



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



INSTITUTO INTERAMERICANO DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DEL AGUA

DOCTORADO EN CIENCIAS DEL AGUA

**DISTRIBUCIÓN, COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS
AVES ACUÁTICAS EN HUMEDALES DE LA CUENCA ALTA
DEL RÍO LERMA, ESTADO DE MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS DEL AGUA**

**PRESENTA:
JUAN RAMÓN HERNÁNDEZ UGALDE**

**TUTOR ACADÉMICO:
DR. MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ ALBORES**

**TUTORES ADJUNTOS:
DR. CARLOS ALBERTO MASTACHI LOZA
DRA. MARIVEL HERNÁNDEZ TÉLLEZ**

Toluca, Estado de México, Noviembre 2023

Resumen

Los humedales son ecosistemas críticos que brindan muchos servicios ecológicos, incluido el hábitat para una amplia gama de vida silvestre, incluidas aves acuáticas. La Cuenca Alta del Río Lerma en el Estado de México es una región importante para la diversidad de aves acuáticas, pero se sabe poco sobre la distribución, composición y estructura de las aves acuáticas en esta área. Este trabajo de investigación tiene como objetivo investigar estos aspectos de las aves acuáticas en los humedales de la Cuenca Alta del Río Lerma.

Los humedales proporcionan hábitats cruciales para las aves acuáticas y otras especies. La abundancia de aves acuáticas en estos humedales se puede atribuir a la presencia de abundantes recursos alimentarios, alta calidad del agua y áreas adecuadas para anidar y reproducirse. Además, la región se destaca por su importante número de especies migratorias que viajan desde América del Norte a México durante los meses de invierno. En general, la Cuenca Alta del Río Lerma es una importante zona para aves acuáticas, ya que proporciona hábitat adecuado y recursos alimentarios para una variedad de especies. Las aves acuáticas de la Cuenca Alta del Río Lerma fueron estudiadas de agosto de 2021 a mayo de 2022, en seis humedales, ubicados en tres municipios del Estado de México, (Almoloya del Río, Almoloya de Juárez y Toluca de Lerdo).

Se obtuvo un total de 46 especies de aves acuáticas con una abundancia total de 82, 834 individuos, integradas por 11 familias y seis órdenes. De estos registros 31 especies son migratorias de invierno, 12 residentes y tres transitorias. Los humedales SJ-M (0. 744) y LO-LM (0. 735), presentaron los valores más altos de similitud, y las menores similitudes se presentaron en CH-M (0. 462) y LM-M (0. 487), respecto a las especies compartidas entre los humedales. La especie de ave acuática con mayor abundancia que caracterizó a los humedales (rutina SIMPER), se destaca a la *Spatula clypeata* presente en los seis humedales (CH, LO, SJ, SM, LM, Y M) y aportando la mayor abundancia. Los gremios alimenticios mejor representados fueron los omnívoro (13 especies) e insectívoro (13 especies), seguido por los piscívoro (7), granívoro (4), carnívoro (4), herbívoro y crustácívoro con 2 especies cada uno y por ultimo los vermívoros con solo una especie. Los humedales artificiales y naturales son hábitats de importancia para las aves acuáticas tanto residentes como migratorias de invierno. Por lo que es necesario acciones de conservación y protección de

manera efectiva para los humedales lo que impactara en una repercusión positiva para las especies de aves acuáticas.

En la Cuenca Alta del Río Lerma prosperan multitud de aves acuáticas, tanto residentes permanentes como migratorias estacionales. Donde podemos encontrar varios ordenes como los Anseriformes, Pelecaniformes, Charadriiformes Podicipediformes y Suliformes. Muchos de estos ordenes están integrados por una gran diversidad de aves acuáticas migratorias que acuden a México durante el invierno, y la mayoría de las especies estudiadas en el país se pueden encontrar en la Cuenca Alta del Río Lerma. Para comprender plenamente la dinámica de las poblaciones de aves y su susceptibilidad a diversos factores ambientales, se deben realizar más investigaciones más exhaustiva en la Cuenca.

El trabajo de investigación arroja luz sobre la distribución, composición y estructura de las aves acuáticas en los humedales de la Cuenca Alta del Río Lerma en México. El estudio destaca la importancia de los humedales como hábitat crucial para las aves acuáticas y otras especies, y la necesidad de comprender los factores que influyen en la distribución de las aves acuáticas en la región. En general, el trabajo de investigación proporciona información valiosa sobre la distribución y abundancia de aves acuáticas en la región y contribuye al avance continuo del conocimiento en el campo de la ecología y conservación de los humedales. Los hallazgos de este estudio tienen implicaciones importantes para proteger la población de aves acuáticas en los humedales de la Cuenca Alta del Río Lerma y garantizar su conservación frente a desafíos ambientales como la fragmentación del hábitat, el cambio climático y las perturbaciones inducidas por el hombre.

Índice General

Agradecimientos	i
Resumen	iii
Índice General	v
Índice de Figuras	vii
Índice de ecuaciones	viii
Índice de Gráficos	ix
Introducción	- 1 -
1. Antecedentes	- 5 -
1.1. Justificación.....	- 13 -
1.2. Hipótesis.....	- 14 -
1.3. Objetivo General	- 14 -
1.3.1. Objetivos Particulares	- 14 -
2. Marco conceptual	- 15 -
2.1. Método Búsqueda de información	- 15 -
2.2. Consideraciones generales para la observación de las aves	- 20 -
2.2.1. Métodos de censado	- 20 -
2.2.2. Hora del día	- 20 -
2.2.3. Periodo de censado.....	- 21 -
2.2.4. Condiciones atmosféricas.....	- 21 -
2.2.5. Trabajo de campo	- 21 -
2.3. Método de conteo por puntos	- 21 -
2.3.1. Selección de conteo de puntos extensivos.....	- 22 -
2.3.2. Selección de puntos de conteo intensivo.....	- 22 -
2.4. Método de transecto en franjas.....	- 23 -
2.5. Censo de búsqueda intensiva.....	- 24 -
2.5.1. Hojas de datos	- 26 -
2.6. Diseño del muestreo del agua.....	- 27 -
2.6.1. Parámetros de medición en campo.....	- 27 -
2.6.2. Ubicación de los puntos de muestreo	- 27 -
2.6.3. Criterios.....	- 27 -
2.6.4. Procedimiento.....	- 28 -
2.6.5. Preparativos para el muestreo.....	- 28 -
2.6.6. Revisión de equipo	- 28 -
2.7. índice de diversidad verdadera	- 29 -
2.8. Análisis no paramétrico Bootstrap	- 31 -
2.9. Similitud de Jaccard	- 33 -
2.10. Estadístico SIMPER.....	- 35 -
2.11. Análisis de Correspondencia canónica (CCA)	- 37 -
2.12. Análisis Jerárquico (AHP)	- 38 -
3. Metodología	- 41 -
3.1. Área de Estudio	- 41 -
3.2. Proceso Metodológico.....	- 43 -
3.3. Revisión Bibliográfica y listado de especies	- 44 -
3.4. Sitios con registros de aves acuáticas.....	- 46 -
3.4.1. Criterios de selección	- 48 -

3.5.	Técnicas de Monitoreo	- 48 -
3.5.1.	Muestreo del agua	- 53 -
3.6.	Análisis estadístico	- 56 -
3.6.1.	Diversidad Verdadera.....	- 57 -
3.6.2.	Análisis estadístico Bootstrap	- 58 -
3.6.3.	Índice de Similitud de Jaccard.....	- 59 -
3.6.4.	Análisis Estadístico SIMPER.....	- 59 -
3.6.5.	Análisis de Correspondencia Canónica (CCA)	- 60 -
3.6.6.	Diseño del Proceso de importancia de los humedales.....	- 61 -
3.6.7.	Aplicación del Análisis Jerárquico (AHP)	- 61 -
4.	Resultados	- 63 -
4.1.	Análisis de las bases de datos y composición de las aves acuáticas	- 63 -
4.2.	Humedales seleccionados para la observación de campo	- 71 -
4.2.1.	Chignahuapan y Laguna de Oxidación	- 73 -
4.2.2.	Bordo San Jerónimo y Bordo San Mateo	- 74 -
4.2.3.	Bordo Las Maravillas	- 76 -
4.2.4.	Bordo Mina	- 77 -
4.3.	Análisis estadísticos	- 79 -
4.3.1.	Curvas de acumulación de especies	- 84 -
4.3.2.	Índice de similitud de Jaccard	- 86 -
4.3.3.	Análisis de disimilitud SIMPER	- 87 -
4.3.4.	Gremios alimenticios.....	- 88 -
4.3.5.	Análisis de correspondencia canónica.....	- 89 -
4.3.6.	Análisis jerárquico (AHP).....	- 90 -
5.	Discusión.....	- 94 -
6.	Conclusión.....	- 99 -
7.	Referencias bibliográficas	- 101 -
	Glosario.....	- 115 -
	Anexo 1. Fotografías con especies de aves acuáticas y la problemática en humedales.	- 119 -
	Anexo 2. Valores de las variables fisicoquímicas de los humedales muestreados.....	- 123 -

Índice de Figuras

Figura 2.1. Proceso de búsqueda del conjunto de las bases de datos (Codina, 2017)....	- 16 -
Figura 2.2. Ejemplo de la hoja del plano de puntos de conteos, cada ejemplar es marcado por los símbolos, figura obtenida de (Ralph et al., 1996).....	- 23 -
Figura 2.3. Método de transecto en línea, figura de muestra tomada de (Martella et al., 2012).	- 24 -
Figura 2.4. Hoja de registros de especies de aves (Elaboración propia).	- 26 -
Figura 2.5. Recolección de muestras a orilla de los humedales (Elaboración propia)...	- 28 -
Figura 3.1. Área de estudio, de los humedales monitoreados en la Cuenca Alta del Río Lerma, Estado de México.....	- 41 -
Figura 3.2. Diagrama de flujo de la fase de preparación del trabajo de investigación (Elaboración propia).	- 43 -
Figura 3.3. Proceso de verificación de la información a través de la revisión de las bases de datos.....	- 44 -
Figura 3.4. Proceso de selección de los sitios con presencia de aves y puntos de seguimiento.	- 47 -
Figura 3.5. Diversidad verdadera, números de Hill (Chao & Chiu, 2016). Gráfico generado del programa SpadeR en línea.	- 58 -
Figura 4.1. Áreas con sitios y registros de especies de aves acuáticas.....	- 63 -
Figura 4.2. Sitios registrados en la Cuenca Alta del Río Lerma con distribución y abundancia de las aves acuáticas.	- 64 -
Figura 4.3. Especies de aves acuáticas que distribuyen e los humedales.....	- 70 -
Figura 4.4. Humedal Lago Chignahuapan (CH) y Laguna de Oxidación (LO).	- 73 -

Figura 4.5. Humedal Bordo San Jerónimo (SJ), perteneciente a la Cuenca Alta del Río Lerma.....	- 74 -
Figura 4.6. Humedal Bordo San Mateo (SM), pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Lerma.	- 75 -
Figura 4.7. Humedal Bordo Las Maravillas (LM), pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Lerma.....	- 76 -
Figura 4.8. Especies presentes y forma del humedal Bordo Mina (M), pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Lerma.	- 77 -
Figura 4.9. Especies de plantas acuáticas en el área de estudio, Fotografías: Juan Ramon Hernandez Ugalde.	- 78 -

Índice de ecuaciones

Ecuación 2.1. Índice de Diversidad Verdadera (Lou & González, 2012).	- 29 -
Ecuación 2.2. Evaluación de los submuestreos por el método no paramétrico Boststrap (Moreno, 2001).	- 32 -
Ecuación 2.3. Coeficiente de similitud de Jaccard (Moreno, 2001).	- 34 -
Ecuación 2.4. Para el cálculo de los pesos se utilizó la siguiente ecuación.	- 40 -

Índice de Gráficos

- Gráfico 4.1.** Abundancia por mes en los seis humedales estudiados de agosto a mayo: Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M). - 83 -
- Gráfico 4.2.** Curva de acumulación de especies de los humedales muestreados en los humedales en la Cuenca Alta del Río Lerma. Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M). - 84 -
- Gráfico 4.3.** Curva de acumulación de especies para cada uno de los humedales estudiados. Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos Las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M). - 85 -
- Gráfico 4.4.** Índice de similitud de Jaccard de los humedales. Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos Las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M). - 86 -
- Gráfico 4.5.** Distribución de los gremios alimenticios, en los humedales: Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos Las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M)., Granívoro (Gra), Omnívoro (Omn), Herbívoro (Her), Insectívoro (Ins), Piscívoro (Pis), Crustacívoro (Crus), Vermívoro (Ver) y Carnívoro (Car). - 88 -
- Gráfico 4.6.** Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). Temperatura (T), pH, Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad (Cond.) y Precipitación (Pre.). Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos Las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M). - 90 -
- Gráfico 4.7.** Matriz de los valores ordinales de los indicadores para la valorización de los humedales. - 93 -

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Elementos de los sistema de información (Codina, 2018).	- 16 -
Tabla 2.2. Consideraciones generales en proceso de aplicación de los métodos de transecto en franja y censo de búsqueda intensiva (Martella et al., 2012; Ralph et al., 1996).	- 25 -
Tabla 3.1. Bases de datos institucionales con registros históricos y actuales de distribución de aves acuáticas en México.....	- 45 -
Tabla 3.2. Artículos de revistas que contienen información complementaria sobre aves acuáticas.....	- 46 -
Tabla 3.3. Materiales de apoyo para observar e identificar aves acuáticas.	- 49 -
Tabla 3.4. Abreviatura de los gremios alimenticios de las especies de aves acuáticas registradas.	- 51 -
Tabla 3.5. Abreviaturas de las categorías, de Residencia y Riesgo (Berlanga et al., 2019)...-	52 -
Tabla 3.6. Descripción de los parámetros fisicoquímicos y precipitación (Patricia, 2010). ..-	54 -
Tabla 3.7. Hoja de datos para la toma de muestras y coordenadas de los puntos.	- 56 -
Tabla 3.8. Comparación por pares matriz de Saaty (1977), (Tzioutzios & Kastridis, 2020). -	62 -
Tabla 4.1. Listado de las especies de aves acuáticas de acuerdo las bases de datos eBird Basic Dataset. (2021) y CONABIO (2021) en la Cuenca Alta del Río Lerma.	- 65 -
Tabla 4.2. Riqueza de especies de los ecosistemas pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Lerma.....	- 67 -
Tabla 4.3. Listado de especies con valor económico y aprovechamiento cinegético presentes en la Cuenca Alta del Río Lerma.....	- 68 -

Tabla 4.4. Criterios de selección de los sitios de Monitoreo.	- 71 -
Tabla 4.5. Humedales seleccionados y su abreviación.....	- 72 -
Tabla 4.6. Listado de las especies registradas en los seis humedales del Cuenca Alta del Río Lerma. CH (Lago Chignahuapan), LO (Laguna de Oxidación), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Laguna las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M).....	- 79 -
Tabla 4.7. Riqueza observada y esperada en los humedales de la Cuenca Alta del Río Lerma. Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Laguna las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M).....	- 82 -
Tabla 4.8. Similaridad (SIMPER) de las especies que caracterizan los humedales en la Cuenca Alta del Río Lerma. Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordo Las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M).	- 87 -
Tabla 4.9. Criterios de evaluación, indicadores en orden de importancia utilizados en el análisis multicriterio para los sitios de estudio.....	- 90 -
Tabla 4.10. Pesos de los indicadores para cada uno de los humedales. Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordo Las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M).	- 91 -

Introducción

Las aves acuáticas son un gran grupo de especies que ocupan innumerables ecosistemas acuáticos. Estos hábitats se encuentran dispersos por todo el mundo donde se puede encontrar una amplia variedad de aves acuáticas viviendo muy cerca unas de otras. Los ecosistemas acuáticos dependen en gran medida de la presencia de estas especies, ya que desempeñan funciones vitales en diversos procesos, como el ciclo de nutrientes, las cadenas alimentarias complejas y la dispersión de semillas, por ello es fundamental comprender cómo se distribuyen las aves acuáticas y cómo reaccionan a los cambios en sus hábitats (Getzner, 2002; Guadagnin et al., 2005).

Por supuesto, definir estos entornos puede ser un desafío debido a sus características únicas que están influenciadas por la dinámica temporal. Además, estos ambientes poseen otras características distintivas, como la presencia de agua, ya sea permanente o temporal, que difiere de la del suelo circundante. La densa vegetación y las tierras vecinas también están especialmente adaptadas a estas condiciones acuosas (Mitsch & Gossilink, 2000). Al mismo tiempo, estas entidades desempeñan la función crítica de controlar el flujo de agua y sirven como fuente primaria de suministro para la población. Además, su importante productividad funciona como un componente vital del clima global, ya que regula las emisiones atmosféricas (López Portillo et al., 2010).

La definición de humedal o ecosistema acuático a la que más comúnmente se hace referencia en diversos estudios de investigación es la de la convención RAMSAR. Esta definición se cita a menudo e incluye: “Las áreas de marismas, pantanos y turberas, natural o artificial, permanente o temporal, con agua estática o corrientes, dulces, salobres o saldas, incluidas las zonas de agua marina cuya profundidad durante la marea baja no exceda los seis metros, además para la protección de sitios se incorpora las zonas ribereñas y costeras adyacentes e islas o extensiones de aguas marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja situadas dentro del humedal” (Ramsar Convention Secretariat, 2013). Según un estudio realizado por terrestre Junk et al., (2013), se estima que los humedales representan apenas el 6 % de la superficie total de la superficie terrestre. Sin embargo, esta estadística está sujeta a cambios si persisten las consecuencias negativas. Según una investigación de

Paracuellos & Tellería, (2004), el potencial resultado del abandono de estos ecosistemas podría llevar a la extinción de numerosas especies que los habitan.

Es indiscutible que no se puede subestimar la importancia de los humedales, ya que uno de los grupos animales que habitan estas regiones son las aves acuáticas, tanto migratorias como residentes (Ayala-Pérez et al., 2013). Esta conexión entre los humedales y las aves acuáticas es simbiótica y ambas partes se benefician de la relación. Estas especies de aves han desarrollado adaptaciones, tanto morfológicas como fisiológicas, que les permiten utilizar eficazmente los recursos proporcionados por los humedales, como áreas de reproducción, zonas de alimentación y refugios (Gatto et al., 2005, 2016). Los sitios de anidación y descanso son cruciales para las aves acuáticas tanto migratorias como residentes. Mientras migran de norte a sur, estas especies utilizan una amplia gama de humedales, tanto continentales como costeros, para sustentarse, descansar y continuar su viaje. Algunas de estas especies permanecen en México, particularmente en la región del altiplano central del país.

Los humedales costeros de México, incluidos los manglares, han experimentado un impacto significativo. La superficie estimada de manglares, que es de 770, 057 hectáreas (Rodríguez-Zúñiga et al., 2013), se ha visto especialmente afectada. En cuanto a otros tipos de humedales, hay escasez de datos disponibles, en particular los humedales de interiores el cual corresponde a planicies de inundación, estanques y depresiones inundadas, aisladas y rodeadas por tierra (Moreno-Casasola, 2006). Sin embargo, la pérdida de estos humedales influye varios factores, entre ellos el crecimiento demográfico, que se traduce en una mayor demanda de espacios territoriales y una mayor necesidad de recursos. Como repercusión los ecosistemas enfrentan una presión significativa y experimentan una reducción sustancial en su tamaño (Murray & Hamilton, 2010).

La pérdida y disminución de los humedales, debido a actividades humanas como la urbanización, la caza y la destrucción de los humedales, representan una grave amenaza para las poblaciones de diversos grupos (Nam et al., 2015). Estos cambios en las condiciones fisicoquímicas, estructura, profundidad y tamaño de los cuerpos de agua de los humedales tienen efectos tanto beneficiosos como perjudiciales sobre diferentes especies (Josens et al.,

2009). En consecuencia, la distribución, composición y abundancia de las poblaciones de aves acuáticas están sujetas a fluctuaciones estacionales y anuales tanto a escala regional como local (Josens et al., 2009).

El Valle de Toluca está situado en una ubicación privilegiada, elevado a una de las regiones más altas de toda la República Mexicana. Cuenta con un rango de altitud de 2, 560 a 2, 580 metros sobre el nivel del mar y es conocido por sus impresionantes paisajes y su suelo increíblemente fértil (Sugiura et al., 2010; Martínez C, 2016). Además, la región sirve como refugio final para lo que queda de los vastos humedales que alguna vez existieron en el interior del país. Estos humedales están formados por llanuras aluviales, lagunas y depresiones sumergidas, que están aisladas y bordeadas por tierra. Los seres humanos dependen de esta región por los recursos nutricionales que proporciona y es de suma importancia para su subsistencia (Moreno-Casasola, 2006). El Altiplano Central de México alberga áreas que sirven como sitios de invernada y escala migratoria para aves acuáticas y terrestres del Neártico. Sin embargo, estas rutas migratorias enfrentan importantes desafíos debido a la contaminación, la desecación y la fragmentación (Zepeda-Gómez et al., 2012).

El estudio de cómo se distribuyen, componen y estructuran las aves acuáticas en los humedales ofrece información valiosa sobre el papel fundamental de la conservación en la protección de estas poblaciones. La investigación llama la atención sobre el impacto significativo de los cambios ambientales tanto en el bienestar de las aves acuáticas como en los ecosistemas acuáticos, especialmente los efectos nocivos de la disminución de los hábitats y de las poblaciones de aves acuáticas. Este estudio destaca los peligros potenciales que enfrentan las aves acuáticas a lo largo de su ciclo anual dentro de la Cuenca, al tiempo que subraya la importancia de mantener hábitats de alta calidad a través del manejo efectivo de los humedales como medio para mitigar las consecuencias adversas de la degradación y pérdida del hábitat. Estas consecuencias contribuyen a la disminución de las poblaciones de aves acuáticas.

El impacto de los descubrimientos de la investigación se extiende ampliamente tanto a la preservación de especies como al manejo de los territorios de humedales. El objetivo del estudio fue investigar la distribución de las aves acuáticas, analizar su composición y

estructura dentro de los humedales observados. Esto es importante para comprender la ecología de las aves acuáticas y la importancia de los ecosistemas de humedales.

Para profundizar nuestra comprensión del manejo de los humedales y la preservación de las aves acuáticas, es imperativo que las próximas investigaciones se centren en analizar cómo las diferentes estrategias de manejo de los humedales influyen no solo en el hábitat sino también en las poblaciones. También es crucial examinar la asociación entre los gremios y la abundancia de aves acuáticas. Además, es necesaria una investigación más amplia para investigar los peligros potenciales que las aves acuáticas pueden encontrar en el futuro. En general, este estudio integral contribuye significativamente al desarrollo continuo de la conservación de las aves acuáticas y el manejo de los humedales. Para garantizar la administración eficiente de los humedales y el establecimiento de programas de conservación de aves acuáticas, es crucial emplear la investigación ecológica. La falta de pruebas empíricas podría conducir a métodos de gestión insuficientes para los humedales en el Valle de Toluca y sus alrededores, lo que en última instancia podría poner en peligro su salvaguardia.

1. Antecedentes

Las aves acuáticas son un elemento esencial de los humedales, desempeñan un papel fundamental en la preservación del equilibrio ecológico y sirven como indicador de la salud de los humedales. La presencia y distribución de aves acuáticas están influenciadas por las características de los humedales, y cualquier cambio en estos humedales a lo largo del tiempo puede tener un impacto en las poblaciones de aves acuáticas.

Los humedales naturales en países como China han disminuido en un asombroso 3,8% debido a cambios recientes. Dos razones principales detrás de esta pérdida son la conversión de humedales en tierras agrícolas y el rápido crecimiento demográfico. Los recursos ambientales de China han estado bajo una inmensa presión debido a esta situación, como señalaron Liu & Diamond, (2005). En Estados Unidos, la situación no es mejor, con una disminución estimada del 50 % en sus humedales con el tiempo. Este problema ha sido reconocido desde la época colonial, siendo los principales factores contribuyentes la fragmentación y desecación de las zonas de humedales, según Tiner, (2005).

Los desafíos que enfrentan los humedales han llevado a investigadores, entre ellos Junk et al., (2013), ha estimar que la disminución típica a largo plazo de los humedales en todo el mundo se encuentra dentro del rango del 54 % y el 90 %, que puede diferir según la región específica. En Centroamérica, incluso con el 20 % de los humedales bajo protección, estas áreas aún experimentan preocupantes tasas de deforestación y transformación de bosques en tierras agrícolas, como afirman Reis et al., (2017).

Landgrave & Moreno-Casasola, (2012), estiman que alrededor del 62.1 % de los humedales de México se han perdido en todo el país. Esta estimación asciende a unos 69, 684 kilómetros cuadrados de humedales perdidos, que se concentran principalmente en regiones áridas, montañosas y costeras. Un ejemplo de degradación de humedales relacionada con el hombre es visible en las Ciénegas de Lerma en el Estado de México, donde la biodiversidad ha experimentado una disminución significativa (Zepeda-Gómez et al., 2012). Como resultado de la desaparición de vastas áreas de humedales y la posterior pérdida de hábitats, se han implementado iniciativas dirigidas a conservar y proteger estos ambientes críticos (Landgrave & Moreno-Casasola, 2012).

Estas iniciativas incluyen el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sitios RAMSAR. Actualmente, RAMSAR ha reconocido 2, 406 sitios internacionales, que suman 254, 342 hectáreas (RAMSAR, 2020a). México es considerado un participante activo en la conservación de humedales, habiendo designado 142 humedales según CONANP, (2016) y RAMSAR, (2020). Sin embargo, es esencial señalar que, si bien estos sitios se consideran áreas prioritarias, sus planes de gestión prácticos a menudo están ausentes o son inadecuados, lo que lleva a una gestión ineficaz, como lo enfatizan Reis et al., (2017). La alteración de las condiciones de los humedales y el consiguiente impacto sobre las aves acuáticas se han atribuido en gran medida al cambio climático.

La pérdida de humedales en todo el mundo ha tenido un impacto significativo en la flora y la fauna que habitan estos ecosistemas. Un grupo de organismos que se ha visto afectado por esta disminución son las aves, que se estima que constan de aproximadamente 10, 000 especies distintas a escala global (*Avibase - The World Bird Database*, 2023). En México, aproximadamente el 11 % de todas las especies de aves encontradas a nivel mundial están documentadas, y aproximadamente el 30 % de estas especies están clasificadas como en peligro de extinción (DOF, 2019; Navarro-Sigüenza et al., 2014).

Los humedales artificiales también están desempeñando un papel crucial en la conservación de la biodiversidad en todo el mundo, pero existe un debate en curso sobre si pueden reemplazar el valor de conservación de los humedales naturales (Zou et al., 2017). La degradación y pérdida de los hábitats de los humedales puede dar lugar a la disminución de las poblaciones de aves acuáticas, por lo que es fundamental establecer y mantener hábitats de alta calidad mediante una gestión eficaz de los humedales.

La respuesta de las aves acuáticas a las alteraciones en las condiciones de los humedales a lo largo del tiempo está sujeta a numerosos factores a nivel macro, como observaron Niemuth & Solberg en (2003). Tavares et al., en (2015) identificó una variable que puede influir en la presencia de aves acuáticas: este definió que el aumento en la profundidad del agua puede disminuir su abundancia. Otra de las variables es descrita por Haig et al., en (2019), donde analizaron cambios en la ruta migratoria del Pacífico de América del Norte, particularmente en la disponibilidad de agua y las tendencias climáticas durante el último siglo. Sus hallazgos

revelaron que el calentamiento global ha tenido un impacto profundo, disminuyendo drásticamente los niveles de agua y alterando la estacionalidad de los humedales. Esto, a su vez, ha resultado en una reducción de los sitios disponibles para las aves acuáticas. Por su parte Gatto et al., en (2005), observaron que el tamaño de los humedales tiene un impacto significativo en la prevalencia de especies dominantes y ligeramente dominantes. Jing et al., (2003), sugiere que las aves acuáticas prefieren los pantanos naturales a los estanques de acuicultura en la isla Chongming, China.

En su estudio de la llanura aluvial media e inferior del río Yangtze, Wang et al., en (2017), describió una tendencia preocupante. Esta región es crucial para las aves acuáticas durante la temporada de invernada, sin embargo, los investigadores descubrieron una disminución tanto en la abundancia como en la riqueza de las aves acuáticas en el lapso de 60 años. Esta disminución se atribuye a cuatro factores principales: la conversión de tierras, la caza, la regulación de represas y la acuicultura intensiva. Es probable que estas cuatro amenazas sean las principales contribuyentes a la disminución de las poblaciones de aves acuáticas.

Estos cambios en las condiciones de los humedales han resultado en una menor disponibilidad de recursos (Zhang et al., 2019). En el estudio realizado por Cohen-Ballesteros et al., (2013), se examinó la composición y disposición de las aves playeras en Punta Astillero, Colombia. Se identificaron un total de 4, 214 individuos, pertenecientes a 18 especies y tres familias, siendo *Calidris mauri* la especie más poblada. Donde se descubrieron diferencias en la estructura comunitaria entre los microhábitats, que pueden atribuirse a características específicas como espacios abiertos, cobertura vegetal y humedad del sustrato. Green et al., (2011) establece que las aves que dependen principalmente de ecosistemas de agua dulce durante todo el año, como el killdeer (*Charadrius vociferus*), corren un riesgo especial en climas más cálidos y secos, esta vulnerabilidad se debe a su incapacidad fisiológica para metabolizar el agua salada.

