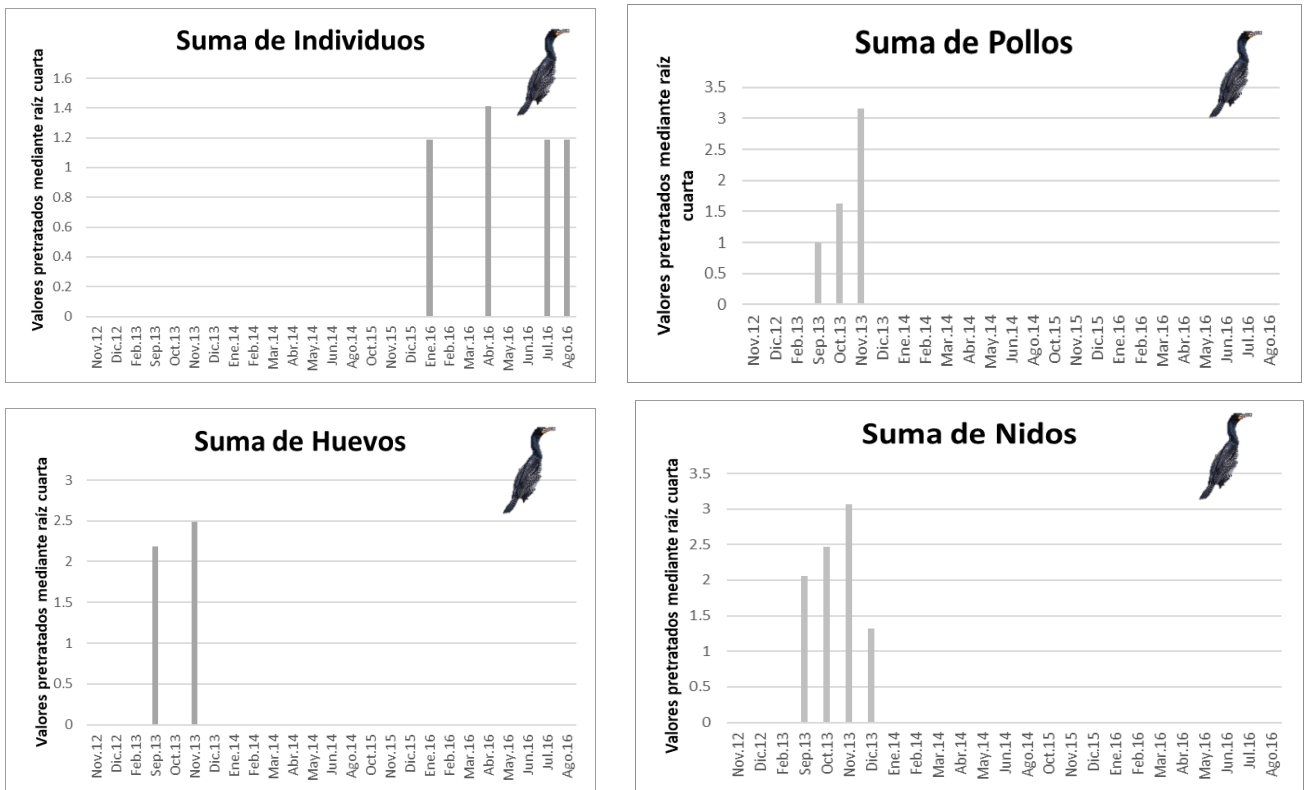


Figura 11. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *N. auritum* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).



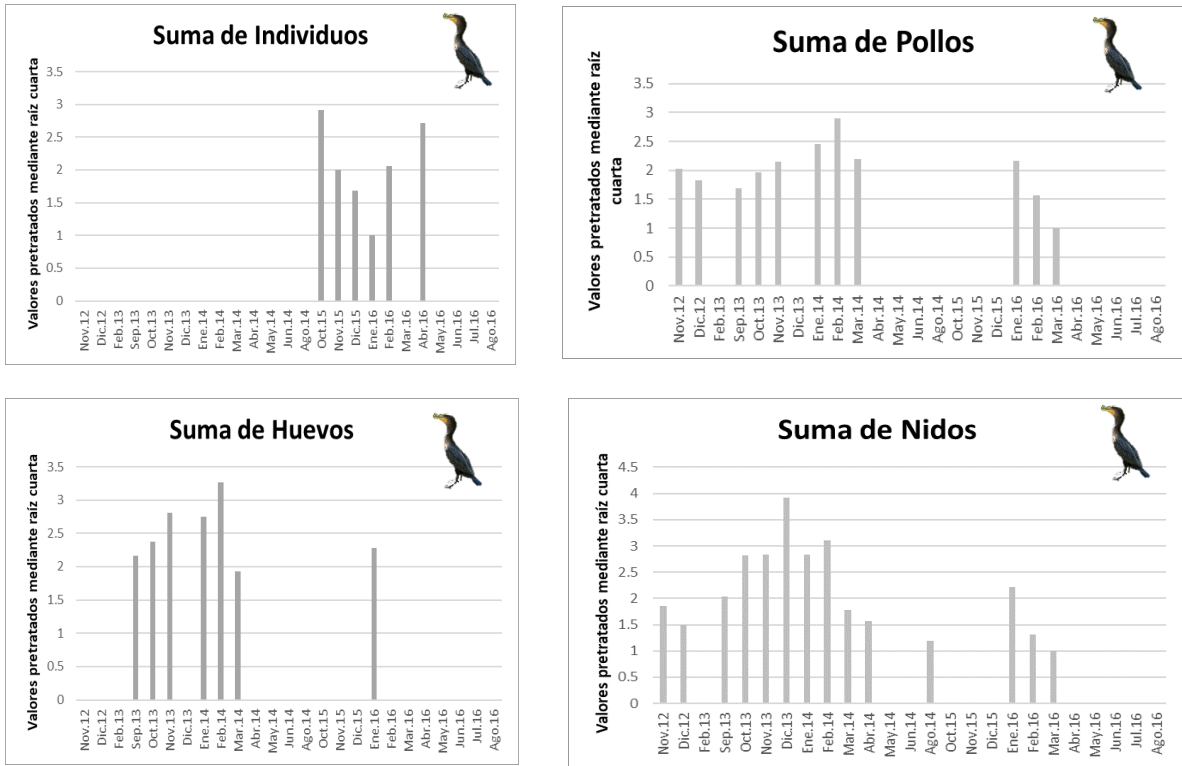


Figura 12. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *N. brasilianum* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).

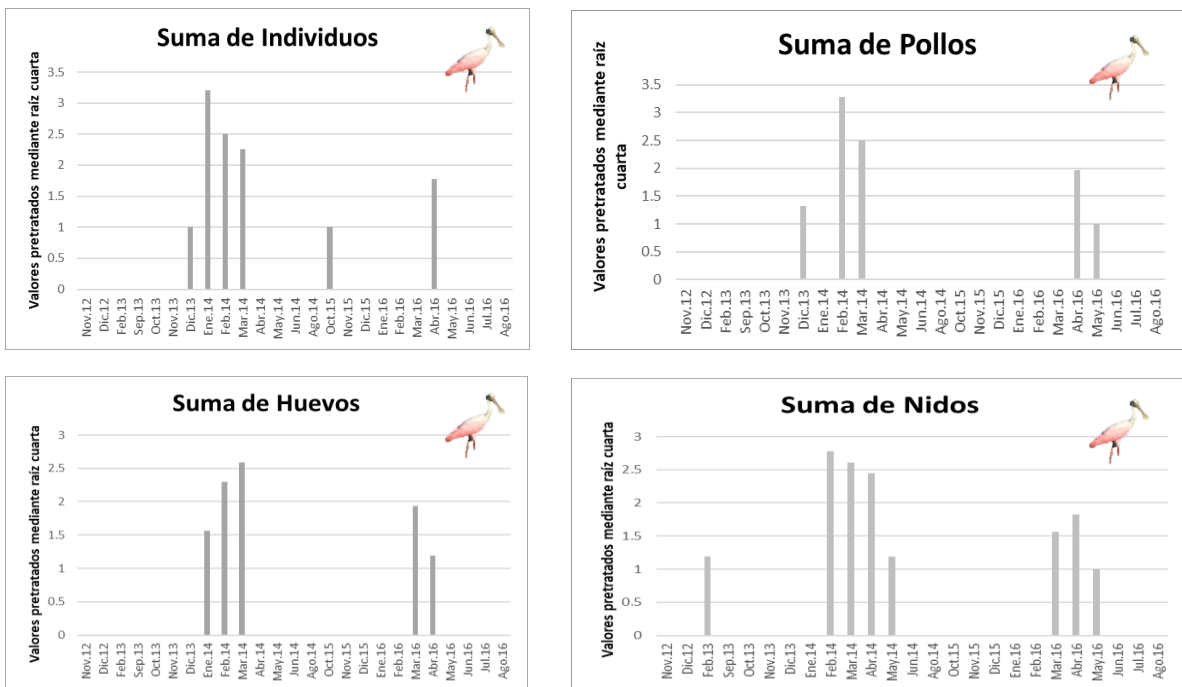


Figura 13. Cambio en los Individuos, Pollos, Huevos y Nidos de *P. ajaja* entre los meses muestreados (Pretratamiento: Raíz Cuarta).

Como se observa en las figuras 4 a 13, existen variaciones temporales en el número de individuos, pollos, huevos y nidos de cada una de las especies.

Por otra parte, estas figuras muestran diferencias en las variables cuantificadas para cada especie. Para algunas especies, como *E. albus*, no se cuenta con registros de pollos; para *N. nycticorax* no se cuenta con registros de pollos y huevos, mientras que algunas otras especies tienen registros de las variables únicamente para un mes, por lo que no pueden compararse.

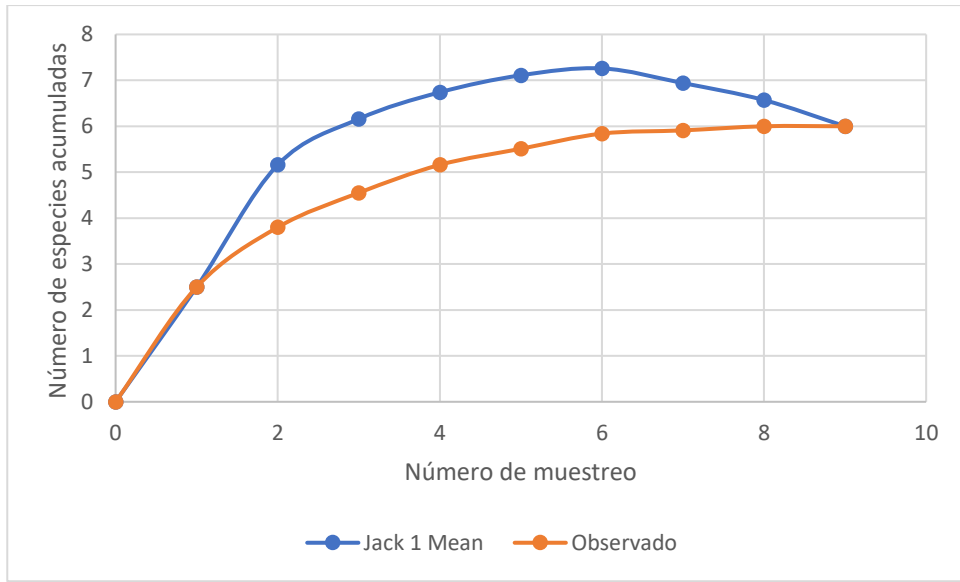
A partir de estas observaciones y de las siguientes figuras, se procedió al análisis de aquellos casos que permitieron realizar las comparaciones temporales. Esto principalmente porque los datos en cada temporada de muestreo cambiaron y no se mantuvieron uniformes a lo largo de los 4 años.

En las tablas 5 y 6 se muestran las variables registradas por cada uno de los autores, así como los meses que muestrearon. Esta información se utilizó para obtener la serie de datos que pueden compararse y así analizar los cambios en la comunidad de aves piscívoras en el petén Homochén a través de los años.

