

Composition and spatiotemporal diversity of the aquatic bird community in Laguna de las Ilusiones, Tabasco, Mexico

Composición y diversidad espaciotemporal de la comunidad de aves acuáticas en la laguna de las Ilusiones, Tabasco, México

[Nelly Alejandra Jerez-Ramírez](#)¹, [Stefan Louis Arriaga-Weiss](#)¹, [Gorgonio Ruiz-Campos](#)², [Lilia María Gama-Campillo](#)^{3*}, [Miguel Ángel Salcedo-Mesa](#)⁴, [Claudia Villanueva-García](#)³, [Ena Edith Mata-Zayas](#)³, [Juan de Dios Valdez-Leal](#)⁴

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Vertebrados, 86039 Villahermosa, Tabasco, Mexico.

² Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, 22860 Ensenada, Baja California, Mexico.

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Ecología del Paisaje y Cambio Global, 86039 Villahermosa, Tabasco, Mexico.

⁴ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Diagnóstico y Manejo de Humedales Tropicales, 86039 Villahermosa, Tabasco, Mexico.

* Corresponding author. E-mail: lillygama@yahoo.com

ABSTRACT. In Laguna de las Ilusiones, Villahermosa, Tabasco, Mexico, bird species interact with the anthropic elements of the landscape. Waterfowl sightings were made with the fixed-point counting method during the dry and rainy seasons of the year 2020 at 12 sampling sites in the lagoon. Urban, water physicochemical, vegetation, and macrohabitat variables were recorded at these sites to assess their influence on waterfowl. A total of 1,134 individuals belonging to 8 orders, 12 families, and 25 species were recorded. The most sighted species were *Ardea alba*, *Egretta thula*, and *Butorides virescens*. Species diversity (Shannon index) was higher in the dry season ($H = 2.40$ bits) and lower in the rainy season ($H = 1.89$ bits). The canonical analysis showed that species richness decreased as the percentage of urbanization in the vicinity of the sampling sites increased.

Key words: urban wetland, indicator species, canopy-grass macrohabitat, landscape urbanization, riparian vegetation.

RESUMEN. En la laguna de las Ilusiones, Villahermosa, Tabasco, México, las especies de aves interactúan con elementos antrópicos del paisaje. Se realizaron avistamientos de aves acuáticas con el método de conteo por punto fijo durante la temporada de secas y de lluvias del año 2020 en 12 sitios de muestreo en la laguna. Se registraron variables urbanísticas, físicoquímicas del agua, de vegetación y de macrohábitats para evaluar su influencia en las aves acuáticas. Se registró un total de 1,134 individuos pertenecientes a 8 órdenes, 12 familias y 25 especies. Las especies más avistadas fueron *Ardea alba*, *Egretta thula* y *Butorides virescens*. La diversidad de especies (índice de Shannon) fue mayor en la temporada de secas ($H = 2.40$ bits) y menor en la temporada de lluvias ($H = 1.89$ bits). El análisis canónico demostró que la riqueza de especies disminuyó a medida que incrementó el porcentaje de urbanización en las inmediaciones de los sitios de muestreo.

Palabras clave: humedal urbano, especies indicadoras, macrohábitat de dosel arbóreo-pasto, urbanización del paisaje, vegetación ribereña.



©Nelly Alejandra Jerez-Ramírez, Stefan Louis Arriaga-Weiss, Gorgonio Ruiz-Campos, Lilia María Gama-Campillo, Miguel Ángel Salcedo-Mesa, Claudia Villanueva-García, Ena Edith Mata-Zayas, Juan de Dios Valdez-Leal.

This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which allows you to share and adapt the work, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. Figures, tables, and other elements in the article are included in the article's CC BY 4.0 license, unless otherwise indicated. You must seek permission from the copyright holder for use of material not covered by this license. The journal title is protected by copyrights owned by Universidad Autónoma de Baja California, and the journal title and logo are not subject to this license.

INTRODUCTION

Despite suffering a high degree of disturbance, urban wetlands in Mexico still provide refuge for a wide variety of bird species (Berlanga et al. 2019).

In the state of Tabasco, Mexico, there are 326 registered bird species (CONABIO 2021), which represent approximately a third of the species in the entire country, and a quarter of these are species with aquatic affinities that depend on wetlands for their survival (Ruiz-Campos et al. 2005, Mera-Ortiz et al. 2016). In the municipality of Centro, Tabasco, 35.9% of the surface belongs to some type of wetland (López 2019), but many of these wetlands have become surrounded by the accelerated urbanization in recent decades. One of these wetlands is Laguna de las Ilusiones, which was declared a Protected Natural Area in 1995 and is located within the city of Villahermosa (Ricárdez-de la Cruz et al. 2016, Secretaría de Gobierno 2019). However, the ecological conditions of the lagoon had already begun to change heavily since 1982 as a result of the input of domestic wastewater from the surrounding areas, which affected the water quality and caused lacustrine siltation (Ricárdez-de la Cruz et al. 2016); this has not changed despite its status as a Protected Natural Area. Its management plan was only recently published in the *Periódico Oficial* in 2019; it details the studies needed to be able to establish actions for its conservation that have not yet been implemented.

Increased urbanization and the isolation of the lagoon from its tributary Carrizal River have favored hypereutrophic conditions due to the input of organic and inorganic contaminants, and the introduction of opportunistic species (Sánchez et al. 2019, Salcedo et al. 2022). In addition to the above, hydrological changes in the lagoon can modify the composition of waterfowl, since high levels of flooding can cause morphological restrictions that affect the feeding success of wading birds (Castro-Tavares et al. 2015) or they can make foraging difficult for diving species that tend to avoid deep waters because of the risk of predation (Castro-Tavares et al. 2015). These anthropogenic alterations in the lagoon have not been documented, and it is important to assess their association with the composition and diversity of waterfowl at a spatiotemporal scale.

MATERIALS AND METHODS

Study area

Laguna de las Ilusiones (Fig. 1) is located in the north-central area of the city of Villahermosa, Tabasco (Secretaría de Gobierno 2019), in the metropolitan area of Villahermosa (Hansen et al. 2007). This lagoon is located on the plain of the Grijalva River (Secretaría de Gobierno 2019), with an area of 259.2 ha and a perimeter of approximately 41.0 km (Magaña 1988, Ricárdez-de la Cruz et al. 2016). The warm-humid climate predominates, with average annual temperature

INTRODUCCIÓN

Pese a sufrir un alto grado de perturbación, los humedales urbanos en México aún brindan refugio a una gran variedad de especies de aves (Berlanga et al. 2019).

En el estado de Tabasco, México, se encuentran registradas 326 especies de aves (CONABIO 2021), aproximadamente un tercio de las existentes en todo el país, y una cuarta parte corresponde a especies con afinidad acuática que depende de los humedales para su supervivencia (Ruiz-Campos et al. 2005, Mera-Ortiz et al. 2016). En el municipio de Centro, Tabasco, el 35.9% de la superficie pertenece a algún tipo de humedal (López 2019), pero muchos de los humedales han sido rodeados por la urbanización acelerada en las últimas décadas. Uno de estos humedales es la laguna de las Ilusiones, que fue decretada Área Natural Protegida en 1995 y está localizada en el interior de la ciudad de Villahermosa (Ricárdez-de la Cruz et al. 2016, Secretaría de Gobierno 2019). Sin embargo, las condiciones ecológicas de la laguna ya se habían comenzado a modificar fuertemente a partir de 1982 con el vertimiento de aguas residuales domésticas de las zonas aledañas, que afectaron la calidad del agua y generaron asolvamiento lacustre (Ricárdez-de la Cruz et al. 2016); esta situación no ha cambiado pese a su estatus de Área Natural Protegida. Su plan de manejo apenas fue publicado en el *Periódico Oficial* en 2019, donde se establecen los estudios necesarios para poder establecer acciones para su conservación que aún no se han hecho.

El incremento de la urbanización y el aislamiento de la laguna de su tributario río Carrizal han favorecido condiciones hipereutróficas por la entrada de contaminantes orgánicos e inorgánicos, así como la introducción de especies oportunistas (Sánchez et al. 2019, Salcedo et al. 2022). Aunado a lo anterior, cambios hidrológicos en la laguna pueden modificar la composición de las aves acuáticas, dado que niveles altos de inundación generan restricciones morfológicas en las aves veadoras para el éxito de alimentación (Castro-Tavares et al. 2015) o bien dificultan el forrajeo de las especies buceadoras que tienden a evitar las aguas profundas debido al riesgo de depredación (Castro-Tavares et al. 2015). Todas estas alteraciones antropogénicas en la laguna no han sido documentadas, y es importante evaluar su relación con la composición y la diversidad de las aves acuáticas a escala espaciotemporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La laguna de las Ilusiones (Fig. 1) se localiza en la zona centro-norte de la ciudad de Villahermosa, Tabasco (Secretaría de Gobierno 2019), en la zona metropolitana de Villahermosa (Hansen et al. 2007). Esta laguna se ubica en la planicie del río Grijalva (Secretaría de Gobierno 2019) y su área corresponde a 259.2 ha, con un perímetro de 41.0 km,

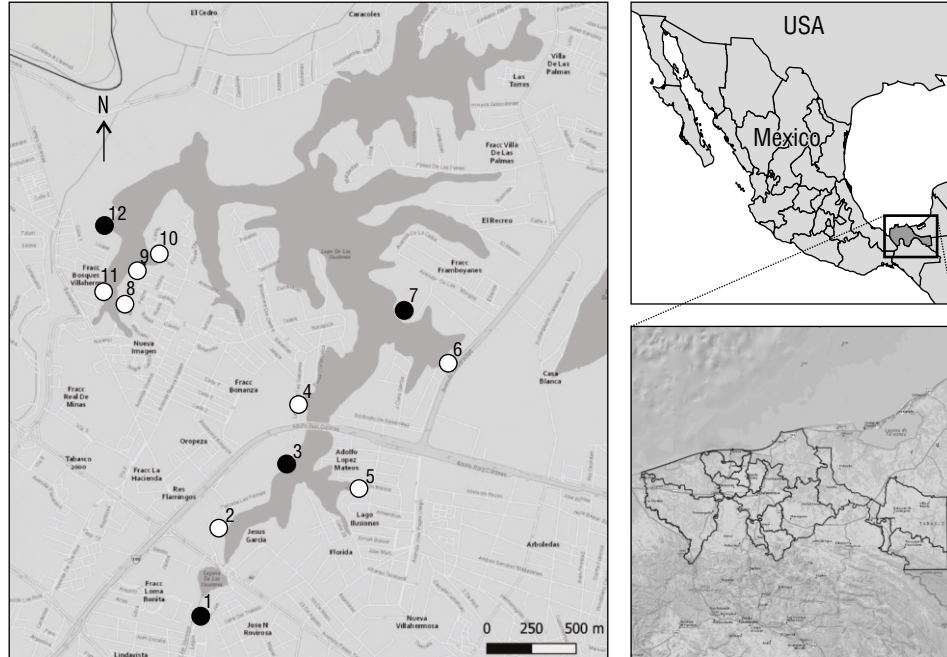


Figure 1. Map of the location of Laguna de las Ilusiones, Villahermosa, Tabasco, Mexico, and the location of the 12 monitoring sites. The black color indicates the non-urbanized sites (1, 3, 7, and 12); the white color, the urbanized sites (2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, and 11).

Figura 1. Mapa de la localización de la laguna de las Ilusiones, Villahermosa, Tabasco, México, donde se ubican los 12 sitios de monitoreo. El color negro indica los sitios no urbanizados (1, 3, 7 y 12), y el color blanco, los sitios urbanizados (2, 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11).

and precipitation of 28.1 °C and 233.8 mm, respectively (Secretaría de Gobierno 2019). There are 3 distinguishable seasons: rainy (June–November), nortes (December–March), and dry (April–June) (van Der Wal et al. 2012). The present study was carried out in 2020; during the months of strict quarantine due to the pandemic (April, May, June, and July), the necessary samplings could not be carried out, so the monitoring was reduced to 2 seasons: dry (January, February, and March) and rainy (August, September, October, November, and December).