Los humedales del interior de México sirven como un hábitat importante para una diversa gama de aves acuáticas durante sus temporadas de migración e invernada (Ayala-Pérez et al., 2013). Estos humedales se ubican a lo largo del corredor migratorio central, como lo señala Barragán et al., en (2002), y son fundamentales para sustentar una población sustancial de

especies de aves acuáticas. Además de proporcionar hábitats para especies migratorias, estos humedales también ofrecen alimento esencial para las especies residentes. Los estudios realizados por López en (2008) y Pineda-López en (2011), han confirmado la importancia de estos humedales para la preservación de las especies residentes y la alimentación de las aves migratorias.

Estas especies migran a través de varias rutas, incluyendo la ruta migratoria del Pacífico, la ruta migratoria central, la ruta migratoria del Mississippi y la ruta migratoria del Atlántico (Ocampo-Peñuela, 2010), y dependen de los humedales temporales o permanentes, como hábitats vitales a lo largo de estas rutas (Berumen Solórzano et al., 2017). Por lo que la dependencia surge del hecho de que su ruta de migración se extiende por las regiones norte y sur del continente americano, lo que requiere adaptaciones en el comportamiento de las especies para soportar los desafíos de un viaje tan extenso. Estas adaptaciones se manifiestan en alteraciones en sus patrones de alimentación, la acumulación de reservas de grasa y la utilización eficiente de estas reservas (Ocampo-Peñuela, 2010).

Las áreas de humedales están sujetas a una variedad de impactos ecológicos y antropogénicos que afectan a las poblaciones de aves acuáticas que viven allí. Entre estos efectos, el tamaño del área del hábitat de alimentación es un componente particularmente notable. Sin embargo, las investigaciones muestran que la abundancia y diversidad de aves acuáticas no siempre están claramente relacionadas con el tamaño del humedal, como lo demuestra un estudio de Ayala-Pérez et al. (2013), quienes documentaron la existencia de 40 especies de aves acuáticas. Las especies de aves acuáticas, tres de las cuales son nuevas para la Ciénega de Tláhuac, también identificaron factores antropogénicos que representan una amenaza a la integridad de las especies de la zona. Además, estudió los patrones dietéticos de los patos mexicanos y encontró una diferencia del 70% en el consumo de alimentos entre las dos estaciones.

El concepto de diversidad de especies, visto a través de una lente ecológica, pertenece a la estructura de las comunidades. Específicamente, puede describirse como la inversa de la proporción promedio de especies presentes según la definición de Hill, (1973). En su estudio Cruz-Elizalde & Ramírez-Bautista, (2012),, utilizaron el índice de diversidad de primer orden

para examinar la diversidad alfa y beta de reptiles en tres tipos diferentes de vegetación que se encuentran en el sur de Hidalgo. Descubrieron que BMM tenía valores de diversidad significativamente más altos debido a la riqueza, abundancia y uniformidad de los individuos presentes en cada comunidad. Por el contrario, BPE y BP mostraron valores de diversidad de especies más bajos. Este resultado resalta la disparidad en la abundancia de especies entre los diferentes ambientes. Una exploración preliminar de la Sierra del Tentzo en el estado de Puebla, realizada por Peralta-Moctezuma & Halfpter-Salas, (2013), examinó la fauna de escarabajos que habita en altitudes que oscilan entre los 200 y los 2, 350 metros. Los investigadores examinaron los componentes alfa, beta y gamma de la diversidad de los escarabajos. Se descubrió que la región de Derrumbadas tenía la menor diversidad de orden cero, mientras que el hábitat de barlovento a una altitud de 2, 500 metros tenía la mayor diversidad de orden cero.

En la región sur del estado de Tabasco, (García-Morales et al., 2011) realizaron un análisis sobre la diversidad de murciélagos en dos ecosistemas diferentes: la selva y la vegetación secundaria. Su metodología implicó aplicar un verdadero análisis de diversidad, que reveló que las zonas selváticas tenían mayor abundancia de recursos. Como resultado, los autores determinaron que la vegetación secundaria había experimentado una disminución de 2. 33 especies, lo que representa el 79.56% de la diversidad total encontrada en la selva. En el año (2017), Hernández realizó una investigación de las comunidades de aves acuáticas que residen en los humedales Pantanos de Centla-Laguna de Términos. Esta exploración se centró en cuatro humedales distintas, cada una con su propio tipo de vegetación. El estudio implementó índices de diversidad de orden cero y orden uno, para evaluar la riqueza y la diversidad de especies de aves acuáticas de estos humedales. Los hallazgos de este análisis indicaron que los humedales con pastizales inundables tuvieron los niveles más altos de riqueza y diversidad de aves acuáticas, mientras que aquellos con vegetación de Tulares y Popales tuvieron los niveles más bajos.

Luego de examinar la composición de especies de una variedad de áreas de cobertura, Monedero Rodríguez (2020) encontró que las comunidades presentes en las cercanías del Hotel Termal el Batán son representativas de la población más grande. Esta conclusión se llegó a partir del porcentaje estimado de riqueza de especies para varios sitios de estudio, que

en general superó el 76%. Utilizando el estimador tipo Jackknife (96.5 % para primer orden y 88. 5% para segundo orden) y Bootstrap (126. 9 %), se consigue un porcentaje cercano o incluso superior al 100 %. Como resultado, se supone que, si el muestreo continúa durante un período prolongado, se identificarán exitosamente todas las especies dentro del área de estudio.

En su estudio, (Simeone et al., 2008) descubrieron que la diversidad de especies era mayor en otoño y primavera, pero disminuía en invierno. También encontraron que el índice de Jaccard, una medida de similitud entre poblaciones de aves era más alto entre primavera y verano con 0.91, mientras que el verano y el invierno tenían un índice más bajo de 0.73. El equipo identificó cuatro amenazas principales para las poblaciones de aves dentro del humedal de Mantagua. Estas amenazas incluyen perturbaciones y contaminación causadas por actividades humanas durante el verano, alteración y alteración del hábitat por animales domesticados como perros y ganado, caza y captura ilegal de peces y el desarrollo de proyectos inmobiliarios. El humedal de Mantagua se destaca por su alta concentración de especies de aves, y su composición es muy similar, 0.74, a la del humedal el Yali, el humedal más destacado de la región central de Chile.

El estudio realizado por (Podestá & Barona, 2021) reveló exclusivamente dos correlaciones negativas destacables. La primera correlación se descubrió entre la abundancia y la TSM ($\rho = -0.39$, $P = 0.0007$), mientras que la segunda correlación se encontró entre la riqueza y la ICEN ($\rho = -0.24$, $P = 0.04$). Se ensamblaron gráficos variables en el tiempo para SST e ICEN. Los años comprendidos entre 2013 y 2019 exhibieron una disminución gradual en riqueza y abundancia. La prueba ANOSIM indica que existen variaciones estacionales en abundancia ($R = 0.445$, $P = 0.0001$), y la prueba SIMPER indica que las diferencias más significativas en abundancia entre estaciones son durante otoño y primavera. Las diferencias más pequeñas en abundancia entre estaciones ocurren durante el invierno y la primavera (disimilaridad de Bray-Curtis = 49. 86%). Giner & Pérez-Emán, (2016) realizaron un censo de aves playeras en cuatro localidades: Boca de Canio, Soca, San Juan de Los Cayos y Cuare. Compararon la composición y la riqueza de especies de estos lugares utilizando el porcentaje de similitud analítica (SIMPER) y la similitud unidireccional (ANOSIM). El censo encontró que las aves playeras eran más abundantes en agosto en todos los sitios, y más abundantes en enero (Boca

de Cano y Soca) y marzo (San Juan de Los Cayos y Quare). El análisis reveló que la composición y abundancia de especies difirió en casi todos los sitios (ANOSIM: $p=0.0002$, $R=0.382$), excepto entre Cuare y Sauca. Además, hubo diferencias temporales significativas en los taxones de aves playeras (SIMPER: 65.8 %; ANOSIM: $p<0.05$, $R=0.181$). La similitud temporal más baja se encontró en Soca, mientras que la más alta se encontró en San Juan de Los Cayos.

En un estudio realizado por (Sáenz et al., 2006), se encontró con disparidades significativas en la diversidad de aves entre los diferentes tipos de uso de la tierra en todos los sitios examinados. Los pastizales naturales arbolados ubicados en los ríos Martiguas y La Vieja, así como los recintos de vida en Esparza, son hábitat de las especies de aves más abundantes. Se encontró que el uso del suelo en Esparza era más similar al de Martiguas y La Vieja. El análisis de correspondencia canónica reveló que dos variables de la vegetación leñosa, a saber, la cobertura del dosel (%) y la riqueza de la vegetación, influyeron en la explicación de la riqueza de aves en el paisaje de Esparza. En Martiguas, sólo la cobertura del dosel resultó significativa, mientras que en el río La Vieja, la densidad de árboles y la cobertura del dosel fueron variables explicativas de la riqueza de aves. La riqueza de aves en los paisajes ganaderos se mantiene mediante prácticas silvopastoriles, como cercas vivas y pastos arbolados, en estos tres países.

El estudio realizado por García-Núñez et al., (2020) utilizaron el análisis de regresión de Poisson (PRA) para examinar la correlación entre el hábitat, la vegetación y la presencia de aves e insectos. Se empleó el análisis de correspondencia canónica (CCA) para comprender el nivel de conexión entre los hábitats y la vegetación dada la presencia de aves e insectos. El estudio reveló valores más altos para aves específicas, incluidas *Melanerpes aurifrons*, *Cyanocorax morio* y *Empidonax sp.*, y cierta vegetación como Poaceae, Selaginaceae y Verbenaceae, así como insectos como *Plecia nearctica* y *Chauliognathus pensylvanicus*. El IAR, por su parte, mostró valores altos para la vegetación de Poaceae, Selaginellaceae y Verbenaceae, así como para insectos como *Plecia nearctica* y *Chauliognathus pensylvanicus*. La prueba de Kruskal Wallis no difirió de la X^2 , como se esperaba. El ARP sugirió valores AIC de 283, 65, 219, 4 y 240, 38. El ACC presentó inercias del 66.26 %, 78.54 %, 93.89 % y 84.62 %. El estudio determinó que la vegetación y la estructura del hábitat

son determinantes críticos de las poblaciones de aves, las cuales son esenciales para mantener las reservas de alimentos y el equilibrio ecológico en los sistemas agroforestales.

Las crecientes amenazas a estos hábitats requieren procesos de toma de decisiones eficaces para garantizar su conservación y gestión sostenible. En los últimos años, el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) se ha convertido en una herramienta valiosa en los estudios de aves acuáticas y humedales, que ofrece un enfoque sistemático para evaluar el valor ecológico de los humedales, tomar decisiones de manejo informadas y priorizar los esfuerzos de conservación. El Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) está asociado a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y es una herramienta que permite la identificación y clasificación de hábitats y su estado de conservación (Sanchez et al., 2004). Uno de ellos son los ecosistemas acuáticos, recursos con valor ecológico (Köbrich et al., 2009). Por su parte con la Evaluación Multicriterio (MCE) es un proceso de toma de decisiones que considera múltiples criterios para generar alternativas de compromiso. El objetivo de MCE es clasificar las alternativas en función de su atractivo (Jiang & Eastman, 2000). Este método es particularmente útil en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde la asignación de tierras se determina en función de varios atributos, como factores ambientales, económicos y sociales (Jiang & Eastman, 2000).

Por su parte Moreira Cuenca en (2021), realizó una evaluación de cómo las políticas públicas han afectado el estado ecológico del Humedal La Segua en Manabí, Ecuador. Mediante la aplicación de la metodología de análisis jerárquico (AHP) y con la guía de expertos en la materia, Moreira Cuenca pudo establecer el nivel de impacto que han tenido las políticas públicas en el estado ecológico del humedal La Segua. Los resultados mostraron que la variable más significativa fue el impacto ambiental, que representó el 51.17 % del impacto total, seguido de los esfuerzos de protección y conservación con un 38.95 %, y finalmente el marco legal con un 9.88 %. Tener un conocimiento profundo de las aves y sus hábitats es crucial para identificar con precisión las ubicaciones permanentes y de invernada de las aves acuáticas. Esto requiere una comprensión integral de las comunidades de aves y su correlación con el medio ambiente circundante.

1.1. Justificación

Los humedales son sistemas ecológicos que están presentes a nivel mundial, abarcan vastas áreas y destacan por sus características únicas. Ofrecen una amplia gama de especies de flora y fauna que son distintas y fascinantes. Entre ellas, destacan las aves acuáticas como un grupo diverso, con múltiples órdenes, familias y especies que se han adaptado a los recursos de los humedales. Sin embargo, varios factores documentados tienen un impacto perjudicial sobre los humedales y sus habitantes. Estos incluyen el crecimiento demográfico, la agricultura, la ganadería, la acuicultura, la sequía de los humedales y la descarga de aguas residuales de las zonas urbanas cercanas. Estos factores, ya sean directos o indirectos, resultan en un deterioro irreversible del hábitat de los humedales y perturban la delicada relación entre los humedales y las aves acuáticas.

No se puede subestimar el valor de los datos de la investigación cuando se trata de comprender los humedales y las aves acuáticas. Al recopilar estos datos, podemos obtener información sobre la distribución, composición y estructura de las poblaciones de aves acuáticas, así como sobre sus patrones de alimentación y cómo estos se ven afectados por los factores ambientales. Además, podemos examinar los vínculos entre los atributos físicoquímicos de las masas de agua y el comportamiento de las aves acuáticas a lo largo del año. Esta investigación también ayudará en la creación de una base de datos integral que documente el estado de la población de varias especies de aves acuáticas y el estado de conservación de los humedales en la región, al tiempo que realizará un seguimiento de los cambios que ocurren con el tiempo. El suministro de información esencial sobre los humedales a quienes ocupan puestos de autoridad puede ayudar a identificar rasgos importantes de los humedales que sustentan a las poblaciones de aves acuáticas y, por lo tanto, puede mejorar la eficacia de las estrategias de conservación de los recursos naturales.

1.2. Hipótesis

En el siguiente estudio se pretende analizar los factores que afectan a los humedales y la distribución de las aves acuáticas de la Cuenca Alta del Río Lerma, Estado de México, con la siguiente pregunta de investigación.

¿La presencia y distribución de aves acuáticas en los humedales están influenciadas por diversos factores ambientales, antropogénicos y fisicoquímicos, estos juegan un papel crucial en la determinación de la abundancia, diversidad y riqueza general de las especies de aves que habitan estos humedales?

1.3. Objetivo General

Evaluar la distribución, composición y estructura de las aves acuáticas en humedales de la Cuenca Alta del Río Lerma, para identificar los factores ambientales y antropogénicos que afectan a las especies presentes en estos hábitats.

1.3.1. Objetivos Particulares

- Conformar una base de datos histórica para conocer la distribución de las aves acuáticas en los humedales de la Cuenca Alta del Río Lerma.
- Seleccionar sitios de monitoreo a partir de su accesibilidad, presencia de aves acuáticas y condiciones sociales de los humedales.
- Determinar la distribución de las especies de aves acuáticas en los humedales mediante un monitoreo mensual aplicando el método de transecto lineal por observación.
- Evaluar la composición y estructura de las poblaciones de aves acuáticas mediante la presencia, ausencia, variables ambientales y actividades antropogénicas, a partir del uso de técnicas estadísticas.
- Priorizar los humedales a partir de su grado de importancia respecto a la integridad ecológica, procesos ecológicos relevantes y amenazas, utilizando el proceso analítico jerárquico (AHP).

2. Marco conceptual

2.1. Método Búsqueda de información

La búsqueda del conocimiento es una actividad humana esencial. No se trata de un esfuerzo reciente ni vinculado a Internet, como lo atestigua Battelle, (2006). Ha sido una parte integral de la existencia humana desde el principio de los tiempos. La era moderna se caracteriza por una abrumadora abundancia de información. Por ello, los sistemas de búsqueda eficientes son más necesarios que nunca. Afortunadamente, existe una gran cantidad de sistemas de búsqueda, cada uno de los cuales ocupa un nicho único y está interconectado en un ecosistema auténtico (Codina, 2018).

Por el contrario, es imperativo que nuestras consultas sean precisas y eficientes para obtener los hallazgos más pertinentes que se alineen con nuestros requisitos de información, dada la inmensidad de la documentación existente. Familiarizarse con una variedad de metodologías de búsqueda, que pueden requerir modificaciones menores según el recurso utilizado, puede ayudar a lograr este objetivo.

Estas herramientas de gestión de la información se basan en programas informáticos que localizan, indexan, clasifican y consultan automáticamente las páginas web disponibles. Inicialmente, los motores de búsqueda comienzan su funcionamiento buscando y recopilando datos de diversas fuentes web, facilitados por enlaces compartidos (Figura 2.1). Posteriormente, esta información recopilada se recopila en una macrobase de datos más grande. Finalmente, cuando un usuario busca información específica, un programa escanea esta extensa base de datos y presenta enlaces en un orden jerárquico que corresponde a un código algorítmico específico; como resultado, la información se rastrea en una base de datos en lugar de hacerlo directamente en la World Wide Web (WWW).

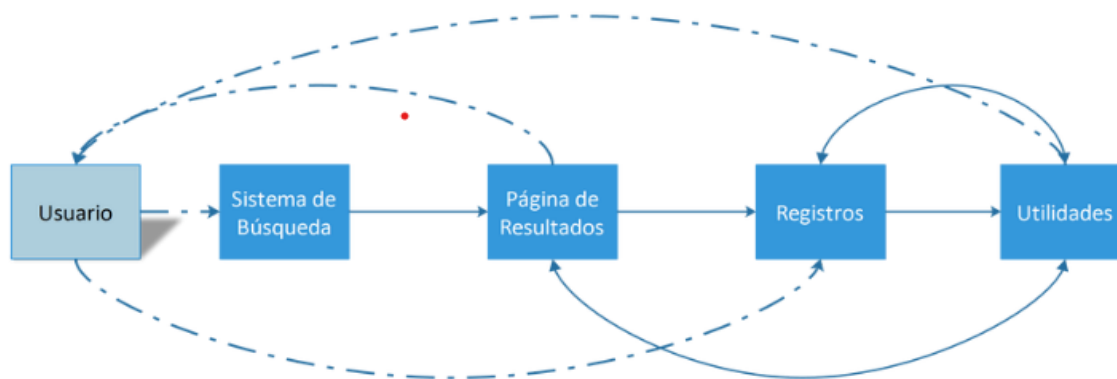


Figura 2.1. Proceso de búsqueda del conjunto de las bases de datos (Codina, 2017)

En resumen, los motores de búsqueda se distinguen por su amplia base de datos, que se compila mediante un robot de software (Tabla 2.1). La información contenida en él está organizada a través de códigos, más que de temas, y abarca páginas de diversa índole (Amaya Ramírez, 2015; Espinoza Freira, 2018).

Tabla 2.1. Elementos de los sistemas de información (Codina, 2018).

Proceso	Tipo
Búsqueda	• Simple • Avanzada
Página de resultados con opciones	• Filtrado • Ordenación • Análisis • Descubrimiento
Registro	• Simple • Avanzado
Utilidades complementarias para la gestión	• Alertas • Listados • Búsquedas • Bibliografías

Gracias a este proceso técnico es posible utilizar las bases de datos académicas como herramientas para apoyar y desarrollar investigaciones en procesamiento de información (Flores Caicedo, 2010). Esto se debe a que, como señala (Codina, 2018), las bases de datos académicas tienen las capacidades necesarias para transformarse.

En el mundo digital actual, los motores de búsqueda que operan en la web son un componente fundamental. Estos motores de búsqueda utilizan una variedad de tecnologías sofisticadas de gestión de la información, que abarcan una amplia gama de técnicas y herramientas. Las plataformas digitales clave que almacenan información sobre la biodiversidad poseen una red bien estructurada con una infraestructura sólida que las organizaciones participantes actualizan continuamente.

La relación entre estas plataformas comparte una enorme cantidad de datos sobre las especies de estudio en millones de registros. Esto es especialmente evidente cuando se trata de especies de aves, ya que proporcionan información sobre su clasificación, distribución, abundancia y su categorización actual en términos de peligro o categoría de riesgo y rangos, como se muestran a continuación en la Figura 2.2.

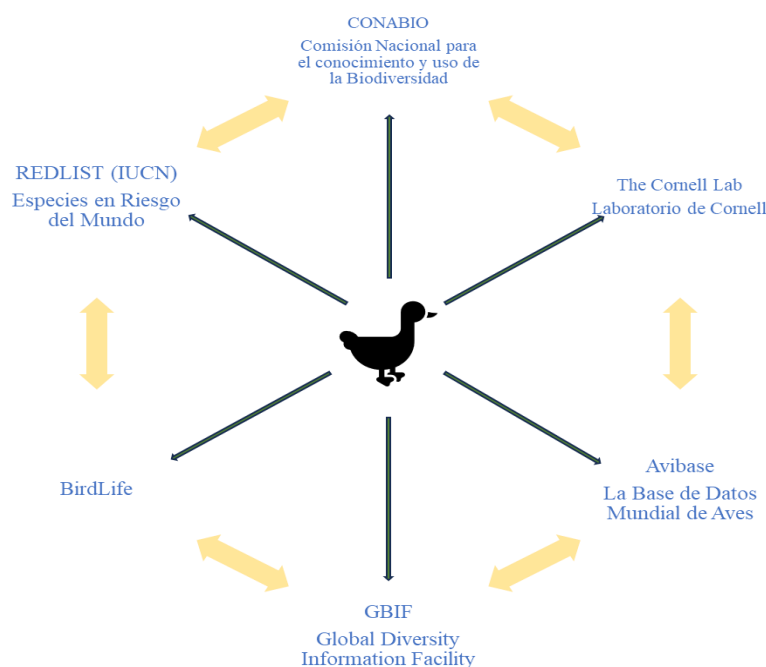


Figura 2.2. plataformas con bases datos sobre la biodiversidad de la tierra (Elaboración propia).

Plataforma como Enciclovida, establecida por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), fue creada gracias al esfuerzo de instituciones académicas y financieras. Investigadores de estas instituciones han participado en cientos de proyectos desde 1992 para hacer posible esta iniciativa (CONABIO, 2023). Página web hht

Otra plataforma muy conocida es la de Birds of the World perteneciente a The Cornell lab, es una impresionante herramienta de investigación para la ornitología. Combina contenido completo y académico de varios trabajos famosos de ornitología con millones de observaciones de aves de la base de datos eBird y multimedia de la Biblioteca Macaulay. Esta plataforma sirve como un lugar único para que biólogos y entusiastas de las aves profundicen en una base de datos completa con información sobre aves, incluida la historia de vida completa de las aves (Aves del Mundo, 2023).

Uno de los sistemas de verificación respecto a la taxonomía de las especies es Avibase una base de datos exhaustiva de Internet que recopila y organiza información taxonómica y de distribución de aves de todos los rincones del mundo. A diferencia de otras bases de datos similares, Avibase está organizada en función de conceptos taxonómicos, en lugar de nombres. La metodología y el razonamiento de este enfoque se explicaron en un artículo de (Lepage et al., 2014). Avibase ofrece listas de verificación para más de 20.000 regiones en todo el mundo, páginas dedicadas a especies de aves individuales que contienen datos taxonómicos y sinónimos, y numerosas herramientas que permiten a las aves informes de avistamientos. Estas herramientas incluyen mapas personalizados que muestran países o puntos críticos, y listas de vida de eBird que indican la cantidad de especies objetivo que permanecen invisibles (Avibase, 2023). Avibase ha integrado información taxonómica de destacadas editoriales taxonómicas como Clements's checklist, HBW/Birdlife, IOC Checklist, así como Howard y Moore, junto con otras fuentes específicas de determinadas regiones, incluida la lista de verificación AOU en todas sus ediciones desde 1886. Avibase ha vinculado y comparado teorías taxonómicas de más de 230 fuentes taxonómicas diferentes con conceptos de Avibase (Avibase, 2023).

El Fondo Mundial de Información sobre Biodiversidad (GBIF) es una red internacional y una infraestructura de datos que cuenta con el apoyo financiero de varios gobiernos de todo

el mundo. Los países y organizaciones participantes de GBIF trabajan a través de nodos para proporcionar a las instituciones que poseen datos en todo el mundo estándares, herramientas y mejores prácticas compartidas. Coordinada por la Secretaría ubicada en Copenhague, esta red permite compartir información sobre la hora y la ubicación de las especies registradas. Los datos se obtienen de una amplia variedad de fuentes, que van desde especímenes de museos de siglos pasados hasta códigos de barras de ADN recientes y fotografías de teléfonos inteligentes (GBIF: El Fondo Mundial de Información Sobre Biodiversidad, 2023). Al utilizar estándares de datos como Darwin Core, que sirve como base para el vasto índice de GBIF.org de cientos de millones de registros de ocurrencia de especies, la red amalgama exitosamente varias fuentes de datos (GBIF: El Fondo Mundial de Información Sobre Biodiversidad, 2023).

Tanto BirdLife y REDLIST, trabajan en conjunto con el objetivo principal de preservar el planeta, su diversa vida silvestre y los ecosistemas que los sustentan. Empleando experiencia en ornitología para recopilar y analizar datos de varios rincones del mundo, con el objetivo de implementar los métodos de conservación más eficaces y originales (BirdLife, 2023).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, o UICN, es una asociación colaborativa de miembros, formada por organizaciones gubernamentales y de la sociedad civil. Sus esfuerzos combinados tienen como objetivo fomentar el desarrollo sostenible y establecer una sociedad justa que reconozca y proteja el medio ambiente (UICN, 2021). Desde su creación en 1964, la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza ha experimentado importantes avances hasta convertirse en la fuente de información más completa y autorizada sobre el estado de conservación de especies animales, fúngicas y vegetales en todo el mundo (UICN, 2021).

La Lista Roja de la UICN sirve como indicador crucial del estado de la biodiversidad global. Mucho más allá de ser un mero inventario de especies y sus respectivos estatus, actúa como un potente instrumento que ilumina y estimula acciones orientadas a la conservación de la biodiversidad y el ajuste de políticas, los cuales son esenciales para preservar los recursos naturales que son vitales para nuestra supervivencia. Esta lista proporciona información sobre

la extensión del hábitat de las especies, el tamaño de sus poblaciones, la ecología y las prácticas de uso y/o comercio, así como las amenazas que enfrentan y los esfuerzos que se están realizando para conservarlas. Esta información es fundamental para tomar decisiones de conservación informadas (UICN, 2021).

2.2. Consideraciones generales para la observación de las aves

2.2.1. Métodos de censo

Poder sumar índices de abundancia es una parte importante de cualquier trabajo o estudio. Podemos encontrar una variedad de métodos aplicables a estos trabajos, que han sido utilizados y replicados (para más información, ver (Bystrak, 1981). La evaluación y medición de la abundancia de aves en los ecosistemas es una forma de comprender el comportamiento de las aves y la salud del hábitat (Van Horne, 1983).

Es importante que los investigadores tengan un número suficiente de sitios o puntos independientes en el campo para realizar un censo o recolectar muestras en diferentes lugares durante un período de tiempo específico. La ventaja estadística es que tener un mayor número de estaciones o puntos no permite hacer inferencias sobre los datos recopilados. La distancia es un componente integral en la recopilación de datos de regiones más grandes y, como tal, juega un papel crucial. Existen cuatro técnicas comúnmente utilizadas, cada una con su propio método distinto.

2.2.2. Hora del día

Para localidades de zonas templadas donde se vayan a realizar censos u observaciones de aves, se recomienda realizarlos durante el siguiente horario: 6:00 a 9:00 de la mañana. Este horario permite una mejor detección de aves y es cuando las aves están más activas alimentándose y vocalizando. La mayoría de las especies de aves exhiben sus frecuencias de canto más altas durante el período comprendido entre las primeras luces (amanecer) y el amanecer. Sin embargo, para comparar la probabilidad de detectar diferentes especies en diferentes lugares, se recomienda iniciar el censo después del amanecer y no antes. En los trópicos, algunas especies pueden tener horarios de canto irregulares.

2.2.3. Periodo de censado

Para realizar censos específicos durante la época de reproducción, se recomienda realizarlos durante la temporada con tasas de detección más consistentes de las especies estudiadas. Para los passeriformes norteamericanos, los mejores meses para contar son mayo, junio y la primera semana de julio. Sin embargo, más al norte, los períodos censales estables pueden comenzar ya en abril, mientras que en las zonas del norte los períodos censales estables pueden durar mucho más. La temporada de reproducción es significativamente más larga en los trópicos, lo que permite realizar estudios útiles durante todo el año.

2.2.4. Condiciones atmosféricas

Al iniciar los avistamiento o censo de aves las condiciones deben ser ideales, si llueve o hay viento, estos pueden interferir con la presencia y vocalizaciones de las aves, la niebla y las fuertes lluvias impiden la visibilidad, imposibilitando las observaciones adecuadas. Otro factor ambiental es el frío intenso, que reduce la actividad de algunas aves.

2.2.5. Trabajo de campo

Dedica 20 minutos a recorrer completamente cada parcela, deteniéndote o desviándote para identificar especies cuando sea necesario. Registre todas las aves vistas u escuchadas en el área. El observador puede dictar sus observaciones a un registrador (que luego transcribe los datos en papel) o a un compañero si esto acelera la recopilación de datos. Se deben enumerar de la misma manera tres parcelas del mismo tamaño para completar el censo. Las aves avistadas fuera de la parcela deberán registrarse por separado.