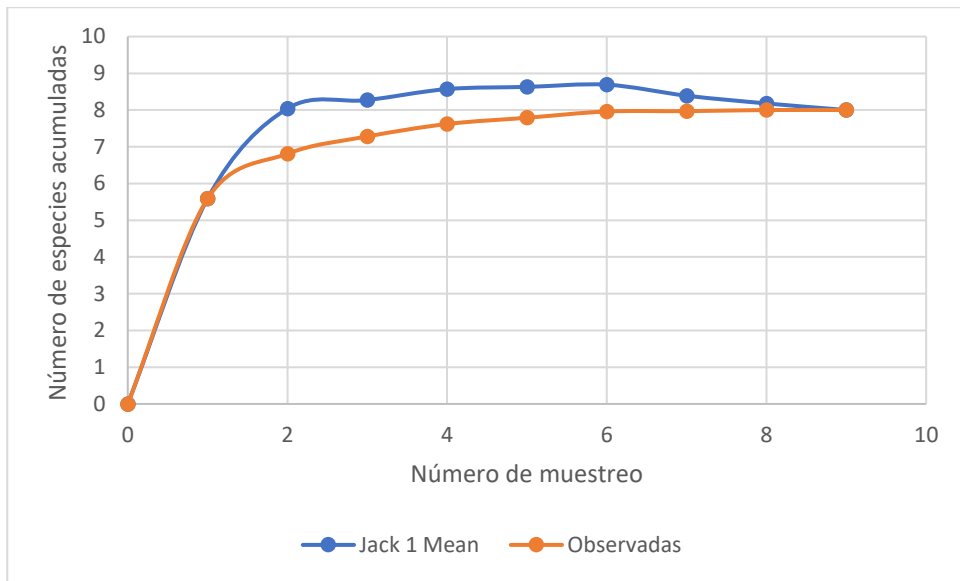
**Tabla 5. Variables registradas por los diferentes autores.**

	De Dios	Contreras	Solano	Álvarez	Robles	Huesca
<b>Especies</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Individuos</b>		X	X			
<b>Pollos</b>		X		X	X	
<b>Huevos</b>		X			X	
<b>Nidos</b>	X	X		X	X	X

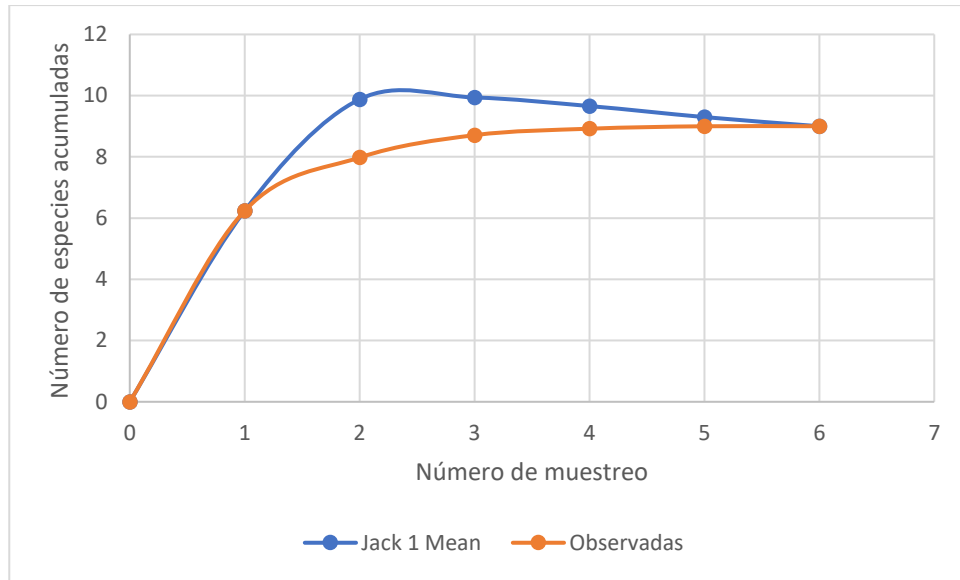
Se obtuvieron las curvas de rarefacción de especies con los datos obtenidos por cada uno de los autores. Como se muestra a continuación, en todos los casos se obtuvieron estimaciones superiores al 80% lo que indica que fueron muestreos representativos del área estudiada.



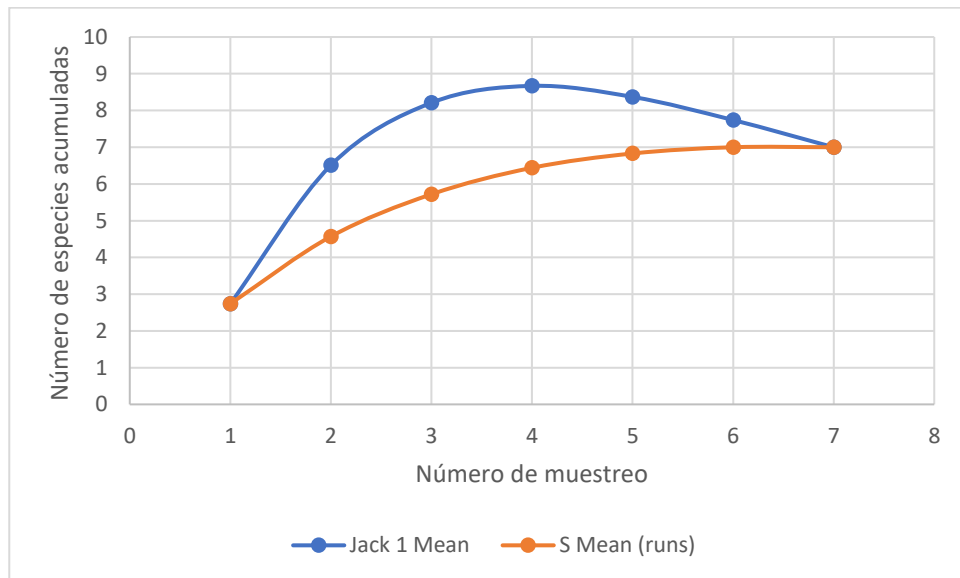
**Figura 14. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por De Dios, 2019.**



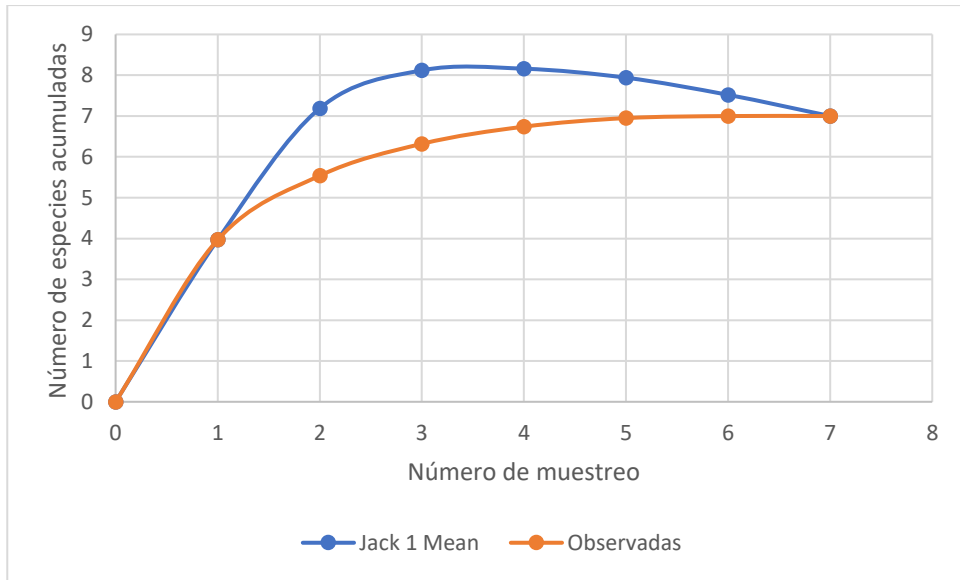
**Figura 15. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por Contreras, 2016.**



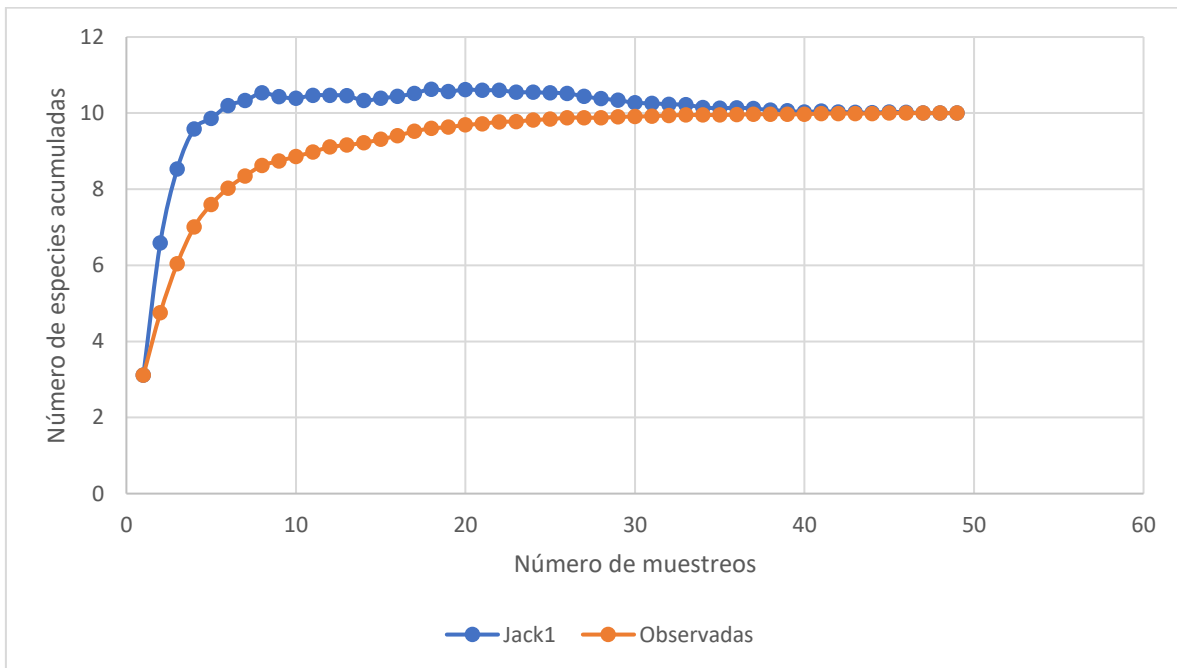
**Figura 16. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por Huesca, 2017.**



**Figura 17. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por Álvarez, 2018.**



**Figura 18. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por Robles, 2019.**



**Figura 19. Curva de acumulación de especies registradas en los muestreos realizados por todos los autores.**

En la tabla 7 se muestra el esfuerzo de muestreo obtenido con la información registrada por cada uno de los autores. Se observa que Contreras obtuvo el mayor porcentaje con 92.05% mientras que De Dios obtuvo un 82.64% que indican que se realizó un muestreo satisfactorio al obtener valores superiores al 80%.

**Tabla 6. Esfuerzo de muestreo realizado por cada uno de los autores.**

Autor	Esfuerzo de Muestreo
De Dios	<b>82.64%</b>
Contreras	<b>92.05%</b>
Huesca	<b>90.54%</b>
Álvarez	<b>80.73%</b>
Robles	<b>85.78%</b>

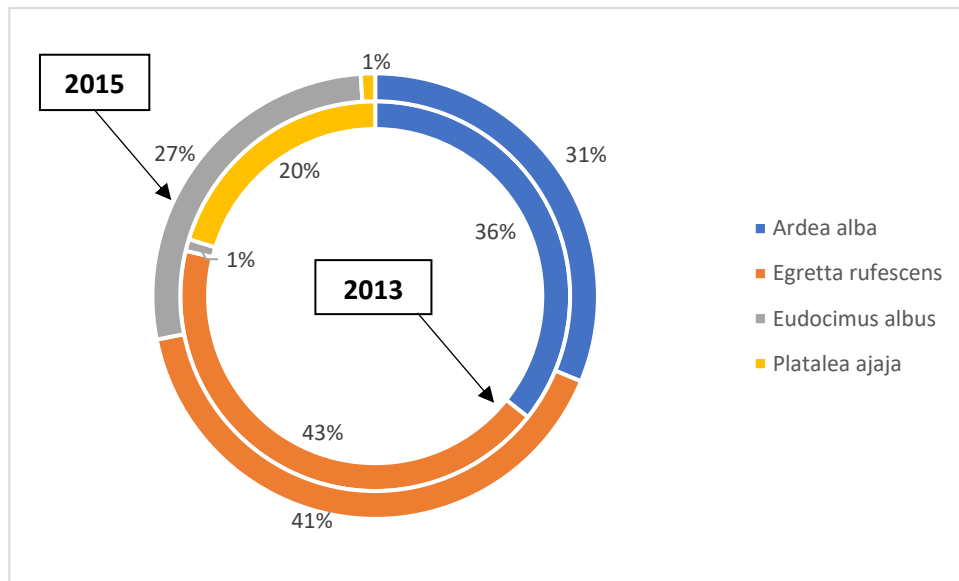
Es importante señalar que cada uno de los autores observó las especies que anidan en el petén en un número particular de muestreos acumulados. En la tabla 8 se muestran los registros del número de muestreos necesarios para que cada uno de los autores observara el 60% de las especies registradas para el sitio de estudio, se utilizó dicho porcentaje ya que no todos los autores observaron el mismo número de especies.

**Tabla 7. Número de muestreos que llevó a cada autor para detectar el 60% de las especies.**

Autor	Muestreo 60% especies
De Dios	<b>8</b>
Contreras	<b>1</b>
Huesca	<b>1</b>
Álvarez	<b>4</b>
Robles	<b>4</b>

Para realizar el análisis de los cambios temporales en la cantidad de individuos, se utilizaron las fechas de octubre de 2013 a febrero de 2014 comparándolas con octubre de 2015 a febrero de 2016, utilizando a las especies *Ardea alba*, *Egretta rufescens*, *Eudocimus albus*, *Platalea ajaja*.

Se calculó la abundancia relativa de cada una de las especies utilizando el número de individuos totales registrados para esta temporada.



**Figura 20. Proporción de Individuos respecto al total registrado por cada una de las temporadas.**

Las abundancias relativas de *A. alba* y *E. rufescens* fueron similares durante las dos temporadas, con 2 años de diferencia. Sin embargo, se observan cambios en las abundancias relativas de *E. albus* y *P. ajaja*. En 2013 destaca la presencia de *P. ajaja* mientras que en 2015 la de *E. albus*.

Para el caso de los pollos, huevos y nidos se utilizaron los meses de enero a marzo de 2014 para compararlos con enero a marzo de 2016, utilizando las especies *A. alba*, *C. cochlearius*, *E. rufescens*, *N. brasilianum*, *P. ajaja*.