The main sources of water are runoff and precipitation because of the isolation with its tributary, the Carrizal River (Hansen et al. 2007, Sánchez et al. 2019). The depth determined in this study varied from 0.50 to 2.80 m (average 1.86 m). The physicochemical parameters were taken at less than 0.50-m depth. The Cencali basin, located in Laguna de las Ilusiones, is one of the areas most affected by urban runoff and wastewater discharges (Hansen et al. 2007), where, according to ecotoxicological studies of the sediments, more than 65% of the aquatic life in the ecosystem is affected (Hansen et al. 2007).

Of the riparian vegetation, the tree species *Andira galeottiana* Standl., *Inga vera* Willd., and *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn dominated. The hydrophilic vegetation is dominated by *Typha latifolia* L., *Pontederia sagittata* C. Presl, and *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Secondary vegetation consists mainly of *Hampea rovirosae* Standl., *Tabernaemontana alba* Mill., and *Malvaviscus arboreus* Cav.

aproximadamente (Magaña 1988, Ricárdez-de la Cruz et al. 2016). Predomina el clima cálido-húmedo, con temperatura y precipitación media anual de 28.1 °C y 233.8 mm, respectivamente (Secretaría de Gobierno 2019). Temporalmente, se distinguen 3 periodos: lluvias (junio-noviembre), nortes (diciembre-marzo) y secas (abril-junio) (van Der Wal et al. 2012). El presente estudio se realizó en 2020, y durante los meses de cuarentena estricta por la pandemia (abril, mayo, junio y julio), no se pudieron realizar los muestreos necesarios, por lo que los monitoreos se redujeron a 2 temporadas: secas (enero, febrero y marzo) y lluvias (agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre).

Las principales fuentes de agua son el escurrimiento y la precipitación debido al aislamiento con su tributario, el río Carrizal (Hansen et al. 2007, Sánchez et al. 2019). La profundidad determinada en este estudio varió de 0.50 a 2.80 m (promedio 1.86 m). Los parámetros fisicoquímicos se tomaron a menos de 0.50 m de profundidad. El vaso Cencali, que se encuentra dentro de la laguna de las Ilusiones, es una de las zonas más afectadas por los escurrimientos urbanos y las descargas de aguas residuales (Hansen et al. 2007), donde según estudios ecotoxicológicos de los sedimentos, la vida acuática del ecosistema está afectada en más del 65% (Hansen et al. 2007).

De la vegetación ribereña, destacan las especies arbóreas *Andira galeottiana* Standl., *Inga vera* Willd. y *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. La vegetación hidrófila está dominada por *Typha latifolia* L., *Pontederia sagittata* C. Presl y

Among the introduced species, *Cocos nucifera* L. stands out (Secretaría de Gobierno 2019); in addition, there are grass-land species such as *Panicum maximum* Jacq. and *Paspalum virgatum* L. (Magaña 1988). The lagoon's representative aquatic fauna includes manatees (*Trichechus manatus* Linnaeus), Morelet's crocodiles (*Crocodylus moreletii* Duméril and Bibron) (Secretaría de Gobierno 2019), twoband cichlids (*Vieja bifasciata* Steindachner), and firemouth cichlids (*Thorichthys meeki* Brind) (Sánchez et al. 2019).

Bird sampling

Depending on their accessibility, 12 bird sampling sites were selected around the lagoon. The sites were separated by a distance of approximately 500.0 m (Ralph et al. 1996). Sightings were made on 2 consecutive days per month, and 2 contrasting climatic seasons were covered, the dry season (January, February, and March 2020) and the rainy season (August, September, October, November, and December 2020).

The fixed-point count method was used (Ralph et al. 1996). At each site, a count point was established without prefixing a radius, where all the individuals of each species seen were recorded for 15 min. Only birds perched on a surface of the habitat (natural element, water surface, or urban structure) were recorded, and birds in flight were not considered (Salido 2000). The sampling time was between 6:00 A.M. and 11:00 A.M., and binoculars (10 × 42 mm) were used to identify the birds.

We used the guides by Howell and Webb (1995), National Geographic (Dunn 2006), and Peterson and Chalif (2008) to identify the organisms recorded. The nomenclature and systematic arrangement of the species were determined according to the AOU (1998), currently the American Ornithological Society, and the supplements published in *The Auk: An International Journal of Ornithology*, such as 62 (Chesser 2021), 2009-C-2, 2010-C-9, and 2013-C-4. We based the classification of the feeding guilds of the recorded species on Arriaga-Weiss et al. (2008) and Wilman et al. (2014). The conservation status of the species was drawn from the NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010). The temporality of the species was described according to Ruiz-Campos et al. (2005).

We calculated the community attributes using various ecological indices. We used the Chao2 index, which has minimal bias with small samples (Moreno 2001), and the Simpson dominance indices (Moreno 2001) for alpha diversity and the Bray–Curtis species similarity index for beta diversity, both between sites and between sampling months. To determine the species that typify the avian community, the biological value index proposed by Sanders (1960) was used; this considers the importance of species in terms of their abundance and spatiotemporal frequency.

At each site, we characterized landscape urbanization variables, physicochemical parameters of the lagoon, and the type

Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud. La vegetación secundaria se compone principalmente de *Hampea rovirosae* Standl., *Tabernaemontana alba* Mill. y *Malvaviscus arboreus* Cav. Entre las especies introducidas, sobresale *Cocos nucifera* L. (Secretaría de Gobierno 2019); también se encuentran especies de pastizal como *Panicum maximum* Jacq. y *Paspalum virgatum* L. (Magaña 1988). La fauna acuática representativa de la laguna incluye el manatí (*Trichechus manatus* Linnaeus) y el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii* Duméril y Bibron) (Secretaría de Gobierno 2019), así como la mojarra colorada (*Vieja bifasciata* Steindachner) y la mojarrita boca de fuego (*Thorichthys meeki* Brind) (Sánchez et al. 2019).

Muestreo de aves

Se seleccionaron 12 sitios de muestreo de aves de acuerdo con su disponibilidad de acceso alrededor de la laguna, mismos que estuvieron separados entre sí por una distancia aproximada de 500.0 m (Ralph et al. 1996). Los avistamientos se realizaron 2 días consecutivos por mes y se cubrieron 2 temporadas climáticas contrastantes, la de secas (enero, febrero y marzo de 2020) y la de lluvias (agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2020).

Se usó el método de conteo por punto fijo (Ralph et al. 1996). En cada sitio se estableció un punto de conteo sin prefiar un radio, en donde se registraron todos los individuos de cada especie vista durante 15 min. Sólo se registraron las aves posadas sobre alguna superficie del hábitat (elemento natural, superficie del agua o estructura urbana), y no se consideraron las aves en vuelo (Salido 2000). El horario de muestreo fue entre las 6:00 A.M. y las 11:00 A.M., y se utilizaron binoculares (10 × 42 mm) para la ayuda en la identificación de las aves.

En la identificación de los organismos registrados se usó el apoyo de las guías de Howell y Webb (1995), National Geographic (Dunn 2006) y Peterson y Chalif (2008). La nomenclatura y el arreglo sistemático de las especies se determinaron de acuerdo con la AOU (1998), actualmente American Ornithological Society, y los suplementos publicados en *The Auk: An International Journal of Ornithology*, como el 62 (Chesser 2021), 2009-C-2, 2010-C-9 y 2013-C-4. La clasificación de los gremios alimenticios de las especies registradas se basó en Arriaga-Weiss et al. (2008) y Wilman et al. (2014). El estatus de conservación de las especies fue basado en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010). La temporalidad de las especies fue descrita de acuerdo con Ruiz-Campos et al. (2005).

Los atributos de la comunidad considerados fueron calculados mediante varios índices ecológicos. Para la diversidad alfa, se emplearon el índice Chao2, que tiene un sesgo mínimo con muestras pequeñas (Moreno 2001), y los índices de dominancia de Simpson (Moreno 2001). Para la diversidad beta, se empleó el índice de similitud de especies de Bray-Curtis, tanto entre sitios como entre meses de muestreo.

of vegetation at the same time of day that the bird sightings took place, but with a one-day difference (Bolduc and Afton 2004). The estimated urbanization variables were the following: number of people in transit per minute (Germain et al. 2008), number of cars in circulation per minute (Germain et al. 2008), number and height of neighboring buildings within a radius of 20.0 m (Traut and Hostetler 2004), and the number of surrounding streets (Rojas et al. 2015) with their distance from the site. The categorization of landscape urbanization variables was verified in the field and represented using the QGIS v.3.16.13 software (Qgis 2021). Likewise, we determined the percentage of urbanization at each site with these 6 variables and with the number of trees, number of shrubs, and the type of cover (Fig. 1).

Land vegetation and aquatic vegetation were recorded within a radius of 5.0 m from the shore and estimated as a percentage. Likewise, the trees were counted and the percentage of tree cover was measured in a radius of 20.0 m (Germain et al. 2008), with GRS and spherical densiometers. Land vegetation was classified as tree canopy (hereafter *canopy*, >3.0 m height), underbrush (<0.5 m height), or grass (surface with native or induced grass) (Traut and Hostetler 2004). In addition, each tree and shrub were quantified; for grass, the proportion was calculated according to the surface covered in a radius of 20.0 m around the site. Aquatic vegetation was classified into floating, tall emergent (>1.0 m tall), and low emergent (<1.0 m tall) (Traut and Hostetler 2004). Finally, the type of substrate (structure or element of the habitat) on which each bird was found was recorded.

Landscape macrohabitats adjacent to the sampling sites were taken into account considering the following criterion: distinctive characteristics of the vegetation associations of the study area represent the landscape units (Murrieta-Galindo et al. 2013). According to the above, 3 macrohabitats were distinguished: (a) underbrush (sites with average values greater than 70% of area covered by underbrush); (b) boundary between trees and grass (sites with average values greater than 30% canopy, greater than 10% grass, less than 70% underbrush, and less than 70% aquatic vegetation); and (c) aquatic vegetation (sites with average values greater than 70% aquatic vegetation).

The physicochemical variables of the water of the lagoon were recorded in situ once per season (dry: January 2020; rainy: December 2020). To measure the depth in meters, a Hondex PS-7 echo sounder was used. Hydrogen potential (pH) was measured with a Hanna HI98107 portable potentiometer. The water temperature was recorded in degrees Celsius with a mercury thermometer, and the transparency of the water was recorded in meters with a Secchi disk (INVEMAR 2003). The measurements were made at ~1.0 m from the edge of the lagoon. The collection of sediment samples was carried out with the help of a Petersen-type dredge from a boat; to quantify the textural class, the Bouyoucos method was used (Barbeito and Bono 2006).

Para determinar las especies que tipifican la comunidad aviar, se utilizó el índice de valor biológico propuesto por Sanders (1960), el cual considera la importancia de las especies en términos de abundancia y frecuencia espaciotemporal de las especies.

En cada sitio se caracterizaron variables de urbanización del paisaje, parámetros fisicoquímicos de la laguna y el tipo de vegetación en el mismo horario de los avistamientos de aves, pero con un día de diferencia (Bolduc y Afton 2004). Las variables de urbanización estimadas fueron las siguientes: número de personas en tránsito por minuto (Germain et al. 2008), número de autos en circulación por minuto (Germain et al. 2008), número y altura de edificios aledaños en un radio de 20.0 m (Traut y Hostetler 2004), número de calles aledañas (Rojas et al. 2015) y su distancia al sitio. La categorización de variables de urbanización del paisaje se verificó en campo y se representó mediante el *software* QGIS v.3.16.13 (Qgis 2021). Asimismo, se determinó el porcentaje de urbanización de cada sitio con estas 6 variables y el número de árboles, el número de arbustos y la cobertura (Fig. 1).

Se registró la vegetación terrestre y la vegetación acuática en un radio de 5.0 m desde la orilla, y se estimó en porcentaje. Asimismo, se contabilizaron los árboles y se midió el porcentaje de cobertura arbórea en un radio de 20.0 m (Germain et al. 2008), con un densiómetro GRS y uno esférico. La vegetación terrestre se clasificó en dosel arbóreo (solo *dosel* de aquí en adelante, >3.0 m de altura), sotobosque (<0.5 m de altura) o pasto (área con pasto nativo o inducido) (Traut y Hostetler 2004). Además, se cuantificaron cada uno de los árboles y arbustos; para el pasto, se calculó su proporción de acuerdo con el área en un radio de 20.0 m alrededor del sitio. La vegetación acuática se clasificó en tipo flotante, alta emergente (>1.0 m de alto) y baja emergente (<1.0 m de alto) (Traut y Hostetler 2004). Por último, se registró el tipo de sustrato (estructura o elemento del hábitat) en que se encontró cada ave.