2.3. Método de conteo por puntos

El método incluye dos tipos de conteo de puntos, un ejemplo es el conteo extensivo, que se realiza de la siguiente manera: Los puntos deben estar espaciados 250 metros entre sí y cada punto debe tener un perímetro de observación de 50 metros para permitir estas actividades. Los lugares suelen ser caminos y claros que pueden abarcar todo el ecosistema; por su parte, los conteos densos se asocian con la captura en redes o la búsqueda de nidos en áreas

pequeñas; estos puntos pueden estar espaciados entre 75 y 150 metros (Martella et al., 2012; Ralph et al., 1996).

2.3.1. Selección de conteo de puntos extensivos

Para seleccionar sitios o puntos para un enfoque de conteo amplio, es necesario cubrir todos los tipos de hábitat presentes en el área. Esto debería incluir estaciones de recolección o captura dentro del sitio. Estos lugares o puntos deben ubicarse de manera sistemática y no aleatoriamente cerca de caminos o carreteras. Asignar puntos a los sitios es la forma más eficaz de realizar el trabajo (Martella et al., 2012; Ralph et al., 1996).

Para garantizar un conteo preciso de aves en áreas boscosas, se debe mantener una distancia mínima de 250 metros entre los puntos de conteo. Es importante señalar que no se deben volver a contar las aves contadas previamente. Según las investigaciones, casi todas las aves, alrededor del 99 %, se observan a menos de 125 metros del observador en todos los hábitats. Sin embargo, en hábitats más abiertos, esta distancia puede ser ligeramente mayor. Cuando los puntos de conteo están ubicados a lo largo de carreteras y se puede acceder a ellos con vehículos, la distancia entre ellos se puede extender a 500 metros o más para obtener resultados óptimos (Ralph et al., 1996).

2.3.2. Selección de puntos de conteo intensivo

“El proceso de realizar conteos intensivos de puntos en áreas designadas para redes y parcelas de búsqueda de nidos implica colocar de 9 a 16 puntos en cuadrículas censales de 3 x 3, 3 x 4 o 4 x 4 puntos. Si bien el método extensivo requiere que cada punto sea estadísticamente independiente, en la mayoría de los análisis, las aves encuestadas desde estos puntos se combinan en un promedio, lo que hace que la distancia entre puntos sea menos crucial. Para lograr un censo completo del área, la configuración de puntos debe abarcar tanto el área de captura como las parcelas de búsqueda de nidos. Por ejemplo, una cuadrícula censal de 9 puntos ubicados cada 100 m cubrirá aproximadamente 4 hectáreas, con la adición de un radio censal efectivo de 50 m, lo que dará como resultado un área total de 9 hectáreas. Por otro lado, una grilla de 12 puntos ubicados cada 150 m cubrirá un área efectiva de 22 hectáreas” (Ralph et al., 1996), véase en Figura 2.2.

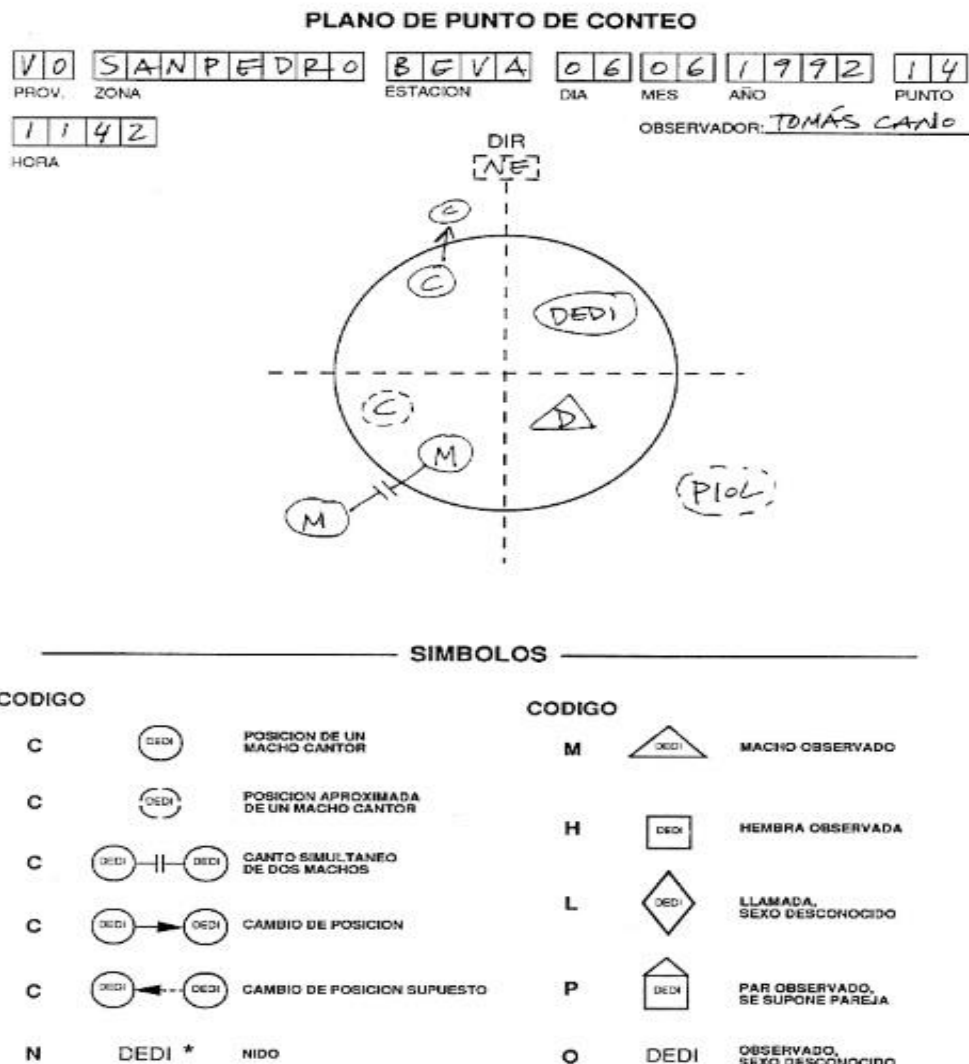


Figura 2.3. Ejemplo de la hoja del plano de puntos de conteos, cada ejemplar es marcado por los símbolos, figura obtenida de (Ralph et al., 1996).

2.4. Método de transecto en franjas

A diferencia de los procedimientos de conteo de puntos, este método implica registrar las aves observadas caminando en línea recta a través de un área designada. Las líneas rectas se dividen en intervalos de 100 o 250 metros como unidades de medida. Esta técnica es particularmente útil en hábitats abiertos porque permite al observador concentrarse en las aves sin distraerse con el terreno. El responsable debe recorrer todo el transecto en un tiempo determinado, como diez minutos cada cien metros (Figura 2.3.).

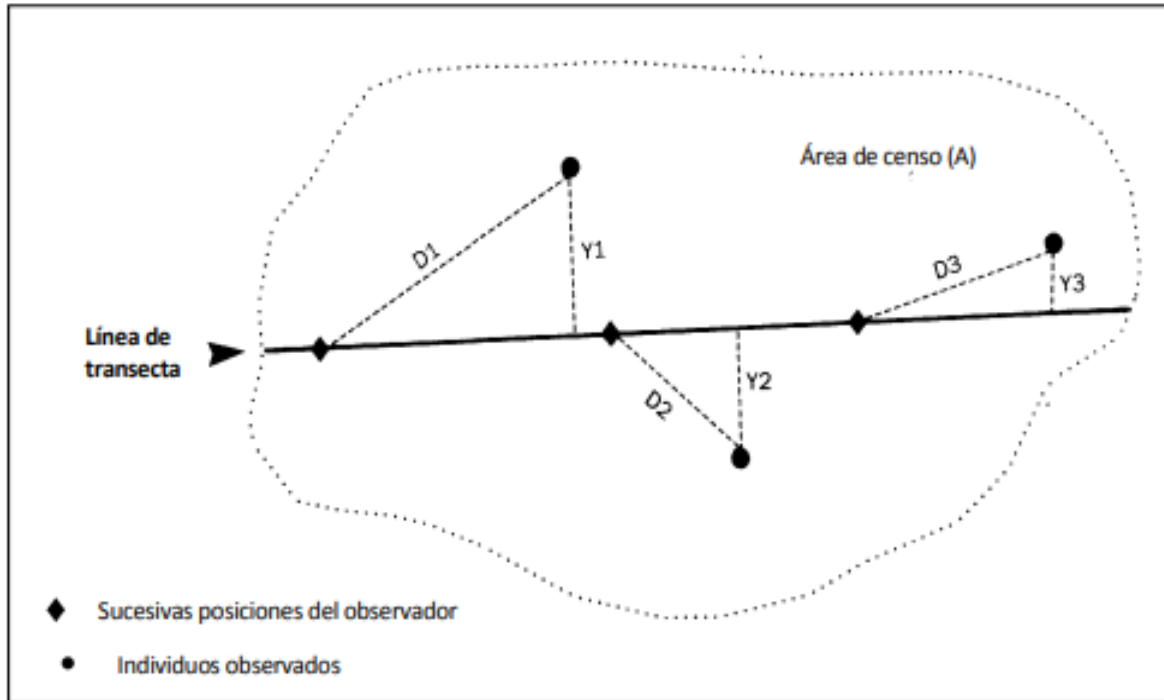


Figura 2.4. Método de transecto en línea, figura de muestra tomada de (Martella et al., 2012).

2.5. Censo de búsqueda intensiva

Este enfoque proviene del Australian Bird Count (Ambrose 1989), que recientemente utilizó métodos de búsqueda intensiva en su censo nacional de aves. El método implica realizar tres censos separados en tres áreas diferentes, cada uno de los cuales dura 20 minutos, en los que los observadores buscan minuciosamente aves. Este método reduce la dificultad de identificar el canto o llamado de un pájaro desconocido porque el pájaro puede ser localizado e identificado visualmente, si es necesario. Además, este enfoque aumenta las posibilidades de detectar especies que han pasado desapercibidas o silenciadas (Ralph et al., 1996). Véase el proceso en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Consideraciones generales en proceso de aplicación de los métodos de transecto en franja y censo de búsqueda intensiva (Martella et al., 2012; Ralph et al., 1996).

Proceso	Descripción
Preparación	La capacidad de reconocer la mayoría, si no todas, las especies presentes en un área determinada debería ser una tarea factible para el observador. Si bien el uso de este método puede ayudar a distinguir especies sospechosas para su identificación, contar con la ayuda de un experto para inspeccionar el área antes de realizar el censo puede mejorar significativamente la precisión de los resultados.
Selección de los sitios	Los sitios de observación de aves deben ser fáciles de identificar y de fácil acceso. El área designada para estos sitios debe ser lo suficientemente amplia como para albergar tres parcelas separadas de 3 hectáreas en áreas boscosas y no menos de 10 hectáreas en ambiente abierto. En el caso de bosques tropicales densos, se podrán utilizar parcelas más pequeñas de 1 a 2 hectáreas. Las gráficas pueden ser adyacentes o completamente independientes. Aunque se pueden establecer más de tres parcelas en la misma zona, se deben inspeccionar sistemáticamente las mismas parcelas cada vez.
Hora del día	Como resultado de la naturaleza rigurosa de este enfoque, es posible realizar este censo en particular durante horas menos restringidas. Sin embargo, es imperativo tener en cuenta que este método no debe extenderse más allá de cinco horas después del amanecer.

2.5.1. Hojas de datos

Las mejores prácticas sugieren utilizar hojas de registro estandarizadas para fines de recopilación de datos. Estas hojas deben permitir la identificación de especies y la enumeración del número de individuos detectados, tanto dentro como fuera de las parcelas designadas, con columnas separadas para cada una (Ralph et al., 1996), véase en Figura 2.4.

[illegible]

Figura 2.5. Hoja de registros de especies de aves (Elaboración propia).

2.6. Diseño del muestreo del agua

2.6.1. Parámetros de medición en campo

Debido a sus propiedades en constante cambio, estos parámetros deben ser medidos en sitio para que podamos diagnosticar la calidad del agua, estos parámetros son: pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, la medición de estos parámetros se realiza mediante múltiples - Equipo de parámetros; también debe medirse la turbidez.

2.6.2. Ubicación de los puntos de muestreo

Para planificar todo el procedimiento de muestreo, el personal encargado del monitoreo de los recursos hídricos debe recopilar todos los datos factibles y minuciosos relacionados con las estaciones que deben muestrearse.

Si bien el lugar óptimo para recolectar una muestra sería el lugar exacto donde la descarga ingresa a un curso de agua natural, acceder a este punto de manera segura y fácil puede no ser factible. En tales casos, la muestra debe tomarse en el punto inicial aguas arriba del vertido donde se pueda acceder sin dificultad, como por ejemplo el primer punto aguas arriba del conducto o canal.

2.6.3. Criterios

Identificación: Es imperativo que la ubicación exacta del punto de muestreo esté claramente identificada y reconocida. La mejor manera de lograrlo es presentando los puntos en mapas o cartas, con el uso de coordenadas UTM a través del Sistema de Posicionamiento Global.

Accesibilidad: El acceso rápido y seguro debe verse facilitado por los atributos del punto. Para extraer la muestra, es imperativo que no exista ningún peligro inherente para el monitor.

Representatividad: Al seleccionar una sección de un río para fines de monitoreo, es crucial elegir una porción del río que sea consistente, alcanzable y uniforme. Se deben evitar áreas con embalses o turbulencias que no sean características del río, a menos que sean el foco de la evaluación. Además, se debe tener en cuenta el punto de referencia para la ubicación del

monitoreo, que podría ser un puente, una roca grande, un árbol, el kilometraje de la carretera o una ubicación.

Seguridad: Al seleccionar los sitios para el monitoreo, es crucial considerar el nivel de seguridad del área donde se recolectarán las muestras y el personal responsable de tomarlas.

2.6.4. Procedimiento

Es necesario elegir un tramo uniforme y libre de obstrucciones causadas por piedras u otros escombros en el curso de agua (Figura 2.5).

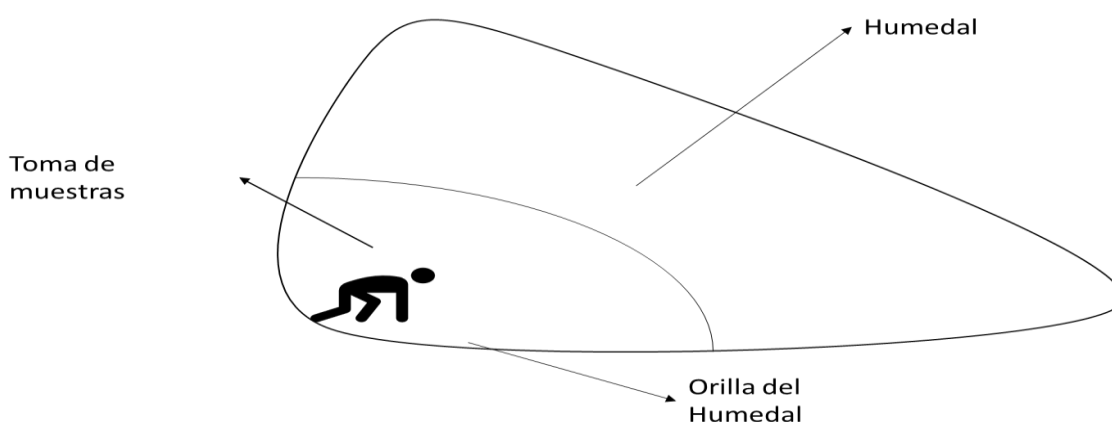


Figura 2.6. Recolección de muestras a orilla de los humedales (Elaboración propia).

2.6.5. Preparativos para el muestreo

El personal debe preparar los elementos y herramientas necesarios al menos dos días antes de que sean necesarios. Para prepararse para la transferencia externa, es necesario anticipar y realizar las gestiones adecuadas. Las herramientas y recursos necesarios el proyecto incluyen varios equipos y materiales, como hojas de salida y listas de verificación.

2.6.6. Revisión de equipo

Es obligatorio que el personal confirme la calibración del equipo antes y después de cada viaje de monitoreo, según lo indicado en el registro de calibración del equipo.

2.7. Índice de diversidad verdadera

El Índice de Diversidad Verdadera es una medida de diversidad que permite una interpretación intuitiva y fácilmente comparable de la diversidad de un entorno o ecosistema determinado. Está diseñado para ser insensible al número de especies presentes en una comunidad y, en cambio, se centra en la abundancia relativa de esas especies. De esta manera, la fórmula puede capturar la verdadera diversidad de una comunidad, sin verse indebidamente influenciada por especies raras o extremadamente abundantes (Moreno, 2001; Pereyra & Moreno, 2013). El concepto de diversidad de partición y sus componentes, α y β , han evolucionado con el tiempo. Sin embargo, la medida de diversidad que debe usarse si el objetivo del estudio es medir la diversidad real, ya que proporciona una representación más precisa de la diversidad de una comunidad o ecosistema (García-Morales et al., 2011).

Los índices de diversidad son medidas importantes de la varianza de la distribución de la abundancia de especies en un entorno determinado. Existen varios índices desarrollados para este propósito, y el índice de Shannon es el más utilizado. Sin embargo, el comportamiento del índice de Shannon no es lineal, lo que dificulta la comparación de valores entre diferentes entornos. El cálculo de la diversidad biológica es un campo atractivo en biología y ecología, ya que puede proporcionar información sobre las cifras proporcionadas por los índices. Al calcular el índice de diversidad, es importante considerar que el fenómeno biológico y el valor obtenido al calcular algún índice de complejidad no son sinónimos de diversidad (Moreno et al., 2011). El Índice de Diversidad Verdadera es otra medida de biodiversidad que tiene en cuenta la cantidad de especies diferentes presentes y su abundancia relativa. Proporciona una representación más precisa de la biodiversidad al considerar tanto la riqueza de especies como la uniformidad de la distribución. La fórmula (Ecuación 1) para calcular tiene en cuenta el número de especies, la abundancia total y el número efectivo de especies.

Ecuación 2.1. Índice de Diversidad Verdadera (Lou & González, 2012).

$$qD \equiv [\sum p_i^q]^{1/(1-q)}$$

dónde:

qD = es la diversidad verdadera

P_i = es la abundancia relativa de la *iésima* especie

S = es el número de especies

q = es el orden de la diversidad

El “número de Hill” se obtiene evaluando expresiones con diferentes valores de q (es decir, $q = 0, 1, 2$) y se analiza en (Magurran, 1988). Jost, (2006) proporciona una explicación integral de las medidas de diversidad y las unidades básicas compartidas por la mayoría de las medidas. Además, muestra propiedades matemáticas ideales para medir correctamente la diversidad. El exponente de p_i y el superíndice q de D se denominan orden de diversidad. Todos los índices de diversidad son funciones matemáticas de fórmulas de ecuaciones 1. Demostró que D es una forma algebraica basada en los valores q y p_i en lugar de exponentes. Esto significa que el índice específico utilizado para calcular la diversidad de especies de la comunidad es irrelevante, siempre que todas las expresiones tengan el mismo orden, q : todos los valores serán expresiones de lo mismo, que es una medida de diversidad (Pereyra & Moreno, 2013). D tiene el mismo número de especies comunes. Como resultado, las medidas de diversidad como D deben calcularse directamente como "números de Hill" utilizando la ecuación 1, en lugar de calcular primero índices como el índice de Gini-Simpson o la entropía de Shannon y luego transformarlos en métricas de diversidad (Echeverría Caro, 2019). Este enfoque es más elegante y eficiente.

La sensibilidad de la medida de diversidad D hacia la rareza de las especies está indicada por su orden q . Una diversidad de orden q inferior, específicamente de orden cero ($q = 0$: ${}^0D$), es completamente indiferente a las diferencias en la abundancia relativa de especies y se la conoce comúnmente como riqueza de especies. La ponderación uniforme de todas las especies se conoce como riqueza, donde todas son igualmente significativas y contribuyen por igual. Asignar igual peso al valor del índice puede no ser siempre el mejor enfoque, particularmente cuando ciertas especies son considerablemente más prevalentes que otras. En los casos en los que los valores de q son inferiores a 1, las especies raras reciben mayor consideración en función de su presencia en la comunidad. Por el contrario, los valores de q superiores a 1 priorizan las especies comunes. El único valor q que garantiza la misma ponderación para todas las especies, sin preferencia hacia especies raras o frecuentes, es $q=1$. Mientras que la ecuación 1 no existe para $q=1$ en la actualidad, su límite sí existe y se puede expresar.

El Índice de Diversidad Verdadera se ha convertido en una medida popular de la biodiversidad en los estudios ecológicos, pero no está exento de desafíos. Uno de los principales desafíos es determinar qué especies incluir en el índice. El índice de diversidad tiene en cuenta tanto el número de especies como su abundancia relativa, pero no existe un consenso claro sobre cómo definir "especies equivalentes" o "especies igualmente comunes" (Moreno et al., 2011). Además, el índice de diversidad verdadera es sensible a cambios en la abundancia de especies dominantes, lo que puede sesgar el valor general de la diversidad (Moreno et al., 2011). Otro problema es que el índice de diversidad verdadera a menudo se calcula utilizando datos incompletos, lo que puede generar resultados inexactos.

Para mejorar la precisión y confiabilidad de los verdaderos índices de diversidad, se pueden abordar algunas limitaciones y desafíos potenciales. Una forma de abordar estas limitaciones es considerar la importancia de incorporar especies raras a los valores de diversidad. Los verdaderos índices de diversidad se pueden mejorar incorporando información sobre la abundancia de especies, lo que puede ayudar a identificar especies raras que a menudo se pasan por alto en los estudios de biodiversidad (Moreno et al., 2011).

2.8. Análisis no paramétrico Bootstrap

El análisis Bootstrap no paramétrico es un método analítico para aproximar la distribución muestral de estadísticas (Efron & Tibshirani, 1985). Este tipo de análisis se utiliza a menudo para estimar el sesgo o la varianza de un análisis (Efron & Tibshirani, 1985). El método de análisis no paramétrico de arranque implica muestrear un conjunto de datos determinado con reemplazo y calcular la estadística de interés para cada muestra. Este proceso se repite varias veces y la distribución de frecuencia resultante se considera una aproximación de la distribución muestral de la estadística. Este método es particularmente útil cuando no está disponible una expresión cerrada para la distribución muestral (Singh & Hie, 2008). Además, se puede utilizar el análisis bootstrap no paramétrico para evaluar la precisión de un estimador determinado.

La idea detrás de Bootstrap es aproximar la distribución muestral de una estadística utilizando datos de una muestra de estudio relacionada como una "población sustituta"; es decir, volver a muestrear (mediante reemplazo) los datos de muestra disponibles a partir de los datos de

muestra disponibles y crear una muestra grande. El número de "fantasmas" llamados "muestras" de muestras de arranque. Luego, el resumen de la muestra se calcula en función de cada muestra de arranque (generalmente varios miles). El conjunto de estos valores calculados se denomina distribución bootstrap de la estadística (Singh & Hie, 2008).

Al implementar bootstrap en su forma más fundamental, se producen y calculan numerosas copias de estadísticas de muestra en función de estas muestras de bootstrap simuladas. “Luego, se elimina una pequeña fracción de los extremos inferior y superior de estos números, normalmente alrededor del 100 % ($\alpha / 2$), donde α es igual a 0.5. El rango de valores que queda, 100 % ($1 - \alpha$) para ser exactos, se presenta como un límite de confianza para la cantidad de interés asociada con el correspondiente resumen de población desconocida. El nivel de confianza para este rango que contiene la incógnita es aproximadamente igual al 100 % ($1 - \alpha$). Esta técnica se conoce como método del percentil bootstrap” (Singh & Hie, 2008). Véase en ecuación 2.2.

Ecuación 2.2. Evaluación de los submuestreos por el método no paramétrico Bootstrap (Moreno, 2001).

$$Bootstrap = S + \sum (1 - p_j)^2$$

El análisis no paramétrico Bootstrap, también conocido como técnica bootstrap, es un método popular para estimar la distribución muestral de una estadística (Solanas & Sierra, 1992). Permite a los investigadores medir con precisión la incertidumbre sin imponer demasiadas restricciones a las variables aleatorias (Solanas & Sierra, 1992). La técnica bootstrap se basa en el principio del complemento, que es la idea de que la estadística de interés se puede estimar a partir de la misma muestra que se utilizó para calcular la estadística (Ortiz, 2014). Esta técnica es especialmente útil cuando la distribución de la población subyacente es desconocida o compleja (Ortiz, 2023). La técnica bootstrap es una herramienta poderosa que se puede utilizar en muchas aplicaciones diferentes, como componentes principales, ajuste de curvas y regresión (Ortiz, 2014). Es una forma poderosa de medir la incertidumbre en los resultados de un análisis estadístico y proporciona una medida de incertidumbre más precisa que los métodos tradicionales.

Este método se utiliza para aproximar diferentes estimadores, como errores estándar, sesgo y varianza en un modelo paramétrico (Ortiz, 2014). También se utiliza en una amplia gama de disciplinas para ajustar modelos estadísticos a las características de los datos (Solanas & Sierra, 1992). Aparte de esto, también se utiliza para calcular intervalos de confianza en un caso práctico. Es una excelente manera de comprender la incertidumbre asociada con una estadística (García, 2023). El método bootstrap se basa en la definición de la distribución empírica (Ortiz, 2023). Aquí, la muestra se extrae de una distribución de probabilidad y luego se aplica el método bootstrap para simular el proceso de muestreo. Ayuda a estimar la distribución muestral de una estadística tomando muestras aleatorias de los datos. También proporciona una manera de evaluar la precisión de la estadística estimada. En conclusión, el método bootstrap es una poderosa herramienta que puede usarse para estimar la distribución muestral de una estadística y ayuda a calcular intervalos de confianza en un caso práctico.

2.9. Similitud de Jaccard

El índice de similitud de Jaccard es una métrica utilizada para medir la similitud entre dos conjuntos (Benites, 2021). “Se denota por $J(X, Y)$ y se calcula encontrando el número de elementos que son comunes en ambos conjuntos y dividiéndolo por el número total de elementos en cualquiera de los conjuntos. Luego, el resultado de este cálculo se multiplica por 100 para convertirlo en un valor porcentual. Cuanto más cerca esté el índice del 100%, más similares serán los conjuntos, mientras que dos conjuntos que son 100 % similares tienen un índice de similitud de Jaccard de 1. El complemento del índice de similitud de Jaccard se llama distancia de Jaccard y se calcula restando $J(X, Y)$ de 1. Es común dejar la respuesta en forma decimal cuando se utiliza la notación de conjuntos para el índice de similitud de Jaccard; sin embargo, multiplicar la forma decimal por 100 puede dar el porcentaje de similitud. Por ejemplo, si dos conjuntos tienen cuatro elementos en común y un total de seis elementos, entonces su índice de similitud de Jaccard es $4 / 6$, lo que equivale a 0.67 o 67%. El índice de similitud de Jaccard se puede utilizar para comparar la biodiversidad de dos bosques tropicales y también es útil en muchas otras aplicaciones, como la minería de datos y el procesamiento de imágenes” (Benites, 2021).

El coeficiente de similitud de Jaccard se calcula dividiendo la intersección de dos imágenes binarias (BW1 y BW2) por la unión de BW1 y BW2, y el resultado de este cálculo se devuelve como un escalar numérico o vector con valores en el intervalo [0, 1] (MathWorks, 2023). Un valor de similitud de 1 indica que las segmentaciones en las dos imágenes coinciden perfectamente (MathWorks, 2023). “El coeficiente de similitud de Jaccard se calcula para cada región y el método para calcular el índice de similitud de Jaccard no se especifica en el texto proporcionado. Además, las imágenes utilizadas pueden ser imágenes binarias, imágenes de etiquetas o imágenes categóricas. El vector también contiene coeficientes que corresponden al índice Jaccard para las etiquetas respectivas, y el primer coeficiente en el vector es el índice Jaccard para la primera categoría. El segundo coeficiente en el vector es el índice de Jaccard para la etiqueta 2 y el vector continúa representando índices de Jaccard para las categorías posteriores. Este método de cálculo se utiliza para medir la similitud entre dos imágenes y se utiliza para determinar el índice de Jaccard para cada región segmentada. El vector representa similitud y el primer coeficiente del vector representa el índice de Jaccard para la primera categoría” (MathWorks, 2023).

Ecuación 2.3. Coeficiente de similitud de Jaccard (Moreno, 2001).

$$I_j = \frac{c}{a+b-c}$$

donde:

I_j = Coeficiente de Jaccard

a = número de especies presentes en el sitio A

b = número de especies presentes en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B

El índice de similitud de Jaccard es una herramienta matemática utilizada para medir la similitud entre dos conjuntos de datos (Moreno, 2001). Es una medida de similitud para conjuntos de datos y varía de 0 a 1, donde 1 indica que los dos conjuntos de datos son muy similares (Moreno, 2001). Si el índice de similitud de Jaccard es 0, indica que los dos conjuntos de datos no comparten ningún miembro (Benites, 2021). El índice se usa comúnmente para identificar los miembros comunes entre dos conjuntos de datos, e incluso puede usarse para conjuntos de datos que contienen caracteres en lugar de números (Benites,

2021). “El índice de similitud de Jaccard tiene otros usos comunes en el análisis de datos más allá de los datos numéricos y puede usarse para comparar la superposición entre dos grupos de observaciones. El índice también se puede utilizar para medir la similitud entre dos conjuntos, y si el índice es 1, entonces los dos conjuntos de datos comparten exactamente los mismos miembros. En conclusión, el índice de similitud de Jaccard es una herramienta poderosa que se puede utilizar para medir la similitud entre dos conjuntos de datos y para identificar los miembros comunes entre dos conjuntos de datos” (Benites, 2021).