Al realizar las comparaciones se buscó que estas fueran lo más cercanas de acuerdo con los muestreos realizados en 2014 y 2016. Además, se utilizaron únicamente los datos provenientes de muestreos en los que al menos dos autores

hubieran obtenido registros en esas temporadas (en este caso, Contreras y Robles). Los resultados se presentan en la tabla 9.

**Tabla 8 Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *A. alba*.**

Fecha	Nidos	Pollos	Huevos	Relación Pollos-Huevos	Relación Pollos-Nidos	Relación Nidos-Huevos
30/01/2014	4	3	0	-	0.75	-
28/02/2014	116	134	138	0.97	1.16	0.84
31/03/2014	98	23	26	0.88	0.23	3.77
25/02/2016	2	0	5	0	0	0.4
10/03/2016	2	4	0	-	2	-
21/03/2016	2	3	3	1	1.5	0.67

Para *A. alba* se realizó la comparación para los meses de febrero y marzo, ya que no se obtuvieron registros para el mes de enero durante los dos años a comparar.

Para el mes de febrero no se presentaron diferencias significativas en las relaciones pollos-huevos ( $p=0.060$ ,  $\alpha=0.05$ ), pollos-nidos ( $p=0.218$ ,  $\alpha=0.05$ ) y nidos-huevos ( $p=0.462$ ,  $\alpha=0.05$ ). Para el mes de marzo ocurrió lo mismo con las relaciones pollos-huevos ( $p=1$ ,  $\alpha=0.05$ ), pollos-nidos ( $p=0.059$ ,  $\alpha=0.05$ ) y nidos-huevos ( $p=0.074$ ,  $\alpha=0.05$ ). De esta manera, es posible concluir que no existen cambios significativos en las proporciones de dichas relaciones entre el 2014 y el 2016.

**Tabla 9. Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *C. cochlearius*.**

Fecha	Nidos	Pollos	Huevos	Relación Pollos-Huevos	Relación Pollos-Nidos	Relación Nidos-Huevos
17/01/2014	6	4	0	-	0.67	-
30/01/2014	13	19	9	2.11	1.46	1.44
28/02/2014	45	59	73	0.81	1.31	0.62
31/03/2014	10	25	9	2.78	2.5	1.11
25/02/2016	1	0	2	0	0	0.5
10/03/2016	2	0	2	0	0	1



En la tabla 10 se presentan los valores de las variables obtenidas para *C. cochlearius*. Se compararon los meses de febrero y marzo de los años 2014 y 2016 obteniendo que la relación pollos-huevos ( $p=0.503$  y  $0.087$ ,  $\alpha=0.05$ ), pollos-nidos ( $p=0.438$  y  $0.099$ ,  $\alpha=0.05$ ) y nidos-huevos ( $p=1$  y  $1$ ,  $\alpha=0.05$ ) no mostraron diferencias temporales significativas. Es decir, las proporciones no cambiaron entre los años de 2014 y 2016.

**Tabla 10. Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *E. rufescens*.**

Fecha	Nidos	Pollos	Huevos	Relación Pollos-Huevos	Relación Pollos-Nidos	Relación Nidos-Huevos
17/01/2014	77	29	39	0.74	0.38	1.97
30/01/2014	258	222	266	0.83	0.86	0.97
28/02/2014	104	99	104	0.95	0.95	1
31/03/2014	72	95	88	1.08	1.32	0.82
12/01/2016	35	0	86	0	0	0.41
27/01/2016	1	0	1	0	0	1
25/02/2016	48	0	131	0	0	0.37
21/03/2016	3	5	3	1.67	1.67	1

En la tabla 11 se observa que los datos correspondientes a *E. rufescens* permiten realizar comparaciones entre los meses de enero, febrero y marzo, puesto que en el mes de enero se cuenta con dos muestreos tanto para el año 2014 como para el 2016.

Al comparar el muestreo del 17/01/2014 y el del 12/01/2016 se observa una diferencia significativa en la relación pollos-huevos ( $p=7.41E^{-13}$ ,  $\alpha=0.05$ ), pollos-nidos ( $p=0.000152$ ,  $\alpha=0.05$ ) y nidos-huevos ( $p=7.78E^{-9}$ ,  $\alpha=0.05$ ), debido a esto se aplicó el estadístico phi que mide la fuerza de asociación entre las variables.

Se obtuvo que las variables pollos-huevos ( $p=0.542$ ,  $df=1$ ) tienen una asociación “alta”; las correspondientes a pollos y nidos ( $p=0.292$ ,  $df=1$ ) es “baja” y para la de nidos y huevos ( $p=0.375$ ,  $df=1$ ) es “media”.

Para el segundo muestreo del mes de enero se compararon las fechas 30 de enero de 2014 y 27 de enero de 2016, en este caso la relación pollos-huevos, pollos-nidos y nidos-huevos ( $p=1$ ,  $\alpha=0.05$ ), no se presentaron diferencias significativas.

En el mes de febrero la relación pollos-huevos ( $p=2.20 \times 10^{-16}$ ,  $\alpha=0.05$ ), pollos-nidos ( $p=1.43 \times 10^{-12}$ ,  $\alpha=0.05$ ) y nidos-huevos ( $p=3.92 \times 10^{-6}$ ,  $\alpha=0.05$ ), tuvieron diferencias significativas. Los valores de significancia del grado de asociación entre las variables ( $p= 0.521$ ,  $0.392$  y  $0.237$ ,  $df=1$ , respectivamente) indican una asociación “alta”, “media” y “baja” de las relaciones pollos-huevos, pollos-nidos y nidos-huevos.

Para el mes de marzo no se obtuvieron diferencias significativas para la relación de pollos-huevos ( $p=0.723$ ,  $\alpha=0.05$ ), pollos-nidos ( $p=1$ ,  $\alpha=0.05$ ) y nidos-huevos ( $p=1$ ,  $\alpha=0.05$ ).

Lo anterior sugiere que para *E. rufescens* existen diferencias significativas en el mes de enero con una disminución de nidos, pollo y un aumento en los huevos en la primera mitad del mes. Por otra parte, en febrero se observa una disminución en los nidos y pollos e igualmente un aumento en los huevos del año 2014 al 2016.

**Tabla 11. Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *N. brasilianum*.**

Fecha	Nidos	Pollos	Huevos	Relación Pollos-Huevos	Relación Pollos-Nidos	Relación Nidos-Huevos
17/01/2014	33	12	22	0.55	0.36	1.5
30/01/2014	31	24	35	0.69	0.77	0.89
28/02/2014	93	70	113	0.62	0.75	0.82
31/03/2014	10	23	14	1.64	2.3	0.71
27/01/2016	14	15	11	1.36	1.07	1.27
12/01/2016	10	7	16	0.44	0.7	0.62

Para el caso de *N. brasilianum*, se compararon los meses de enero y febrero (Tabla 12). No se obtuvieron diferencias significativas en las relaciones pollos-huevos ( $p=0.779$  y  $0.164$ ,  $\alpha=0.05$ ), pollos-nidos ( $p=0.356$  y  $0.499$ ,  $\alpha=0.05$ ) y nidos-huevos ( $p=0.095$  y  $0.487$ ,  $\alpha=0.05$ ) respectivamente para cada mes.

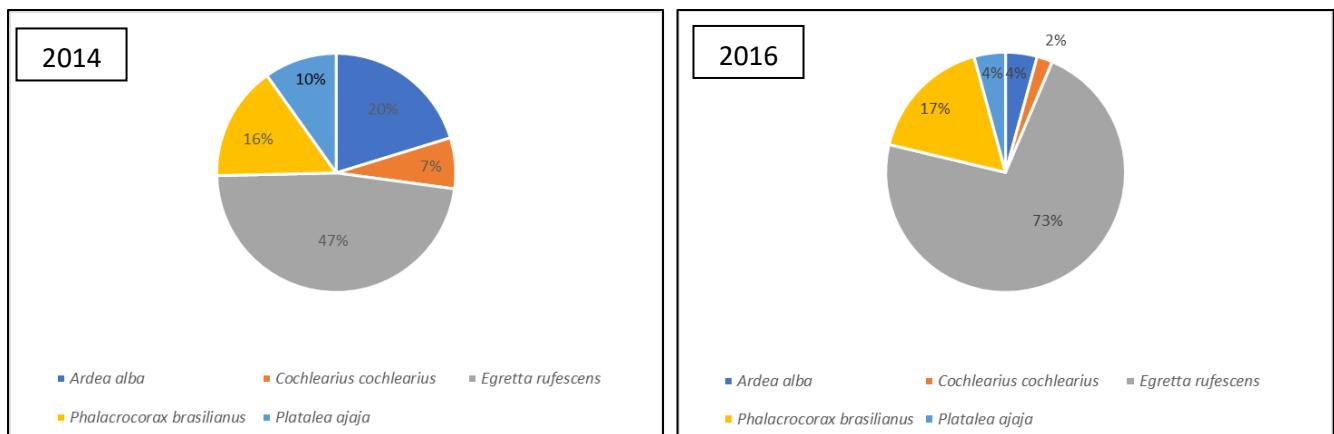
**Tabla 12. Relaciones obtenidas de las variables Nidos, Pollos y Huevos para *P. ajaja*.**

Fecha	Nidos	Pollos	Huevos	Relación Pollos-Huevos	Relación Pollos-Nidos	Relación Nidos-Huevos
30/01/2014	0	0	6	0	-	0
28/02/2014	60	116	28	4.14	1.93	2.14
31/03/2014	46	39	45	0.87	0.85	1.02
10/03/2016	3	0	8	0	0	0.38
21/03/2016	3	0	6	0	0	0.5

En la tabla 13 se muestran los datos para *P. ajaja*, en esta ocasión sólo se pudo comparar el mes de marzo, ya que no se tenían muestreos suficientes en 2016. La relación pollos-huevos tuvo una diferencia significativa ( $p=0.034$ ,  $\alpha=0.05$ ) con una fuerza de asociación baja ( $p=0.234$ ,  $df=1$ ) esto nos indica que hubo una disminución en los pollos y huevos de 2014 a 2016.

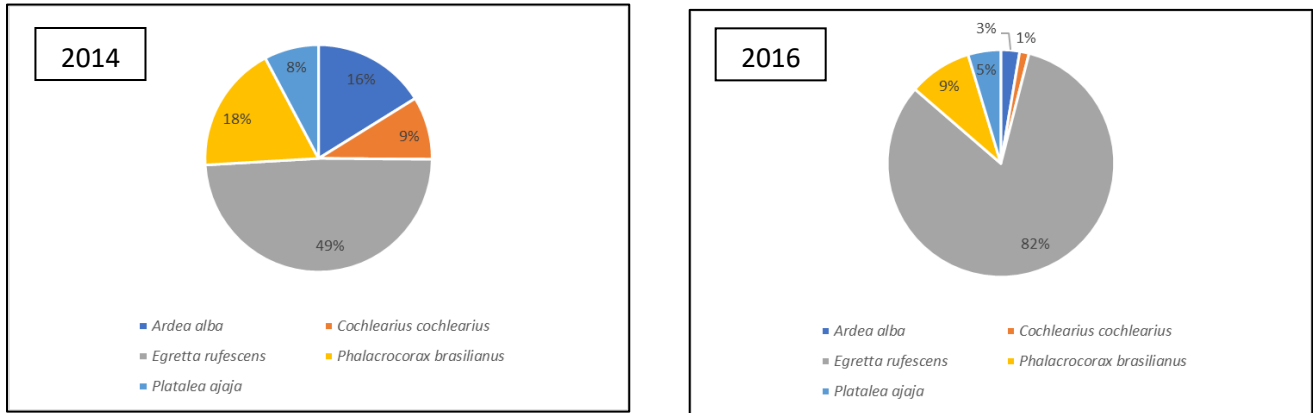
Por otra parte, las relaciones pollos-nidos ( $p=0.2512$ ,  $\alpha=0.05$ ) y nidos-huevos ( $p=0.4878$ ,  $\alpha=0.05$ ) no mostraron diferencias significativas.

En las figuras 21 a 23 se muestran las abundancias relativas de los nidos, huevos y pollos de cada una de las especies calculadas considerando el número total de nidos, pollo y huevos obtenidos entre enero a marzo, tanto de 2014 como de 2016.



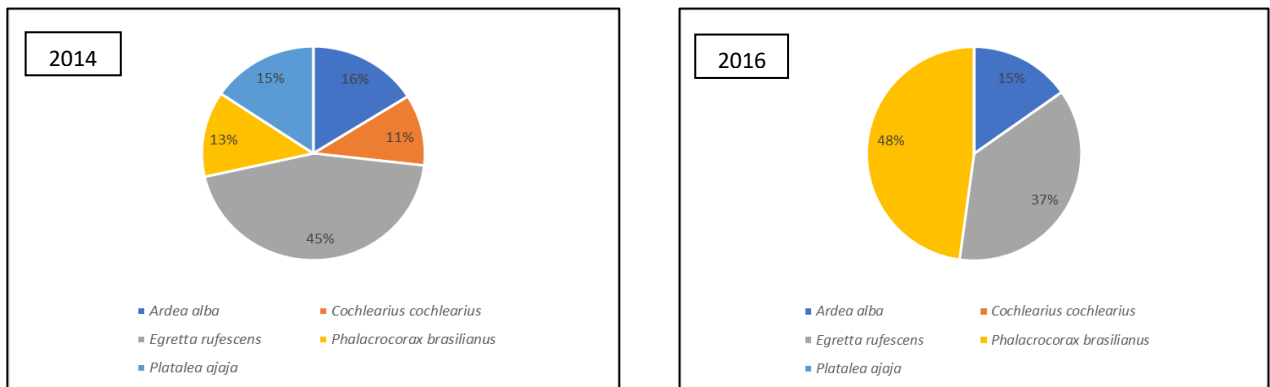
**Figura 21. Abundancia relativa de los nidos de las especies, durante los meses de enero a marzo de 2014 y 2016.**

*E. rufescens* se mantuvo como la especie con mayor número de nidos, pero en 2016 aumentó su representación (Fig. 21). Por otra parte, *A. alba* disminuyó su representación de 2014 a 2016 (Fig. 21).