Los macrohábitats del paisaje adyacentes a los sitios de muestreo fueron considerados con base en el criterio siguiente: las características distintivas de las asociaciones de vegetación del área de estudio representan las unidades del paisaje (Murrieta-Galindo et al. 2013). Con base en lo anterior, se distinguieron 3 macrohábitats: (a) sotobosque (sitios con valores promedio mayores que el 70% de área cubierta por sotobosque); (b) borde entre arbolado y pasto (sitios con valores promedio mayores que el 30% de dosel, mayores que el 10% de pasto, menores que el 70% de sotobosque y menores que el 70% de vegetación acuática); y (c) vegetación acuática (sitios con valores promedio mayores que el 70% de vegetación acuática).

El registro *in situ* de las variables fisicoquímicas del agua de la laguna se realizó una vez por temporada (secas: enero de 2020; lluvias: diciembre de 2020). Para la medición de la profundidad en metros, se empleó una ecosonda marca Hondex PS-7. El potencial de hidrógeno (pH) se midió

Data analysis

To determine the relationship between anthropogenic, vegetation, and physicochemical variables and the total abundance of species per macrohabitat, the trophic guilds, and the number of species per macrohabitat in the 2 seasons, a canonical analysis was used (Badii et al. 2007) with the statistical package PAST v.3.25 (Hammer et al. 2001).

RESULTS

During the months of monitoring, we recorded a total of 1,134 individuals of 25 waterfowl species belonging to 12 families and 8 orders. Of the species observed, 17 are permanent residents and 8 are seasonal visitors (Table 1). The species with the highest sighting frequency were *Ardea alba*, with 422 individuals; *Egretta thula*, with 180 individuals; and *Butorides virescens*, with 163 individuals. *Spatula discors*, *Aramus guarauna*, and *Thalasseus maximus* were the least common species, with 2 individuals each (Table 2).

Regarding their conservation status, 2 species are listed in the NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010); *Aramus guarauna* is listed as threatened and *Mycteria americana* is subject to special protection (Table 1). The rest of the species are not cataloged in this official standard.

The highest number of sightings ($n = 251$), which were mostly of resident species, was recorded in December 2020, followed by February and March, with 155 and 152 sightings, respectively (Fig. 2). December corresponded to the rainy season; however, the lowest number of sightings was recorded in the rainy season (October, $n = 87$). Site 4 stood out as the site with the greatest number ($n = 246$) of sightings per sampling site (Fig. 3), followed by site 12 ($n = 147$); site 11 had the lowest number of sightings ($n = 21$). The total sampling effort invested in the 8 months of the study represented 96.0% of the accumulation of recorded species according to the Chao 2 estimator (Fig. 4).

There were 2 noteworthy trophic guilds observed for the bird species, piscivores ($n = 19$ species) and omnivores ($n = 6$ species). The piscivorous guild was mainly represented by members of the Pelecanidae, Gruidae, Accipitridae, and Ciconiidae families, whereas the omnivorous guild was represented by members of the Ardeidae and Anatidae families (Table 1).

According to the results obtained with the Shannon index, the waterfowl community showed medium species diversity ($H = 2.18$ bits), whereas the Simpson index indicated low species dominance ($D = 0.19$). Species diversity for each season resulted in medium diversity for the dry season and low species diversity for the rainy season.

In the analysis of species diversity per monitoring site, site 12 had the highest species diversity compared to the remaining sampling sites. Site 4 had the lowest diversity compared to all other sampling sites (Fig. 5). Sites 6 and 7, which were located in the eastern portion of the lagoon, had

con un potenciómetro portátil Hanna modelo HI98107. La temperatura del agua fue registrada en grados centígrados con un termómetro de mercurio, y la transparencia del agua fue registrada en metros con un disco de Secchi (INVMAR 2003). Las anteriores mediciones fueron realizadas a 1.0 m de la orilla de la laguna, aproximadamente. La recolecta de muestras del sedimento se realizó con ayuda de una draga tipo Petersen y desde una lancha; para la cuantificación de su clase textural, se empleó el método de Bouyoucos (Barbeito y Bono 2006).

Análisis de datos

Para determinar la relación de las variables antropogénicas, de vegetación y físicoquímicas en la abundancia total de especies por macrohábitat, los gremios tróficos y el número de especies por macrohábitat en las 2 temporadas, se utilizó un análisis canónico (Badii et al. 2007) con el paquete estadístico PAST v.3.25 (Hammer et al. 2001).

RESULTADOS

Durante los meses de monitoreo, se registró un total de 1,134 individuos de 25 especies de aves acuáticas pertenecientes a 12 familias y 8 órdenes. De las especies observadas, 17 son residentes permanentes y 8 son visitantes estacionales (Tabla 1). Las especies con mayor frecuencia de avistamiento fueron *Ardea alba*, con 422 individuos; *Egretta thula*, con 180 individuos; y *Butorides virescens*, con 163 individuos. *Spatula discors*, *Aramus guarauna* y *Thalasseus maximus* fueron las especies menos comunes, con 2 individuos cada una (Tabla 2).

Con respecto a su estatus de conservación, 2 especies están catalogadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010); *Aramus guarauna* está catalogada como amenazada y *Mycteria americana* está sujeta a protección especial (Tabla 1). El resto de las especies no se encuentra catalogado dentro de esta norma oficial.

El mayor número de avistamientos ($n = 251$), que en su mayoría fueron de especies residentes, se registró en diciembre de 2020, seguido de febrero y marzo, con 155 y 152 avistamientos, respectivamente (Fig. 2). Diciembre correspondió a la temporada de lluvias; no obstante, en la temporada de lluvias se registró la menor cantidad de avistamientos (octubre, $n = 87$). En los avistamientos por sitio de muestreo (Fig. 3), destacó el sitio 4 por su mayor cantidad ($n = 246$), seguido del sitio 12 ($n = 147$); el sitio 11 presentó el menor número de avistamientos ($n = 21$). El total de esfuerzo de muestreo invertido en los 8 meses de estudio representó el 96.0% de acumulación de especies registradas de acuerdo con el estimador Chao 2 (Fig. 4).

Los gremios tróficos de las especies de aves destacados fueron 2, los piscívoros ($n = 19$ especies) y los omnívoros ($n = 6$ especies). El gremio de los piscívoros estuvo representado principalmente por miembros de las familias



Table 1. Record of waterfowl from Laguna de las Ilusiones during the dry season and the rainy season of 2020, where the abundance column indicates the number of individuals recorded for each species. The records indicate the number of months in which each species was recorded. Seasonality is classified as Rp = permanent resident and Ve = seasonal visitor; the NOM-059 classification is A = threatened and Pr = subject to special protection. The last column indicates the classification of the red list of the International Union for Conservation of Nature (IUCN R.L.), where all species are categorized as LC = least concern.

Tabla 1. Registro de aves acuáticas de la laguna de las Ilusiones durante la época de lluvias de 2020, donde la columna de abundancia indica el número de individuos registrados por cada especie. Los registros indican el número de meses en los que se registró cada especie. La estacionalidad está clasificada como Rp = residente permanente y Ve = visitante estacional; la clasificación de la NOM-059 es A = amenazada y Pr = sujeta a protección especial. La última columna indica la clasificación de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN R.L.), por sus singlas en inglés), donde todas las especies se encuentran dentro de la categoría LC = preocupación menor.

| Order | Family | Species | AOS name | Abundance | Records | Food guild | Seasonality | NOM-059 | IUCN R.L. |
|-----------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------|---------|------------|-------------|---------|-----------|
| Anseriformes | Anatidae | <i>Dendrocygna autumnalis</i> | Black-bellied W histling-duck | 25 | 6 | Omnivore | Rp | | LC |
| Anseriformes | Anatidae | <i>Spatula discors</i> | Blue-winged Teal | 2 | 1 | Omnivore | Ve | | LC |
| Ciconiiformes | Ciconiidae | <i>Mycteria americana</i> | Wood Stork | 3 | 2 | Piscivore | Ve | Pr | LC |
| Suliformes | Phalacrocoracidae | <i>Nannopterum brasilianum</i> | Neotropic Cormorant | 54 | 8 | Piscivore | Rp | | LC |
| Suliformes | Anhingidae | <i>Anhinga anhinga</i> | Anhinga | 24 | 6 | Piscivore | Rp | | LC |
| Pelecaniformes | Pelecanidae | <i>Pelecanus occidentalis</i> | Brown Pelican | 6 | 2 | Piscivore | Ve | | LC |
| Pelecaniformes | Ardeidae | <i>Ardea herodias</i> | Great Blue Heron | 22 | 7 | Piscivore | Rp | | LC |
| Pelecaniformes | Ardeidae | <i>Ardea alba</i> | Great Egret | 422 | 8 | Piscivore | Rp | | LC |
| Pelecaniformes | Ardeidae | <i>Egretta thula</i> | Snowy Egret | 180 | 8 | Omnivore | Rp | | LC |
| Pelecaniformes | Ardeidae | <i>Egretta caerulea</i> | Little Blue Heron | 12 | 5 | Piscivore | Rp | | LC |
| Pelecaniformes | Ardeidae | <i>Egretta tricolor</i> | Tricoloured Heron | 17 | 5 | Piscivore | Rp | | LC |
| Pelecaniformes | Ardeidae | <i>Butorides virescens</i> | Green Heron | 163 | 8 | Piscivore | Rp | | LC |
| Pelecaniformes | Ardeidae | <i>Nycticorax nycticorax</i> | Little Blue Heron | 54 | 8 | Piscivore | Rp | | LC |
| Pelecaniformes | Ardeidae | <i>Nyctanassa violacea</i> | Yellow-crowned Night-heron | 2 | 2 | Piscivore | Ve | | LC |
| Accipitriformes | Pandionidae | <i>Pandion haliaetus</i> | Osprey | 2 | 2 | Piscivore | Ve | | LC |
| Gruiformes | Aramidae | <i>Aramus guarana</i> | Limpkin | 2 | 1 | Omnivore | Rp | A | LC |
| Charadriiformes | Jacaniidae | <i>Jacana spinosa</i> | Northern Jacana | 22 | 7 | Omnivore | Rp | | LC |
| Charadriiformes | Scolopacidae | <i>Actitis macularia</i> | Spotted Sandpiper | 12 | 6 | Piscivore | Rp | | LC |
| Charadriiformes | Scolopacidae | <i>Calidris minutilla</i> | Least Sandpiper | 3 | 3 | Piscivore | Ve | | LC |

Table 1 (Cont.)

| Order | Family | Species | AOS name | Abundance | Records | Food guild | Seasonality | NOM-059 | IUCN R.L. |
|-----------------|-------------|-------------------------------|-------------------|-----------|---------|------------|-------------|---------|-----------|
| Charadriiformes | Laridae | <i>Leucophaeus atricilla</i> | Laughing Gull | 27 | 5 | Piscivore | Rp | | LC |
| Charadriiformes | Laridae | <i>Hydroprogne caspia</i> | Caspian Tern | 16 | 3 | Piscivore | Ve | | LC |
| Charadriiformes | Laridae | <i>Thalasseus maximus</i> | Royal Tern | 2 | 1 | Piscivore | Ve | | LC |
| Coraciiformes | Alcedinidae | <i>Megasceryle torquata</i> | Ringed Kingfisher | 18 | 6 | Piscivore | Rp | | LC |
| Coraciiformes | Alcedinidae | <i>Chloroceryle amazona</i> | Amazon Kingfisher | 17 | 5 | omnivore | Rp | | LC |
| Coraciiformes | Alcedinidae | <i>Chloroceryle americana</i> | Green Kingfisher | 27 | 7 | Piscivore | Rp | | LC |