2.10. Estadístico SIMPER

SIMPER es un análisis estadístico utilizado para describir un fenómeno en términos de sus componentes. Se utiliza principalmente en los campos de la educación cognitiva y estadística (Badii et al., 2007). Puede aplicarse a una variedad de estadísticas y técnicas (Moore, 2005) y es adecuado para principiantes y cualquier persona interesada en la aplicación de principios estadísticos básicos (Argibay, 2009; De Grande, 2012). Su finalidad es evaluar una estrategia o un análisis estadístico (Frías- Navarro & Pascual Soler, 2012) y presentar los resultados del análisis (Moore, 2005). Además, describe cuándo y cómo utilizarlo ((Martínez & Sepúlveda, 2012). Por lo tanto, la función del análisis estadístico SIMPER es proporcionar una base para que los investigadores comprendan un determinado fenómeno (Gélvez Ferreira, 2018). Esto se debe a que, si el único propósito de la estadística es describir un fenómeno, entonces SIMPER es una herramienta adecuada para este propósito (González & Salazar, 2008).

El análisis estadístico SIMPER es un método utilizado para identificar los principales contribuyentes a un conjunto de datos determinado (Martínez & Sepúlveda, 2012). Es una forma sencilla y eficaz de cuantificar las diferencias entre un conjunto de muestras y compararlas con un conjunto de datos de referencia (Frías- Navarro & Pascual Soler, 2012). Este análisis permite una evaluación efectiva de los datos, así como una fácil interpretación de los resultados (Moore, 2005). También es una herramienta útil para comprender mejor la dinámica de los datos y comprender mejor los patrones subyacentes (Badii et al., 2007). El método es adecuado tanto para principiantes como para cualquier persona interesada en la aplicación de las nociones básicas de estadística a su investigación (Argibay, 2009). Además, el análisis es útil para determinar la importancia relativa de las variables en el conjunto de

datos (De Grande, 2012). Esto se puede hacer midiendo la cantidad de variación en los datos que se puede atribuir a cada variable (Lafuente Ibáñez & Marín Egoscozábal, 2008). Esto es útil para comprender la relación entre las variables y su efecto en el resultado (Gélvez Ferreira, 2018). Además, también se puede utilizar para probar hipótesis sobre los datos y para comprender la estructura subyacente de los datos (González & Salazar, 2008). Por lo tanto, el análisis estadístico SIMPER es una herramienta poderosa tanto para describir como para comprender datos, y puede usarse para tomar decisiones informadas sobre los datos y el proceso de investigación.

SIMPER (Análisis de porcentaje de similitud) es una de las técnicas estadísticas más populares utilizadas para analizar y describir datos (Martínez & Sepúlveda, 2012). Esta técnica se utiliza para comparar múltiples conjuntos de datos e identificar patrones (Frías-Navarro & Pascual Soler, 2012). Es una herramienta eficaz para que los investigadores identifiquen las variables y factores más importantes (Moore, 2005). También es una excelente manera de obtener información sobre las relaciones entre diferentes conjuntos de datos. SIMPER es una herramienta ideal para investigadores que desean comprender mejor los datos que están analizando (Badii et al., 2007). También es una gran herramienta para principiantes que quieran aprender los conceptos básicos del análisis estadístico (Argibay, 2009). Además, SIMPER se utiliza a menudo para identificar patrones de comportamiento o relaciones entre variables (Lafuente Ibáñez & Marín Egoscozábal, 2008). Esto puede resultar especialmente útil cuando los investigadores intentan comprender mejor un fenómeno. Además, SIMPER se puede utilizar para identificar valores atípicos en conjuntos de datos (Gélvez Ferreira, 2018), lo que puede ser importante para identificar posibles errores o problemas con los datos. Finalmente, SIMPER se puede utilizar para hacer una descripción precisa de un conjunto de datos (González & Salazar, 2008), lo que puede resultar útil para análisis posteriores. En resumen, SIMPER es una herramienta eficaz para investigadores que quieran comprender mejor los datos que analizan e identificar patrones de comportamiento o relaciones entre variables. También es útil para identificar valores atípicos y realizar una descripción precisa de un conjunto de datos.

Esta técnica se utiliza para detectar la contribución de las especies a la disimilitud entre los sitios de estudio (Romero et al., 2013). Los datos se analizan utilizando el método NMDS,

que es una técnica multivariada que se utiliza para investigar el grado de similitud entre muestras (Romero et al., 2013). El análisis SIMPER es una parte importante del proceso de investigación ya que permite a los investigadores medir las similitudes y diferencias entre los sitios de estudio. Los datos se analizan para cuantificar el grado de disimilitud entre sitios y determinar qué especies contribuyen a la disimilitud. El análisis también se centra en la contribución de las especies individuales a la disimilitud entre sitios. Esto permite a los investigadores tomar decisiones informadas sobre los datos e interpretar los resultados de manera eficaz. Además, el análisis SIMPER se puede utilizar para identificar las principales especies que contribuyen a la disimilitud entre sitios (Romero et al., 2013). Al utilizar el análisis SIMPER, los investigadores pueden comprender mejor los datos e identificar las especies más importantes que contribuyen a la disimilitud entre los sitios de estudio.

2.11. Análisis de Correspondencia canónica (CCA)

Se utiliza para identificar las relaciones lineales entre dos conjuntos de variables (Matías Castillo, 2017). La ACC se utiliza a menudo en el campo de la ecología para investigar las relaciones entre las variables ambientales y la distribución de especies (Villalpando et al., 2007). Proporciona una representación gráfica de los datos (Rico-Sánchez et al., 2014), que se utiliza para interpretar las relaciones entre las variables ambientales y los datos de las especies. CCA es más potente que la regresión múltiple normal, ya que puede analizar múltiples variables ambientales simultáneamente. Esto lo convierte en una herramienta útil para identificar las variables ambientales más importantes que impulsan la distribución de las especies (Villalpando et al., 2007). A diferencia de otras técnicas estadísticas multivariadas, como el Análisis de Componentes Principales (PCA), el CCA puede medir la correlación entre dos conjuntos de variables. Esto lo convierte en una herramienta valiosa para comprender las interacciones entre diferentes variables ambientales y distribuciones de especies. CCA también es más eficiente que PCA, ya que puede determinar la correlación entre los dos conjuntos de variables en un solo paso. Por lo tanto, ACC es una herramienta poderosa y eficiente para analizar las relaciones entre variables ambientales y distribuciones de especies.

El análisis de correlación canónica (CCA) es una herramienta que se puede utilizar para diversos fines. Es un modelo estadístico multivariado que implica una regresión lineal múltiple de las variables de otra matriz (McCune & Grace, 2002). Esta técnica se puede utilizar para restringir el orden de una matriz (McCune & Grace, 2002), proporcionando interpretaciones de las relaciones entre variables ambientales y datos de especies (XLSTAT Help Center, 2023). Las aplicaciones de ACC se extienden a la identificación de las principales variables ambientales que impulsan la distribución de especies (XLSTAT Help Center, 2023). Este tipo de análisis es beneficioso para la investigación en los campos de las ciencias ambientales y la ecología, ya que puede revelar relaciones complejas entre variables ambientales y biológicas que de otro modo serían difíciles de detectar. CCA se utiliza para representar la correlación entre dos conjuntos de variables en un solo gráfico, que se puede utilizar para identificar las variables que son más importantes para impulsar las distribuciones de especies. Además, el ACC se puede utilizar para evaluar la fuerza de la relación entre dos o más conjuntos de variables. En general, este método estadístico es útil para comprender las relaciones entre las especies y su entorno, así como para descubrir las variables ambientales que influyen más significativamente en la distribución de las especies.

2.12. Análisis Jerárquico (AHP)

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como un método de toma de decisiones multicriterio diseñado para resolver problemas complejos (Nantes, 2019). El proceso implica analizar y priorizar múltiples criterios en una estructura jerárquica, representada gráficamente como estructura jerárquica (Mendoza et al., 2019). Una parte del proceso AHP implica analizar los resultados y calcular los vectores de prioridad y consistencia (Mendoza et al., 2019). Este método se utiliza ampliamente para representar un problema gráficamente, lo que permite a quienes toman decisiones dividir problemas complejos en partes más pequeñas y manejables, lo que ayuda en el proceso de toma de decisiones. La estructura jerárquica representa las relaciones entre los criterios y subcriterios de un problema, haciéndolo más fácil de entender y analizar. AHP se ha utilizado ampliamente en negocios, ingeniería, atención médica y gestión ambiental para tomar decisiones informadas basadas en múltiples criterios. El uso de AHP conduce a una mejor toma de decisiones, ya que proporciona un análisis integral del problema y permite la evaluación sistemática de alternativas.

Este análisis fue desarrollado por Thomas L. Saaty para resolver cuestiones y problemas complicados, involucrando una estructura jerárquica que proporciona una representación gráfica del problema (Mendoza et al., 2019). El método se utiliza para la toma de decisiones y el análisis en diversos campos, incluidos la salud, los negocios y las ciencias sociales. AHP es un enfoque de toma de decisiones basado en múltiples criterios que permite considerar factores subjetivos y objetivos antes de tomar una decisión final. El proceso implica dividir problemas complejos en otros más pequeños y manejables y luego compararlos en pares para determinar su importancia relativa para lograr un objetivo general. La metodología AHP ha sido ampliamente utilizada en diversos campos, como la atención médica, la comunicación digital y el análisis de decisiones (Osorio & Orejuela, 2008). En AHP se calculan los vectores de prioridad y coherencia para determinar la importancia de cada criterio en el proceso de toma de decisiones y comprobar la coherencia de las decisiones tomadas. Se ha demostrado que el uso de AHP mejora la calidad y la eficiencia de la toma de decisiones al proporcionar un enfoque estructurado que considera múltiples factores y perspectivas.

El Proceso de (AHP) es un enfoque estructurado para la toma de decisiones que puede ayudar a identificar criterios y alternativas para un problema determinado. El primer paso en AHP es desarrollar una estructura jerárquica que represente el problema en cuestión, teniendo en cuenta todos los factores y subfactores relevantes (Mendoza et al., 2019). Una vez desarrollada la jerarquía, se debe elegir cuidadosamente un conjunto de criterios y subcriterios y definirlos con precisión para garantizar que sean relevantes y apropiados para el problema. Este es un aspecto fundamental del método que requiere una cuidadosa consideración y atención al detalle (Vergara Rodríguez et al., n.d.).

El método AHP proporciona un enfoque sistemático para la toma de decisiones, permitiendo a quienes toman las decisiones comparar y evaluar diferentes alternativas en función de su importancia relativa y desempeño frente a cada criterio. El método AHP también permite el análisis de sensibilidad, lo que permite a los tomadores de decisiones evaluar el impacto de los cambios en los criterios o ponderaciones en el resultado final del proceso de toma de decisiones. Por lo tanto, implementar el método AHP puede ayudar a identificar criterios y alternativas de manera estructurada e integral, lo que conducirá a una toma de decisiones mejor informada. Este se calcula con la siguiente ecuación (Ecuación 2.4).

Ecuación 2.4. Para el cálculo de los pesos se utilizó la siguiente ecuación.

$$S = \sum_{i=1}^n W_i X_i$$

S = es idoneidad

wi = es el peso del factor i

xi = puntuación del criterio del factor i

3. Metodología

3.1. Área de Estudio

El estado de México alberga el área de estudio, la cual se encuentra dentro de la cuenca del Río Lerma. La cuenca en sí tiene un amplio rango de elevación, alcanzando hasta 2,570 metros sobre el nivel del mar (msnm). El principal arroyo que atraviesa esta región es el Río Lerma, atravesando una distancia de más de 700 kilómetros desde su nacimiento hasta su desembocadura. Dentro de la cuenca, la longitud del río es de aproximadamente 58 kilómetros y mantiene un flujo constante durante todo el año. Además, es alimentada por varios afluentes, incluidos, entre otros, los ríos Lagavia, Jaltepeque, Lajas, Turbio, Angulo y Duero (Figura 3.1).

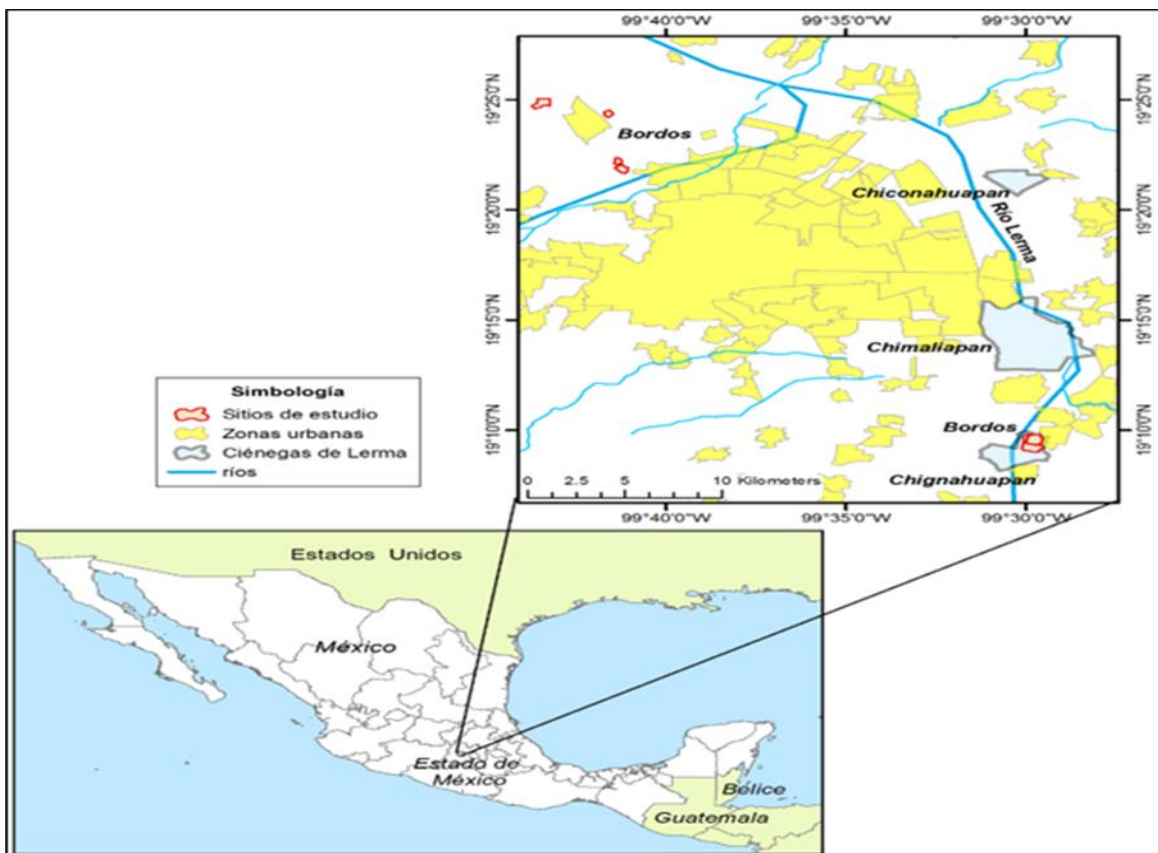


Figura 3.1. Área de estudio, de los humedales monitoreados en la Cuenca Alta del Río Lerma, Estado de México.

A lo largo de su existencia, el Río Lerma se ha nutrido de multitud de manantiales. Estos manantiales han creado el lago Chignahuapan en Almoloya del Río, además de reforzar el

cauce primario de agua del Lerma. Más adelante a lo largo del canal principal hay aún más manantiales que garantizan un suministro constante de agua. En la actualidad, el río Santiaguito recoge el drenaje de la cara noreste del Nevado de Toluca, formando los principales afluentes del Río Lerma (INEGI, 2019). El clima en esta zona se considera templado y se clasifica bajo la clasificación de tipo subhúmedo más húmedo. Las precipitaciones se concentran principalmente durante los meses de verano, con algunas precipitaciones durante el invierno. Durante el mes más frío, las temperaturas pueden oscilar entre -3 y 18°C, mientras que los meses más cálidos tienen temperaturas inferiores a 22 °C. El clima de la cuenca se categoriza generalmente como templado, específicamente bajo el tipo subhúmedo más húmedo. Durante la temporada de verano, la región recibe la mayor cantidad de precipitaciones, mientras que la temporada de invierno también trae algunas precipitaciones. El mes más frío puede tener temperaturas entre -3 y 18 °C, y el mes más cálido suele tener temperaturas inferiores a 22 °C. El subgrupo C (w2) abarca la mayor parte del área de estudio, cubriendo casi el 75 % de la superficie de la región. Esta zona experimenta temperaturas medias que oscilan entre los 12 °C y los 18 °C, y está situada en la parte baja, formada por llanuras y cadenas montañosas. A medida que se avanza hacia las zonas más altas como las montañas que flanquean el valle, el clima cambia a un tipo templado semifrío subhúmedo, conocido como C (E) (w2), con mayores niveles de humedad. En cuanto a las precipitaciones totales, las lluvias invernales representan entre un modesto 5 % y 10. 2 %. Las temperaturas en esta región exhiben un rango relativamente estrecho, con un promedio de entre 5 °C y 12 °C. Además, en el mes más cálido las temperaturas no superan los 18°C. Este subtipo climático concreto abarca el 27 % de la superficie total (Carreño et al., 2018).

3.2. Proceso Metodológico

Como se muestra en la (Figura 3.2), el proceso de investigación implica varias etapas. Los primeros cuatro objetivos implican la identificación de puntos significativos, acceder a recursos bibliográficos y bases de datos, validar información de múltiples plataformas y crear una lista completa de especies que se puedan verificar en el campo. Además, la identificación de los humedales y sus condiciones específicas es necesaria para el seguimiento de las aves acuáticas.

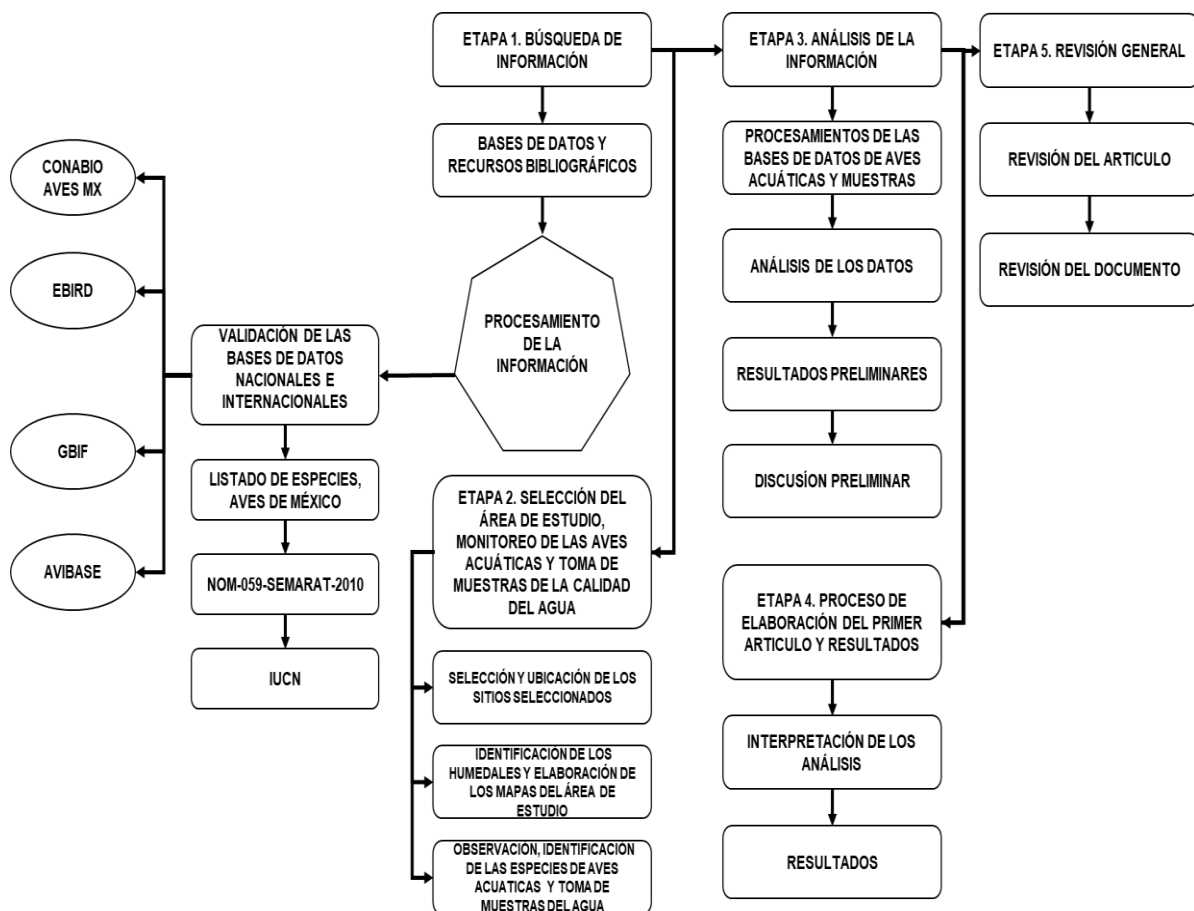


Figura 3.2. Diagrama de flujo de la fase de preparación del trabajo de investigación (Elaboración propia).

3.3. Revisión Bibliográfica y listado de especies

Para garantizar la precisión de los hallazgos, se llevó a cabo una exploración exhaustiva dentro de este sector. Esta exploración incluyó la identificación de palabras clave y términos de búsqueda pertinentes como "aves acuáticas", "Ciénegas de Lerma", "Bordos del Estado de México" y "Actividades Antropogénicas en el Altiplano Mexicano". Para refinar aún más la búsqueda, se utilizaron operadores booleanos y encabezados de materia específicos de la base de datos para aislar estas palabras clave. Además, se incorporaron artículos obtenidos de búsquedas preliminares, junto con aquellos provistos de palabras clave proporcionadas por el autor o etiquetas de vocabulario controlado. La selección y verificación de la información se ilustra en la (Figura 3.3).

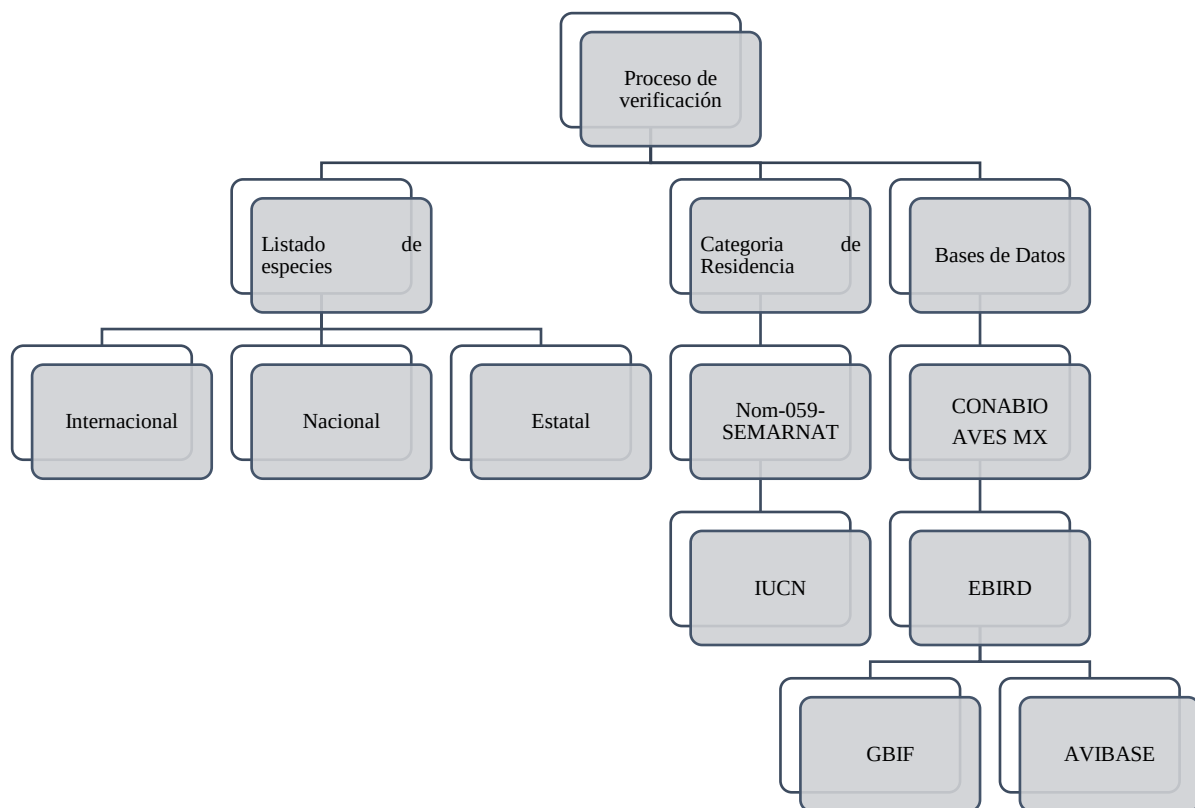


Figura 3.3. Proceso de verificación de la información a través de la revisión de las bases de datos.

Con el fin de obtener datos relevantes sobre la distribución histórica de especies de aves acuáticas, se realizó una investigación exhaustiva en archivos nacionales e internacionales. A estas instalaciones se presentaron solicitudes formales para obtener la información necesaria, la cual se detalla en la Tabla 3.1. Además, para adquirir una comprensión completa de la diversa gama de especies que habitaron el área de interés, se revisaron materiales impresos y catálogos de bibliotecas (Moncada-Hernández, 2014). véase en Tabla 3.2.

Tabla 3.1. Bases de datos institucionales con registros históricos y actuales de distribución de aves acuáticas en México.

Institución	Fuente	Año
"Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad" (CONABIO)	https://www.snib.mx/taxonomia/descarga/ https://enciclovida.mx:443/especies/145940-mammillaria-vetula http://www.snib.mx/ejemplares/descarga/	1975-2021
The Cornell Lab of Ornithology (eBird)	https://ebird.org/data/download?p=ebd_MX-MEX_relFeb-2021.zip	1975-2021
Global Biodiversity Information Facility (GBIF)	https://www.gbif.org/faq/?question=how-long-will-does-gbif-store-downloads	1980-2021

Para realizar un proceso de filtrado se utilizó el programa Excel del paquete office 2021. La estructura del filtro estuvo compuesta por las siguientes categorías: Código de identificación, orden, familia, especie, nombre común, número de individuos observados, tipo de ambiente, estado de residencia, Norma Mexicana 059, Lista Roja de la IUCN (Medellín et al., 2009), valor de vulnerabilidad, código de estado, áreas importantes para la conservación de aves (IBA), código de localidad, coordenadas y fecha de observación. Durante la realización de este proceso se realizó un control rutinario para verificar y validar la información mediante la consulta de listados impresos (Berlanga et al., 2019). Para ampliar y consolidar la

información se creó y organizó una lista de especies (Ortega-Álvarez & MacGregor-Fors, 2011).

Tabla 3.2. Artículos de revistas que contienen información complementaria sobre aves acuáticas.

Revista	Autores
Acta Zoológica Mexicana	(López-Saut et al., 2014)
Agroproductividad	(Delgado et al., 2019)
Huitzil	(Fonseca et al., 2012; Riojas-López & Mellink, 2019; Rodríguez-Casanova & Zuria, 2018)
Revista Mexicana de Biodiversidad	(Ayala-Pérez et al., 2013; Colón-Quezada, 2004, 2009; Martínez-Haro et al., 2012)
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas	(Figueroa-Sandoval et al., 2019)
Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias	(Arrona-Rivera et al., 2013)

3.4. Sitios con registros de aves acuáticas

Para determinar los sitios óptimos con registros de aves acuáticas, se realizó una investigación integral a través de diversas plataformas como: Merlín y eBird (Bases de datos con registros de observaciones de aves) estas dos plataformas pertenecen a The Cornell Lab of Ornithology, para la verificación taxonómica y registros se utilizaron, Avibase esta es una (Base de datos, con información de todas las aves del mundo), BirdLife (Organización encargada en la protección de las aves y sus hábitats), CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), y GBIF (Servicio Mundial de Información sobre Biodiversidad), que permitieron acceder a un amplio espectro con registros actuales e

históricos de aves, con especial énfasis en las aves acuáticas y con distribución en México y la Cuenca Alta del Río Lerma. Además, las bases de datos proporcionaron información valiosa sobre los alrededores del lugar de la investigación. Para la realización de este esquema se siguió un proceso, como se muestra en la Figura 3.4.