**Figura 22. Abundancia relativa de los huevos de las especies, durante los meses de enero a marzo de 2014 y 2016.**

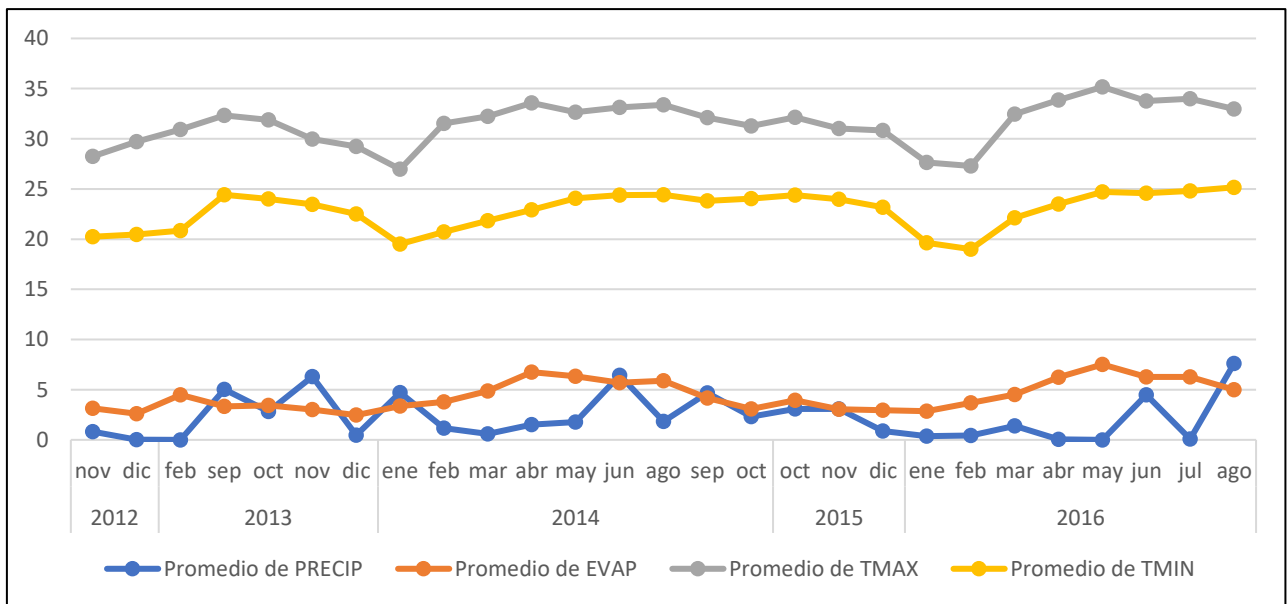
Para la cantidad de huevos total registrados para los meses de enero a marzo, *E. rufescens* vuelve a ser la especie con una representación mayor, en particular en 2016 (Fig. 22). Por su parte, *N. brasilianum*, *A. alba* y *C. cochlearius* disminuyeron su porcentaje, mientras que *P. ajaja* se mantiene con un porcentaje similar durante los dos años comparados (Fig. 22).



**Figura 23. Abundancia relativa de los pollos de las especies, durante los meses de enero a marzo de 2014 y 2016.**

Los pollos fueron los que mostraron un mayor cambio en los valores de sus abundancias relativas. Los valores correspondientes a *E. rufescens* disminuyeron de 45% a 37%, mientras que *N. brasilianum*, que en 2014 registró un valor del 13%, alcanzó un 48% en 2016. En cambio, los valores obtenidos para *A. alba* no cambiaron. Es importante recalcar que no se registraron pollos de *P. ajaja* y *C. cochlearius* en los muestreos realizados en el año 2016.

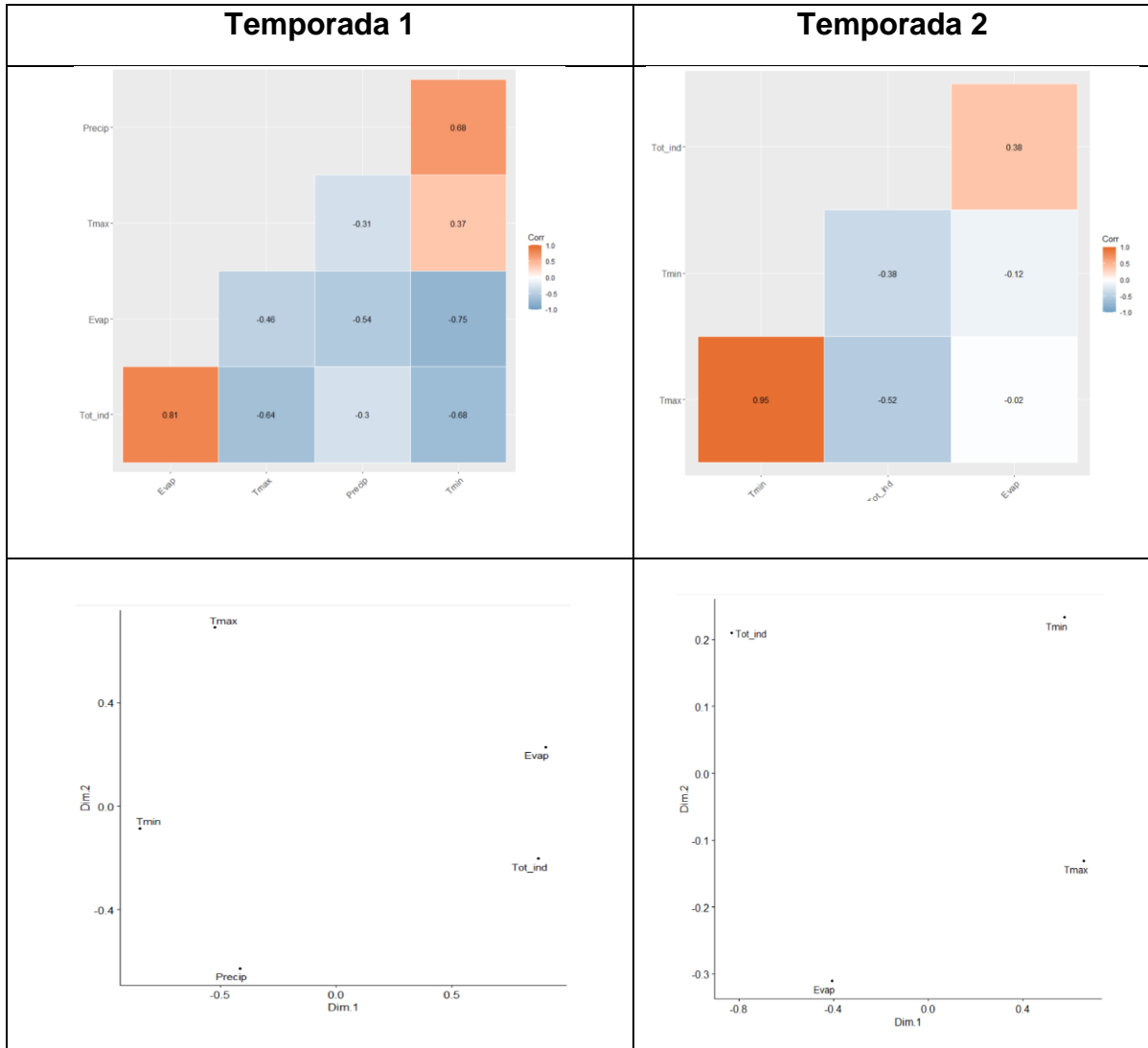
Se obtuvieron los datos meteorológicos históricos disponibles en la base de datos climatológicas de la estación 31029 Sisal, ubicada aproximadamente a 9 km del petén Homochén. En la figura 28 se muestran los valores de precipitación, evaporación, temperatura máxima y mínima promedio durante los meses que se muestreó en el área de estudio.



**Figura 24. Condiciones ambientales promedio de los meses muestreados Precip, Evap en mm y Tmax y Tmin en °C, tomados de la estación meteorológica 31029 Sisal.**

Para los siguientes análisis se verificó que los datos no tenían una distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilk por lo que se procedió a utilizar estadísticos no paramétricos. Se agruparon los datos en dos temporadas, para los individuos la temporada 1 incluía los datos registrados para los meses de octubre de 2013 a febrero de 2014, mientras que la temporada 2 los meses de octubre de

2015 a febrero de 2016, a continuación, se presentan el análisis de correlación de Spearman, así como el nMDS.

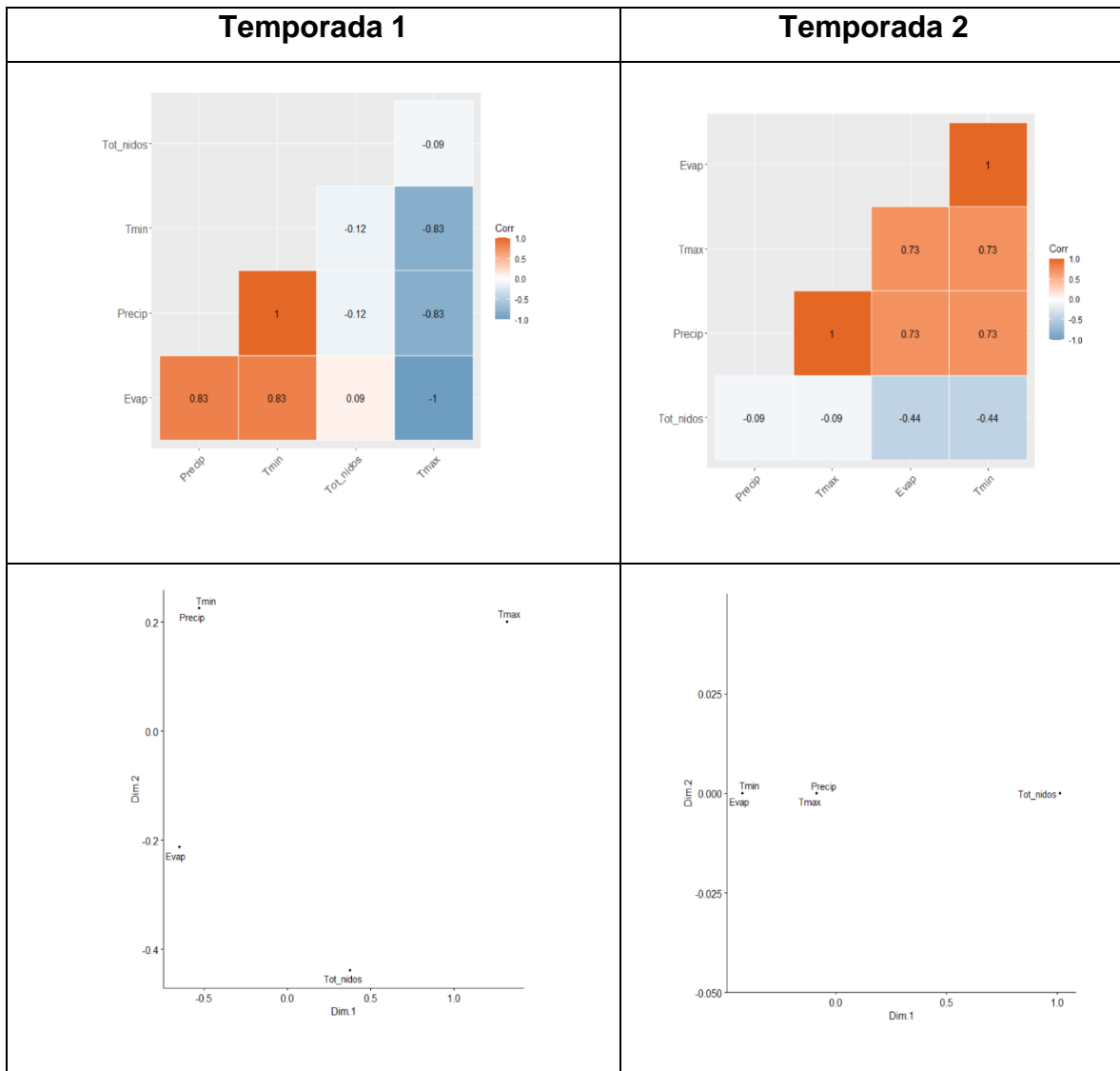


**Figura 25. Análisis de correlación y nMDS del número total de individuos durante los meses de octubre a febrero.**

Durante la temporada 1 los individuos están correlacionados de manera positiva con la evaporación, mientras que la temperatura máxima y mínima muestran una correlación negativa (Fig. 25). El nMDS muestra también una probable relación entre la evaporación y el número total de individuos. En cuanto a la temporada 2, hubo una correlación entre los individuos y la evaporación, pero en menor magnitud,