Table 2. Scores obtained from the biological value index (BVI) for the 8 months of monitoring (dry and rainy seasons) of the aquatic birds of Laguna de las Ilusiones. IMP/BVI corresponds to the order of importance according to the BVI score; IMB/ABT, the order of importance according to the value of total abundance; and ABT, the total abundance by species. **Table 2.** Puntajes obtenidos del índice de valor biológico (BVI) entre los 8 meses de monitoreo (época de secas y lluvias) de las aves acuáticas de la laguna de las Ilusiones. IMP/BVI corresponde al orden de importancia de acuerdo con el puntaje de BVI; IMB/ABT, al orden de importancia de acuerdo con el valor de abundancia total; y ABT, la abundancia total por especie.

| Species | Score matrix | | | | | | | | IMP | | | |
|--------------------------------|--------------|----------|-------|--------|-----------|---------|----------|----------|-----|------|-----|-----|
| | January | February | March | August | September | October | November | December | BVI | IBVI | ABT | |
| <i>Ardea alba</i> | 9 | 11 | 6 | 5 | 6 | 6 | 9 | 3 | 55 | 1 | 1 | 422 |
| <i>Egretta thula</i> | 8 | 10 | 5 | 4 | 5 | 5 | 8 | 2 | 47 | 2 | 2 | 180 |
| <i>Butorides virescens</i> | 7 | 9 | 4 | 3 | 4 | 4 | 7 | 1 | 39 | 3 | 3 | 163 |
| <i>Nannopterum brasilianum</i> | 6 | 8 | 3 | 2 | 3 | 3 | 6 | 0 | 31 | 4 | 4 | 54 |
| <i>Nycticorax nycticorax</i> | 5 | 7 | 2 | 1 | 2 | 2 | 5 | 0 | 24 | 5 | 4 | 54 |
| <i>Leucophaeus atricilla</i> | 5 | 6 | 1 | 0 | 1 | 2 | 5 | 0 | 20 | 6 | 5 | 27 |

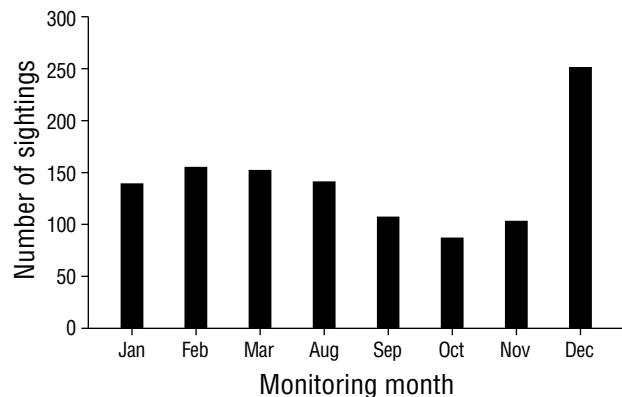


Figure 2. Sightings of waterfowl in Laguna de las Ilusiones, where the x-axis shows the months of bird monitoring, and the y-axis, the number of waterfowl sightings observed during 2020 ($n = 1,134$).

Figura 2. Avistamientos de aves acuáticas dentro de la laguna de las Ilusiones, donde el eje x muestra los meses de monitoreo de aves, y el eje y, el número de avistamientos de aves acuáticas observadas durante 2020 ($n = 1,134$).

the highest species similarity, with a value of 76.0% (Fig. 6). The pairs of sites 5-9 and 6-10 had values of 69.0% and 68.0%, respectively. In seasonal terms, the rainy season had the highest similarity of species; November and October had the greatest similarity (78.0%), followed by September and August (77.7%) and October and September (77.3%) (Fig. 7).

Considering the biological value index, the 6 most representative species, both in abundance and in their seasonal presence (dry and rainy), were *Ardea alba*, *E. thula*, *B. virescens*, *Nannopterum brasilianum*, *Nycticorax nycticorax*, and *Leucophaeus atricilla* (Tabla 2). The abundance of *Ardea alba* stood out with the first place in December (69.3%), followed by the abundance of *E. thula* in March (32.2%), and *B. virescens* in November (23.3%).

Pelecanidae, Gruidae, Accipitridae y Ciconiidae, mientras que el de los omnívoros estuvo representado por miembros de las familias Ardeidae y Anatidae (Tabla 1).

De acuerdo con los resultados obtenidos con el índice de Shannon, la comunidad de aves acuáticas presentó una diversidad media de especies ($H = 2.18$ bits), mientras que el índice de Simpson indicó una dominancia escasa de especies ($D = 0.19$). La diversidad de especies para cada temporada resultó en una diversidad media para la temporada de secas y una escasa diversidad de especies para la temporada de lluvias.

Para la diversidad de especies en cada sitio de monitoreo, el sitio 12 presentó la diversidad de especies mayor en comparación con los restantes sitios de muestreo. El sitio 4 resultó con la menor diversidad en contraste con todos los sitios de muestreo (Fig. 5). La similitud de especies fue mayor entre los sitios 6 y 7, ubicados en la porción este de la laguna, con un valor del 76.0% (Fig. 6). Las parejas de los sitios 5-9 y 6-10 registraron valores del 69.0% y 68.0%, respectivamente. En términos temporales, la temporada de lluvias registró la similitud mayor de especies, pues se obtuvo una similitud mayor entre noviembre y octubre (78.0%), seguido de septiembre y agosto (77.7%) y de octubre y septiembre (77.3%) (Fig. 7).

Con base en el índice de valor biológico, las 6 especies más representativas, tanto en abundancia como en su presencia temporal (secas y lluvias), fueron *Ardea alba*, *E. thula*, *B. virescens*, *Nannopterum brasilianum*, *Nycticorax nycticorax* y *Leucophaeus atricilla* (Tabla 2). La abundancia de *Ardea alba* destacó con el primer lugar en diciembre (69.3%), seguida de la abundancia de *E. thula* en marzo (32.2%) y *B. virescens* en noviembre (23.3%).

De acuerdo con las variables urbanísticas registradas, en el sitio 3 transitó el mayor número de personas (9 personas \cdot min^{-1}). La mayor cantidad de tránsito de autos se registró

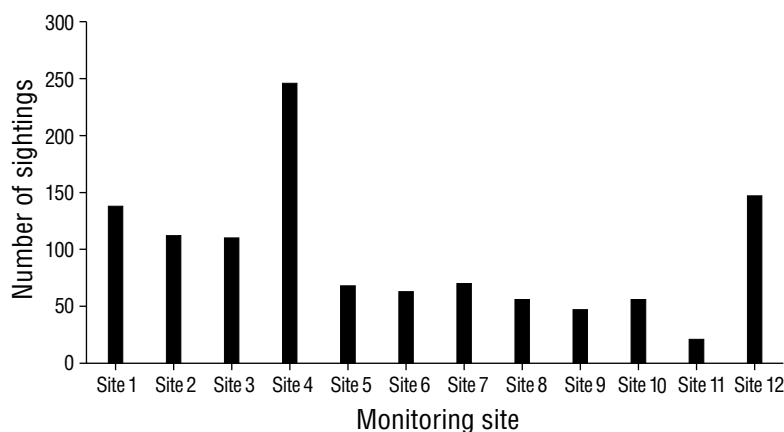


Figure 3. Sightings of waterfowl in Laguna de las Ilusiones, where the x-axis shows the bird monitoring sites and the y-axis shows the number of waterfowl sightings observed during 2020 ($n = 1,134$).

Figura 3. Avistamientos de aves acuáticas dentro de la laguna de las Ilusiones, donde el eje x muestra los sitios de monitoreo de aves, y el eje y, el número de avistamientos de aves acuáticas observadas durante 2020 ($n = 1,134$).

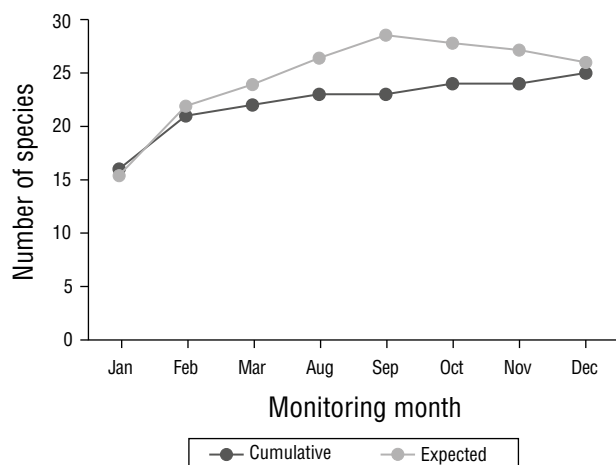


Figure 4. Species accumulation curve. Calculated data and expected data are shown, according to the Chao 2 estimator for the waterfowl of Laguna de las Ilusiones monitored during the dry and rainy seasons of 2020.

Figura 4. Curva de acumulación de especies. Se muestran los datos calculados y los datos esperados, de acuerdo con el estimador Chao 2, sobre las aves acuáticas de la laguna de las Ilusiones, monitoreadas durante la época de secas y de lluvias de 2020.

According to the urban variables recorded, site 3 had the highest number of people (9 people·min⁻¹). The highest amount of car traffic was recorded for site 6 (51 cars·min⁻¹). The greatest distance from surrounding streets was observed at site 12 (250.0 m). Sites 2 and 12 (91.6%) had the highest percentage of tree cover. Site 11 had the highest number of buildings (15). Houses with a height less than 5.0 m represented 8.3% of the cover, and houses with a height greater than 5.0 m represented 75.0% of the cover; 16.5% of the remaining cover had no buildings around it. Of the total number of sites monitored, sites 1, 3, 7, and 12 had an urbanization percentage of less than 50.0%, whereas sites 2, 4–6, and 8–11 added to more than 50.0% of urbanization.

Land vegetation at sites 3 and 10 had the highest presence of canopy (80.0%). Site 3 had the highest presence of underbrush (30.0%). Site 12 had the highest percentage of grass, with 65.0%. Regarding aquatic vegetation, site 12 was the only one that had floating leaves and tall emergent vegetation, with 10.0% of both types of hydrophytes. The highest percentage of low emergent vegetation was also observed at site 12 (10.0%), followed by site 6 (5.0%) and site 3 (3.0%), whereas the remaining sites did not show any type of aquatic vegetation. Site 4 had the highest number of trees (40 trees), in contrast to site 3, which had the highest number of shrubs (30 shrubs).

Aquatic vegetation (site 12) was the macrohabitat with the highest record of species (17), and this site also had the least amount of urbanization characteristics compared to the other sampling sites. However, the largest record of individuals (877) was obtained in the canopy-grass macrohabitat

para el sitio 6 (51 autos·min⁻¹). La mayor distancia de calles aledañas se observó en el sitio 12 (250.0 m). Los sitios que presentaron un mayor porcentaje de cobertura arbórea fueron el 2 y el 12 (91.6%). El sitio 11 tuvo la mayor cantidad de edificios (15). El 8.3% de la cobertura correspondió a casas con una altura menor que 5.0 m; el 75.0% de la cobertura correspondió a casas con una altura mayor que 5.0 m; y el 16.5% de la cobertura restante no presentó edificios a su alrededor. Del total de sitios monitoreados, los sitios 1, 3, 7 y 12 presentaron un porcentaje de urbanización menor que el 50.0%, mientras que los sitios 2, 4–6 y 8–11 sumaron más del 50.0% de urbanización.

La vegetación terrestre en los sitios 3 y 10 resultó con la mayor representación del dosel (80.0%). En el sitio 3 hubo una mayor representación del sotobosque (30.0%). El sitio 12 tuvo el mayor porcentaje de pasto, con un 65.0%. Respecto a la vegetación acuática, el sitio 12 fue el único que presentó hojas flotantes y vegetación alta emergente, con el 10.0% de ambos tipos de hidrófitas. El sitio 12 también presentó el mayor porcentaje de vegetación baja emergente (10.0%), seguido del sitio 6 (5.0%) y el sitio 3 (3.0%), mientras que los sitios restantes no presentaron ningún tipo de vegetación acuática. El sitio 4 presentó la mayor cantidad de árboles (40 árboles), en contraste con el sitio 3, el cual presentó la mayor cantidad de arbustos (30 arbustos).