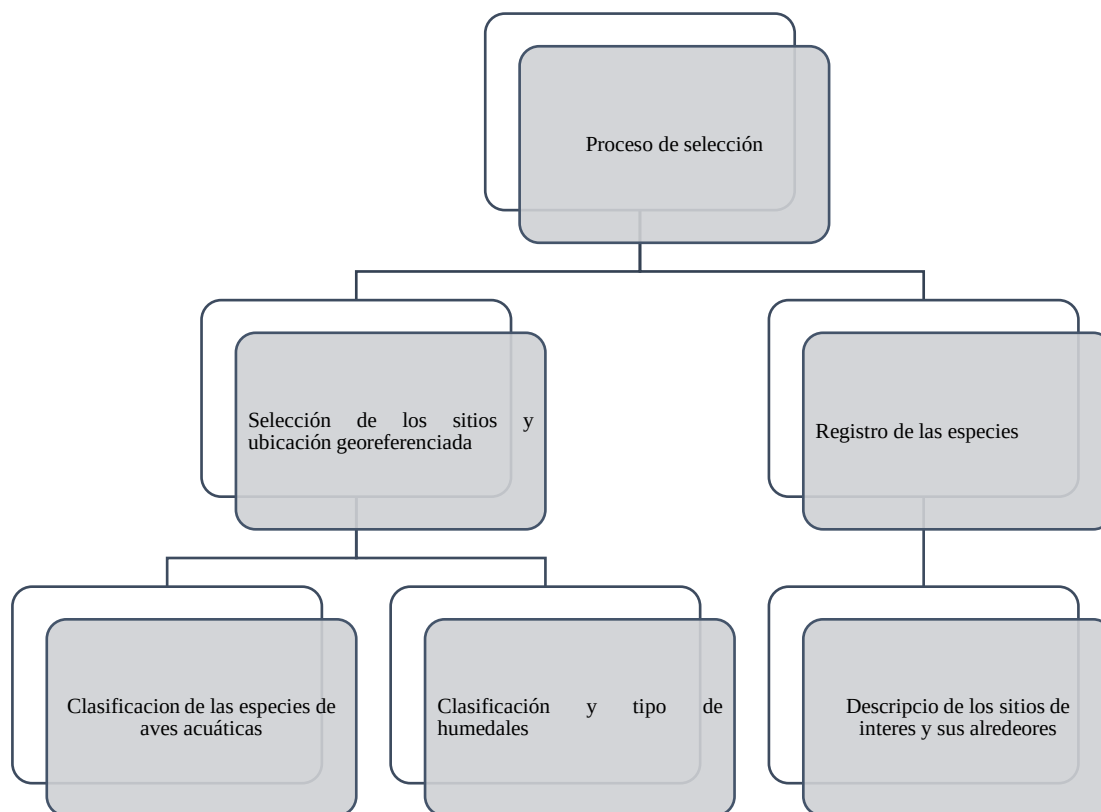


Figura 3.4. Proceso de selección de los sitios con presencia de aves y puntos de seguimiento.

A lo largo del proceso se logró obtener las coordenadas, enfocándonos en áreas que previamente fueron identificadas como puntos y/o sitios de monitoreos que contaban con registros preexistentes de diversas especies de aves acuáticas. Estos factores fueron las principales consideraciones en nuestro proceso de selección que nos permitieron detectar zonas potenciales, tanto naturales como artificiales. Con este proceso, logramos identificar múltiples hábitats únicos que contenían una rica variedad de especies de aves acuáticas.

3.4.1. Criterios de selección

Para realizar este trámite se consideraron los listados de plataformas que han sido previamente autenticados, junto con numerosos estudios que ya han sido publicados en diversas revistas. Estas fuentes fueron debidamente consideradas durante el proceso. Por consiguiente, se tomaron en cuenta los siguientes nueve criterios.

- Puntos o sitios con presencia de aves acuáticas.
- Especies protegidas.
- Especies con valor económico.
- Ecosistemas valiosos.
- Áreas Naturales Protegidas.
- Sitios con presencia de agua temporal o permanente (Humedales, bordos, Charcos etc.).
- Áreas urbanas, con actividades (agrícolas, ganaderas, piscícolas y turísticas).
- Accesibilidad a los sitios de interés (Carreteras, Caminos de terracería, Brechas o zonas con embarcaderos).
- Zonas seguras para realizar el estudio.

Durante los meses de junio y julio de 2021 se realizaron visitas a las zonas designadas para determinar qué áreas cumplían con los criterios requeridos para las actividades de monitoreo.

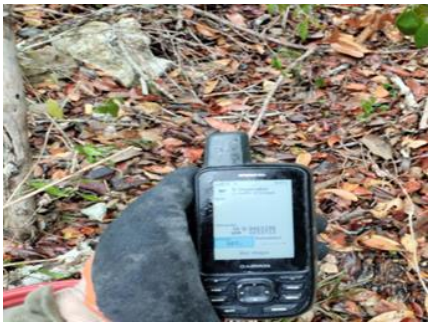
3.5. Técnicas de Monitoreo

Los humedales seleccionados para este estudio se eligieron en función de criterios específicos, como su proximidad a áreas urbanas y agrícolas, accesibilidad y proximidad a carreteras. Además, se tomó en consideración la presencia de aves acuáticas registradas en plataformas digitales como Naturalista, eBird y CONABIO, así como el tamaño y tipo de humedal. Para registrar las especies de aves acuáticas, se utilizó la técnica de transecto desarrollada por (Ralph et al., 1996). Visitando cada humedal una vez al mes durante un total de 10 meses, el esfuerzo estimado de muestreo fue de 240 horas, teniendo cada visita una duración aproximada de 4 horas. Al caminar por el perímetro de los humedales se identificaron varias especies. Para determinar el número de especies presentes dentro del área

del humedal, se realizó un estudio inicial con binoculares. Esto se consideró necesario debido al hecho de que muchas aves acuáticas se reúnen en grupos. Para simplificar el proceso de conteo, las aves acuáticas se contaron en lotes de 10 a 50 individuos, como lo describieron Pineda López & Zuria Jordán, (2019). Para garantizar la precisión, también se utilizaron fotografías como herramienta adicional para el conteo. Las observaciones se realizaron utilizando un telescopio de 75x60, como se especifica en la Tabla 3.3. El censo comenzó a las 7:00 a. m. y continuó hasta que se estudió minuciosamente toda el área del humedal. Para clasificar las especies de aves se consultaron materiales de referencia como “Aves de México” Howell & Webb, (1995), y “National Geographic” Dunn, (2017).

Tabla 3.3. Materiales de apoyo para observar e identificar aves acuáticas.

Materiales	Descripción
 Uso de Binoculares para la observación de aves acuáticas	Binoculares Bushnell Powerview 10 X 42. El PowerView 10x42 de Bushnell es un modelo accesible, bastante resistente, y uno de los binoculares más populares del mundo. Propuesta multipropósito que ofrece un buen rendimiento óptico, óptica multicapa que produce imágenes bastante nítidas y vívidas.
	El amplio rango de ampliación de 20-60x le permite explorar el paisaje con poca ampliación en busca de objetivos y con la capacidad de realizar observaciones detalladas de objetivos distantes con alta ampliación. El gran lente de objetivo 60 mm proporciona la captación de luz necesaria

Materiales	Descripción
Uso de Telescopio	para mantener las imágenes brillantes y nítidas incluso con luz baja o desafiante, como al amanecer y al atardecer.
 Uso de cámara fotográfica	El uso de las cámaras fotográficas permite capturar imágenes que se encuentre dentro de tu campo visual, lo que permitirá observar en imágenes a las especies de aves que hacen uso de los humedales.
 Uso de guías y manuales	El uso de esta herramienta nos permite identificar a las especies de aves acuáticas presentes en los humedales, estas acorde a la distribución y migración, dos de las principales guías son las de Aves de México y National Geographic
	Equipo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) este es un sistema de radionavegación, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y

Materiales	Descripción
Uso de GPS	cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo.

El sistema de clasificación de (De Graaf, 1985), creó gremios de alimentación para categorizar las preferencias alimentarias de las aves acuáticas. Este sistema otorga una comprensión profunda de los diversos tipos de alimentos que consumen las aves acuáticas, lo que nos ayuda a comprender sus hábitos y preferencias. Además, proporciona información sobre su distribución en diferentes hábitats, como se describe en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Abreviatura de los gremios alimenticios de las especies de aves acuáticas registradas.

Gremios	Abreviatura	Descripción
Granívoro	Gra.	Semillas (Granos de maíz, pasto)
Omnívoro	Omn.	Plantas, carne, insectos, granos etc.
Herbívoro	Her.	Algas, plantas acuáticas
Insectívoro	Ins.	Exclusivamente de insectos (Grillos, moscas, invertebrados acuáticos etc.
Piscívoro	Pis.	Exclusivamente de peces
Crustácívoro	Crus.	Camarones, caracoles etc.

Vermívoro	Ver.	Gusanos
Carnívoro	Car.	Animales acuáticos o terrestres

El examen de la estacionalidad de las especies implica la utilización de las clasificaciones de (Berlanga et al., 2019). Estas clasificaciones son fundamentales para identificar los patrones migratorios de las especies de aves acuáticas que habitan en los humedales (consulte la Tabla 3.5). En el presente estudio, nos centramos en el grupo de aves acuáticas, que está compuesto exclusivamente por Anseriformes, Charadriiformes, Gruiformes, Pelecaniformes, Podicipediformes y Suliformes. La Sociedad Estadounidense de Ornitólogos (AOS) nos proporcionó la clasificación y nomenclatura de las especies, que utilizamos en nuestra investigación, según (Chesser et al., 2022). También verificamos la distribución de la especie con las bases de datos de CONABIO, (2021) y el Conjunto de datos básicos de eBird Basic Dataset., (2021). Para determinar las categorías de riesgo de las especies se consultó la Norma-059-Ecol-2010 (DOF, 2019) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2021), ver Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Abreviaturas de las categorías, de Residencia y Riesgo (Berlanga et al., 2019).

Categorías de Residencia	
R - Residente	T - Transitorio
MI - Migratorio de Invierno	A - Accidental
MV – Migratorio de Verano	O - Oceánica
Categoría de Riesgo de la NORMA-059-SEMARNAT-2010	
E - Probablemente extinta en el medio silvestre	A - Amenazada
P - Peligro de extinción	Pr - Sujeta a protección especial

Categorías de Riesgo de acuerdo con la IUCN	
Ex - Extinto	NT - Casi amenazado
EW - Extinto en estado silvestre	LC - Preocupación menor
CR - En peligro crítico	DD - Datos insuficientes
EN - En peligro	NE - No evaluado
VU - Vulnerable	NR - No reconocida como especie por la IUCN

3.5.1. Muestreo del agua

A lo largo del estudio, se observaron de cerca especies de aves acuáticas y se recopilaban datos sobre los atributos fisicoquímicos del agua. Para garantizar la seguridad y la coherencia, el trabajo de campo se limitó a un área designada del humedal. El muestreo se realizó a una profundidad no mayor a 70 cm, respetando las pautas de seguridad establecidas. Todos los datos recopilados han sido registrados y se pueden encontrar en el anexo 2.

- Botas
- Guantes de nitrilo
- Lentes

Utilizando el medidor multiparamétrico EXTECH D0700 para una medición más exacta de los parámetros. Las lecturas se registraron una vez al mes para cada humedal desde octubre de 2021 hasta marzo de 2022. La selección de sitios se basó en la presencia de aves acuáticas y la facilidad de accesibilidad para las mediciones entre las 7:00 a.m. y las 11:00 a.m.

Para garantizar una implementación precisa del proceso de muestreo, es necesaria una definición oportuna de los parámetros apropiados. Estos parámetros se enumeran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Descripción de los parámetros fisicoquímicos y precipitación (Patricia, 2010).

Parámetros	Unidades	Descripción
Temperatura	Celsius	La temperatura juega un papel muy importante en la solubilidad de los gases, la disolución de las sales y la conductividad, la determinación del pH, la comprensión del origen del agua y las mezclas finales, y más. La descarga de agua a alta temperatura puede interferir con la reproducción de las especies, aumentar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización, causando así daños a la flora y la fauna en las aguas receptoras.
pH	Unidades de pH	El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Las aguas fuera del rango normal de 6 a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática. Estos niveles de pH causan alteraciones celulares y, en última instancia, daños a la flora y fauna acuática. En el suministro de agua, el pH es importante para la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento del agua y el control de la corrosión.
Oxígeno Disuelto	mg/L	Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Mantener niveles adecuados de oxígeno

		disuelto en el agua es fundamental para la supervivencia de los peces y otros organismos acuáticos. La temperatura, la materia orgánica disuelta, los oxidantes inorgánicos, etc. afectan el nivel. Una baja concentración de oxígeno disuelto puede indicar una alta carga orgánica en el agua causada por las aguas residuales. La fuente de oxígeno en el agua es la aireación y la fotosíntesis de las algas, y su concentración depende básicamente de la temperatura, la presión y la salinidad.
Conductividad	μS/cm microSiemens/cm	La conductividad de una muestra de agua es una medida de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia, movilidad, valencia y concentración de iones, así como de la temperatura del agua. Hay que tener en cuenta que las sales minerales son buenas conductoras, mientras que los materiales orgánicos y coloidales son malos conductores.

Para adquirir resultados con mayor precisión, el equipo se sumergió en el agua por un tiempo de 15 minutos. Todos los datos relacionados con este experimento se registrarán en la hoja de campo, específicamente en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Hoja de datos para la toma de muestras y coordenadas de los puntos.

Sitios Muestreados	Coordenadas		Temperatura	pH	Oxígeno Disuelto	Conductividad	Precipitación

3.6. Análisis estadístico

La salud y la sostenibilidad de nuestro planeta dependen en gran medida de la biodiversidad. Para ayudar en las iniciativas de conservación y gestión ambiental, es crucial medir y comprender la biodiversidad. Este estudio pretende profundizar en la importancia del análisis estadístico a la hora de medir la biodiversidad, con especial atención a la diversidad real y las cantidades efectivas. Se explorará la relevancia de estas mediciones en la evaluación precisa de la diversidad de especies dentro de los ecosistemas, así como también cómo pueden usarse para informar las estrategias de conservación. Al investigar estos conceptos, este artículo contribuirá a la investigación en curso sobre biodiversidad y enfatizará la necesidad de un análisis estadístico preciso y exacto en esta área de estudio.

La tarea de medir la biodiversidad mediante el uso de análisis estadístico no está exenta de desafíos, como se puede ver a través de las limitaciones de los índices de riqueza, como lo discuten (Cazzolla Gatti et al., 2020). Además, estos índices se pueden utilizar para calcular el número efectivo de especies presentes y determinar la verdadera diversidad de una comunidad determinada (Sasa et al., 2022). Esta verdadera diversidad es el número de especies que son igualmente comunes y necesarias para producir un valor específico de un

índice, como explica (Cazzolla Gatti et al., 2020). Este enfoque permite comparar la diversidad real entre diferentes comunidades.

3.6.1. Diversidad Verdadera

Los humedales que fueron evaluados durante el trabajo de campo de agosto a diciembre de 2021 y de enero a mayo de 2022, fueron sometidos a una evaluación de su riqueza, diversidad y abundancia de especies. La diversidad de especies se analizó interpretando valores con el uso de números efectivos, concepto introducido por (Jost, 2006), que emplea una fórmula específica para su determinación (Ecuación 1).

El valor del parámetro (q) es el factor decisivo en el grado de influencia ejercida tanto por especies comunes como poco comunes, según lo determinado por la medida de diversidad empleada (Hill, 1973). El examen se centra específicamente en dos medidas de diversidad, una de las cuales es el recuento de especies presentes en los humedales, mientras que la otra es el grado de variación encontrada entre ellas (Figura 3.5). El objetivo principal del índice de diversidad real, donde $q = 0$ indica riqueza de especies, es asegurar inventarios completos. Sin embargo, el análisis muestra poca sensibilidad a la abundancia de especies (Moreno et al., 2011). Los resultados obtenidos fueron a través del estimador ACE (estimador de cobertura basado en abundancia) creado por Chao & Lee, (1992). El segundo análisis midió la diversidad de primer orden $q = 1$, también conocida como exponencial del índice de Shannon. Para abordar la cuestión del conocimiento limitado sobre la comunidad, utilizamos el estimador de diversidad de Shannon con sesgo corregido de Chao & Shen, (2003). Este estimador está diseñado para corregir el sesgo de submuestreo, al mismo tiempo que proporciona un intervalo de confianza y garantiza una alta probabilidad de cobertura de la muestra. Tiene en cuenta la rareza y la dominancia de las especies, y también considera la abundancia de todas las especies. Para calcular esta información, utilizamos el programa en línea *SpadeR* (*Species-richness Prediction And Diversity Estimation in R*) desarrollado por Chao & Chiu, (2015).

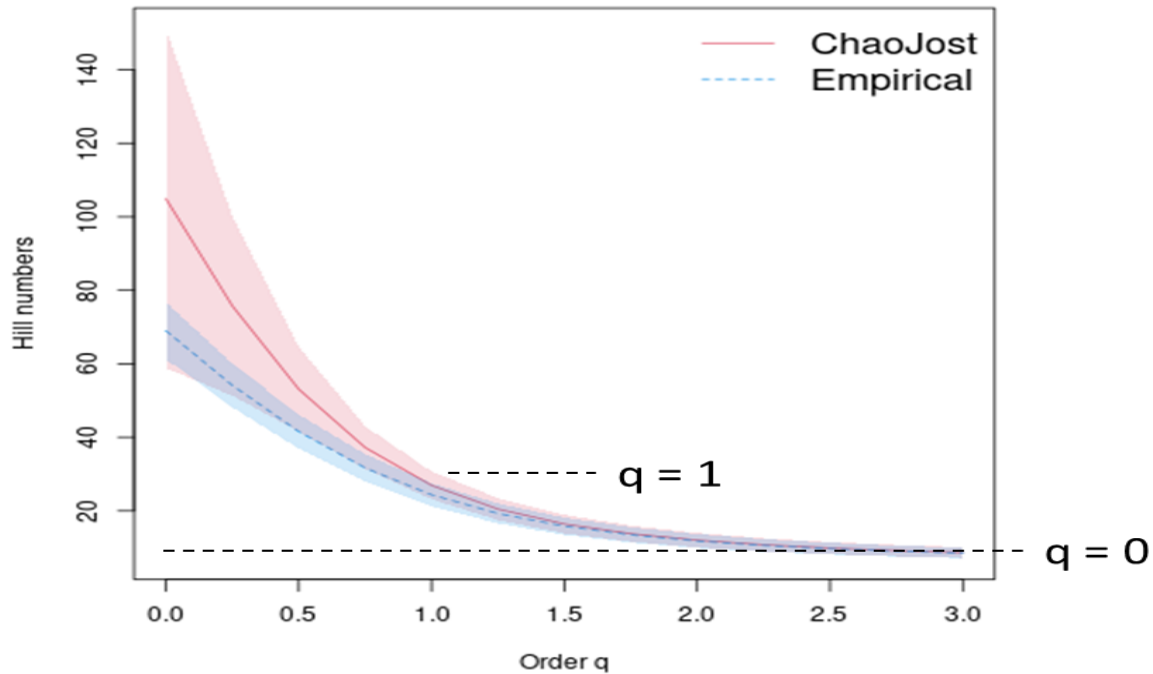


Figura 3.5. Diversidad verdadera, números de Hill (Chao & Chiu, 2016). Gráfico generado del programa SpadeR en línea.

3.6.2. Análisis estadístico Bootstrap

Para evaluar la precisión del monitoreo de los humedales, se realizó una evaluación de su integridad utilizando curvas de acumulación de especies para determinar la presencia o ausencia de especies y la idoneidad del número de muestreos ejecutados. Las curvas proporcionan información sobre el nivel de estabilidad de la asíntota. Esto se logró utilizando el estimador Bootstrap no paramétrico, que es una técnica de remuestreo de análisis estadístico utilizada para estimar parámetros de población mediante muestreo repetido de los datos. Se generan múltiples muestras ficticias mediante el remuestreo del conjunto de datos original, lo que permite el cálculo de errores estándar, pruebas de hipótesis e intervalos de confianza (Efron, 2000). La utilización de esta metodología garantiza la eficiencia y precisión de las pruebas de datos, así como el cálculo conveniente de valores estadísticos, como lo señalan (Wehrens et al., 2000). La inferencia estadística y las pruebas de hipótesis comúnmente emplean esta técnica, que es comparativamente más sencilla que los enfoques tradicionales y elimina la necesidad de realizar experimentos adicionales para obtener conjuntos de datos de muestra alternativos, lo que resulta en ahorros de costos (Ecuación 2).

La herramienta de evaluación utilizada en este análisis es una ilustración de la variedad de especies presentes y se calcula mediante la utilización del índice PJ. Este índice se caracteriza como la proporción J de cada especie, como lo explicó Moreno, (2001). Al utilizar este estimador, es posible aproximar la cantidad de especies presentes en función del número de muestras recolectadas. El software estadístico utilizado para el análisis de la base de datos fue *EstimateS (Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples)*, desarrollado por Colwell et al., (2004).

3.6.3. Índice de Similitud de Jaccard

Para el proceso de la similitud de los humedales con respecto a las especies de aves presentes en los humedales se utilizó el índice de similitud de Jaccard, también conocido como índice de Jaccard o coeficiente de Jaccard, es una métrica instrumental que se utiliza para medir la similitud entre dos conjuntos de datos. Se calcula asignando valores en una escala de 0 a 1. Para determinar el índice, se debe determinar el tamaño de la intersección entre los dos conjuntos y dividirlo por el tamaño de su unión (Ivchenko & Honov, 1998). Este análisis proporcione información sobre hasta qué punto dos muestras pueden considerarse similares en función de la presencia de especies compartidas. Funciona efectivamente como una medida indirecta de la diversidad, capturando las diferencias en la composición de especies entre dos ubicaciones (Hammer & Harper, 2006; Magurran, 1988). Los valores del índice comienzan en 0, lo que significa la ausencia de especies compartidas entre las dos ubicaciones, y pueden llegar hasta 1, lo que indica que los dos sitios exhiben composiciones de especies muy similares (Moreno, 2001). Para determinar el índice de similitud de Jaccard se utiliza una fórmula específica. Para realizar el cálculo del índice se utilizó el programa PAST (*PAleontological STatistics: Estadísticas Paleontológicas*) de (Hammer & Harper, 2006).

3.6.4. Análisis Estadístico SIMPER

Se utilizó el método SIMPER para identificar a las especies en los humedales y corroborar la similitud de Jaccard. Este enfoque analítico se implementa con frecuencia en la ecología para identificar los factores principales que impulsan las diferencias entre grupos en los datos ecológicos, específicamente, cuantifica la métrica de disimilitud de Bray Curtis entre dos o

más grupos de muestra (Baker et al., 2015; Clarke, 1993). El análisis SIMPER se utilizó para determinar los componentes individuales que contribuyeron de manera más significativa a la disimilitud entre grupos de cada ecosistema. Esto se logró identificando a las especies que tuvieron el mayor impacto en la disimilitud y cuantificando su contribución dividiendo la contribución promedio de cada especie por la disimilitud promedio general entre los dos grupos. Además, la comprensión de las interacciones entre especies facilita el cálculo de todas las combinaciones posibles. Para realizar el análisis de los datos y resultado se utilizó el software estadístico PAST (*PAleontological STatistics*: Estadísticas Paleontológicas) de (Hammer & Harper, 2006).

3.6.5. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA)

Para la conexión entre las aves acuáticas y los humedales se analizó mediante el uso del Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). Este método estadístico se utilizó para examinar cómo el conjunto de variables ambientales afecta la frecuencia o distribución de especies dentro de las comunidades que está integrado en los humedales estudiados. CCA se clasifica como una técnica que extrae gradientes ambientales completos de conjuntos de datos ecológicos. Donde se empleó para identificar y clasificar factores ambientales en función de su importancia y evaluar estadísticamente sus influencias (Guo & Wu, 2021; Ter Braak & Verdonschot, 1995). Se construyeron ejes a partir de datos de respuesta que se componen de una combinación lineal de predictores medidos. En el caso de las variables físicoquímicas del agua, la información pasó por un proceso de chi cuadrada para ver la relación que existe entre la Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Precipitación. En consecuencia, estos valores transformados se ingresaron en el software PAST (*PAleontological STatistics*: Estadísticas Paleontológicas) de Hammer & Harper, (2006). La interpretación de los resultados de la ACC puede proporcionar los conocimientos valiosos sobre cómo los diferentes factores ambientales contribuyeron a la formación de una comunidad de especies. CCA tiene como objetivo crear una representación bidimensional que facilite el examen de las conexiones entre ubicaciones, especies y factores (Wang et al., 2018).

3.6.6. Diseño del Proceso de importancia de los humedales

En esta sección, la importancia de los humedales se determinó mediante un análisis multicriterio. En esta evaluación se consideró una variedad de características de las áreas seleccionadas, se estandarizó y priorizó indicadores. Esto se dio mediante la participación de tomadores de decisiones el cual es crucial para este proceso (Tzioutzios & Kastridis, 2020). El cual consistió en la organización de ejidatarios y personas con cercanía a las áreas de estudio. Esta se integró por tres personas por sitios de estudio el cual guardan una relación cercana a los humedales y a las aves acuáticas.

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) implicó un componente central de organización de un conjunto de criterios, a los que luego se les asignaron pesos de acuerdo con su importancia o impacto. Estos criterios se dividieron además en nueve indicadores, y a cada uno de estos indicadores se le asignó un peso correspondiente. En el contexto específico de los humedales y las aves acuáticas, se identificaron tres criterios y de ellos se derivaron nueve indicadores. Al seleccionar estos factores se tuvieron en cuenta consideraciones ecológicas y actividades humanas. Una vez que se recopilaron los datos necesarios, se desarrolló una matriz para integrar los criterios e indicadores, facilitando así el análisis.

3.6.7. Aplicación del Análisis Jerárquico (AHP)

Para ponderar la significancia de cada criterio y sus indicadores asociados, se ejecutó una evaluación por pares. Este método permitió una evaluación exhaustiva de la importancia de cada factor. Se crearon y dispersaron encuestas para obtener los datos requeridos, con el objetivo de involucrar a los participantes en la preservación y el crecimiento de los humedales y su variada fauna. Para garantizar que la evaluación fuera realizada por las personas adecuadas, se incluyeron en el proceso de seguimiento a las comunidades locales situadas cerca de los humedales. El proceso de selección se basó en la idea de que estas comunidades poseen una comprensión y una conexión íntimas con los procesos ecológicos dentro de las áreas de humedales. El proceso de desarrollo de indicadores de seguimiento implicó varios pasos, incluida la recopilación de un número adecuado de elementos y personal. Luego se realizaron consultas para obtener los indicadores necesarios. Se utilizó la escala de medición de (Saaty, 1977), para evaluar la importancia de cada indicador en relación con los demás.

Los tomadores de decisiones involucrados en este proceso fueron miembros de las comunidades vecinas, en total 21 integrantes de las diferentes comunidades aledañas a los humedales. Para asignar valores a los indicadores en función de su importancia relativa se utilizó una escala ordinal. A los indicadores con niveles similares de importancia se les asignó un valor de uno, mientras que a los de mayor nivel de importancia fue de nueve (Pulido et al., 2014), lo que indica la superioridad de los primeros sobre los segundos. Estos valores se presentan en la Tabla 3.8.

Una vez que se obtuvieron las ponderaciones de cada indicador, se llevó a cabo un examen exhaustivo de cada indicador individual. Posteriormente, los valores de cada indicador se fusionaron para determinar el valor total. Luego, el valor de importancia se multiplicó por el valor total, generando valores específicos. Estos valores específicos luego se sumaron y dividieron por el número total de indicadores, proporcionando las ponderaciones generales asignadas a cada humedal.

Tabla 3.8. Comparación por pares matriz de Saaty (1977), (Tzioutzios & Kastridis, 2020).

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema	Muy alta	Alto	Moderado	Igual	Moderado	Alto	Muy alta	Extrema

4. Resultados

4.1. Análisis de las bases de datos y composición de las aves acuáticas

En el proceso de verificación de las diferentes bases de datos se identificaron cuatro hábitats que son cruciales para el sustento de las aves acuáticas. El hábitat de las aves acuáticas está compuesto inicialmente por diversos humedales artificiales llamados bordos, ubicados (San Pablo Autopan, San Cayetano Morelos, Mina México y San Martín Toltepec). Los siguientes tres hábitats están ubicados dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Ciénegas de Lerma e incluyen el Lago Chiconahuapan ubicado en (San Nicola Peralta), el Lago Chimaliapan ubicado en (San Pedro Tlatizapan, Santa Cruz Tultepec, San Pedro Cholula y San Pedro Tultepec) y el Lago Chignahuapan ubicado en (Almoleza del Río y San Mateo Texcalyacac). Estos hábitats se representan en la siguiente Figura 4.1.

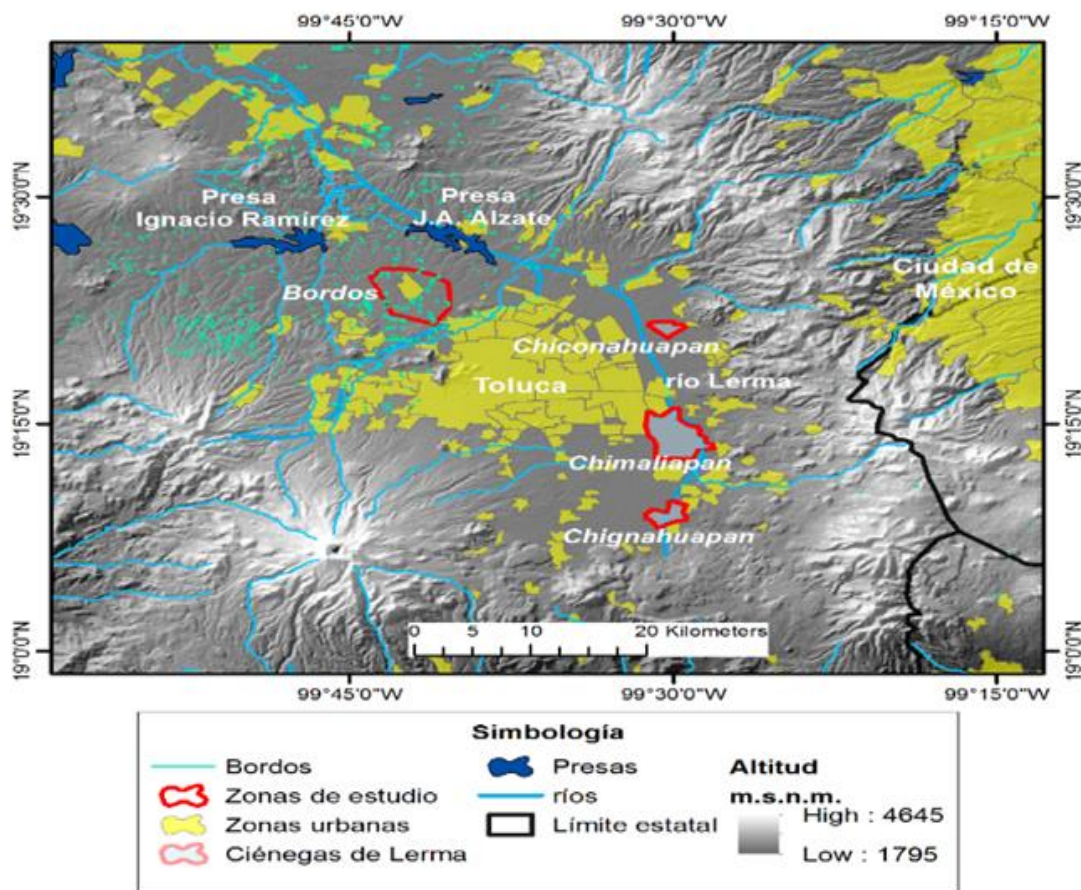


Figura 4.1. Áreas con sitios y registros de especies de aves acuáticas.