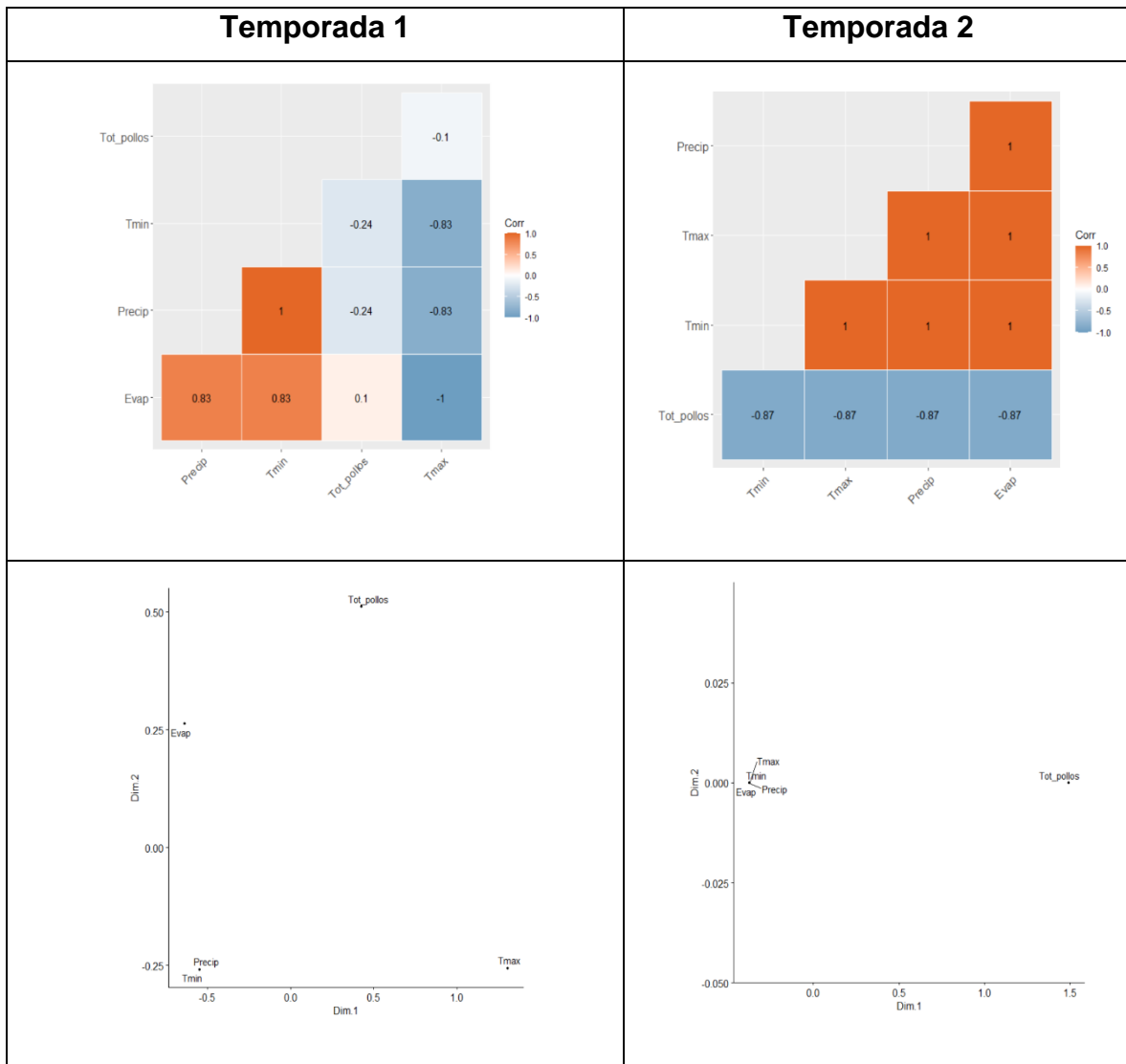
al igual que la correlación negativa con la temperatura máxima y mínima, de la misma forma en menor magnitud (Fig. 25).

Para las variables nidos, pollos y huevos se establecieron las temporadas de la siguiente manera: temporada 1 los meses de enero, febrero y marzo de 2014. Para la temporada 2, se consideraron los meses de enero, febrero y marzo de 2016 para realizar las comparaciones.



**Figura 26. Análisis de correlación y nMDS del número total de nidos durante los meses de enero a marzo.**

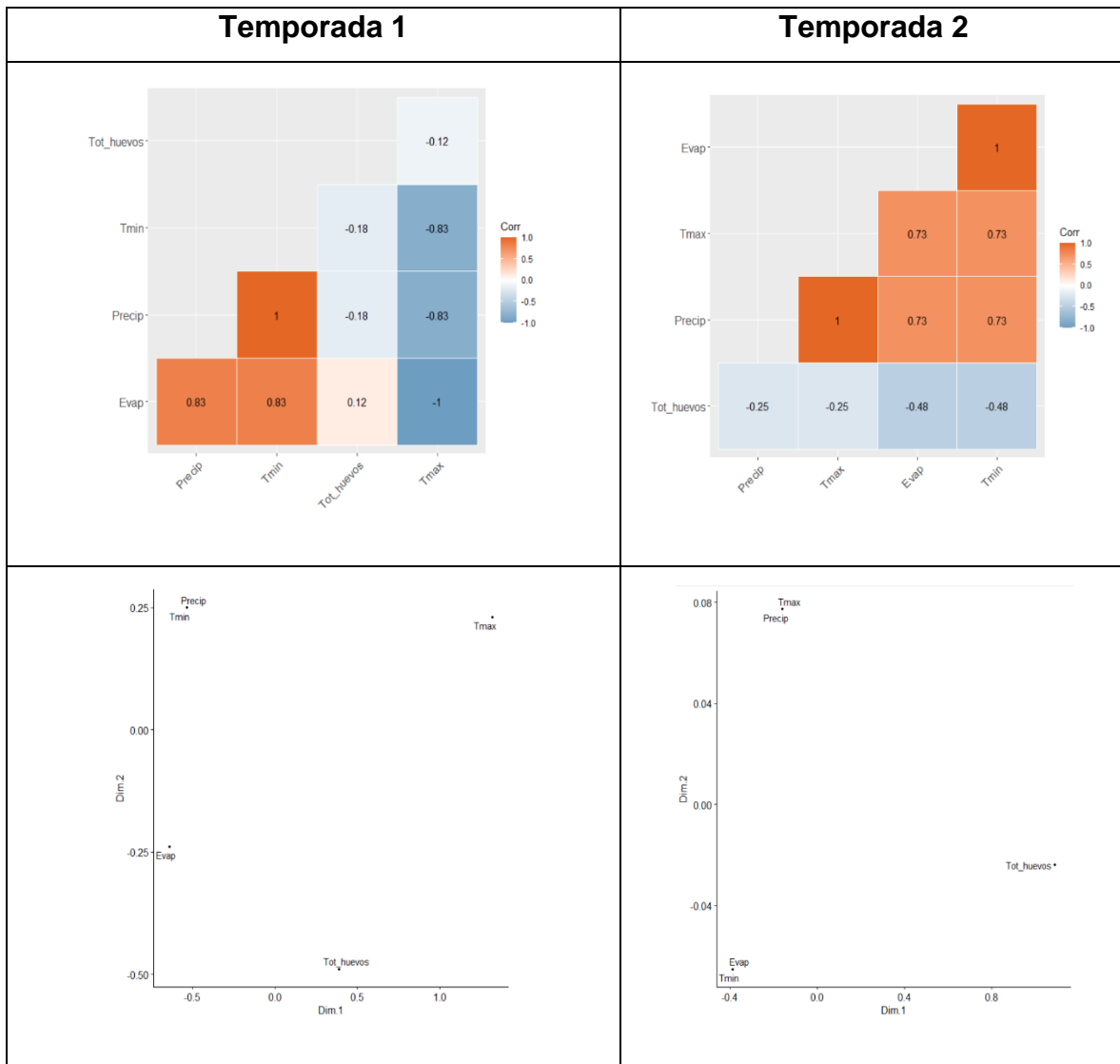
No se observó una correlación entre los nidos y las variables ambientales, de igual manera en el nMDS no se observa la formación de algún grupo (Fig. 26). Para la temporada 2, se observó una correlación negativa de los nidos con la evaporación y la temperatura mínima (Fig. 26). Sin embargo, no se considera como una correlación alta, es importante mencionar que durante esta temporada las variables ambientales se mantuvieron con correlaciones positivas altas, es por esto por lo que el nMDS muestra una agrupación en estas variables.



**Figura 27. Análisis de correlación y nMDS del número total de pollos durante los meses de enero a marzo.**



No se observó correlación entre los pollos y las variables ambientales para la temporada 1, el nMDS también muestra que no hay ninguna agrupación entre estas variables (Fig. 27). La temporada 2 muestra una correlación negativa alta para los pollos y las variables ambientales. Es importante mencionar que solo se están utilizando 3 muestreos durante ese mes, por lo que los valores son altos, sin embargo, no indica una correlación como la determinada en la temporada 2. El nMDS muestra de manera visual que las variables no se agrupan.

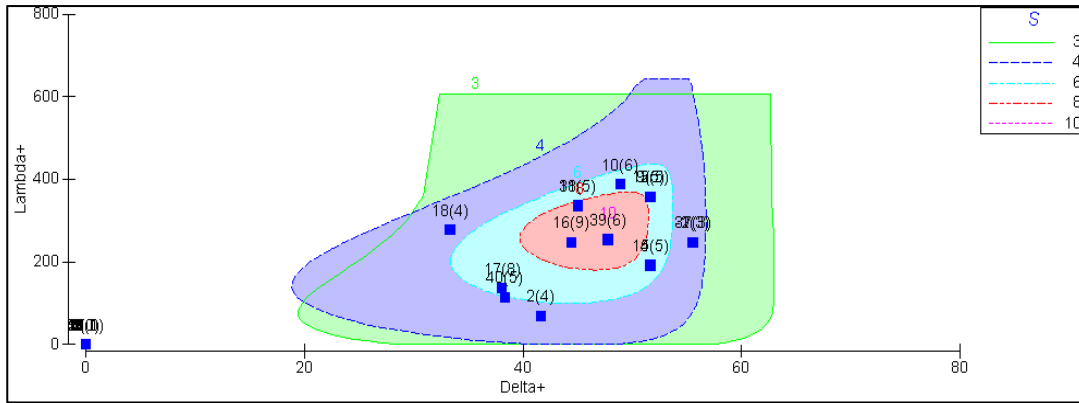


**Figura 28. Análisis de correlación y nMDS del número total de huevos durante los meses de enero a marzo.**

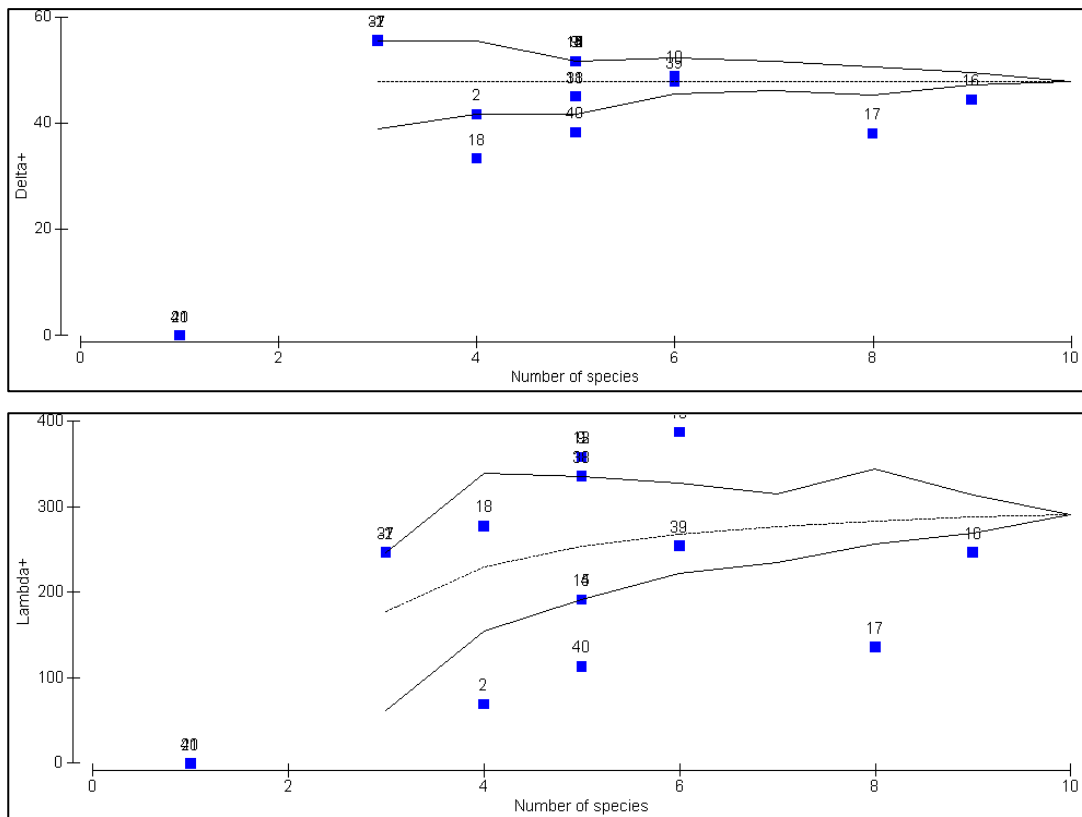
No se observó una correlación entre los huevos y las variables ambientales para la temporada 1, esto concuerda con el nMDS donde sólo se agrupó la temperatura mínima y la precipitación (Fig. 28). La temporada 2 por su parte muestra una correlación negativa entre los huevos y la evaporación, así como la temperatura mínima (Fig. 28). Sin embargo, en el nMDS se muestra un agrupamiento únicamente de variables ambientales, por lo que no se muestra una relación fuerte que pudiera explicar la relación de las variables.