El macrohábitat que presentó los mayores registros de especies (17) correspondió al de la vegetación acuática (sitio 12), mismo sitio con características de urbanización menores en contraste con los restantes sitios de muestreo. Sin embargo, en el macrohábitat dosel-pasto (sitios 1–2 y 4–11) se obtuvo el mayor registro de individuos (877) (Fig. 8). En el macrohábitat de sotobosque (sitio 3), la mayoría de los individuos registrados usaron sustratos artificiales, y en el macrohábitat de vegetación acuática (sitio 12), la mayoría de los individuos hicieron mayor uso de sustratos naturales (Fig. 8). En el macrohábitat de vegetación acuática (sitio 12) fue registrada la mayor cantidad de especies que hacen uso de sustratos naturales; igualmente, el macrohábitat de dosel-pasto cuenta con una mayor presencia de aves con preferencia al sustrato natural y una escasa profundidad del agua (Fig. 9). En el macrohábitat de sotobosque la mayoría de las especies de aves prefieren usar el sustrato artificial (Fig. 9).

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, el pH del agua se mantuvo de ligeramente básico a básico (7.7–8.9) en todos los sitios de monitoreo, así como en ambas temporadas. Durante la época de secas, la temperatura más alta del agua de la laguna fue registrada en el sitio 5 (25.90 °C); mientras que la mayor transparencia se registró en el sitio 6 (0.47 m), el sitio 7 fue el más profundo (2.80 m). Durante la época de lluvias, la temperatura mayor se registró en los sitios 5 y 7 (25.00 °C); en cuanto a la transparencia, en los sitios 4 y 7 se obtuvo la medida más alta (0.60 m), y la profundidad fue mayor en el sitio 7 (2.60 m) y la menor en el sitio 1 (0.50 m).

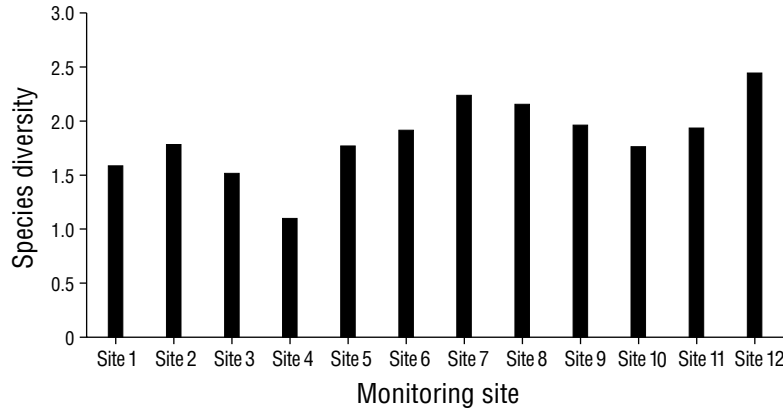


Figure 5. Diversity of waterfowl species in Laguna de las Ilusiones at the 12 sites monitored during the year 2020.

Figura 5. Diversidad de especies de aves acuáticas dentro de la laguna de las Ilusiones en los 12 sitios monitoreados durante el año 2020.

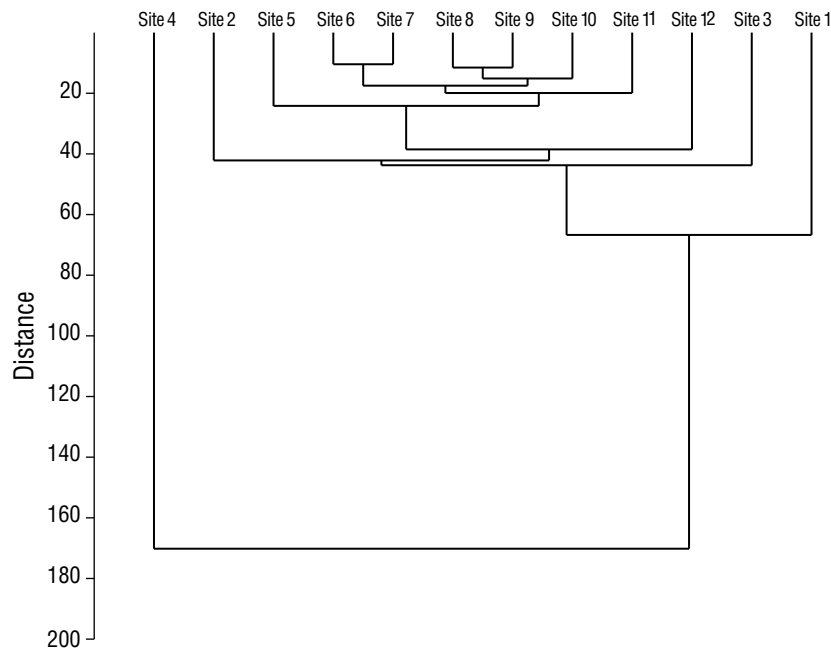


Figure 6. Similarity between waterfowl monitoring sites in Laguna de las Ilusiones, within the monitoring points, during the dry season and the rainy seasons in 2020.

Figura 6. Similitud entre sitios de monitoreo de aves acuáticas de la laguna de las Ilusiones, dentro de los puntos de monitoreo, durante la época de secas y la época de lluvias en 2020.

(sites 1-2 and 4-11) (Fig. 8). In the underbrush macrohabitat (site 3), most of the recorded individuals used artificial substrates; in the aquatic vegetation macrohabitat (site 12), most of the individuals made greater use of natural substrates (Fig. 8). The aquatic vegetation macrohabitat (site 12) had the largest number of species that made use of natural substrates; like the canopy-grass macrohabitat, it had a greater presence of birds that preferred natural substrates and a shallow water depth (Fig. 9). In the underbrush macrohabitat, most bird species preferred artificial substrates (Fig. 9).

De acuerdo con el análisis de correlación canónica, los datos se ajustaron al modelo de correlación en un 100%. Este análisis resultó en que los sitios 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9 y 11 están más relacionados a las aves piscívoras y asociados con el porcentaje de urbanización alto (>39.0%) (Fig. 10). El gremio de las aves omnívoras presentes en los sitios 3, 6, 10 y 12 resultaron con una asociación mayor con la vegetación terrestre (100%), con la mayor cobertura de vegetación acuática (>3.0%) y profundidad media (1.80-2.10 m). El sitio 12 registró la mayor relación con el pH básico (8.9), el menor

Regarding the physicochemical parameters, the pH of the water remained from slightly basic to basic (7.7–8.9) in all monitoring sites and in both seasons. In the dry season, the highest water temperature in the lagoon was recorded at site 5 (25.90 °C); while the greatest transparency was recorded at site 6 (0.47 m), site 7 was the deepest (2.80 m). In the rainy season, the highest temperature was recorded at sites 5 and 7 (25.00 °C); regarding transparency, sites 4 and 7 had the highest measurement (0.60 m), and depth was greatest at site 7 (2.60 m) and the lowest at site 1 (0.50 m).

According to the canonical correlation analysis, the data fit the correlation model by 100%. The results of the analysis indicated that sites 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, and 11 have higher association with piscivorous birds and with a high percentage of urbanization (>39.0%) (Fig. 10). The guild of omnivorous birds at sites 3, 6, 10, and 12 had greater association with land vegetation (100%), the greatest cover of aquatic vegetation (>3.0%), and medium depths (1.80–2.10 m). Site 12 showed the highest association with basic pH (8.9), the lowest percentage of urbanization, and the highest species diversity (Fig. 10).

DISCUSSION

In the avifaunistic community of Laguna de las Ilusiones, the most abundant species during an annual cycle in urbanized and non-urbanized sites were *Ardea alba*, *E. thula*, and *B. virescens*, species with generalist and resident habits. In 3 other lake habitats in the state (Valdez-Leal et al. 2015), *Ardea alba* has also been reported among the most common species.

In this study, 8.0% of the species recorded are cataloged in the Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT 2010), where *Aramus guarauna* stands out in the threatened category and *Mycteria americana* is subject to special protection. The rest of the species recorded are in the status of least concern on the red list of the International Union for Conservation of Nature (IUCN 2021).

This lagoon is an example of the permanent loss of connectivity with the rivers of a lagoon body caused by urban expansion (Palomeque-de la Cruz et al. 2017, Sánchez et al. 2019). This led to the hypereutrophication of the site, favored the presence of invasive species, and caused the loss of diversity of fish species, which are the main food source for piscivorous waterfowl (Hansen et al. 2007, Sánchez et al. 2019, Salcedo et al. 2022). Of the 2 recorded trophic guilds, piscivorous bird species were more abundant (19) than the omnivorous species (6). This condition could be due to a greater availability of fish, mainly in the coastal lake area, despite the fact that the fish populations in this lagoon are more affected by changes in their ecosystem (Gurnellet et al. 2014, Sánchez et al. 2019).

At sites 3, 6, 10, and 12, a greater association of omnivorous birds was observed (e.g., *Ardea alba*, *B. virescens*, *Nannopterum brasilianum*, and *Nycticorax nycticorax*). An intermediate depth was recorded at these sites. This was

porcentaje de urbanización y la mayor diversidad de especies (Fig. 10).

DISCUSIÓN

En la comunidad avifaunística de la laguna de las Ilusiones, las especies más abundantes durante un ciclo anual en los sitios urbanizados y sin urbanización fueron *Ardea alba*, *E. thula* y *B. virescens*, especies con hábitos generalistas y residentes. En otros 3 hábitats lacustres del estado (Valdez-Leal et al. 2015), también se ha reportado a la especie *Ardea alba* entre las más comunes.

El 8.0% de las especies registradas en este estudio están dentro de la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT 2010), donde destaca en la categoría de amenazada *Aramus guarauna* y en la categoría de sujeta a protección especial *Mycteria americana*; el resto de las especies se encuentra en el estatus de preocupación menor dentro de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN 2021).

La laguna es un ejemplo de la pérdida de conectividad permanente con los ríos de un cuerpo lagunar ocasionada por la expansión urbana (Palomeque-de la Cruz et al. 2017, Sánchez et al. 2019). Esta situación propició la hipereutrofización del sitio, favoreció la presencia de especies invasoras y ocasionó la pérdida de diversidad de especies de peces, que son alimento principal de las aves acuáticas piscívoras (Hansen et al. 2007, Sánchez et al. 2019, Salcedo et al. 2022). Dentro de los 2 gremios tróficos registrados, las especies de aves piscívoras fueron más abundantes (19) que las omnívoras (6). Esta condición podría deberse a una mayor disponibilidad del componente íctico, principalmente en la zona lacustre litoral, a pesar de que las poblaciones de peces en esta laguna están más afectadas por cambios en su ecosistema (Gurnellet et al. 2014, Sánchez et al. 2019).

En los sitios 3, 6, 10 y 12 se observó una mayor asociación de las aves omnívoras (e.g., *Ardea alba*, *B. virescens*, *Nannopterum brasilianum* y *Nycticorax nycticorax*). En estos sitios se registró una profundidad intermedia. Esto fue similar a los resultados del estudio de Castro-Tavares et al. (2015), en el cual se observó que la mayoría de los gremios presentaron una disminución de la abundancia con el aumento en la profundidad del agua.

Las aves piscívoras (e.g., *E. thula*, *Jacana spinosa* y *Chloroceryle amazona*) fueron más abundantes en los sitios 1, 2 y 4. Lo anterior fue asociado con un porcentaje de urbanización medio (50.0%) y una profundidad media (0.50-2.15 m); sin embargo, también se puede asociar con la mortandad alta de peces, que ocurre de forma recurrente en estos sitios (Hansen et al. 2007) y puede atraer a un mayor número de individuos de este gremio. Esta accesibilidad de alimento por los individuos muertos se puede atribuir a las condiciones hipertróficas y los contaminantes (Salcedo et al. 2022).

Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron similares a los estudios de Ruiz-Campos et al. (2005)

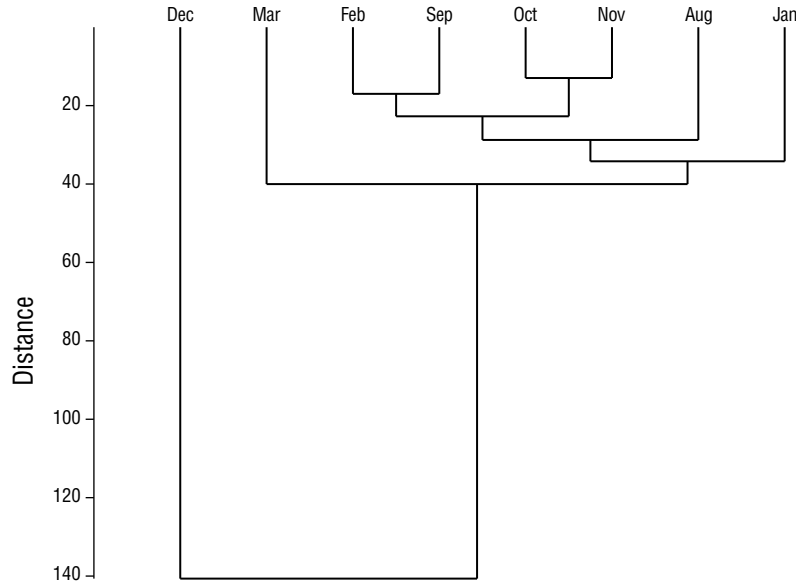


Figure 7. Similarity between months of waterfowl monitoring in Laguna de las Ilusiones during the dry season and the rainy season.

Figura 7. Similitud entre meses de monitoreo de aves acuáticas de la laguna de las Ilusiones durante la época de secas y la época de lluvias.

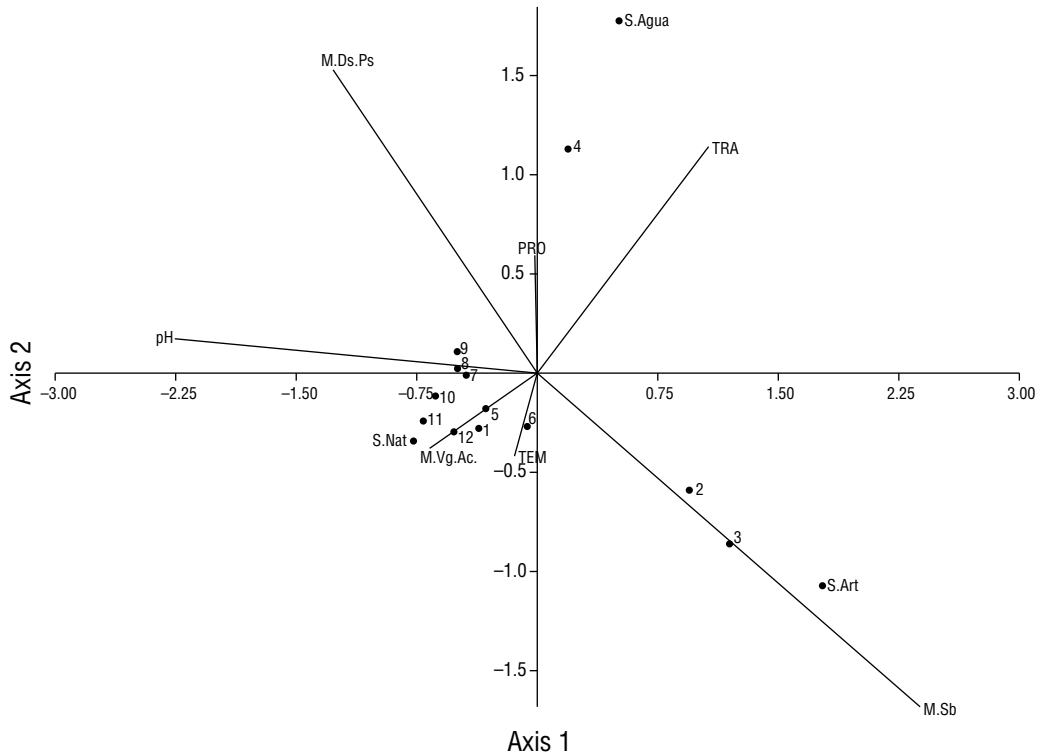


Figure 8. Scatter plot of the canonical correlation between the types of macrohabitats recorded in Laguna de las Ilusiones (letters with the initial M), the physicochemical parameters (capital letters), and the number of individuals of waterfowl on each type of substrate (letters with the initial S) recorded at each monitoring site (numbers from 1 to 12). M.Ds.Ps: canopy-grass macrohabitat; S.Agua: water substrate; TRA: transparency of water; PRO: water depth; TEM: temperature; S.Nat: natural substrate; M.VgAc: aquatic vegetation macrohabitat; M.Sb: underbrush macrohabitat.

Figura 8. Gráfico de dispersión de la correlación canónica entre los tipos de macrohábitats registrados en la laguna de las Ilusiones (letras con la inicial M), los parámetros fisicoquímicos (letras mayúsculas) y el número de individuos de aves acuáticas en cada tipo de sustrato (letras con la inicial S) registrado en cada sitio de monitoreo (números del 1 al 12). M.Ds.Ps: macrohábitat de dosel-pasto; S.Agua: sustrato de agua; TRA: transparencia del agua; PRO: profundidad del agua; TEM: temperatura; S.Nat: sustrato natural; M.VgAc: macrohábitat de vegetación acuática; M.Sb: macrohábitat de sotobosque.

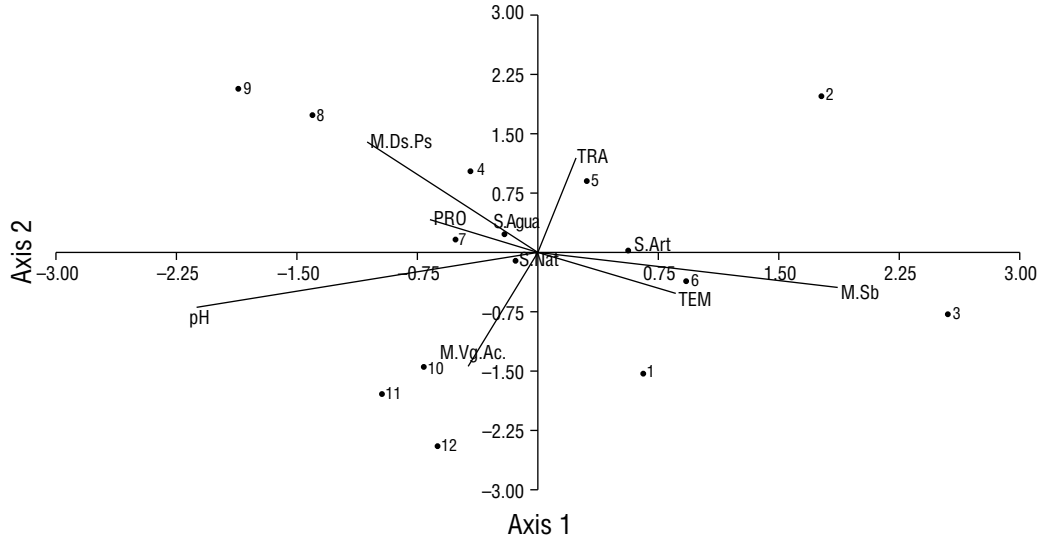


Figure 9. Scatter plot of the canonical correlation between the types of macrohabitats recorded in Laguna de las Ilusiones (letters with the initial M), the physicochemical parameters (capital letters), and the number of waterfowl species on each type of substrate (letters with the initial S) recorded at each monitoring site (numbers from 1 to 12). M.Ds.Ps: canopy-grass macrohabitat; S.Agua: water substrate; TRA: transparency; PRO: depth; TEM: temperature; S.Art: artificial substrate; S.Nat: natural substrate; M.VgAc: aquatic vegetation macrohabitat; M.Sb: underbrush macrohabitat.

Figura 9. Gráfico de dispersión de la correlación canónica entre los tipos de macrohábitats registrados en la laguna de las Ilusiones (letras con la inicial M), los parámetros físico-químicos (letras mayúsculas) y el número de especies de aves acuáticas en cada tipo de sustrato (letras con la inicial S) registrado en cada sitio de monitoreo (números del 1 al 12). M.Ds.Ps: macrohábitat de dosel-pasto; S.Agua: sustrato de agua; TRA: transparencia; PRO: profundidad; TEM: temperatura; S.Art: sustrato artificial; S.Nat: sustrato natural; M.VgAc: macrohábitat de vegetación acuática; M.Sb: macrohábitat de sotobosque.

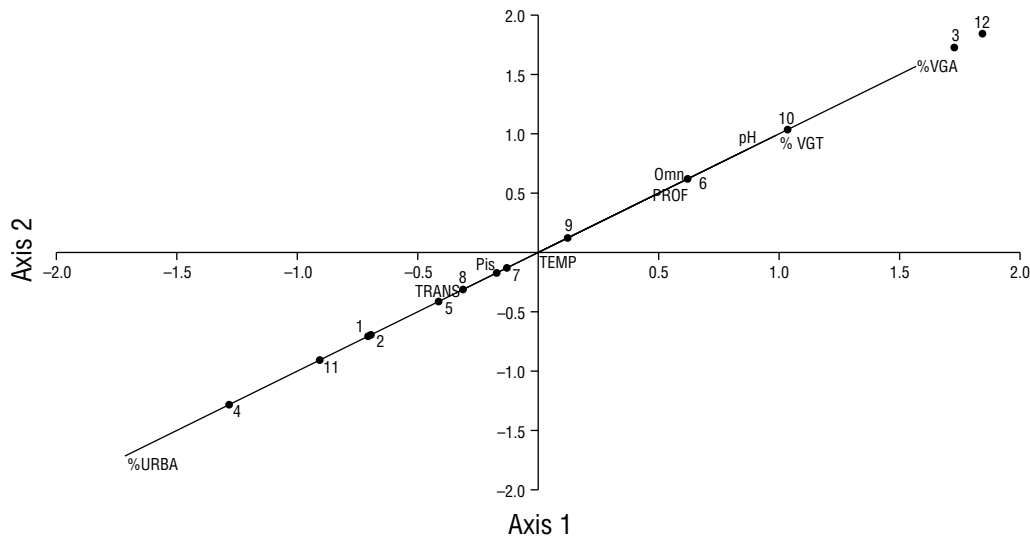


Figure 10. Scatter plot of the canonical correlation between variables (capital letters), waterfowl guilds (Pis = piscivorous, Omn = omnivorous), in Laguna de las Ilusiones, and monitoring sites (numbers). TEMP: water temperature; %VGA: percentage of aquatic vegetation; %VGT: percentage of land vegetation; PROF: water depth; TRANS: transparency of water; URBA: urbanization percentage.

Figura 10. Gráfico de dispersión de la correlación canónica entre variables (mayúsculas), gremios de aves acuáticas (Pis = piscívoras, Omn = omnívoras), en la laguna de las Ilusiones y sitios de monitoreo (números). TEMP: temperatura del agua; %VGA: porcentaje de vegetación acuática; %VGT: porcentaje de vegetación terrestre; PROF: profundidad del agua; TRANS: transparencia del agua; URBA: porcentaje de urbanización.

similar to the results of the study by Castro-Tavares et al. (2015), who observed that most guilds decreased in abundance when water depth increased.

Piscivorous birds (e.g., *E. thula*, *Jacana spinosa*, and *Chloroceryle amazona*) were more abundant at sites 1, 2, and 4. This was associated with a medium percentage of urbanization (50.0%) and medium depths (0.50–2.15 m); however, it can also be associated with high fish mortality, which occurs recurrently at these sites (Hansen et al. 2007) and can attract a greater number of individuals from this guild. This food accessibility by dead individuals can be attributed to hypertrophic conditions and pollutants (Salcedo et al. 2022).

The results obtained in the present study were similar to those in the studies by Ruiz-Campos et al. (2005) and Sánchez-Bon et al. (2010) carried out in coastal wetlands of northwestern Mexico, where a greater number of waterfowl species was reported in the winter months due to the arrival of migratory species. In the present study, the winter months (January to March) corresponded to the dry season. The similarity of species between months was higher during the rainy season because most of the species recorded during this season were permanent residents, unlike in the dry season, when there was a greater dynamism of species due to migration.

The lagoon had medium species diversity and low dominance, despite the fact that the 3 most sighted species represented 67.1% of all the species in the avian community. These were also the most common and representative species of the place, according to the Sanders biological value index.

The greatest similarity of species recorded by the Bray–Curtis index (sites 6 and 7) could be attributed to the fact that these species prefer to visit nearby sites as these sites do not share water physicochemical characteristics or urbanization characteristics. Unlike at sites 6 and 7, the high similarity recorded at sites 5 and 9 could be attributed to similar variables, the influence of a high percentage of urbanization, and low transparency of the water, just like at sites 6 and 10, where characteristics beyond proximity, such as a high percentage of land and aquatic vegetation, moderately alkaline pH, medium depth, and low water temperature could have influenced the species (Andrade et al. 2018).