El proceso de verificación de las bases de datos y literarias, también permitió realizar un censo completo de especies de aves acuáticas. En total se registraron 66 especies de aves acuáticas, pertenecientes a 13 familias y seis órdenes. Estas especies fueron observadas en la región de la Cuenca Alta del Río Lerma, con un recuento combinado de 143, 083 individuos en cuatro hábitats específicos (como se describe en la Tabla 4.1). Se generó un inventario exhaustivo de especies utilizando los humedales y sus respectivas posiciones de muestreo (como se muestra en la Figura 4.2).

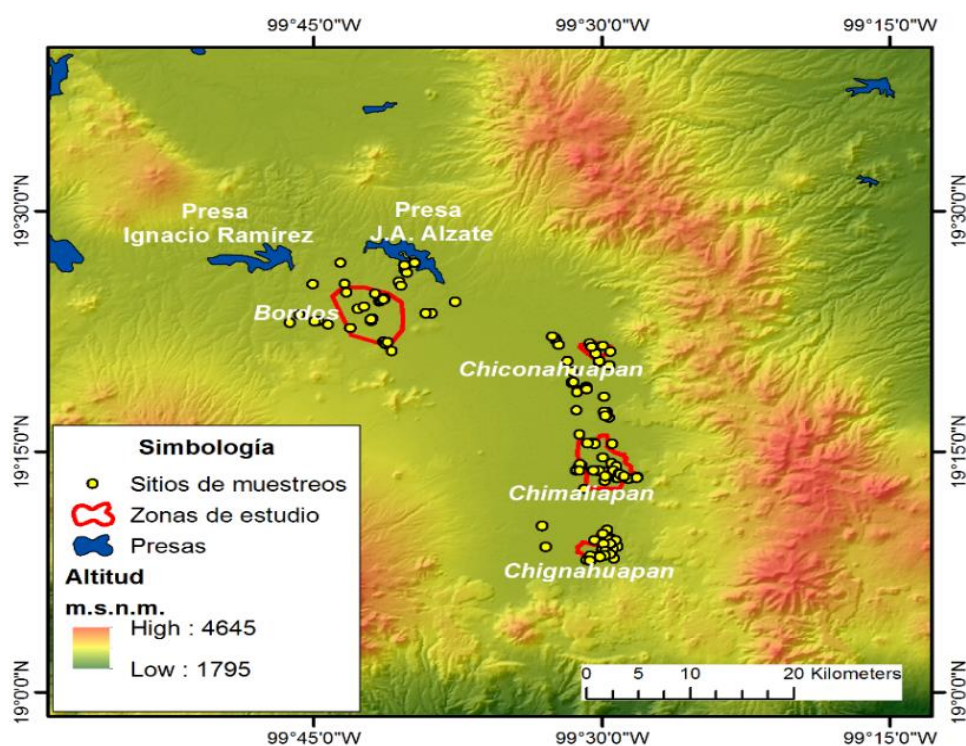


Figura 4.2. Sitios registrados en la Cuenca Alta del Río Lerma con distribución y abundancia de las aves acuáticas.

Las cuatro zonas han sido monitoreadas por un período de 23 años y 2 meses en la Cuenca Alta del Río Lerma, según indican las fuentes CONABIO (2021) y eBird Basic Dataset, (2021). Se presenta la lista de las especies más prevalentes en el área, siendo *Spatula clypeata* la más frecuentemente, seguida de *Bubulcus ibis*, *Plegadis chihi*, *Fulica americana* y *Oxyura jamaicensis*. Mientras tanto, *Charadrius semipalmatus*, *Jacana spinosa*, *Antigone canadensis* y *Chilidonias niger* se encuentran entre las especies de aves acuáticas menos comunes, como se describe en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Listado de las especies de aves acuáticas de acuerdo las bases de datos eBird Basic Dataset. (2021) y CONABIO (2021) en la Cuenca Alta del Río Lerma.

ORDEN	HUMEDALES				CATEGORIAS		
FAMILIA							
ESPECIE	Bordos	Lago Chiconahuapan	Lago Chimaliapan	Lago Chignahuapan	Estatus	NOM-059	IUCN
Anseriformes	-	-	-	-	-	-	-
Anatidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anas acuta</i>	2336	143	53	1146	MI	SC	LC
<i>Anas crecca</i>	1047	45	206	392	MI	SC	LC
<i>Anas diazi</i>	2940	301	2562	1643	R, MI	A	LC
<i>Aythya affinis</i>	6	-	10	29	MI	SC	LC
<i>Aythya americana</i>	-	-	-	9	MI, R	SC	LC
<i>Aythya collaris</i>	100	2	8	11	MI	SC	LC
<i>Aythya valisineria</i>	6	-	-	3	MI	SC	LC
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	30	-	2	5	R	SC	LC
<i>Dendrocygna bicolor</i>	412	-	2	-	R	SC	LC
<i>Mareca americana</i>	1656	208	1566	515	MI	SC	LC
<i>Mareca strepera</i>	351	45	358	335	MI	SC	LC
<i>Oxyura jamaicensis</i>	588	589	7000	2254	MI, R	SC	LC
<i>Spatula clypeata</i>	9754	637	13986	17330	MI	SC	LC
<i>Spatula cyanoptera</i>	382	148	229	611	MI, R	SC	LC
<i>Spatula discors</i>	143	599	1206	1435	MI	SC	LC
Charadriiformes	-	-	-	-	-	-	-
Charadriidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Charadrius semipalmatus</i>	-	-	-	2	MI	SC	LC
<i>Charadrius vociferus</i>	233	1023	537	678	R, MI	SC	LC
<i>Pluvialis dominica</i>	-	-	-	152	MI	SC	LC
Jacanidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jacana spinosa</i>	-	3	-	-	R	SC	LC
Laridae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chlidonias niger</i>	-	-	6	-	T, MI	SC	LC
<i>Larus delawarensis</i>	24	-	6	67	MI	SC	LC
<i>Leucophaeus atricilla</i>	-	1	21	65	MI	SC	LC
<i>Leucophaeus pipixcan</i>	-	-	1	97	T	SC	LC
Recurvirostridae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Himantopus mexicanus</i>	67	152	160	930	R, MI	SC	LC
<i>Recurvirostra americana</i>	41	3	183	29	MI, R	SC	LC
Scolopacidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Actitis macularius</i>	18	6	58	34	MI	SC	LC
<i>Bartramia longicauda</i>	29	7	2	13	T	SC	LC
<i>Calidris bairdii</i>	44	22	33	127	T	SC	LC
<i>Calidris himantopus</i>	-	-	51	31	MI, T	SC	LC
<i>Calidris melanotos</i>	-	-	2	50	T, MI	SC	LC
<i>Calidris minutilla</i>	17	11	53	392	MI	SC	LC

<i>Calidris pusilla</i>	-	-	141	1	T, MI	SC	NT
<i>Gallinago delicata</i>	14	7	540	247	MI	SC	LC
<i>Limnodromus scolopaceus</i>	50	-	399	778	MI	SC	LC
<i>Limosa fedoa</i>	1	-	-	-	MI	SC	LC
<i>Numenius americanus</i>	2	-	-	-	MI	SC	LC
<i>Phalaropus tricolor</i>	262	66	-	3332	T, MI	SC	LC
<i>Tringa flavipes</i>	-	51	436	219	MI	SC	LC
<i>Tringa melanoleuca</i>	1	12	83	102	MI	SC	LC
<i>Tringa semipalmata</i>	-	-	-	1	MI	SC	LC
<i>Tringa solitaria</i>	-	4	46	12	MI	SC	LC
Gruiformes	-	-	-	-	-	-	-
Gruidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Antigone canadensis</i>	-	5	-	-	MI	Pr	LC
Rallidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fulica americana</i>	1644	1981	5154	2909	R, MI	SC	LC
<i>Gallinula galeata</i>	102	423	1896	864	R, MI	SC	LC
<i>Porphyrio martinica</i>	-	-	5	-	R, MI	SC	LC
<i>Porzana carolina</i>	13	19	1050	153	MI, R	SC	LC
<i>Rallus limicola</i>	-	15	346	94	MI, R	A	LC
<i>Rallus tenuirostris</i>	-	3	131	15	R	P	NT
Pelecaniformes	-	-	-	-	-	-	-
Ardeidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ardea alba</i>	189	151	941	751	R, MI	SC	LC
<i>Ardea herodias</i>	17	48	366	71	MI, R	SC	LC
<i>Bubulcus ibis</i>	1645	616	10647	3429	R, MI	SC	LC
<i>Butorides virescens</i>	19	15	83	42	R, MI	SC	LC
<i>Egretta caerulea</i>	-	3	1	3	MI, R	SC	LC
<i>Egretta thula</i>	141	45	201	582	MI, R	SC	LC
<i>Egretta tricolor</i>	-	2	3	19	MI, R	SC	LC
<i>Ixobrychus exilis</i>	-	2	8	2	MI, R	Pr	LC
<i>Nycticorax nycticorax</i>	114	110	124	32	R, MI	SC	LC
Pelecanidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	64	-	2	90	MI	SC	LC
<i>Pelecanus occidentalis</i>	-	-	-	4	R, MI	SC	LC
Threskiornithidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Plegadis chihi</i>	2511	1819	6239	3504	MI, R	SC	LC
Podicipediformes	-	-	-	-	-	-	-
Podicipedidae	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aechmophorus clarkii</i>	1	2	2	830	R, MI	SC	LC
<i>Aechmophorus occidentalis</i>	-	-	-	10	R, MI	SC	LC
<i>Podiceps nigricollis</i>	256	20	257	1408	MI, R	SC	LC
<i>Podilymbus podiceps</i>	47	38	358	681	R, MI	SC	LC
<i>Tachybaptus dominicus</i>	1	1	8	15	R	Pr	LC
Suliformes	-	-	-	-	-	-	-
Phalacrocoracidae	-	-	-	-	-	-	-

<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	-	3	2	4	R	SC	LC
----------------------------------	---	---	---	---	---	----	----

NOM-059-SEMARNAT-2010: A= Amenazada, P= Peligro de Extinción, Pr= Sujeta a Protección Especial, S/C= Sin Categoría. Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza (IUCN): NT= Casi amenazado, LC= Preocupación menor, EN= Amenazado. Estatus de residencia: R= Residente, MI= Migratorio (Berlanga et al., 2019).

En los 23 años de registros de las bases de datos, solo nueve especies estuvieron presentes en al menos uno de los humedales, siendo estas *Charadrius semipalmatus*, *Jacana spinosa*, *Limosa fedoa*, *Numenius americanus*, *Tringa semipalmata*, *Antigone canadensis*, *Porphyrio martinica*, *Pelecanus occidentalis*, *Aechmophorus occidentalis* y 30 especies ocuparon los cuatro humedales, véase en la tabla 4.1. En el Tabla 4.2, se detallan los números de las especies de aves acuáticas encontradas en los humedales.

Tabla 4.2. Riqueza de especies de los ecosistemas pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Lerma.

Ecosistemas	Riqueza
Bordo San Antonio, Bordo las Maravillas, Bordo Independencia, Bordo de Atlacomulco	43 especies
Lago Chiconahuapan	45 especies
Lago Chimaliapan	54 especies
Lago Chignahuapan	59 especies

Se registro los estatus de especies en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019), que incluyó dos especies que se encuentran bajo amenaza (A), tres que están sujetas a protección especial (Pr) y una que se encuentra en peligro de extinción (P). Estas especies son *Anas diazi* y *Rallus limicola* (A), *Antigone canadensis*, *Ixobrychus exilis* y *Tachybaptus dominicus* (Pr), y *Rallus tenuirostris* (P). En cuanto a especies prioritarias, Berlanga et al. (2019), describe a los siguientes: *Rallus limicola* (Amenazada), *Ixobrychus exilis* (Amenazada) y *Tachybaptus dominicus* (Sujeta a protección especial) como se muestra en la Tabla 4.1.

También se consideraron a las especies con un alto valor económico para la región (Tabla 4.3), tomando en cuenta la información adquirida de la caza de aves acuáticas exclusivamente los domingos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011). Dentro de

Ciénegas de Lerma, 10 propiedades funcionan como Unidades de Manejo (UMA) cuyas superficies se encuentran más o menos dentro de la Reserva de Flora y Fauna Ciénegas de Lerma (Secretaría de Medio Ambiente y Recurso Naturales, 2018).

Tabla 4.3. Listado de especies con valor económico y aprovechamiento cinegético presentes en la Cuenca Alta del Río Lerma.

Orden Familia Nombre Científico	Nombre Ingles	IUCN	CITES	NOM-059
Anseriformes				
Anatidae				
<i>Anas acuta</i>	American Wigeon	LC	S/C	S/C
<i>Anas diazi</i>	Blue-winged Teal	LC	S/C	A
<i>Anas crecca</i>	Black-bellied Whistling-Duck	LC	S/C	S/C
<i>Aythya affinis</i>	Canvasback	LC	S/C	S/C
<i>Aythya americana</i>	Cinnamon Teal	LC	S/C	S/C
<i>Aythya collaris</i>	Fulvous Whistling-Duck	LC	S/C	S/C
<i>Aythya valisineria</i>	Gadwall	LC	S/C	S/C
<i>Oxyura jamaicensis</i>	Northern Shoveler	LC	S/C	S/C
<i>Spatula clypeata</i>	Redhead	LC	S/C	S/C
<i>Spatula cyanoptera</i>	Ring-necked Duck	LC	S/C	S/C
<i>Spatula discors</i>	Ruddy Duck	LC	S/C	S/C
NOM-059-SEMARNAT-2010: A= Amenazada, P= Peligro de Extinción, Pr= Sujeta a Protección Especial, S/C= Sin Categoría. Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza (IUCN): NT= Casi amenazado, LC= Preocupación menor, EN= Amenazado. CITES: Apéndice I, Apéndice II, Apéndice III, S/C: Sin Categoría				

Algunas fotografías En las fotografías se muestran algunas de las especies de aves acuáticas que los humedales, como se muestra en la Figura 4.3.



Cerceta alas azules (*Spatula discors*)
Humedal San Jerónimo



Pato Cucharón Norteño (*Spatula clypeata*)
Humedal San Jerónimo



Gallareta Americana (*Fulica americana*)
Humedal Mina



Chorlo Tildio (*Charadrius vociferus*)
Humedal Mina



Garza Blanca (*Ardea alba*)
Humedal San Jerónimo



Pato Mexicano (*Anas platyrhynchos diazi*)
Humedal San Jerónimo



Achichilique Pico Naranja
(*Aechmophorus clarkii*)

Humedal Chignahuapan



Pato Golondrino (*Anas Acuta*)

Humedal Laguna de Oxidación



Ibis Ojos Rojos (*Plegadis chihi*)

Humedal Las Maravillas



Pelícano Blanco Americano (*Pelecanus erythrorhynchos*)

Humedal San Mateo



(*Anas acuta*, *Mareca americana*, *Fulica americana*, *Anas crecca* y *Aythya valisineria*) Humedal Mina



Pato Cucharón Norteño (*Spatula Clypeata*)

Humedal Laguna de Oxidación

Figura 4.3. Especies de aves acuáticas que se distribuyen en los humedales Fotografías tomados por Juan Ramon Hernandez Ugalde.

4.2. Humedales seleccionados para la observación de campo

Durante el proceso de verificación de información y organización de las bases de datos, se analizaron un total de 60 sitios y/o puntos ubicados en diferentes humedales que contaron con la presencia de aves acuáticas. Estos sitios estuvieron sujetos a nueve criterios diferentes, como se ve en la Tabla 4.4, que fueron evaluados cuidadosamente tanto en el campo como en gabinete. Sin embargo, sólo seis de estos sitios y/o puntos lograron cumplir con todos los criterios aplicados.

Tabla 4.4. Criterios de selección de los sitios de Monitoreo.

Criterios para selección	No. humedales	Sitios seleccionados
Puntos o sitios con presencia de aves acuáticas	60	
Especies protegidas	60	20
Especies con valor económico	60	20
Ecosistemas de importancia (Económica y de subsistencia)	30	1
Áreas Naturales Protegidas	3	1
Áreas urbanas, con actividades (agrícolas, ganaderas, piscícolas y turísticas).	20	10
Accesibilidad a los sitios de interés (Carreteras, Caminos de terracería, Brechas o zonas con embarcaderos).	30	20
Zonas seguras para realizar el estudio.	30	6

Los humedales, que albergan una amplia gama de especies de aves acuáticas tanto migratorias como permanentes, están ubicados principalmente en la parte norte-centro de la Cuenca Alta del Río Lerma. Estos humedales están bajo la jurisdicción de tres municipios del Estado de México: Almoloya del Río, Toluca de Lerdo y Almoloya de Juárez. Cada

humedal tiene su propia base de datos que contiene información sobre sitios y puntos específicos, a continuación se muestra los humedales seleccionados en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Humedales seleccionados y su abreviación.

Sitios seleccionados	Abreviaturas
Lago Chignahuapan	CH
Laguna de Oxidación	LO
Bordo San Jerónimo	SJ
Bordo San Mateo	SM
Bordo Las Maravillas	LM
Bordo Mina	M

A continuación, se proporciona una descripción de los humedales en la Cuenca Alta del Río Lerma, junto con su ubicación dentro del Estado de México. Además, incluye una descripción de las plantas acuáticas que se pueden encontrar dentro de los propios humedales, así como en sus alrededores.

4.2.1. Chignahuapan y Laguna de Oxidación

El lago Chignahuapan se ubica en la zona de funcionamiento inferior adyacente a Almoloya del Río, a unos 30 kilómetros al sureste de Toluca, la capital del estado. Es el primero de los tres lagos que constituyen los esteros de Lerma, situado a una altura de 2, 580 metros sobre el nivel del mar (Ceballos, 2003). El lago está acompañado por un humedal cercano, la Laguna de Oxidación, que se extiende sobre una superficie de 44 hectáreas. Este humedal recibe una cantidad considerable de aguas residuales del municipio. (Consulte la Figura 4.4, como referencia).

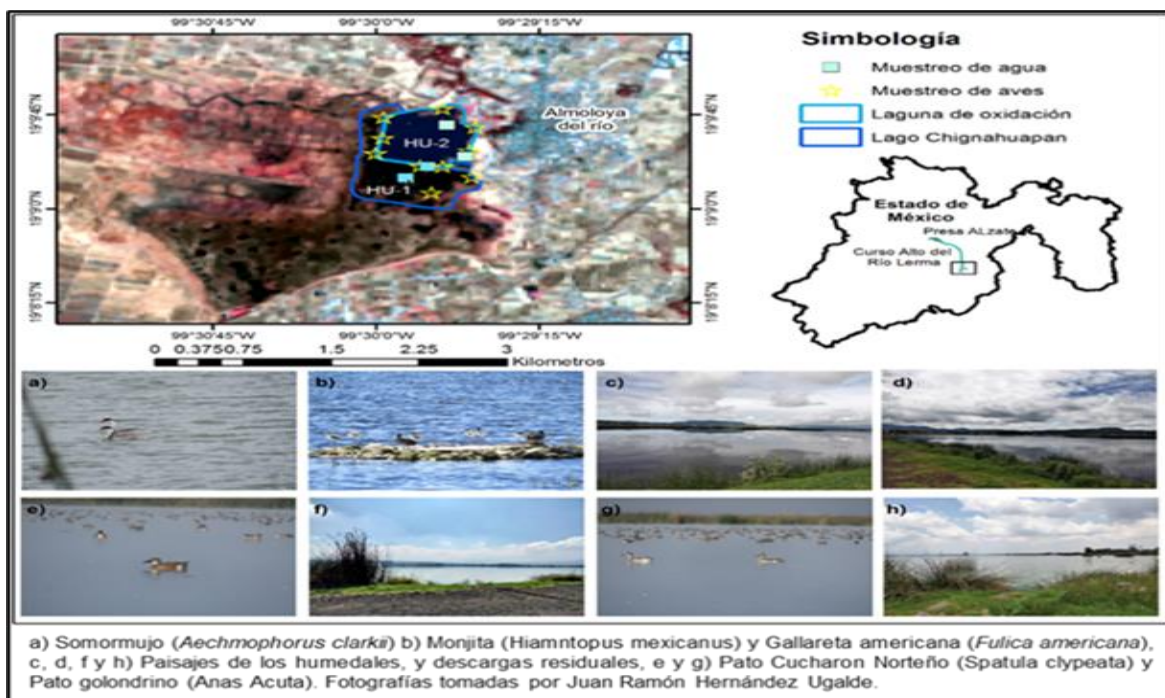


Figura 4.4. Humedal Lago Chignahuapan (CH) y Laguna de Oxidación (LO).

El área del humedal alberga una diversa variedad de plantas, incluido el tule redondo, *Schoenoplectus tabernaemontani*, el tule palmilla, *Typha latifolia* y el tule arrinconado *Hoenoplectus camericanus*. Además, se pueden encontrar otras especies como el chilillo, *Polygonum punctatum*, *P. Lapathifolium* y *P. mexicanum*, el berro, *Hydrocotyle ranunculoides*, así como *Leersia hexandra* y *Echinochoa sp.*, (Zepeda-Gómez et al., 2012).

4.2.2. Bordo San Jerónimo y Bordo San Mateo

La comunidad local ha construido un conjunto de pozos de agua llamados "bordos" alrededor del área de la cuenca. Estos pozos sirven para recolectar agua de lluvia y aguas residuales, que luego se utilizan para el riego de cultivos. Los espacios creados por el hombre, como terraplenes o humedales artificiales, presentan diversos tamaños y formas, y se distinguen por diferentes procesos naturales, métodos de gestión y organización social, como señalan (Montes de Oca Hernández et al., 2021). Los humedales artificiales pueden clasificarse como lugares para la regulación de ríos, tratamiento de aguas residuales o pequeños estanques designados para riego o ganado. San Jerónimo (Figura 4.5) y San Mateo (Figura 4.6) están situados a 7.2 km de Toluca, al sur del Autopan San Pablo. San Pablo Autopan es la segunda región más densamente poblada del municipio, con un total de 47,932 habitantes. Se ubica en la zona funcional de la cuenca alta, a una altura de 2,625 metros sobre el nivel del mar. El clima de esta zona se clasifica como el más húmedo de la categoría templada subhúmeda, específicamente C (w2) con precipitaciones en el verano. El mes más cálido suele tener una temperatura superior a 22 °C. Esta información es de acuerdo con el informe del (INEGI, 2019).

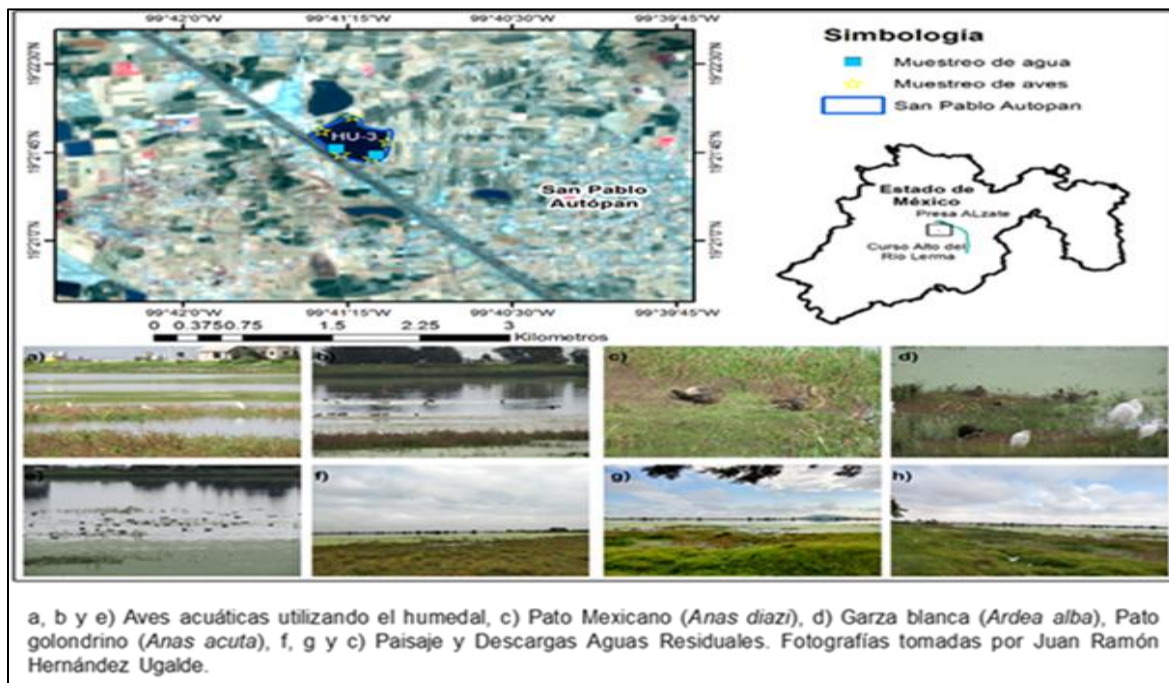


Figura 4.5. Humedal Bordo San Jerónimo (SJ), perteneciente a la Cuenca Alta del Río Lerma.

El Bordo San Jerónimo alberga una diversa gama de especies vegetales, como el chilillo (*Polygonum punctatum*, *P. lapathifolium*, *P. mexicanum*), el berro de hoja ancha (*Hydrocotyle ranunculoides*) y dos variedades de pastos que se encuentran a lo largo de su perímetro (*Leersia hexandra* y *Echinochoa sp.*). Por el contrario, Bordo San Mateo se caracteriza principalmente por dos tipos de pastos que recubren sus bordes (*Leersia hexandra* y *Echinochoa sp.*), ver en Figura 4.6. Estos distintos tipos de vegetación se concentran principalmente en la margen derecha, dirigiéndose hacia Toluca de Lerdo. La flora de estas zonas es única y destaca por su composición específica.

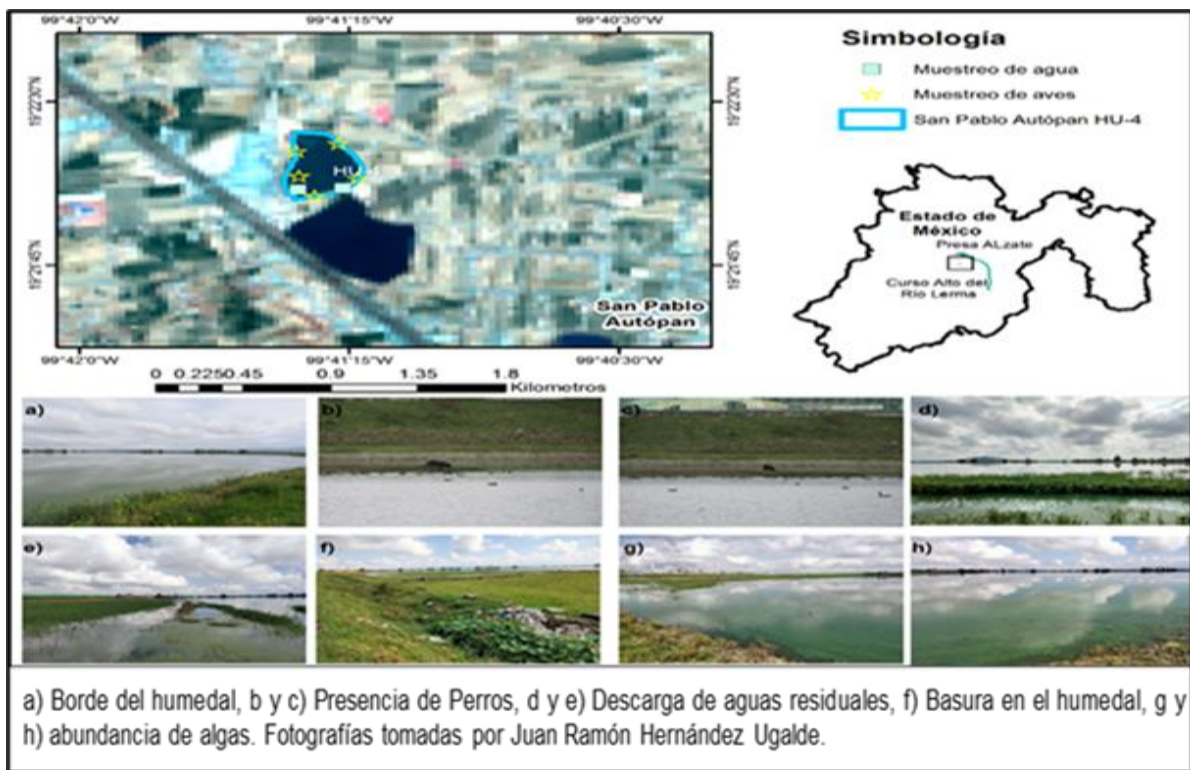


Figura 4.6. Humedal Bordo San Mateo (SM), pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Lerma.