### **Distinción taxonómica**

A partir de los datos presentados en la figura 3, en la que se muestra la serie completa de observaciones realizadas desde noviembre de 2012 a diciembre de 2016 considerando el número de nidos presentes de cada una de las especies de aves, se detectaron los picos en correspondencia de los meses que pertenecen a las temporadas de “nortes” y secas. Los valores de distinción taxonómica calculados sobre dicha serie reflejan la diversidad filogenética del grupo de especies que anidan en cada mes de muestreo y no sólo la riqueza de especies. La figura 29 muestra las regiones que delimitan las probabilidades (IC95%) de encontrar un número de especies (S) determinado anidando al mismo tiempo (en este caso, la probabilidad de que la anidación de las 10 especies se presente en el mismo mes es insignificante. Las observaciones, en efecto, indican que el número máximo de especies anidando al mismo tiempo es 9). El área delimitada por la línea  $S = 8$  corresponde a la probabilidad de encontrar 8 especies de aves anidando al mismo tiempo. En la figura 30 se muestran los valores de los índices delta (figura 30 A) y lambda (Figura 30 B) que representan tanto el número de especies que anidaron en cada mes de muestreo así como las características de la comunidad ( $S$ ,  $\Delta^+$  y  $\Lambda^+$ ). Dado que la serie de datos que se ubica fuera de dichos límites indica que existen diferencias significativas en la presencia de nidos de cada especie a lo largo del tiempo, es posible sostener la idea de que en el petén Homochén se presentaron diferencias mensuales e interanuales en la anidación.



**Figura 29. Gráfico bivariado de  $\Delta^+$  vs.  $\Lambda^+$ . Las regiones que delimitan las probabilidades (IC<sub>95%</sub>) de encontrar nidos de distinto número de especies se muestran con diferentes colores.**



**Figura 30. (A) Índice de distinción taxonómica promedio (delta,  $\Delta^+$ ) y (B) variación en la distinción taxonómica (lambda,  $\Lambda^+$ ) de los nidos de las especies de aves que anidan en el petén Homochén a lo largo del período de observación (meses). Las líneas continuas (—) denotan los intervalos de confianza (IC95%) de las estimaciones.**

## 9. DISCUSIÓN

La investigación ecológica de largo plazo es de suma importancia para conocer el estado de diferentes áreas de conservación sujetas a algún tipo de protección de acuerdo con la normatividad mexicana o internacional.

En este trabajo se analizaron datos obtenidos por diferentes investigadores que han enfocado sus estudios en el monitoreo de un gremio de aves piscívoras situadas en la costa norte de Yucatán, específicamente en el petén Homochén ubicado en el municipio de Hunucmá. En el sitio de estudio se realizaron 2,704 observaciones por 25 meses a lo largo de 5 años. Durante este tiempo, además, se ha estudiado la dieta y algunas preferencias por parte de las aves para utilizar este lugar como sitio de descanso, reproducción y anidación.

Durante estos años se han registrado 10 especies de aves acuáticas: garza blanca (*Ardea alba*), garza cucharón (*Cochlearius cochlearius*), garza rojiza (*Egretta rufescens*), garza tricolor (*Egretta tricolor*), ibis blanco (*Eudocimus albus*), garza nocturna corona negra (*Nycticorax nycticorax*), cormorán orejudo (*Nannopterum auritum*), cormorán neotropical (*Nannopterum brasilianum*) y espátula rosada (*Platalea ajaja*), de las cuales se han cuantificado un total de 1,799 individuos, 1,576 pollo, 2,052 huevos y 3,755 nidos.

Los resultados muestran que la presencia de las especies no ha sido constante, durante los 5 años que se ha trabajado en la zona. Por ejemplo, *E. tricolor*, *E. albus*, *N. nycticorax* y *N. auritum* han tenido variaciones en cuanto a la proporción de individuos, nidos y pollos en la temporada de anidación.

La presencia o ausencia de las especies de aves acuáticas en el petén Homochén puede estar relacionada a diferentes factores, de acuerdo con Murkin et al. (1997), determinaron que la riqueza de la comunidad de aves acuáticas está influenciada por la salinidad, el pH y la razón entre las superficies de vegetación y aguas abiertas.

Kerekes et al. (1997) han determinado que las aves piscívoras tienen una estrecha relación con sus recursos tróficos por lo que se van a utilizar sitios de descanso/anidación/reproducción cercanos a zonas de alimentación de acuerdo con las necesidades de cada una de las especies.

Existen variaciones temporales en la presencia de pollos, huevos y nidos registrados en los diferentes eventos de muestreo. Se puede observar, en el caso de *A. alba*, *C. cochlearius*, *E. rufescens*, *N. brasilianum* y *P. ajaja* que los meses donde se registró un mayor número de individuos, huevos, pollos y nidos fue del mes de enero a marzo de 2014 (Contreras, 2016). La diferencia en comparación con otros meses, principalmente se debe al objetivo del estudio ya que se centró en la obtención de estos datos, así como caracterizar los sitios de anidación y caracteres morfológicos.

Para las especies anteriormente mencionadas no se registró un cambio importante en la cantidad de individuos, huevos, pollos y nidos a través del tiempo que sugiera cambios en la abundancia. Por ejemplo, para el caso de *E. thula*, se observa un aumento en los individuos y huevos en los meses de abril a junio del 2016. Sin embargo, en este caso no se pueden realizar comparaciones ya que los trabajos de investigación realizados en años anteriores (ver Huesca, 2017) se enfocaron únicamente en cuantificar el número de nidos.

Es interesante notar que el registro de nidos realizado en 2014 es superior al obtenido en 2016; los máximos coinciden en los meses de abril a junio de cada una de las temporadas. Ello concuerda con las observaciones de esta especie realizadas por Cupul (2000) en un estero compuesto de mangle rojo (*Rizophora mangle*) en Puerto Vallarta, Jalisco. Este estudio muestra que la mayor actividad en cuanto a la construcción de nidos, puestas de huevos y crianza de polluelos se realizó de los meses de abril a junio.

En cambio, en cuanto a los nidos de *E. tricolor* construidos en el petén Homochén se ve una disminución progresiva del 2014 al 2016. De acuerdo con Strong et al.

(1997), esta especie se ve afectada por cambios en el nivel del agua ya que existe una correlación significativa con la dirección de vuelo y en consecuencia con la selección del hábitat.

En cuanto a *E. albus* y *N. nycticorax*, fueron las especies con un número reducido de registros, pero mantuvieron cifras constantes a través de los muestreos realizados en el número de individuos, huevos y nidos. Ello contrasta con las observaciones de Kushlan (1976), quien determinó que las colonias de anidación de *E. albus* en Florida no se mantienen fijas sino cambian de ubicación entre los años de acuerdo con cambios en las áreas de alimentación que utilizaban.

Por otra parte, *N. nycticorax* fue la especie con menor número de registros. De acuerdo con Burger (1979) y Beaver et al. (1980), la construcción de los nidos de esta especie ocurre en un intervalo de distancias que fluctúa entre 0.95 m y 7.8 m de los nidos vecinos en las colonias multiespecíficas de aves acuáticas que analizaron. Esta conducta podría explicar la escasa presencia de *N. nycticorax* en el petén ya que el área para la anidación es reducida.

Para *N. auritum* se registraron valores similares en cuanto a los individuos, huevos y nidos, mientras que el número de pollos presentó un aumento entre los meses de septiembre a noviembre del 2013. Estos datos contrastan con lo publicado por Mc Rae et al. (2017), quien señala que en el lago de Ontario la anidación de esta especie comienza en el mes de mayo. Ello resalta el hecho de que la ubicación geográfica influye en el momento particular de anidación de esta especie.

Si bien cada uno de los autores utilizó metodologías y muestreos diferentes para cada temporada, las curvas de rarefacción que se obtuvieron para cada caso muestran que se alcanzan valores mayores al 80%, por lo que puede decirse que, en todas las campañas, los muestreos fueron realizados de manera exitosa y representativa a pesar de que el esfuerzo de muestreo alcanzado por cada uno de los autores fue diferente. McAndrews y Montejó (2010) indican que un incremento en el esfuerzo de muestreo conlleva un mayor registro tanto de especies como de

las variables medidas. De esta manera se conoce con mayores detalles la distribución temporal de los datos y por ello, en el análisis se utilizaron las proporciones de las relaciones entre las variables medidas para poder disminuir el sesgo que ocasionaba el esfuerzo y las metodologías de muestreo.

Sin embargo, podemos observar que para el caso de las especies *E. albus* y *P. ajaja*, existe un cambio en el número de individuos, al revertirse la representación que se tiene en la primera temporada comparando con la segunda temporada.

El aumento porcentual en la representación de individuos de *E. albus*, se ve afectado directamente por la presencia de la especie en el petén ya que para la primera temporada (octubre/2013 a febrero/2014) se obtuvieron únicamente dos registros con un promedio de seis individuos. Por otra parte, en el caso de *P. ajaja*, se observa una disminución considerable de la primer a la segunda temporada, ya que en la segunda temporada se registró sólo un individuo en el gremio de aves.

De acuerdo con Herring et al. (2010), *E. albus* elige sitios de anidación de acuerdo con variables del paisaje que pueden afectarse año con año tales como la disponibilidad de alimento que en el caso de la especie requiere de pequeños invertebrados conforme a lo observado por Ogden et al. (1976) así como por Kushlan (1979).

Los cambios en el número de individuos de estas especies en las dos temporadas comparadas no reflejan necesariamente un declive en la población de estas. De acuerdo con Herring et al. (2010), *E. albus* elige sitios de anidación de acuerdo con variables del paisaje que pueden afectarse año con año tales como la disponibilidad de alimento, así como baja fidelidad por los sitios de anidación pueden resultar en estas variaciones interanuales, así como en la presencia de estas en el petén.

Las comparaciones entre los muestreos realizados en el primer trimestre del 2014 y 2016, no mostraron diferencias significativas para el caso de *A. alba* en las razones numéricas de pollo-huevos, pollos-nidos, nidos-huevos. Sin embargo, los datos de

abundancia obtenidos muestran que existe un aumento en los valores obtenidos en el año 2016 en comparación con el año 2014.

*A. alba* registra una variación interanual en cuanto a la abundancia de las variables comparadas, esta especie se reproduce colonialmente en lugares relativamente cerca de los sitios de alimentación. De acuerdo con Pascual (2001) esta especie anida de manera frecuente en árboles altos que, según lo reportado por McCrimmon et al. (2001), permite evitar la depredación de los huevos y asegurar el éxito de la anidación. Los factores anteriormente mencionados pudieron afectar el establecimiento de *A. alba* en 2016.

Al igual que la especie anterior, las comparaciones entre las variables proporcionales obtenidas para el caso de *C. cochlearius*, no muestran diferencias significativas. Sin embargo, se observan cambios en el número de nidos y los huevos cuantificados, lo que indica una variación interanual entre estas variables en los años que fueron comparados. Mock (1975) describe que la permanencia de *C. cochlearius* en los sitios de anidación está estrechamente relacionada con la cercanía a los sitios de alimentación. A pesar de que se puede presentar competencia por los recursos alimenticios con otras especies en colonias mixtas, los hábitos nocturnos de esta especie le permiten coexistir con otras especies.

Las comparaciones entre las variables proporcionales obtenidas para el caso de *E. rufescens*, muestran diferencias significativas entre los valores obtenidos en el mes de enero y febrero. Las diferencias en los datos indican que existen variaciones interanuales en la cantidad de nidos, pollos y huevos. De acuerdo con las observaciones realizadas por Hill y Green (2011) así como por Cox et al. (2019), el factor más importante para la selección de los sitios de anidación de esta especie es el acceso al alimento. Estimaron que un sitio con los recursos necesarios para la especie debe encontrarse en un radio máximo de 5 km. Además, la variación interanual puede verse afectada por diversos factores antropogénicos, como se señala más adelante.



Para *N. brasilianum*, se presentaron variaciones entre los valores de las variables obtenidos en los meses correspondientes al año 2014: en el mes de enero se obtuvieron los mayores registros que disminuyeron progresivamente hasta el año 2016. Es importante resaltar que Nelson (1990) determinó que los sitios de anidación de *N. brasilianum* no son permanentes. Por otra parte, Velando y Freire (1999) indican que dichos sitios y su selección están regulados por los costos y beneficios de ocupar zonas nuevas o zonas colonizadas, esto con relación a la disponibilidad de alimento, espacio, altura de los árboles, así como la protección contra depredadores.

En el caso de *P. ajaja*, las relaciones no muestran diferencias significativas y, como en el caso de las otras especies analizadas, las variables consideradas muestran un decremento en los conteos correspondientes al año 2016 en comparación con el resto de la serie analizada. Ello permite señalar que existen variaciones interanuales de acuerdo con los muestreos realizados.

Ahora bien, de acuerdo con la propuesta metodológica, se compararon las proporciones de cada una de las variables respecto al total, mismas que fueron representadas considerando los valores obtenidos para cada especie en cada una de las temporadas de anidación. Se observa que, para el número de nidos, tanto para el año 2014 como para el 2016, *E. rufescens* se encuentra en primer lugar seguida de *N. brasilianum*, mientras que *A. alba* disminuyó su representación de un 20 a un 4% para el 2016.