During both seasons (rainy and dry), 12 species contributed 80.0% of the abundance of individuals in the ornithological community, and of these, the most important were *Ardea alba*, *E. thula*, and *B. virescens*.

The largest number of individuals occurred in February because of the addition of some seasonal species, such as *Nyctanassa violacea*, *Pelecanus occidentalis*, and *Mycteria americana*, which were observed at sites associated with urban areas (sites 8 and 9) and non-urbanized areas (site 12). Both Donaldson et al. (2007) and Burton (2007) pointed out that some species prefer urbanized places because food or vegetation cover for refuge or nesting are more available. In this sense, most bird species in urban environments have developed greater ecological plasticity, which makes

and Sánchez-Bon et al. (2010) realizados en humedales costeros del noroeste de México, donde se reportó un mayor número de especies de aves acuáticas en los meses de invierno debido al arribo de especies migratorias. En el presente estudio, los meses de invierno (enero a marzo) correspondieron a la temporada de secas. La similitud de especies entre meses fue mayor durante la temporada de lluvias debido a que la mayoría de las especies registradas durante esta temporada fueron residentes permanentes, a diferencia de la temporada de secas, donde hubo un mayor dinamismo de especies por migración.

La laguna presentó una diversidad media de especies y una baja dominancia, no obstante que las 3 especies más avistadas representaron el 67.1% de todas las especies presentes en la comunidad aviar. También fueron las especies más comunes y representativas del lugar, de acuerdo con el índice de valor biológico de Sanders.

La mayor similitud de especies registrada por el índice de Bray-Curtis (sitios 6 y 7) puede deberse a que estas especies prefieren visitar sitios cercanos, puesto que no comparten características fisicoquímicas ni de urbanización. A diferencia de los sitios 6 y 7, los sitios 5 y 9 también mostraron una alta similitud, lo cual se podría deber a que mantienen variables similares y están influenciados por el porcentaje de urbanización alto y por la baja transparencia del agua, al igual que los sitios 6 y 10, donde las especies pueden verse influenciadas por características más allá de la cercanía, como un porcentaje de vegetación terrestre alto, porcentaje alto de vegetación acuática, pH medianamente alcalino, profundidad media y baja temperatura del agua (Andrade et al. 2018).

Durante ambas temporadas (lluvias y secas) 12 especies aportaron el 80.0% de la abundancia de individuos en la comunidad ornitológica, y de estas, las más importantes fueron *Ardea alba*, *E. thula* y *B. virescens*.

En febrero se presentó el mayor número de individuos debido a la adición de algunas especies visitantes estacionales, como *Nyctanassa violacea*, *Pelecanus occidentalis* y *Mycteria americana*, las cuales se observaron en sitios asociados a zonas urbanas (sitios 8 y 9) y no urbanizadas (sitio 12). Tanto Donaldson et al. (2007) como Burton (2007) señalaron que algunas especies prefieren lugares urbanizados por presentar una mayor disponibilidad de alimento o de cobertura vegetal para refugio o anidación. En ese sentido, la mayoría de las especies de aves en ambientes urbanos han desarrollado una mayor plasticidad ecológica, que las hace más tolerantes a los cambios ambientales (Abilhoa y Amorin 2017). Sin embargo, las zonas no urbanizadas en la laguna pueden representar refugios y nichos de reproducción para especies sensibles, particularmente durante el periodo de migración e invernada, debido a la ubicación del humedal (Berlanga et al. 2019). En el sitio 12, se observó una mayor diversidad de especies; este sitio se caracterizó por un menor grado de urbanización y una mayor cobertura de vegetación ribereña (100%) y vegetación acuática litoral flotante (30.0%).

them more tolerant to environmental changes (Abilhoa and Amorin 2017). However, undeveloped areas in the lagoon may represent refuges and breeding niches for sensitive species, particularly during the migration and wintering period, given the location of the wetland (Berlanga et al. 2019). At site 12, a greater diversity of species was observed; this site was characterized by lower urbanization and greater coverage of riparian (100%) and floating coastal aquatic vegetation (30.0%).

Of the sampling sites, site 1 had the highest number of sightings of generalist species, as some species respond positively to urbanization and wastewater discharges (Rosa et al. 2003), which have less transparent and deep water. In this regard, Kusch et al. (2008) pointed out that the diversity of aquatic birds in wetlands is related to the fluctuations of the water level.

We observed that the richness of bird species decreased with the proximity to streets and the increase of urbanization adjacent to the sampling sites, which is consistent with what was reported by Abilhoa and Amorin (2017). In this study, site 11, located in the northwest area of the lagoon, was distinguished by a high percentage of urbanization (55.0%) and by the lowest number of species (11) and sightings (21).

Conversely, site 12, located in the northeast area of the lagoon, had the highest number of species (17), which could be associated with the greater cover of aquatic vegetation, the flooded grassland, and the presence of minor artificial structures. This, in turn, can be associated with the fact that hydrophytic vegetation provides more food, shelter, and nesting space for species with limicolous or wading habits (Ruiz-Campos and Rodríguez-Meraz 1993).

The grass or tree cover mostly dominated the lagoon shoreline, which is why it was associated with a greater number of sites with the trees and grass macrohabitat. In this context, the trees and grass macrohabitat obtained the highest record of individuals because it was present at most sites.

In the underbrush macrohabitat at site 3, most of the birds used artificial elements. In the aquatic vegetation macrohabitat at site 12, the largest number of species was recorded; this is an area of value for migratory and resident species because birds use natural elements and it has not yet been affected by urbanization.

Studies in the lagoons in Villahermosa indicate that the populations of aquatic birds decrease because of anthropogenic activities (Rosado 2008). However, there are no previous studies for Laguna de las Ilusiones in this sense, which highlights the present contribution, since the management plan of the ecological reserve does not contain enough information about the avian fauna.

The results of this study highlight the importance of the lagoon as a key ecosystem in the city of Villahermosa since, despite the urban development that surrounds it, it still has sites with a lower percentage of urbanization and little alteration of the hydrophyte vegetation associated with a greater diversity of species. This was observed at site 12, where

Dentro de los sitios de muestreo, se registró un mayor número de avistamientos de especies generalistas en el sitio 1, debido a que algunas especies responden positivamente a la urbanización y a las descargas de aguas residuales (Rosa et al. 2003), ya que presentan menor transparencia y profundidad del agua. En este sentido, Kusch et al. (2008) señalaron que la diversidad de aves acuáticas en humedales está relacionada con las fluctuaciones del nivel de agua.

Se observó que, conforme disminuyó la cercanía de las calles y hubo una edificación mayor adyacente a los sitios de muestreo, disminuyó la riqueza de especies de aves, lo que concuerda con lo mencionado por Abilhoa y Amorin (2017). En este estudio, el sitio 11, ubicado en la zona noroeste de la laguna, se distingue por un alto porcentaje de urbanización (55.0%) y por el menor número de especies (11) y de avistamientos (21).

De manera opuesta al sitio 11, el sitio 12, ubicado en la zona noreste de la laguna, presentó la mayor cantidad de especies (17), lo que se puede asociar con la mayor cobertura de la vegetación acuática, el pastizal inundado y la presencia de estructuras artificiales menores. Esto, a su vez, se puede relacionar con el hecho de que la vegetación hidrófita brinda una mayor disponibilidad de alimento, refugio y anidación para las especies de hábitos limícolas o vadeadoras (Ruiz-Campos y Rodríguez-Meraz 1993).

La mayor parte de la orilla de la laguna destacó por la cubierta con pasto o árboles, por lo cual se relacionó con una mayor cantidad de sitios propios del macrohábitat de arbolado y pasto. En este contexto, el macrohábitat arbolado y pasto obtuvo el mayor registro de individuos, puesto que la mayoría de los sitios pertenecen a este.

En el macrohábitat de sotobosque en el sitio 3, la mayoría de las aves usaron los elementos artificiales. En el macrohábitat de vegetación acuática en el sitio 12, se registró la mayor cantidad de especies; es una zona con valor para las especies migratorias y residentes, pues las aves usan estos elementos naturales y aún no ha sido afectada por la urbanización.

Los estudios realizados en las lagunas de Villahermosa indican que las poblaciones de aves acuáticas disminuyen debido a las actividades antropogénicas (Rosado 2008). Sin embargo, no existen estudios previos para la laguna de las Ilusiones en este sentido, lo que destaca la presente contribución, puesto que el plan de manejo de la reserva ecológica no contiene suficiente información acerca de la fauna avícola.

Los resultados brindados por el presente estudio resaltan la importancia de la laguna como un ecosistema clave dentro de la ciudad de Villahermosa, ya que a pesar del desarrollo urbano que la rodea, todavía presenta sitios con un menor porcentaje de urbanización y escasa alteración de la vegetación hidrófita asociados a una mayor diversidad de especies. Lo anterior se observó en el sitio 12, donde se presentan alteraciones antropogénicas menores, mayor diversidad de especies y escasa presencia de especies generalistas. Contrariamente, tanto el mayor registro de especies generalistas como el mayor número de individuos registrados en

there are minor anthropogenic alterations, greater diversity of species, and scarce presence of generalist species. Conversely, both the greater record of generalist species and the greater number of individuals recorded at sites 1 and 4, respectively, may be associated with cyclical fish mortality, which decreases competition for food. Likewise, the greater use of artificial elements recorded at sites 2 and 3 may limit waterfowl in foraging and in the search for roosting sites.

Given this scenario, it is relevant to carry out actions in the short, medium, and long term for the conservation of this urban wetland and the recorded species. Bird-watching should be promoted, more studies of the birdlife should be done, and the actions suggested in the Management and Conservation Program of the Laguna de las Ilusiones Ecological Reserve should be implemented (Secretaría de Gobierno 2019, Ricárdez-de la Cruz et al. 2016) to stop urban expansion in the lagoon and, thus, ensure the conservation of the recorded species.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Mexico) for the scholarship granted for the preparation of this study (No. 741834); the Master's program in Environmental Sciences of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco for the academic training given during the postgraduate course; the synodal committee for their contribution and support; the owner and workers of Rancho El Espejo for their cooperation in gaining access to their land; the sediment laboratory of the División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco for the textural analysis of the sediment samples; and the Secretaría de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático of the state of Tabasco for the boat provided to collect sediment samples.

English translation by Claudia Michel-Villalobos.

REFERENCES

- Abilhoa V, Amorin R. 2017. Effects of urbanization on the avian community in a southern Brazilian city. *Rev Bras Ornitol.* 25(1):31-39. <https://doi.org/10.1007/bf03544374>
- Andrade R, Bateman HL, Franklin J, Allen D. 2018. Waterbird community composition, abundance, and diversity along an urban gradient. *Landsc Urban Plan.* 170(1):103-111. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.11.003>
- [AOU] American Ornithologists' Union. 1998. Check-list of North American Birds. 7th ed. Washington DC (VA): Am Ornithol Union. 829 p.
- Arriaga-Weiss SL, Calmé S, Kampichler C. 2008. Bird communities in rainforest fragments: guild responses to habitat variables in Tabasco, Mexico. *Biodivers Conserv.* 17(1):173-190. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9238-7>
- Badii MH, Castillo J, Cortez K, Wong A, Villalpando P. 2007. Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica = Canonical correlation analysis and scientific research. *Innovaciones Neg.* 4(2):405-422. <http://eprints.uanl.mx/12486/1/A9%281%29.pdf>.
- los sitios 1 y 4, respectivamente, pueden estar asociados a la mortandad cíclica de peces, lo cual disminuye la competencia por alimento. Asimismo, el mayor uso de elementos artificiales registrados en los sitios 2 y 3 puede limitar a las aves acuáticas en el forrajeo y en la búsqueda de sitios de percha.
- Ante este escenario, es relevante realizar acciones a corto, mediano y largo plazo para la conservación de este humedal urbano y de las especies registradas. Se debe impulsar el aviturismo, realizar más estudios de la avifauna y llevar a cabo las acciones sugeridas en el Programa de Manejo y Conservación de la Reserva Ecológica Laguna de las Ilusiones (Secretaría de Gobierno 2019, Ricárdez-de la Cruz et al. 2016) para detener el crecimiento urbano en la laguna y, así, asegurar la conservación de las especies registradas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México) la beca otorgada para la elaboración del presente estudio (No. 741834); al programa de Maestría en Ciencias Ambientales de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco la formación académica impartida durante la realización del posgrado; al comité sinodal su contribución y apoyo; al propietario y los trabajadores del Rancho El Espejo su cooperación para acceder a su terreno; al laboratorio de sedimentos de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el análisis textural de las muestras de sedimento; y a la Secretaría de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático del estado de Tabasco el apoyo de una lancha para la recolecta de muestras de sedimento.