4.2.3. Bordo Las Maravillas

El Bordo las Maravillas se encuentra dentro del Campus de Biología y Medicina Veterinaria, también conocido como “El Cerrillo”, que es una dependencia de la Universidad Autónoma del Estado de México (Soriano-Vargas & Salgado-miranda, 2018). Con una extensión total de 18 hectáreas, se encuentra aproximadamente a 15 kilómetros del corazón de la capital de México (Vázquez, 2019). Como se ilustra en la Figura 4.7, este lugar está situado en las afueras de San Cayetano de Morelos, con la cualidad única de estar rodeado de un paisaje dominado por asentamientos humanos y actividades agrícolas (Ramírez-Albores & Pérez Suárez, 2018). El banco que rodea el área del humedal está bordeado principalmente por sauces llorones (*Salix babylonica*) y cipreses (*Cupressus spp.*), mientras que el interior del humedal está dominado por el tule rojo (*Schoenoplectus tabernaemontani*), la palmilla de tule (*Typha latifolia*) y Tule acorralado (*Schoenoplectus americanus*). Además, se encuentran presentes diversas plantas herbáceas, entre ellas el chilillo (*Polygonum punctatum*, *P. Lapathifolium*, *P. mexicanum*), berros de hoja ancha (*Hydrocotyle ranunculoides*) y pastos (*Leersia hexandra* y *Echinochoa sp.*).

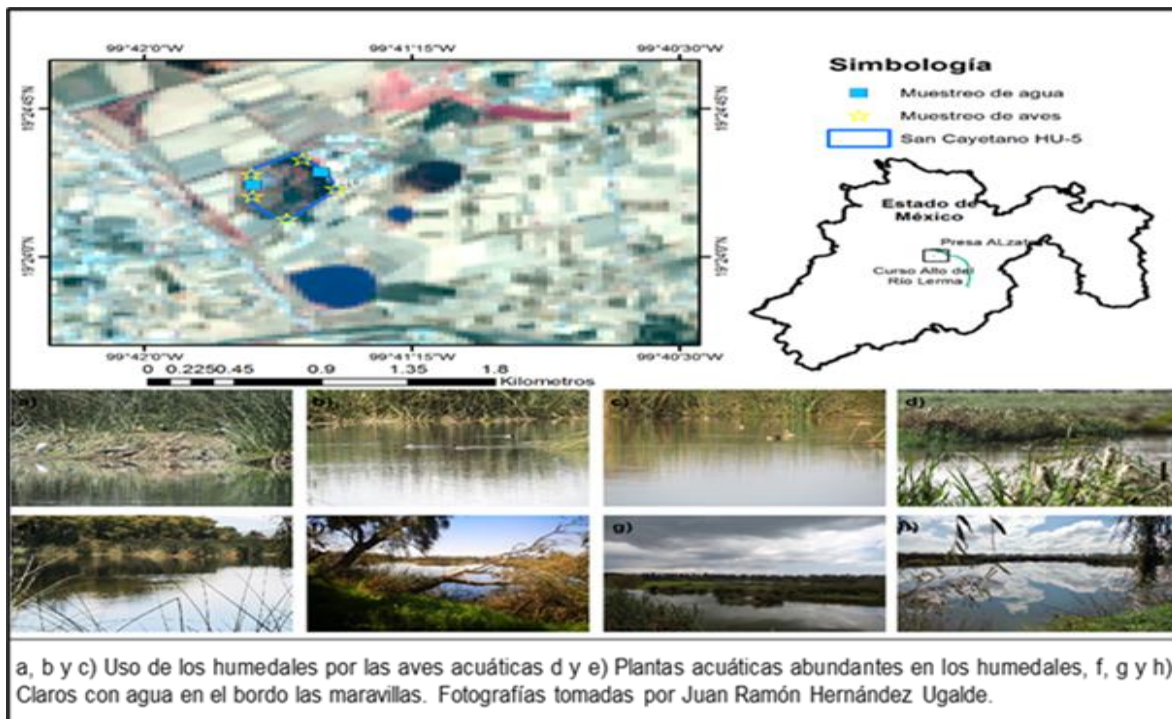


Figura 4.7. Humedal Bordo Las Maravillas (LM), pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Lerma.

4.2.4. Bordo Mina

Situado en el Municipio de Almoloya de Juárez, Estado de México, se encuentra el pueblo de Mina México (Figura 4.8), aproximadamente a 14 km al sur de Villa Almoloya de Juárez. La altitud de la localidad es de 2, 609 msnm y tiene una población de 3, 060 habitantes. La Secretaría de Agricultura fue responsable de construir la junta y suministrar la maquinaria necesaria para los proyectos técnicos del gobierno del Estado de México entre 1970 y 1975. Durante este tiempo se creó la junta para el ejido Mina México de Almoloya de Juárez (Montes de Oca Hernández et al., 2021). La vegetación que domina la cornisa se compone principalmente de (*Lemma gibba*), una especie flotante. En los bordes del saliente también se pueden observar pastos como (*Leersia hexandra* y *Echinochoa* sp.).

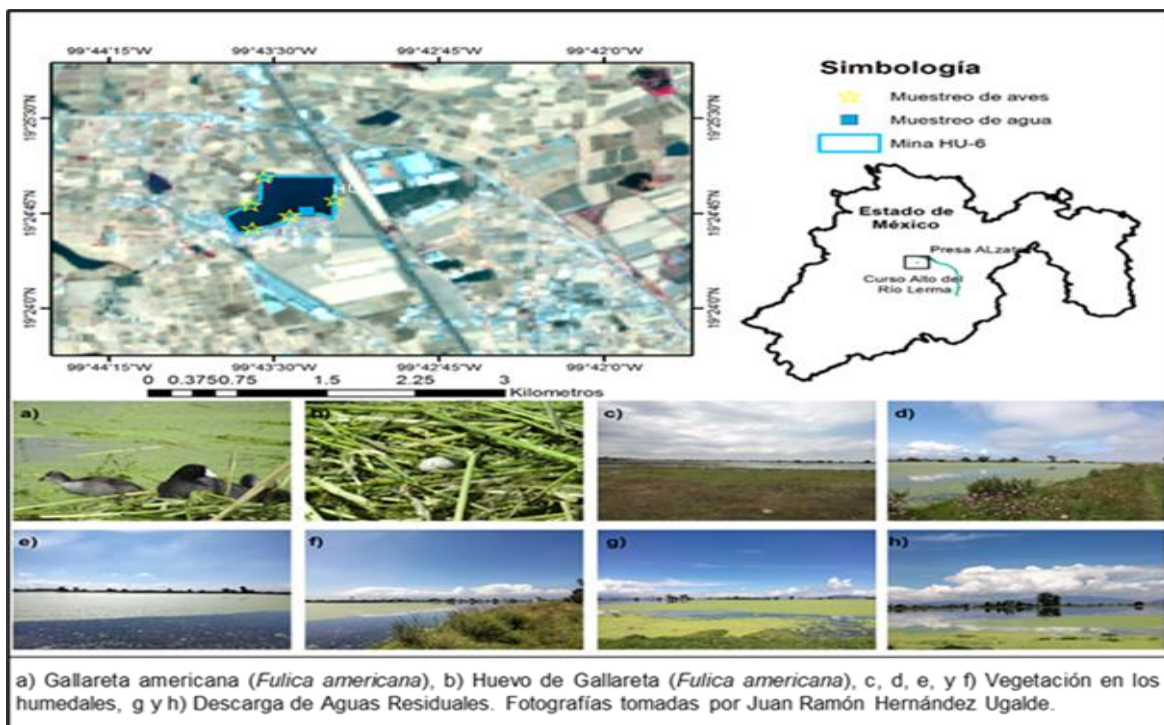


Figura 4.8. Especies presentes y forma del humedal Bordo Mina (M), pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Lerma.

Especies de plantas acuáticas presentes en los sitios de estudio, estos se encontraron distribuidos en el interior de los humedales ver en la Figura 4.9.

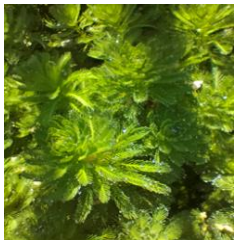
 Especie: <i>Polygonum punctatum</i> Ell. Nombre común: Chilillo Fuente: (CONABIO, 2021c)	 Especie: <i>Lemna minor</i> Nombre común: Lenteja de agua Fuente: (CONABIO, 2021a)
 Género: <i>Poaceae</i> Nombre común: Cebadilla Fuente: (Lot et al., 2015)	 Especie: <i>Myriophyllum aquaticum</i>. Nombre común: Pinito, cola de borrego Fuente: (Lot et al., 2015)
 Especie: <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> Nombre común: Malacote Fuente: (CONABIO, 2021b)	 Especie: <i>Schoenoplectus californicus</i> Nombre común: Tule Fuente: (Lot et al., 2015)

Figura 4.9. Especies de plantas acuáticas en el área de estudio, Fotografías: Juan Ramon Hernandez Ugalde.

4.3. Análisis estadísticos

Durante los 10 meses de observación en los humedales ubicados en la Cuenca Alta del Río Lerma, se realizó un inventario y el listado integral con estricta atención únicamente a las especies de aves acuáticas. En total, se observaron **46 especies** únicas pertenecientes a **11 familias** distintas y **seis órdenes** separados, lo que resultó en un total de **82,834 individuos** (consulte la Tabla 4.6., para obtener más información).

Los órdenes taxonómicos que exhibieron una mayor cantidad de especies de aves acuáticas y que se distribuyeron en los humedales fueron los **Charadriiformes** (representando el **32.6%** de las especies observadas), seguidos de **Anseriformes (28.2%)**, **Pelecaniformes (17.4%)**, **Gruiformes (10.9%)**, **Podicipediformes (6.5%)** y **Suliformes (4.4%)**. Entre las familias, se encontró que **Anatidae** tiene la representación más diversa, con **13 especies**, le siguieron **Scolopacidae** con **10 especies**, **Ardeidae** con **seis especies**, **Rallidae** con **cinco especies** y **Podicipidae** con **tres especies**. Las familias restantes estuvieron representadas por sólo una o dos especies cada una (Tabla 4.6).

Después de una revisión exhaustiva de los patrones de residencia de las especies de aves acuáticas, se determinó que **31** de estas especies son **Migratorias de invierno**, mientras que **12** exhiben **Residencia durante todo el año** y **tres** son **Transitorias**. Además, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-2010), se registraron dos especies categorizadas como **Amenazados (A)** *Anas platyrhyncho diazi* y *Rallus limicola* y una en **Peligro de Extinción (P)**, *Rallus tenuirostris*, véase en tabla 4.6.

Tabla 4.6. Listado de las especies registradas en los seis humedales del Cuenca Alta del Río Lerma. CH (Lago Chignahuapan), LO (Laguna de Oxidación), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Laguna las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M).

ORDEN	HUMEDALES						CATEGORIAS	
FAMILIA								
ESPECIE	CH	LO	SJ	SM	LM	M	ESTATUS DE RESIDENCIA	NOM-059
Anseriformes								
Anatidae								
<i>Anas acuta</i>	2	120	262	6	359	610	MI	SC
<i>Anas crecca</i>	6	42	84	4	825	203	MI	SC
<i>Anas platyrhyncho diazi</i>	45	494	133	12	1296	17	MI, R	A
<i>Aythya affinis</i>	-	-	1	-	-	15	MI	SC

ORDEN	HUMEDALES						CATEGORIAS	
FAMILIA								
ESPECIE	CH	LO	SJ	SM	LM	M	ESTATUS DE RESIDENCIA	NOM-059
<i>Aythya collaris</i>	-	1	227	-	-	51	MI	SC
<i>Aythya valisineria</i>	-	-	427	-	-	-	MI	SC
<i>Dendrocygna bicolor</i>	-	-	-	-	80	-	R	SC
<i>Mareca americana</i>	-	4744	75	2	119	5060	MI	SC
<i>Mareca strepera</i>	-	92	116	12	18	589	MI	SC
<i>Oxyura jamaicensis</i>	27	519	890	465	130	1408	MI, R	SC
<i>Spatula clypeata</i>	1368	20537	6372	1401	3188	9764	MI	SC
<i>Spatula cyanoptera</i>	-	8	16	-	81	10	MI, R	SC
<i>Spatula discors</i>	10	64	667	20	120	2271	MI	SC
Charadriiformes								
Charadriidae								
<i>Charadrius vociferus</i>	35	62	118	15	5	29	R, MI	SC
Laridae								
<i>Larus delawarensis</i>	-	-	10	1	-	1	MI	SC
<i>Leucophaeus atricilla</i>	1	-	-	-	-	-	MI, R	SC
Recurvirostridae								
<i>Himantopus mexicanus</i>	46	14	69	89	11	66	R, MI	SC
<i>Recurvirostra americana</i>	2	-	8	2	-	80	MI, R	SC
Scolopacidae								
<i>Actitis macularius</i>	2	2	7	-	-	5	MI	SC
<i>Calidris bairdii</i>	-	-	4	-	-	8	T	SC
<i>Calidris melanotos</i>	-	-	-	-	-	1	T, MI	SC
<i>Calidris minutilla</i>	-	1005	1	-	-	5	MI	SC
<i>Gallinago delicata</i>	-	-	2	-	-	-	MI	SC
<i>Limnodromus scolopaceus</i>	30	67	1266	780	34	-	MI	SC
<i>Phalaropus tricolor</i>	-	-	10	-	-	10	T, MI	SC
<i>Tringa flavipes</i>	-	1	2	-	-	11	MI	SC
<i>Tringa melanoleuca</i>	9	31	-	-	1	4	MI	SC
<i>Tringa solitaria</i>	-	-	1	-	-	1	MI	SC
Gruiformes								
Rallidae								
<i>Fulica americana</i>	660	719	2356	583	490	5554	R, MI	SC
<i>Gallinula galeata</i>	9	21	-	-	18	-	R, MI	SC
<i>Porzana carolina</i>	10	18	1	-	9	-	MI, R	SC
<i>Rallus limicola</i>	-	3	-	-	2	-	MI, R	A
<i>Rallus tenuirostris</i>	-	2	-	-	-	-	R	P
Pelecaniformes								
Ardeidae								
<i>Ardea alba</i>	18	6	102	13	29	3	MI, R	SC
<i>Ardea herodias</i>	1	-	1	1	1	-	MI, R	SC
<i>Bubulcus ibis</i>	100	202	32	31	314	40	R, MI	SC

ORDEN	HUMEDALES						CATEGORIAS	
FAMILIA								
ESPECIE	CH	LO	SJ	SM	LM	M	ESTATUS DE RESIDENCIA	NOM-059
<i>Butorides virescens</i>	4	10	-	-	10	-	R, MI	SC
<i>Egretta thula</i>	284	347	70	2	91	6	MI, R	SC
<i>Nycticorax nycticorax</i>	-	4	2	1	13	-	R, MI	SC
Pelecanidae								
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	1	-	149	80	-	-	MI	SC
Threskiornithidae								
<i>Plegadis chihi</i>	58	18	37	4	32	31	MI, R	SC
Podicipediformes								
Podicipedidae								
<i>Aechmophorus clarkii</i>	33	16	-	-	-	-	R, MI	SC
<i>Podiceps nigricollis</i>	41	293	29	1	46	100	MI, R	SC
<i>Podilymbus podiceps</i>	26	17	39	5	21	2	R, MI	SC
Suliformes								
Phalacrocoracidae								
<i>Nannopterum auritum</i>	-	-	47	21	-	-	MI, R	SC
<i>Nannopterum brasilianum</i>	-	1	2	1	-	1	R	SC

NOM-059-SEMARNAT-2010: A= Amenazada, P= Peligro de Extinción, Pr= Sujeta a Protección Especial, S/C= Sin Categoría. Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza (IUCN): NT= Casi amenazado, LC= Preocupación menor, EN= Amenazado. Estatus de residencia: R= Residente, MI= Migratorio (Berlanga et al., 2019).

Los humedales fueron analizados por su índice de diversidad con base en el orden $q = 0$. Entre los humedales estudiados, Bordo San Jerónimo (**SJ**) tuvo el mayor número de riqueza de especies observadas (**37**), mientras que Bordo San Mateo (**SM**) y el Lago Chignahuapan (**CH**) tuvieron el menor (**26** y **27** respectivamente). El análisis de diversidad de especies de orden $q = 1$ indicó que los humedales Bordo las Maravillas (**LM**) y Bordo San Jerónimo (**SJ**) tuvieron el mayor número de diversidad de especies, con **6.9** y **6.7 especies** respectivamente. En contraste, el humedal Laguna de Oxidación (**LO**) tuvo la diversidad de especies más baja con solo **3.1 especies**. Esto implica que los humedales Bordo las Maravillas (**LM**) y Laguna de Oxidación (**LO**), difieren significativamente, ya que se encontró el triple de diversidad de especies en el humedal Bordo las Maravillas (**LM**) en comparación con el humedal Laguna de Oxidación (**LO**), (Tabla 4.7).

El **Estimador Bootstrap** no paramétrico reveló que la riqueza de especies de cada humedal era relativamente alta, superando el **80%**, por lo que se considera una muestra muy aceptable. El humedal que más destaco fue el Bordo San Jerónimo (**SJ**) con **37 especies**, Bordo Mina (**M**) con **31 especies**, mientras que los humedales de Bordo San Mateo (**SM**) y Lago

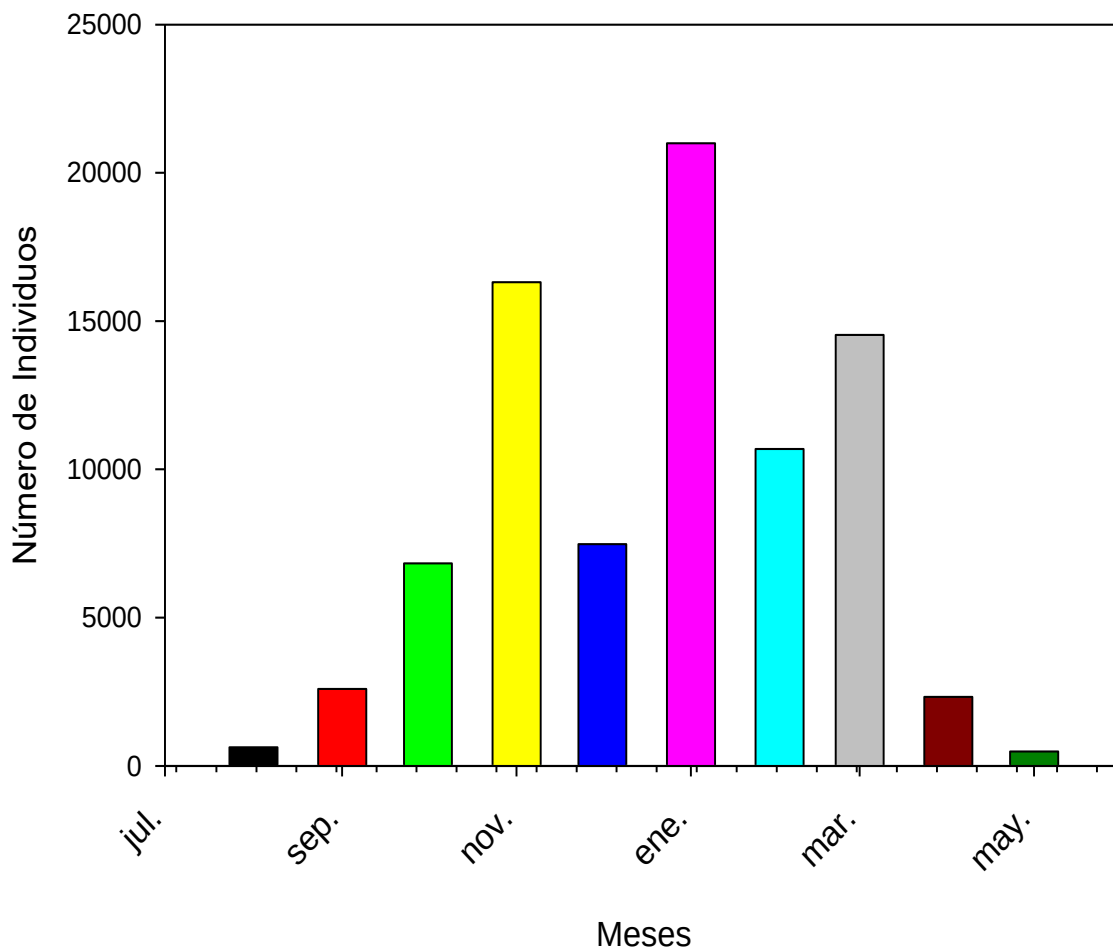
Chignahuapan (**CH**) presentaron una menor riqueza con **25** y **26** especies respectivamente (Tabla 4.7).

Tabla 4.7. Riqueza observada y esperada en los humedales de la Cuenca Alta del Río Lerma. Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Laguna las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M).

Estimadores	CH	LO	SJ	SM	LM	M
Riqueza observada orden 0	26	32	37	25	27	31
Especies esperadas Bootstrap	29	34	41	29	28	34
Complejidad de los muestreos	89 %	92 %	90 %	86 %	94 %	88 %
Diversidad de orden 1	5.5	3.1	6.7	5.4	6.9	5.5
Abundancias	2, 832	29, 516	13, 635	3, 552	7, 343	25, 956

En cuanto a la abundancia de humedales, Laguna de Oxidación (**LO**) tuvo el mayor conteo de individuos observados con **29,516** individuos, seguido por el humedal Bordo Mina (**M**) con **25,956** individuos. Por su parte, Lago Chignahuapan (**CH**) y Bordo San Mateo (**SM**) fueron los humedales con menor observación, con **2,832** y **3,522** individuos respectivamente. En cuanto a la abundancia por los meses de observación, **enero de 2022** tuvo el conteo más alto con **20,995 individuos**, mientras que **mayo de 2022** tuvo el conteo más bajo con solo **480 individuos**, la variación en el número de individuos se debió a la disminución del espejo de agua y su consecuente escasez de alimento (Gráfico 4.1).

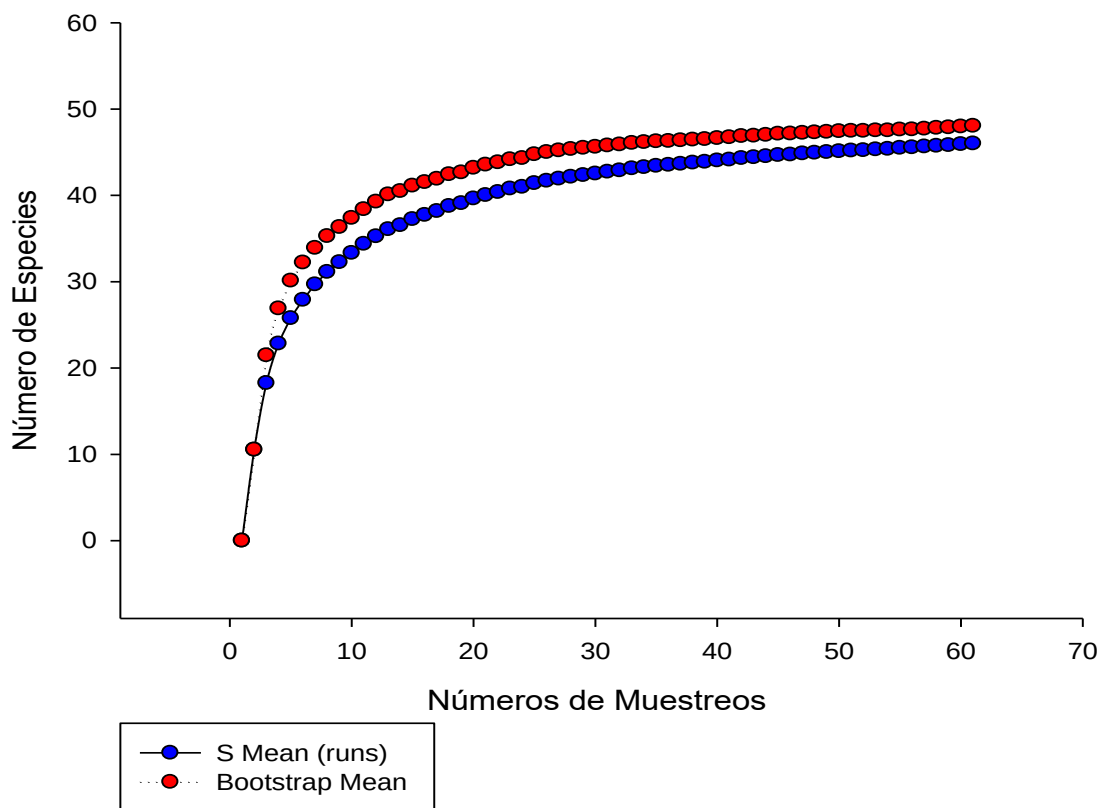
Gráfico 4.1. Abundancia por mes en los seis humedales estudiados de agosto a mayo: Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M).



4.3.1. Curvas de acumulación de especies

Al examinar el recuento completo de especies, que asciende a 46, resulta evidente que la mayoría (95% de las especies), se alinea con el pronóstico realizado por el Estimador no paramétrico Bootstrap. El Gráfico 4.2, referente a la curva de acumulación de especies, muestra un punto de estabilización en el muestreo número 40.

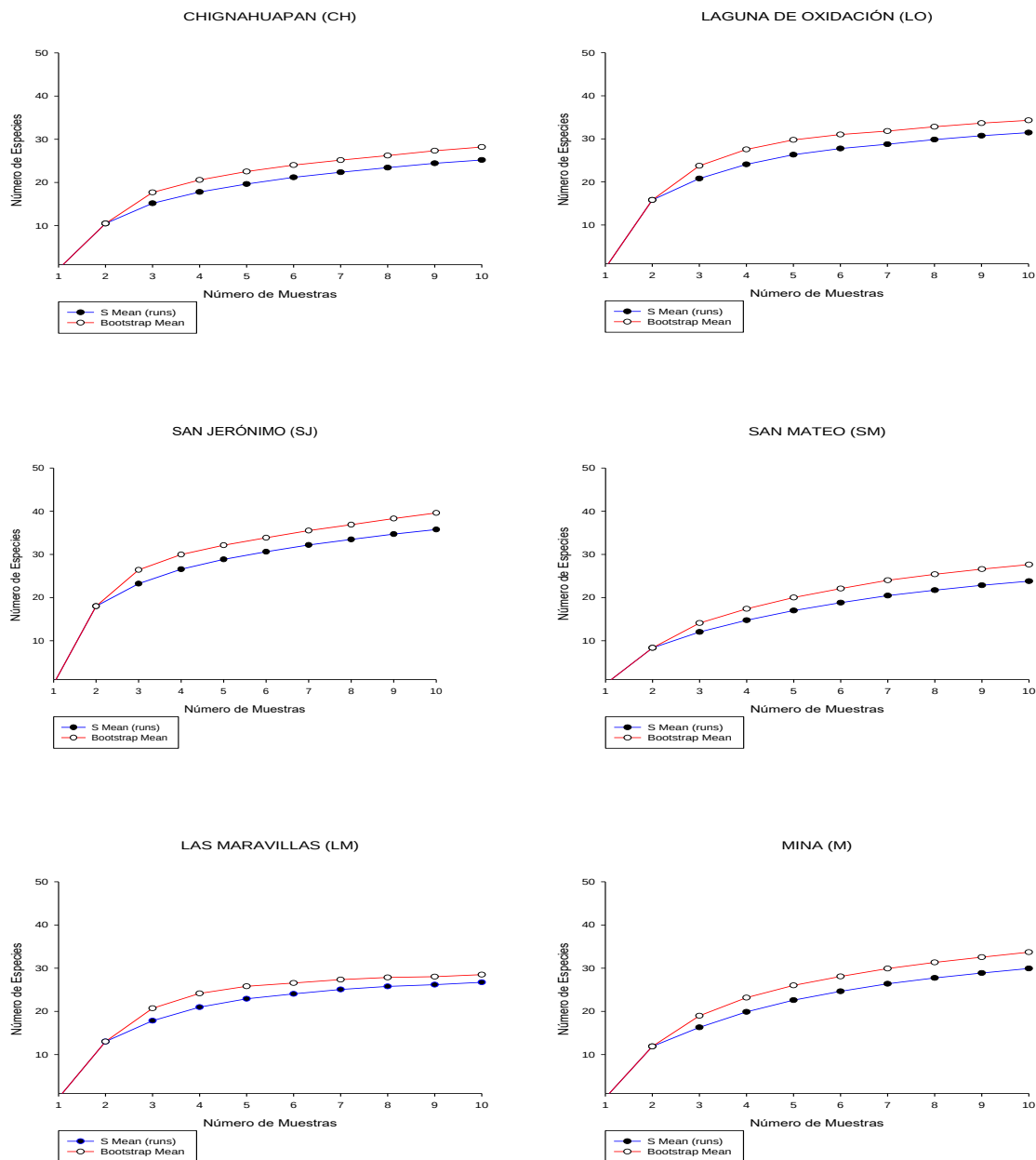
Gráfico 4.2. Curva de acumulación de especies de los humedales muestreados.