Para la cantidad de huevos se mantienen las tendencias como para el número de nidos, sin embargo, para el número de pollos registrados, en 2014 la especie dominante fue *E. rufescens* y para 2016 lo fue *N. brasilianum*.

Posteriormente se analizaron las condiciones ambientales para conocer si existía una correlación con los datos de cada una de las variables anteriormente mencionadas resultando que existe una correlación positiva entre el número de individuos y la evaporación. De acuerdo con Chávez-Ramírez et al. (2013), la

evapotranspiración es uno de los parámetros que se miden en las estaciones climatológicas e indica la cantidad de agua evaporada desde el suelo y las hojas de las plantas.

Como se ha descrito anteriormente uno de los factores más importantes para la selección del sitio de anidación, es la disponibilidad de alimento, que a su vez se encuentra relacionado con los cambios en el nivel de agua, la correlación entre las variables mencionadas se puede deber a este factor (Rioja-Pardela et al., 2014).

Si bien la cantidad de nidos no se correlaciona con ninguna de las variables climatológicas, la cantidad de pollos muestra una correlación negativa en la temporada 2 con la temperatura, la precipitación, así como con la evaporación.

Ardía et al. (2006) mencionan que existen varios factores que pueden tener afectaciones tanto en la puesta como en el desarrollo del pollo, tales como la temperatura, la precipitación, la condición física de hembras y machos, etc. La evaporación se encuentra relacionada con los cambios en el nivel de los cuerpos de agua y por lo tanto en la disponibilidad de alimento tanto para los progenitores, así como para la progenie.

Asimismo, no existe una correlación entre el total de huevos y las condiciones climatológicas en ninguna de las dos temporadas comparadas durante los meses de enero a marzo de 2014 y 2016 respectivamente.

Los índices de distinción taxonómica muestran diferencias temporales significativas en la presencia y en la estructura filogenética de las especies de aves que anidan en el petén Homochén. En la serie completa de observaciones realizadas desde noviembre de 2012 a diciembre de 2016 se distinguen las épocas de anidación, entre los meses de diciembre y mayo, que corresponden a las temporadas de “nortes” y secas en la península de Yucatán. Asimismo, los valores de distinción taxonómica promedio ( $\Delta^+$ ) y la variación en la distinción taxonómica ( $\Lambda^+$ ) presentan fluctuaciones temporales alrededor de los valores promedio calculados. La relación entre las variables de distinción taxonómica (promedio y distinción) permite definir

las áreas, en términos probabilísticos, en las que diferentes números de especies anidan en cada momento. La distribución de los valores indica que en el petén de Homochén, durante el periodo de observación, anidan entre 1 (como en el mes de agosto de 2014 y en mayo de 2016) y 9 especies (en septiembre de 2013). Al igual que lo observado en otros sitios de anidación, varias especies utilizan simultáneamente el dosel de los petenes.

Acorde a lo escrito anteriormente, existen variaciones interanuales en las variables comparadas para diferentes especies, estas variaciones pueden ser originadas por las metodologías utilizadas en la obtención de los datos.

Otro de los factores que podrían ser la causa de dichos cambios es un cambio en la arquitectura de la vegetación ya que es un factor determinante para la formación de colonias mixtas (Vanhooydonck et al., 2000).

La composición de las plantas también juega un papel primordial para la selección de sitios de alimentación y anidación, así como de los recursos disponibles para las especies (Deppe y Rotenberry, 2005).

También es importante mencionar que en la literatura (por ejemplo, Becerril y Carmona 1997) se señala que el creciente desarrollo urbano está asociado con una disminución gradual del éxito reproductivo en las garzas. A su vez, Herrera-Silveira et al. (2005) señalan que la costa de Yucatán ha sido utilizada como atractivo para el turismo, lo que ha generado una disminución de la superficie de los humedales en favor de áreas urbanas. Vidal et al. (2015) señala que, por ello, debe respetarse la capacidad de carga de los cuerpos de agua, así como incluir reglas que permitan la existencia de áreas mínimas para la reproducción y anidación de las aves. Sólo así podrán disminuir las presiones a las que se encuentran sometidas.

Si bien las diferencias en las metodologías utilizadas por los autores que generaron las bases de datos utilizadas en este trabajo pueden ser una fuente de variación en los valores de presencia de las aves en el periodo estudiado, se pueden detectar patrones de cambio en los registros obtenidos a lo largo de 5 años de investigación

en el petén Homochén. Una de las líneas de trabajo que emanan de este análisis es que estas variaciones pueden ser causadas por cambios en el nivel del agua, ya que como lo indican Kerekes et al. (1997), las aves piscívoras tienen una relación muy estrecha con sus recursos tróficos y de esta manera se distribuyen en función de la disponibilidad.

El presente trabajo constituye el primer esfuerzo por integrar los datos obtenidos durante diversas investigaciones que se han realizado en la comunidad de aves piscívoras del petén Homochén en la península de Yucatán. Sin embargo, los resultados no permiten concluir sobre el deterioro del hábitat utilizado por las aves ni tampoco atribuir a las presiones a las que se encuentra sometida la zona, un declive en la comunidad de aves. Además, Van Horne (1983) señala que el uso de conteos de individuos para determinar el *estado del hábitat* es problemático ya que involucra complicaciones estadísticas.

Por ello, para futuras investigaciones se sugiere utilizar metodologías similares a alguno de los trabajos cuya información forma parte de este análisis. Es importante registrar las mismas variables para disminuir el sesgo en los datos a la hora de realizar las comparaciones, así como también planificar un monitoreo uniforme de largo plazo. Asimismo, es recomendable ampliar la serie temporal de observaciones para analizar, en caso de haberlo, un patrón general que permita definir tanto las características del ambiente que influyen en las variaciones observadas en el número de nidos. Por último, incluir datos de otros sitios de anidación de este gremio de aves acuáticas permitiría analizar las tendencias en escalas espaciales más grandes.

## 10. CONCLUSIONES

A partir del análisis de trabajos sobre la anidación de aves realizados previamente en el petén Homochén, se elaboró una base de datos que consta de 2,704 observaciones realizadas durante 25 meses a lo largo de 5 años. En total, se registraron 21 variables que describen a la comunidad de aves piscívoras que anidan en este sitio, formada por 10 especies, 1799 individuos, 1576 pollos, 2,052 huevos y 3,755 nidos.

La comunidad de aves piscívoras está compuesta por las siguientes especies: garza blanca (*Ardea alba*), garza cucharón (*Cochlearius cochlearius*), garza rojiza (*Egretta rufescens*), garza tricolor (*Egretta tricolor*), ibis blanco (*Eudocimus albus*), garza nocturna corona negra (*Nycticorax nycticorax*), cormorán orejudo (*Nannopterum auritum*), cormorán neotropical (*Nannopterum brasilianum*) y espátula rosada (*Platalea ajaja*).

A lo largo de los cinco años de muestreo, no todas las especies se presentaron en todas las temporadas. *E. tricolor*, *E. albus*, *N. nycticorax* y *N. auritum* se ausentaron en la zona de estudio por algunas temporadas, lo que indica que existen variaciones interanuales en la presencia de dichas especies.

En cuanto al número de individuos, los valores de abundancia relativa correspondientes a *E. rufescens* y *A. alba* no mostraron variaciones significativas con respecto a las temporadas comparadas (2014 y 2016). Sin embargo, *E. albus* y *P. ajaja* registraron variaciones interanuales con respecto al total de individuos registrados.

La comparación de las variables que se utilizaron como proxies del número de nidos, huevos y pollos muestra que existen variaciones interanuales en el caso de las siguientes especies: *A. alba*, *C. cochlearius*, *E. rufescens*, *N. brasilianum* y *P. ajaja*.

Se obtuvo una correlación positiva entre el total de individuos con la evaporación, así como una correlación negativa entre el número total de pollos y la temperatura, precipitación y la evaporación. Estas tendencias se pueden deber a factores determinantes para la selección del nido, como lo es el nivel del agua que, a su vez, determina la disponibilidad de alimento, la estructura de la vegetación, así como la composición de la vegetación lo que provee de recursos necesarios para la reproducción y la anidación.

Los índices de distinción taxonómica muestran diferencias temporales significativas en la presencia y en la estructura filogenética de las especies de aves que anidan en el petén Homochén.

Los resultados no permiten asociar el deterioro del hábitat utilizado por las aves ni tampoco atribuir a las presiones a las que se encuentra sometida la zona, con las variaciones numéricas registradas en la comunidad de aves.

## 11. LITERATURA CITADA

- Álvarez, A. J. 2018. Ecología trófica de un gremio de aves en la costa norte de Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Sisal, Yucatán.
- Amat, J. A. y A. J. Green. 2010. Waterbirds as Bioindicators of Habitat Condition. En: Hurford, C., M. Schneider y I. Cowx (eds.). Conservation Monitoring in Freshwater Habitats Practical Guide and Case Studies, Springer. London, UK. 45-52 pp.
- Árcega-Cabrera, F., E. Noreña-Barroso y I. Oceaguera-Vargas. 2014. Lead from hunting activities and its potential environmental threat to wildlife in a protected wetland in Yucatán, Mexico. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 100:251-257 pp.
- Ardia, D.R., M.F. Wasson, D.W. Winkler. 2006. Individual quality and food availability determine yolk and egg mass and egg composition in Tree Swallows *Tachycineta bicolor*. *of Avian Biology* 37:252–259
- Arizmendi, M. C. 2001. Multiple ecological interactions nectar robbers and hummingbirds in a Highland Forest in Mexico. *Canadian Journal of Zoology* 79: 997-1006 pp.
- Bates, E.M. y B.M. Ballard. 2014. Factores que influyen en el comportamiento y el éxito de las garcetas rojizas forrajeras (*Egretta rufescens*). *Aves acuáticas* 37:191-202
- Bates, E.M., L.M. Koczur, A. Krainyk, B.M. Ballard y A.C. Kasner. 2016. Dinámica espacial y temporal de la disponibilidad de hábitat de alimentación para garcetas rojizas en la Laguna Madre, Texas. *Revista Internacional de Biodiversidad y Conservación* 8:251-258.
- Beaver, D.L., R.G. Osborn y T. W. Custer. 1980. Nest site and colony characteristics of wading birds in selected Atlantic coast colonies. *Wilson Bulletin* 92: 200-220 pp.
- Becerril, M. F. y R. Carmona. 1997. Anidación De Aves Acuáticas En La Ensenada De La Paz, Baja California Sur, México (1992-1994). *Ciencias Marinas* 23(2): 265-271 pp.
- Blanco, D. E. 1999. Los humedales como hábitat de aves acuáticas. Pp. 208-217. En: Malvárez I. (ed.). Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. ORCYT-UNESCO. Montevideo, Uruguay.
- Bojorges, B. J. C. 2011. Registros adicionales de algunas especies de aves en la cuenca baja del Río Verde, Oaxaca, México. Huitzil. *Revista Mexicana de Ornitología* 12(2): 39-42 pp.
- Burger, J. 1979. Resource Partitioning: Nest site selection in mixed species colonies of Herons, Egrets and Ibises. *American Midland Naturalist* 101:191-210 pp.

- Carnevali, F. C., J. L. Tapia-Muñoz, R. Duno-deEstefano y I. Ramírez-Morillo. 2010. Flora ilustrada de la península de Yucatán: listado florístico. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, A.C. Yucatán, México.
- Chávez-Ramírez, E., G. González-Cervantes y J.L. González-Barrios. 2013. Uso de estaciones climatológicas automáticas y modelos matemáticos para determinar la evapotranspiración. *Tecnología y Ciencias del Agua* IV(4): 115-126 pp.
- CIBCEC (Cédulas de información básica para centros estratégicos comunitarios). 2006. Unidad de Microrregiones Dirección General Adjunta de Planeación Microrregional. Secretaria de Desarrollo Social. Disponible en: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/Default.aspx>
- Clarke KR y RM Warwick. 1998. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology* 35:523-531.
- Clarke KR y RM Warwick. 2001. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series* 216:265-278.
- Clarke, K.R. y Gorley, R.N. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research). PRIMER-E, Plymouth.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2012. Manual de Monitores comunitarios de aves. CONABIO, NABCI-México, CBM y CONANP. México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2016. Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y plan de acción 2016-2030. CONABIO. D.F., México.
- CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2010. Índice de marginación por localidad 2010. Disponible en: [http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Indice\\_de\\_Marginacion\\_por\\_Localidad\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010)
- Contreras, N. E. 2016. Estudio de un gremio de aves acuáticas en un petén de la costa norte de Yucatán durante la temporada de norte. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, CDMX.
- Cortés-Ramírez, G., A. Gordillo-Martínez y A. G. Navarro-Sigüenza. 2012. Patrones biogeográficos de las aves de la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:530-542 pp.
- Cox, W.A., B. Bankovich, K. Malachowski, A.C. Schwarzer, A. Paul, M. Rachal, J.J. Lorenz, K.D. Meyer y G.M. Kent. 2019. Nest site selection by Reddish egrets in Florida. *The Journal of Wildlife Management* 83(1): 184-191 pp.
- Cupul, M. F. G. 2000. Aves acuáticas del estero El Salado, Puerto Vallarta, Jalisco. *Huitzil* 1: 3-8 pp.
- Dahdouh-Guebas, F., L. P. Jayatissa, D. Di Nitto, J. O. Bosoire, D. Lo Seen y N. Koedam. 2005. How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami? *Current Biology* 15(12):443-447 pp.