- [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2004\)027\[0333:RBW WAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2004)027[0333:RBW WAI]2.0.CO;2)
- Burton NHK. 2007. Landscape approaches to studying the effects of disturbance on waterbirds. *Ibis* (Lond. 1859). 149(s1):95-101. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2007.00658.x>
- Castro-Tavares D, Guadagnin DL, de Moura JF, Siciliano S, Merico A. 2015. Environmental and anthropogenic factors structuring waterbird habitats of tropical coastal lagoons: Implications for management. *Biol Conserv*. 186:12-21. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.02.027>
- Chesser RT, Billerman SM, Burns KJ, Cicero C, Dunn JL, Hernández-Baños BE, Jiménez RA, Kratter AW, Mason NA, Rasmussen PC, et al. 2021. Check-list of North American Birds (online) [Lista de verificación de aves de América del Norte (en línea)]. [North America and Central America]: Amer Ornithol Society; accessed 03 Jun 2020. <http://checklist.aou.org/taxa>.
- [CONABIO] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2021. La biodiversidad en Tabasco: Estudio de Estado [Biodiversity in Tabasco: State Study]. [Mexico]: [publisher unknown]; accessed 10 Jan 2021. https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee_tabasco.
- Donaldson MR, Henein KM, Runtz MW. 2007. Assessing the effect of developed habitat on waterbird behaviour in an urban riparian system in Ottawa, Canada. *Urban Ecosyst*. 10(2):139-151. <https://doi.org/10.1007/s11252-006-0015-2>
- Dunn JL. 2006. Field Guide to the Bird of North America. 5th ed. Washington DC (VA): National Geographic Society. 591 p.
- Germain P, Cuevas Y, Sanhueza C, Tizón FR, Loydi A, de Villalobos AE, Zapperi G, Vázquez B, Pompozzi G, Piován MJ. 2008. Ensemble de aves en zonas con diferente grado de urbanización en la ciudad de Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina) [Bird assemblage in areas with different degrees of urbanization in the city of Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina)]. *BioScriba*. 1(2):35-45. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/30436/CONICET_Digital_Nro.24205702-b31b-41da-bb20-b9d9b87c4c86_A.pdf?sequence=2.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4(1):4.
- Hansen AM, Afferden MV, Torres-Bejarano F. 2007. Saneamiento del vaso Cencali, Villahermosa, Tabasco. I. Contaminación y reúso de sedimentos [Sanitation of the Cencali basin, Villahermosa, Tabasco. I. Contamination and reuse of sediments]. *Ing Hidraul Mex*. 22(4):87-102.
- Howell NG, Webb S. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. New York (USA): Oxford University. 851 p.
- [INVERMAR] Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (Aguas, sedimentos y organismos) [Manual of analytical techniques for the determination of physicochemical parameters and marine pollutants (Water, sediments and organisms)]. [Santa Marta (Colombia)]: Cargraphics; accessed 10 Jan 2021. www.invermar.org.co.
- [IUCN] International Union for Conservation of Nature. 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3. Cambridge (United Kingdom): [publisher unknown]; accessed 10 Jan 2021. <https://www.iucnredlist.org>.
- Kaufman K. 2005. Guía de campo a las aves de Norteamérica. New York (USA): Houghton Mifflin Editions. 391 p.
- Kusch A, Cárcamo J, Gómez H. 2008. Aves acuáticas en el humedal urbano de Tres Puentes, Punta Arenas (53° S), Chile Austral = Waterbirds in the urban wetland Tres Puentes, Punta Arenas (53° S), Austral Chile. *An Ins Patagon*. 36(2):45-51. <https://doi.org/10.4067/s0718-686x2008000200005>
- López LN. 2019. Tabasco es el edén de los humedales = Tabasco is the Eden of wetlands. *Kukulkab'*. 25(52):39-51. <https://doi.org/10.19136/kukulkab.a25n52.2969>
- Magaña MA. 1988. La vegetación de la Laguna de las Ilusiones [The vegetation of the Laguna de las Ilusiones]. [Tabasco (Mexico)]: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 67 p.
- Mera-Ortiz G, Ruiz-Campos G, Gómez-González AE, Velázquez-Velázquez E. 2016. Composición y abundancia estacional de aves acuáticas en tres paisajes de la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas = Composition and seasonal abundance of aquatic birds in three landscapes of the Mar Muerto lagoon, Oaxaca-Chiapas. *Huit Rev Mex Ornitol*. 17(2):251-261. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2016.17.2.255>
- Moreno CE. 2001. Métodos para medir la biodiversidad [Methods for measuring biodiversity]. In: Moreno CE, M&T-Manuales y Tesis SEA. Vol 1. Zaragoza (España): CYTED, ORCYT/ UNESCO, Sociedad Entomológica Aragonesa SEA. 84 p.
- Murrieta-Galindo R, González-Romero A, López-Barrera F, Parra-Olea G. 2013. Coffee agrosystems: an important refuge for amphibians in central Veracruz, Mexico. *Agroforest Syst*. 87(4):767-779. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9595-z>
- Palomeque-de la Cruz MA, Galindo-Alcántara A, Sánchez AJ, Escalona-Maurice MJ. 2017. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas (España)* 68: 151-172. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.09>
- Peterson RT, Chalif EL. 2008. Aves de México [Birds of Mexico]. Mexico City (Mexico): Editorial Diana. 473 p.
- QGIS. 2021. QGIS: Geographic Information System. QGIS Association. [Place unknown]: [Publisher unknown]; accessed 02 Jan 2021. <http://www.qgis.org>.
- Ralph CJ, Geupel GR, Pyle P, Martin TE, DeSante DF, Milá B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres [Field methods manual for landbird monitoring]. Gen Tech Rep. PSW-GTR-159. Albany (CA): Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 46 p. <https://doi.org/10.2737/psw-gtr-159>
- Ricárdez-de la Cruz G, López-Ocaña G, Bautista-Margulis RG, Torres-Calczar CA. 2016. Laguna de las Ilusiones y su entorno urbano: aguas residuales, urbanas y sedimentos = Laguna de las Ilusiones and its urban environment: sewage, urban water and sediments. *Kukulkab'*. 22(43):27-38. <https://doi.org/10.19136/kukulkab.a22n43.1461>
- Rojas C, Sepúlveda-Zúñiga E, Barbosa O, Rojas O, Martínez C. 2015. Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitana [Urbanization patterns in the biodiversity of urban wetlands in metropolitan Concepción]. *Rev Geogr Norte Gd*. 61:181-204. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022015000200010>
- Rosa S, Palmeirim JM, Moreira F. 2003. Factors affecting waterbird abundance and species richness in an increasingly urbanized area of the Tagus Estuary in Portugal. *Waterbirds*. 26(2):226-232. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2003\)026\[0226:fawaas\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2003)026[0226:fawaas]2.0.co;2)
- Rosado AE. 2008. Avifauna acuática asociada al área de influencia del PICI en Tabasco [Waterfowl associated with the PICI area of influence in Tabasco] [BSc thesis]. [Tabasco (Mexico)]: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 67 p.
- Ruiz-Campos G, Palacios E, Castillo-Guerrero JA, González-Guzmán S, Bathe-González EH. 2005. Composición espacial y temporal de la avifauna de humedales pequeños costeros y hábitats adyacentes en el noroeste de Baja California, México = Spatial and temporal composition of the avifauna from small coastal wetlands and adjacent habitats in northwestern Baja California, Mexico. *Cienc Mar*. 31(3):553-576. <http://doi.org/10.7773/cm.v31i3.42>

- Ruiz-Campos G, Rodríguez-Meraz M. 1993. Notas ecológicas sobre la avifauna de la laguna El Rosario, Baja California, México [Ecological notes on the avifauna of Laguna El Rosario, Baja California, Mexico]. *Southwest Nat.* 38(1):59-64. <https://doi.org/10.2307/3671646>
- Salcedo MA, Cruz-Ramírez AK, Sánchez AJ, Álvarez-Pliego N, Florido R, Ruiz-Carrera V, Morales-Cuetos SS. 2022. Water quality indicators in three surface hydraulic connection conditions in tropical floodplain lakes. *Water.* 14(23): 3931. <https://doi.org/10.3390/w14233931>
- Salido RT. 2000. Diversidad de la comunidad de aves acuáticas y caracterización de sus hábitats en la laguna de Zapotlan, Jalisco, México [Diversity of the waterfowl community and characterization of their habitats in the Zapotlan lagoon, Jalisco, Mexico] [MSc thesis]. [Nuevo León (Mexico)]: Universidad Autónoma de Nuevo León. 83 p. <http://eprints.uanl.mx/6328/1/1080095006.pdf>.
- Sánchez AJ, Álvarez-Pliego N, Espinosa-Pérez H, Florido R, Macossay-Cortez A, Barba E, Salcedo MÁ, Garrido-Mora A. 2019. Species richness of urban and rural fish assemblages in the Grijalva Basin floodplain, southern Gulf of Mexico. *CYBIUM.* 43(3):239-254. <https://doi.org/10.26028/cybiu/2019-433-005>
- Sánchez-Bon G, Fernández G, Escobedo-Urías D, Torres-Torner J, Cid-Becerra JA. 2010. Spatial and temporal composition of the avifauna from the barrier islands of the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex, Sinaloa, Mexico = Composición espacial y temporal de la avifauna de las islas de barrera del complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa, México. *Cienc Mar.* 36(4):355-370. <https://doi.org/10.7773/cm.v36i4.1683>
- Sanders HL. 1960. Benthic studies in Buzzard Bay III. The structure of the softbottom community. *Limnol Oceanogr.* 5(2):138-153. <https://doi.org/10.4319/lo.1960.5.2.0138>
- Secretaría de Gobierno (Tabasco, Mexico). 2019 Sep 25. Programa de Manejo y Conservación de la Reserva Ecológica Laguna de las Ilusiones [Laguna de las Ilusiones Ecological Reserve Management and Conservation Program]. Periódico Oficial. No. 1953, Época 7ª, Suplemento I, ed. 8040. <https://tabasco.gob.mx/PeriodicoOficial/descargar/969>.
- [SEMARNAT] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010 Dic 30. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Mexico City (Mexico): Diario Oficial de la Federación. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf.
- Traut AH, Hostetler ME. 2004. Urban lakes and waterbirds: effects of shoreline development on avian distribution. *Landsc Urban Plan.* 69(1):69-85. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.009>
- Valdez-Leal JDD, Pacheco-Figueroa CJ, Méndez-López E, Rangel-Ruiz LJ, Moguel-Ordoñez EJ, Arriaga-Weiss SL, Mata-Zayas EE, Gama-Campillo LM, Gordillo-Chávez EJ, García-Morales R, Luna-Ruiz RDC. 2015. La comunidad de las aves en tres hábitats de la planicie de Tabasco, México = Bird communities in three habitats of the Tabasco plain, Mexico. *Agroproductividad.* 8(5):69-73. <https://biblat.unam.mx/hevila/Agroproductividad/2015/vol8/no5/10.pdf>.
- Van der Wal H, Peña-Álvarez B, Arriaga-Weiss SL, Hernández-Daumás S. 2012. Species, functional groups, and habitat preferences of birds in five agroforestry classes in Tabasco, Mexico. *Wilson J Ornithol.* 124(3):558-571. <https://doi.org/10.1676/10-111.1>
- Wilman H, Belmaker J, Simpson J, de la Rosa C, Rivadeneira MM, Jetz W. 2014. EltonTraits 1.0: Species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. *Ecol Soc Amer.* 95(7):20-27. <https://doi.org/10.1890/13-1917.1>