- De Dios, A. c. 2014. Ecología trófica de un gremio de aves acuáticas durante la temporada de reproducción en la costa de Yucatán. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México
- De Dios, A. C., M. Badillo-Alemán, D. Arceo-Carranza y X. Chiappa-Carrara. 2019. Feeding ecology of the waterbirds in a tropical mangrove in the southeast Gulf of Mexico. *Studies on Neotropical fauna and environment* 1-9 pp.
- Deppe, J. L., and J. T. Rotenberry. 2005. Temporal patterns in fall migrant communities in Yucatan, Mexico. *Condor* 107: 228–243 pp.
- Díaz P. y P. Fernández. 2004. Asociación de variables cualitativas: El test exacto de Fisher y el test de McNemar. *Cad. Aten. Primaria*, 11: 204-308 pp.
- Flores, R. M. A. 2020. Análisis de la estructura y función de las comunidades ícticas en humedales con impacto antrópico en la costa norte de Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Yucatán, México.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Serie Libros Número 6. Instituto de Geografía, UNAM. D.F., México.
- Greenberg, R. 1992. Forest migrants in non-forest habitats on the Yucatán Peninsula. Pp. 273-286. *En: Hagan, J. M. y D. W. Johnston (eds.). Ecology and conservation of Neotropical migrant landbirds*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- Gillespe, T. W. y H. Walter. 2001. Distribution of bird species richness at a regional scale in tropical dry forest of Central America. *Journal of Biogeography* 28: 651-662 pp.
- González-García. 2011. Métodos para contar aves terrestres. Pp. 86-123. *En: Gallina, T. S. y C. A. G. López (eds.). Manual de técnicas para el estudio de la fauna*. Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología. Querétaro, México.
- Green, A. J. y J. Figuerola. 2003. Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales. *En: Paracuellos, M. (ed.). Ecología, Manejo y Conservación de los humedales*. Instituto de Estudios Almerienses. Almería, España. 49-60 pp.
- Guadarrama, P., L. Salina-Peba, X. Chiappa-Carrara y J. A. Ramos-Zapata. 2018. Florística, composición y estructura de las comunidades vegetales de la porción occidental de la Reserva Estatal Ciénegas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89:784-805 pp.
- Herrera-Silveira, J. A., F. A. Comín y L. F. Capurro. 2005. Capítulo 26 Los Usos y Abusos de la zona costera en la península de Yucatán. Pp. 387-396. *En: Rivera, E. A., G. J. Villalobos, I. A. Adeath y F. M. Rosado (eds.). El manejo costero en México*. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México.

- Herring, G., D.E. Gawlik, M.I. Cook y J.M. Beerens. 2010. Sensivity of nesting great egrets (*Ardea alba*) and White ibises (*Eudocimus albus*) to reduce prey availability. *The American Ornithologists Union* 3: 660-670 pp.
- Hill, A. y M. C. Green. 2011. Reddish egret (*Egretta rufescens*) in the Lower Florida Keys. *Journal of Heron Biology and Conservation* 1:6 p.
- Holderby Z, Hill A, Palacios E, Green MC, Amador E, De Dios C. 2014. Comparisons of Reddish Egret (*Egretta rufescens*) diet across breeding range and between color morphs. *Waterbirds*. 37(2): 136–143 pp.
- Huesca, M. A. K. S. 2017. Bases de ecología reproductora para la conservación de una colonia mixta de aves acuáticas en la reserva estatal ciénagas y manglares de la costa norte de Yucatán. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Sisal, Yucatán.
- INAFED (Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2010. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Los Municipios del Estado de Yucatán. INAFED. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM31yucatan/index.html>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1983. Carta de Hidrología Superficial. Estados Unidos Mexicanos serie I. Escala 1:4,000,000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1994. Continuo Nacional de Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Geológica serie I. Escala 1:250,000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2001. Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Provincias Fisiográficas, Subprovincias Fisiográficas y Sistema de topoformas. Escala 1:1,000,000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2004. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico (Continuo Nacional) serie II. Escala 1:250,000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades. Disponible en: <http://geoweb.inegi.org.mx/mgn2k/catalogo.jsp>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2017. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y Vegetación Conjunto Nacional serie VI. Escala 1:250,000
- Jeffrey, D. W. y B. Madden. 1991 *Bioindicators and Environmental Management*. Academic Press. London, United Kingdom
- Kerekes, J., M. Duggan, R. Tordon, G. Boros y M. Bronkhorst. 1997. Abundance and distribution of fish-eating birds in Kejimikujik National Park Canada (1988-1994). *En: Faragó, S. y J. J. Kerekes (eds.). Limnology and waterfowl. Monitoring, modelling and management*. Wetlands International Publications. Canada.

- Kusler, J. A., W. J. Mitsch y J. S. Larson. 1994. Humedales. *Investigación y Ciencia* 210:6-13 pp.
- Kushlan, J. A. 1993. Colonial waterbirds as bioindicators of environmental change. *Colonial Waterbirds* 16(2): 223-251 pp.
- Kushlan, J. A. 1976. Site selection for nesting colonies by the American white ibis *Eudocimus albus* in Florida. *Ibis* 118: 590-593 pp.
- Kushlan, J. A. 1979. Feeding ecology and prey selection by the White Ibis. *Condor* 37: 63-89 pp.
- López-Ornat, A. y C. Ramos. 1992. Colonial Waterbird Populations in the Sian Ka'an Biosphere Reserve (Quintana Roo, Mexico). *Wilson Ornithological Society* 104(3): 501-515 pp.
- Maass, J. M., E. J. Jardel, A. Martínez-Yrizar, L. E. Calderón-Aguilera, J. Herrera, A. Castillo, J. Euán-Ávila y M. Equihua. 2010. Protected natural areas and long term ecological research in Mexico. *Ecosistemas* 19(2): 69-83 pp.
- McAndrews A. E. y J.E. Montejo. 2010 Birds from the plains of Tehuantepec, Oaxaca, México. *Southwestern Naturalist* 55:569-575 pp.
- McCrimmon, D.A., J.C. Ogden y G.T. Bancroft. 2001. Great egret (*Ardea alba*). The birds of North America. Philadelphia 32 p.
- Mc Rae, M.J., M. Azadbakhsh y G.S. Fraser. 2017. The advertising display of double-crested cormorants varies with microhabitat and time of the season in a tree-nesting colony. *Acta Ethologica* 20:319-327 pp.
- Mera-Ortiz, G., G. Ruz-Campos, A. E. Gómez-González y E. Velázquez-Velázquez. 2016. Composición y abundancia estacional de aves acuáticas en tres paisajes de la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología* 17(2):251-261 pp.
- Mellink, E. y M. E. Riojas-López. 2007. Waterbirds (other than Laridae) nesting in the middle section of Laguna Cuyutlán, Colima, México. *Revista Biología Tropical* 56(1): 391-397 pp.
- Mock, D.W. 1975. Feeding methods of the boat-billed heron: a deductive hypothesis. *Auk* 92: 590-592 pp.
- Moreno J. y A.P. Moller. 2011. Extreme climatic events in relation to global change and their impact on life histories. *Current Zoology* 57: 375–389 pp.
- Murkin, H. R., E. J. Murkin, y J. P. Ball. 1997. Avian habitat selection and prairie wetland dynamics: a 10-year experiment. *Ecological Applications* 7: 1144-1159 pp.
- Naturalista, CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2020. Disponible en: <https://www.naturalista.mx/>
- Navarro-Sigüenza, A. G., M. F. Rebón-Gallardo, A. Gordillo-Martínez, A. Townsend-Peterson, H. Berlanga-García y L. A. Sánchez-González. 2014. Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:476-495 pp.

- Nelson, B. 1990. 1990. The availability of breeding sites for some British seabirds. *Bird Study* 37: 145-1 pp.
- Ogden, J.C., J.A. Kushlan y J.T. Tilmant. 1976. Prey selectivity by the Wood Stork. *Condor* 78:324-332 pp.
- Palacio, F. X., M. J. Apodaca, y J. V. Crisci. 2020. Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Buenos Aires.
- Pascual, J. 2001. Las aves coloniales de isla Zapote. *Quercus* 184: 42-44 pp.
- Pérez-Medina, S., L. Fargher y F. Árcega-Cabrera. 2013. Condiciones habitacionales y pobreza en Yucatán. Un acercamiento etnográfico en contextos urbanos. Congreso Nacional de Vivienda. Ciudad de México, México.
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D. F. y Milá, B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p.
- Ramírez-Barahona, S. A., M. Torres-Miranda, M. Palacios-Ríos e I. Luna-Vega. 2009. Historical biogeography of the Yucatan Peninsula, Mexico: a perspective from ferns (Monilophyta) and lycopods (Lycophyta). *Biological Journal of the Linnean Society* 98:775-786 pp.
- Ramo, C. y B. Busto. 1993. Resource use by herons in a Yucatan wetland during the breeding season. *Wilson Bull* 105(4): 573-586 pp.
- Rangel-Salazar, J. L., P. Enríquez-Rocha, M. A. Altamirano-González-Ortega, C. Macías-Caballero, E. Castillejos-Castellanos, P. González -Domínguez, J. A. Martínez-Ortega y R. M. Vidal-Rodríguez. 2013. Diversidad de aves: un análisis espacial. Pp. 329-337 En: CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Gobierno del Estado de Chiapas. Chiapas, México.
- Rioja-Pardela, T., A. Carrillo-Reyes y E. Espinoza-Medinilla. 2014. Effect of temporal lakes on avifaunal composition at the Southeast of Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca Mexico. *Revista Biología Tropical* 62(4): 1523-1533 pp.
- Robles, T. P. J. 2019. Uso de hábitat de una colonia de aves acuáticas (Aves: Ardeidae, Threskiornithidae y Phalacrocoracidae) en la Reserva Estatal de Ciénegas y manglares de la costa norte de Yucatán, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Mérida, Yucatán.
- Rodríguez-Barrios, J. y Troncoso F. 2006. Éxito de anidación de la garza real *Egretta alba* (Aves, Ardeidae) en el departamento de Córdoba, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 11(1): 111-121 pp.
- Rogers, S. I., Clarke, K. R., y Reynolds, J. D. 1999. The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the North-east Atlantic. *Journal of Animal Ecology*, 68: 769–782.

- Ruíz-Campos, G., E. Palacios, J. A. Castillo-Guerrero S. González-Guzmán y E. Batche-González. 2005. Composición espacial y temporal de la avifauna de humedales pequeños costeros y hábitat adyacentes en el noroeste de Baja California, México. *Ciencias Marinas* 31(3):553-576 pp.
- Sánchez-Santillán N, de la Lanza Espino G, Sánchez-Trejo R (2012). Análisis de la climatología dinámica en el NE de la península de Yucatán. En Sánchez AJ, Chiappa-Carrara X, Brito Pérez R (eds) *Recursos Acuáticos Costeros del Sureste*. CONCIYTEY - UNAM, pp 29-55 ISBN 978-607-9060-08-4
- SANPY (Sistema de Áreas Naturales Protegidas). 2020. Secretaria de Desarrollo Sustentable, Gobierno de Yucatán. <https://sds.yucatan.gob.mx/areas-naturales/sanpy.php>
- Serrano, A., L. Vásquez-Castán, M. Ramos-Ramos, A. J. Basáñez-Muñoz y C. Naval-Ávila. 2013. Diversidad y abundancia de aves en un humedal del norte de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana* 29:473-485 pp.
- Si Bachir S., Barbraud C., Doumandji S. y Hafner H. 2008. Nest site selection and breeding success in an expanding species, the Cattle Egret *Bubulcus ibis*. *Ardea* 96(1): 99–107 pp.
- Smardon, R. 2014. Wetland Ecology: Principles and Conservation. *Water* 6:813-817 pp.
- Solanas, A., L. Salafranca, J. Fauquet y M. I. Núñez. 2005. Estadística descriptiva en Ciencias del Comportamiento. Thompson. Madrid.
- Solano, M. F. G. 2017. Estructura de las comunidades de peces y aves en un humedal costero: Estudio base para la conservación de la biodiversidad de la costa de Yucatán. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Iztapalapa, CDMX.
- Strong, S.C. 1976. Life-history tactics: A review of the ideas. *Quarterly Review Biology* 51:3-47 pp.
- Tolimieri N, Anderson MJ (2010) Taxonomic Distinctness of Demersal Fishes of the California Current: Moving Beyond Simple Measures of Diversity for Marine Ecosystem-Based Management. *PLoS ONE* 5(5): e10653. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010653>
- Vanhooydonck, B., R. Van Damme, and P. Aerts. 2000. Ecomorphological correlates of habitat partitioning in Corsican Lacertid lizards. *Functional Ecology* 14:358–368.
- Van Horne, B. 1983. Density as a misleading indicator of habitat quality. *Journal of Wildlife Management* 47:893–901.
- Velando A. y J. Freire. 2003. Nest Site Characteristics, Occupation and Breeding Success in the European Shag. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology* 26: 473-483 pp.
- Vidal L., A. Vallarino, I. Benítez y J. Correa. 2015. Implementación del plan estratégico Ramsar en humedales costeros de la Península de Yucatán:

normativas y regulación. *Latin American Journal of Aquatic Research* 43(5):873-887 pp.

Warwick R.M. y K.R. Clarke. 1995. New Biodiversity measure reveals a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* Vol 129:301-305

Warwick, R.M. y J. Light 2002 Death assemblages of mollusks on St Martin's Flats, Isles of Scilly: a surrogate for regional biodiversity? *Biodiversity and Conservation.* 11:99-112.