Para los seis humedales se realizó las curvas de acumulación de especies mostrando una tendencia ascendente constante, mientras que la curva para Bordo las Maravillas (**LM**) muestra una estabilización en la asíntota hacia el final del período de muestreo. Al evaluar el estimador no paramétrico **Bootstrap**, podemos percibir una tendencia que sugiere un aumento en el registro de especies adicionales a medida que aumenta el número de muestreos. El Gráfico 4.3., indica que se podrían registrar entre tres y cuatro especies más, tanto en Bordo San Jerónimo (**SJ**) y Bordo San Mateo (**SM**), mientras que para los demás humedales

Lago Chignahuapan (**CH**), Laguna de Oxidación (**LO**), Bordos Las Maravillas (**LM**) y Bordo Mina (**M**) podrían registrarse de uno a tres especies más.

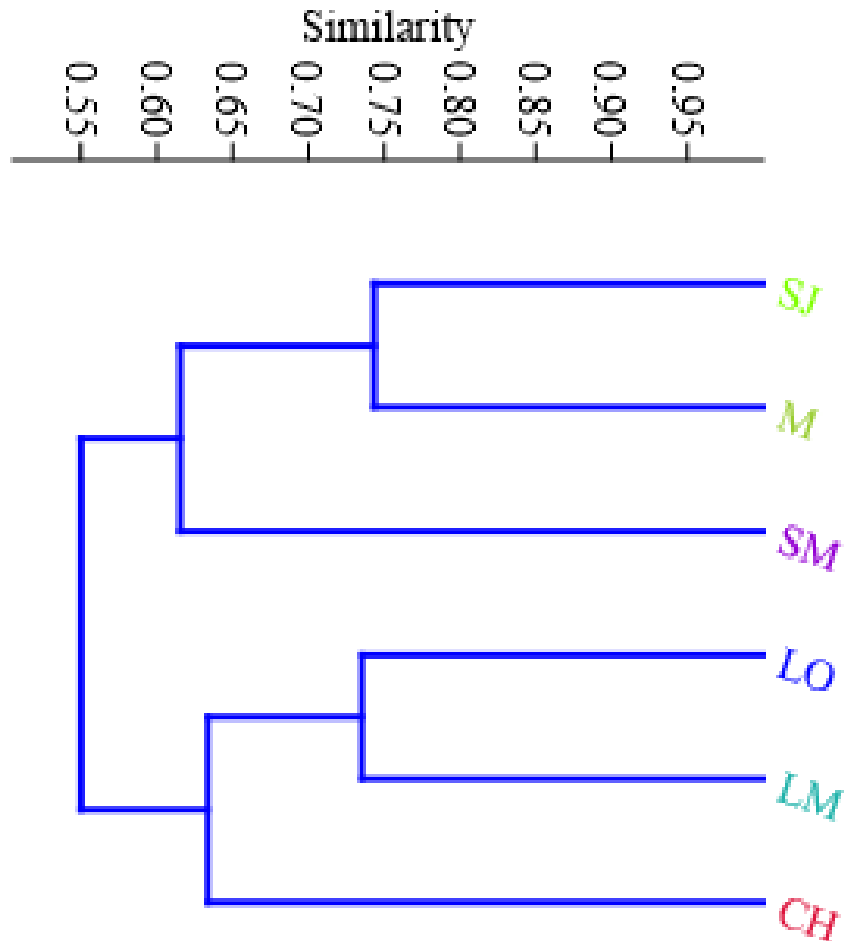
Gráfico 4.3. Curva de acumulación de especies por humedal.



4.3.2. Índice de similitud de Jaccard

El índice de similitud permite conocer la composición de las especies que se comparte en los humedales en el caso de Bordo San Jerónimo (**SJ**) - Bordo Mina (**M**) y Laguna de Oxidación (**LO**) – Bordo las Maravillas (**LM**) demostraron un alto grado de similitud con respecto a la presencia y ausencia de las especies **0.744** y **0.735**, respectivamente. En contraste, los humedales con menores índices de similitud fueron Lago Chignahuapan (**CH**) – Bordo Mina (**M**) y Bordo las Maravillas (**LM**) – Bordo Mina (**M**), los cuales presentaron **0.462** y **0.487**, en cuanto a las especies que comparten entre ellos (Gráfico 4.4).

Gráfico 4.4. Índice de similitud de Jaccard de los humedales.



4.3.3. Análisis de disimilitud SIMPER

La rutina SIMPER muestra la composición de las especies en cuanto su abundancia, la especie de ave acuática con mayor nivel de abundancia que caracterizó a los humedales fue la *Spatula Clypeata*, la cual estuvo presente en los seis humedales, Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos Las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M), y contribuyó la mayor parte de la abundancia general (como se muestra en la Tabla 4.8). Dentro de los humedales, Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos Las Maravillas (LM), se encontró caracterizado por 10 especies distintas, el cual se distribuyeron de manera heterogénea dentro del humedal, estas especies fueron *Spatula clypeata*, *Mareca americana*, *Fulica americana*, *Limnodromus scolopaceus*, *Anas platyrhyncho diazi*, *Oxyura jamaicensis*, *Spatula discors*, *Anas crecca*, *Anas acuta* y *Egretta thula*. Estas especies tuvieron la mayor abundancia dentro de los humedales, comprendiendo un total del **84.3%** de las abundancias (como se muestra en la Tabla 4.8).

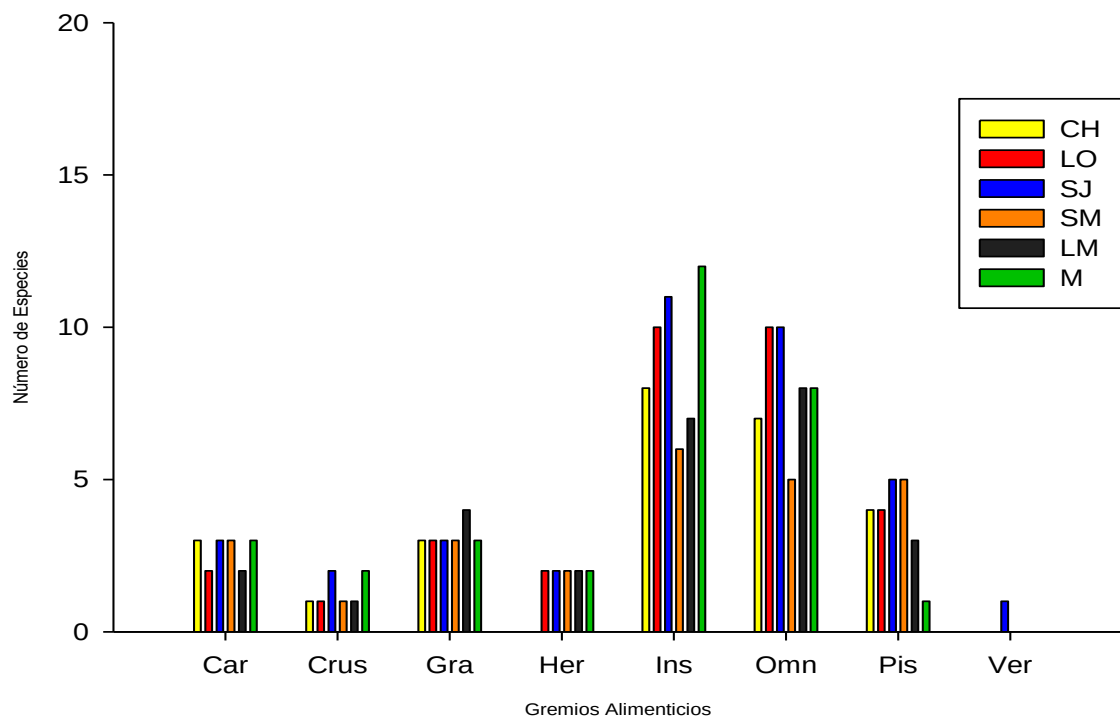
Tabla 4.8. Similaridad (SIMPER) de las especies que caracterizan los humedales.

Taxon	%	CH	LO	SJ	SM	LM	M
<i>Spatula clypeata</i>	43.7	684.0	10,300.0	3,190.0	701.0	1,590.0	4,880.0
<i>Mareca americana</i>	11.5	0	2,370.0	37.5	1.0	59.5	2,530.0
<i>Fulica americana</i>	11.1	330.0	360.0	1,180.0	292.0	245.0	2,780.0
<i>Limnodromus scolopaceus</i>	5.4	15.0	33.5	633.0	390.0	17.0	0
<i>Anas platyrhyncho diazi</i>	4.5	22.5	247.0	66.5	6.0	648.0	8.5
<i>Oxyura jamaicensis</i>	4.4	13.5	260.0	445.0	233.0	65.0	704.0
<i>Spatula discors</i>	3.7	5.0	32.0	334.0	10.0	60.0	1,140.0
<i>Anas crecca</i>	2.8	3.0	21.0	42.0	2.0	413.0	102.0
<i>Anas acuta</i>	2.1	1.0	60.0	131.0	3.0	180.0	305.0
<i>Egretta thula</i>	1.5	142.0	174.0	35.0	1.0	45.5	3.0

4.3.4. Gremios alimenticios

Dentro la estructura de las comunidades de aves acuáticas en los seis humedales, se identificaron ocho gremios alimenticios: del cual los Insectívoros (**Ins**) y Omnívoros (**Omn**) constituyeron la mayoría, representando el **56%** de las especies identificadas con **13** representantes cada uno. Los Piscívoros (Pis) constituyeron el **15 %** de las especies con **siete** representantes, mientras que los Carnívoros (Car), Granívoros (Gra), Crustacívoros (Crus), Herbívoros (Her) y Vermívoros (Ver) representaron el **26%** respectivamente. Los Insectívoros (Ins), fueron los más representativos en Bordo Mina con 12 especies, y Bordo San Jerónimo con 11 especies, con una mejor distribución en los seis humedales, el gremio con la representación más baja fue el de los vermívoros con solo una especie en Bordo San Jerónimo (Gráfico 4.5).

Gráfico 4.5. Distribución de los gremios alimenticios, en los humedales.



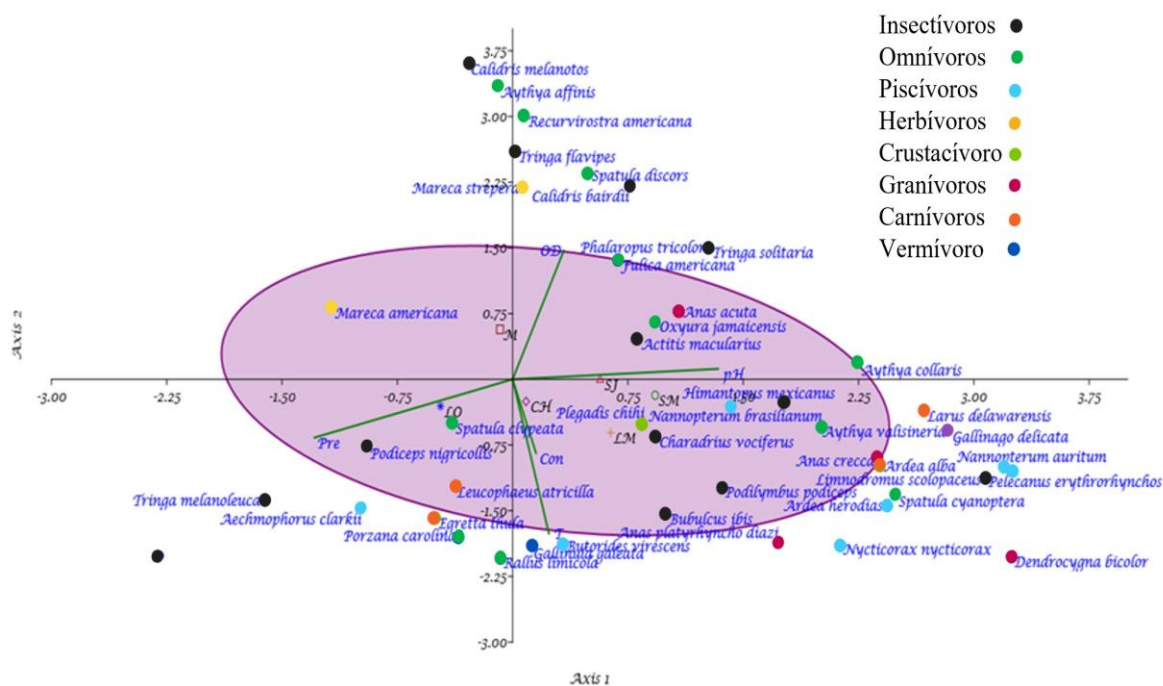
4.3.5. Análisis de correspondencia canónica

Chi-cuadrado = 98.990 con 25 grados de libertad. ($P = <0.001$). Las proporciones de observaciones en diferentes columnas de la tabla de contingencia varían de una fila a otra. Las dos características que definen la tabla de contingencia están significativamente relacionadas. ($P = <0.001$). Potencia de la prueba realizada con $\alpha = 0.050$: 1.000.

Para el análisis de Correspondencia Canónica se encontró que existe una correlación del **79.18%** entre los ejes uno y dos, con **43.17%** y **36.01%** respectivamente. Donde el eje uno muestra una correlación significativa entre las especies y su asociación con Oxígeno Disuelto (**OD**) y poder de hidrogeno (**pH**). Por el contrario, en el eje dos ilustra una correlación entre las especies y su asociación con la Temperatura (**T**) y la Conductividad (**Cond**). Esta correlación puede surgir de la abundancia de ciertas especies en los humedales, incluidas *Spatula clypeata*, *Mareca Americana*, *Fulica Americana* y *Oxyura jamaicensis*. Las especies que son menos abundantes y frecuentes en los humedales no aparecen en las relaciones (como se muestra en la Gráfico 4.6).

Respecto a la estructura de las comunidades se encontró que las especies de aves acuáticas que exhiben una dieta diversa y variada, incluidos los tipos Omnívoros e Insectívoros, están significativamente correlacionadas con múltiples factores ambientales, incluida la Temperatura (**T**), el poder del hidrógeno (**pH**), el oxígeno disuelto (**OD**), la conductividad (**Cond.**) y la precipitación (**Pre.**). Por el contrario, el gremio de aves Piscívoras (**Pis**) estuvo estrechamente asociado con variables específicas que demostraron mayor relevancia en varios hábitats de humedales, como el pH, la **conductividad** y la **temperatura**, particularmente en los humedales Bordo San Mateo (**SM**) y Bordo las Maravillas (**LM**), así como en el Lago Chignahuapan (**CH**). La prevalencia de material vegetal en estas áreas sirve como principal fuente de alimento para especies de aves con una dieta variable. Los demás gremios se vieron limitados en la distribución hacia ciertos humedales debido a que estos solo presentaban los requerimientos que necesitaban de manera particular como en su caso los Granívoros (**Gra**), Herbívoros (**Her**), Crustacívoros (**Crus**), Vermívoros (**Ver**) y Carnívoros (**Car**) véase en el gráfico 4.6.

Gráfico 4.6. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). Temperatura (T), pH, Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad (Cond.) y Precipitación (Pre.).



4.3.6. Análisis jerárquico (AHP)

De acuerdo con los tres criterios y nueve indicadores se pudo evaluar los atributos clave. Posteriormente estos indicadores se trazaron en una matriz que mostro sus valores correspondientes de acuerdo con el proceso de clasificación y evaluación de los humedales (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Criterios de evaluación, indicadores en orden de importancia utilizados en el análisis multicriterio para los sitios de estudio.

Criterios	Indicadores
Integridad ecológica	A1) Especies presentes en el ecosistema (Aves acuáticas)
	A2) Especies en la NOM-059-2010 (SEMARNAT-2019).
	A3) Especies de aves migratorias que solo se presentan una temporada

Criterios	Indicadores
Procesos ecológicos relevantes	B1) Especies que se reproducen en los humedales (Aves acuáticas)
	B2) Aportación de nutrientes y salud del humedal
	B3) Nivel de profundidad temporal del cuerpo de agua
Amenazas	C1) Contaminación por aguas negras y extracción de agua con fines agrícolas
	C2) Presencia de animales domésticos y traspatio
	C3) Actividades humanas que afectan a las aves (Turismo, Cacería)

En los humedales, el criterio que recibió la evaluación más alta y se consideró más significativo fue el criterio de **integridad ecológica** (A1, A2 y A3) con valores superiores entre **39%** y el **65%**, a estos le siguieron de cerca los **procesos ecológicos relevantes** (B1, B2 y B3) con el **17%** y **40 %** y finalmente, el criterio de **amenaza** (C1, C2 y C3) con el **17%** y **38%**, como se indica en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Pesos de los indicadores para cada uno de los humedales. Lago Chignahuapan (CH), Laguna de Oxidación (LO), Bordo San Jerónimo (SJ), Bordo San Mateo (SM), Bordos Las Maravillas (LM) y Bordo Mina (M).

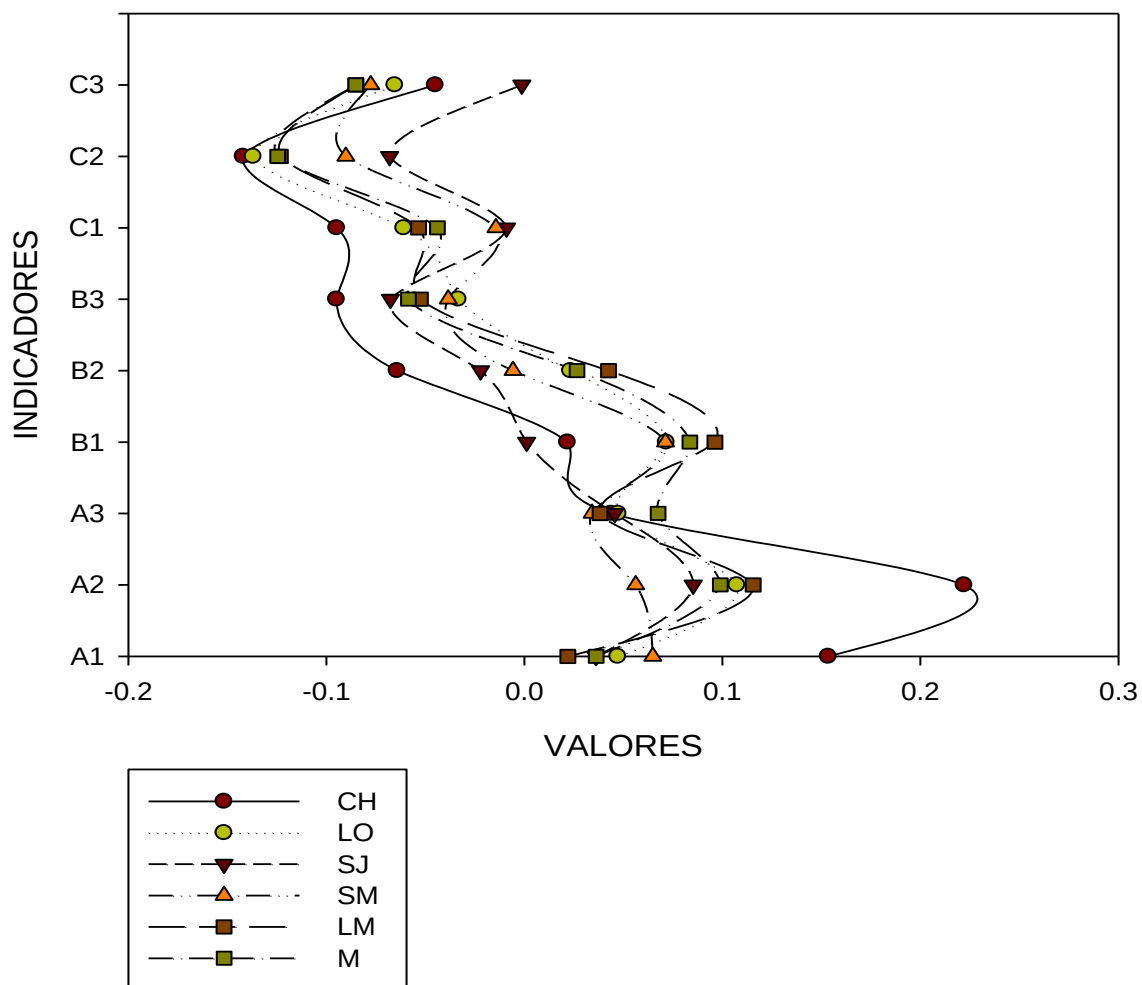
INDICADORES	CH	LO	SJ	SM	LM	M
A1	0.23	0.12	0.11	0.14	0.10	0.11
A2	0.28	0.16	0.14	0.11	0.17	0.15
A3	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.17
B1	0.09	0.14	0.07	0.14	0.16	0.15
B2	0.05	0.14	0.09	0.11	0.16	0.14
B3	0.03	0.09	0.06	0.09	0.07	0.07
C1	0.05	0.09	0.14	0.13	0.09	0.10
C2	0.03	0.03	0.10	0.08	0.05	0.04
C3	0.09	0.07	0.14	0.06	0.05	0.05

Luego de ponderar todos los criterios, se determinó que **cuatro** de los indicadores más relevantes en los humedales, fueron especies presentes en el ecosistema (**A1**), la presencia de especies categorizadas como en riesgo bajo la NOM-059 (**A2**), especies de aves migratorias que solo aparecen en épocas específicas del año (**A3**) y Especies que se reproducen en los

humedales (B1), con valores altos, respecto a los demás indicadores mostraron valores muy bajos siendo la aportación de nutrientes y salud del humedal (B2), nivel de profundidad temporal del cuerpo de agua (B3), Contaminación por aguas negras y extracción de agua con fines agrícolas (C2), presencia de animales domésticos y traspasos (C2) y por último Actividades humanas que afectan a las aves, Turismo y Cacería, (C3).

El resultado del análisis multicriterio del AHP, muestra que el humedal mejor calificado fue el humedal Lago de Chignahuapan (CH), con calificaciones que oscilaron entre 0.1 y 0.2. Le siguieron Bordo las Maravillas (LM), Laguna de Oxidación (LO) y Bordo Mina (M) con calificaciones de 0.05 a 0.1. Bordo San Jerónimo (SJ) se calificó de 0 a 0.09 y, por último, el menos favorecido fue San Mateo, con una calificación de 0.03 a 0.07. Esto significa que los humedales a los que se les dio mayor importancia fueron Lago Chignahuapan y Bordo las Maravillas (Gráfico 4.7).

Gráfico 4.7. Matriz de los valores ordinales de los indicadores para la valorización de los humedales.



5. Discusión

En los humedales estudiados de la Cuenca Alta del Río Lerma, el estudio demostró que los humedales artificiales concentran una riqueza significativa de especies de aves acuáticas que son a la vez abundantes y diversas. Estos humedales mantienen el 54 % de las aves acuáticas documentadas para el Estado de México, según Berlanga et al., (2008) y CONABIO, (2021), y el 69% de las especies de aves reportadas para la Cuenca Alta del Río Lerma, según la plataforma eBird Basic Dataset., (2021). Siendo las aves Migratorias de invierno las más representativas de los humedales con 31 especies, seguidas de las Residentes con 12 especies y solo tres especies Transitorias.

Estos humedales funcionan como hábitat alternativo para las diferentes especies de aves. Uno de los casos que se presentó en este trabajo fue la disminución de especies y la abundancia del Lago Chignahuapan que es un humedal declarado Área Natural Protegida y Sitio RAMSAR (CONANP, 2016; RAMSAR, 2020b; Ramsar Convention Secretariat, 2013), Esta fluctuación se puede atribuir a la caza deportiva estacional de patos, que se llevó a cabo entre el 17 de octubre de 2021 y el 15 de febrero de 2022, en cumplimiento del calendario de caza del Estado de México (LGPC, 2012). Como resultado de esta temporada de caza, el humedal Laguna de Oxidación (LO) se vio beneficiado por un aumento en el número de especies (32) y una abundancia de (29, 516 individuos), que típicamente ocupaban el Lago Chignahuapan (CH), ya que se vieron obligadas a buscar refugio en el humedal Laguna de Oxidación (LO). Así, está claro que la distribución y abundancia de especies están sujetas a cambios estacionales y antropogénicos tanto a escala regional como local, como observaron Josens et al. (2009).

Por lo tanto, la distribución de especies dentro de los humedales indico una preferencia por las especies más predominantes, asemejándose a una comunidad donde todas las especies son igualmente abundantes, manteniendo su presencia en los sitios bajo estudio (Moreno et al., 2011). El análisis de diversidad verdadera de orden cero, dio como resultado una riqueza de 37 especies para el Bordo San Jerónimo uno de los humedales artificiales, contrario al humedal que se encuentra a un lado Bordo San Mateo con solo se observó a 25 especies. El uso del estimador Bootstrap arrojó una tasa de cumplimiento del 95% para las muestras, lo que indica que la exhaustividad del muestreo es satisfactoria. En cuanto a los humedales,

cada uno superó el 80 % de exhaustividad del muestreo. En cuanto a las especies esperadas versus las observadas, solo hubo una discrepancia menor de dos a cuatro especies que podrían haberse observado si el tiempo de muestreo se hubiera extendido en los humedales.

En el caso de la diversidad de orden 1 se reveló que Bordo las Maravillas (LM) y Bordo San Jerónimo (SJ) exhibieron la diversidad más alta entre los humedales (6.9 y 6.7 especies efectivas), mientras que Laguna de Oxidación (LO) muestra la diversidad más baja (3.1), lo que significa que Bordo las Maravillas (LM) y Bordo San Jerónimo (SJ) tiene tres veces más diversidad en términos de especies. Una posible explicación de este fenómeno es la sensibilidad de la diversidad de primer orden a los cambios en la abundancia de especies. Este factor jugó un papel crucial en los humedales, particularmente en la Laguna de Oxidación, donde una sola especie, *Spatula Clypeata*, dominaba el ecosistema. Según la investigación de (Jost, 2006; Lou & González, 2012), el recuento efectivo de especies indica el número de especies que estarían presentes en una comunidad hipotética, donde cada especie tiene la misma prevalencia y se mantiene la abundancia relativa media de la comunidad observada.

En el caso del índice de Jaccard, los humedales que presentaron la mayor similitud fueron SJ - M y LO - LM con 0.744 y 0.735, caso contrario a los humedales CH - M y LM - M que presentaron la menor similitud con 0.462 y 0.487 respectivamente, lo que demuestra que la presencia y ausencia de las especies en los humedales también estuvo influenciada por factores ambientales. Según el informe de Ayala-Pérez et al., (2013), se puede inferir que la disminución en la riqueza y abundancia, así como su presencia se debe a distintos factores ambientales y humanos.

El análisis estadístico SIMPER demostró que tres especies fueron dominantes en los humedales en cuanto a la abundancia. La mayor población registrada entre ellos, compuesta por 42,612 individuos (43%), se atribuye al pato norteno, denominado científicamente *Spatula Clypeata*. Estas aves utilizan los humedales tanto para alimentarse como para descanso. Cabe señalar, sin embargo, que las cifras registradas son inferiores a las reportadas para el lago de Texcoco, donde se observaron 56,300 individuos Alcántara & Escalante, (2005). A esta especie le siguió el pato de Chalcuán, *Mareca Americana*, que representó el

11 % de la abundancia de especies registrada, durante los meses de enero y febrero, esta especie experimentó un aumento poblacional, formando grandes bandadas para aprovechar los humedales durante su ciclo migratorio. La gallareta americana, científicamente denominada *Fulica Americana*, fue una especie crucial en este estudio, ya que representa el 11 % de las especies registradas. Este porcentaje tiene una ligera coincidencia con el reporte nacional del 10 % durante los años 1991 a 2000 según lo declarado por Pérez-Arteaga & Gastón, (2004).

También se pudo documentar que, entre los seis humedales, solo cuatro humedales como Lago Chignahuapan (CH), Bordo las Maravillas (LM), Bordo Mina (M) y Bordo San Jerónimo (SJ) han sido especialmente favorecidos para la reproducción de 15 especies de aves. *Aechmophorus clarkii*, *Podiceps nigricollis*, *Podilymbus podiceps*, *Fulica americana*, *Gallinula galeata*, *Oxyura jamaicensi*, *Ardea alba*, *Bubulcus ibis*, *Butorides virecens*, *Egretta thula*, *Nycticorax nycticorax*, *Plegadis chihi*, *Recuvirostra americana* y *Anas diazi*. Los dos humedales restantes podrían estar asociado a la falta de vegetación adecuada para anidación y refugio factores limitantes para su distribución y reproducción en esos hábitats, Pérez-Arteaga et al., (2002).

La forma y las dimensiones de los humedales fueron cruciales para atraer a varias especies de aves, como anseriformes (patos), Charadriiformes (Playeros) y Pelecaniformes (garzas y pelicanos). Estos grupos mostraron la gama más amplia de diversidad y abundancia durante los meses de diciembre, enero y febrero, según lo registrado por Howell & Webb, (1995). De todas las especies de aves acuáticas registradas para este estudio, se encontró que el 32 % habitaban en los seis humedales y tenían una abundancia especialmente alta. Siendo una de las especies el pato mexicano *Anas diazi* y que se encuentra amenazada según La Norma Mexicana Oficial (DOF, 2019; SEMARNAT, 2021).

El Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) mostro una correlación del 79.18% siendo el grupo de los Anatidos quien tuvo una correlación significativa con la temperatura (T) y el oxígeno disuelto (OD), aumentando sus números en los diferentes humedales. La accesibilidad de los patos a los recursos alimentarios está directamente relacionada con varias variables. Josens, Haydee, et al., (2009). Esto podría deberse a la amplia variedad de fuentes de alimento disponibles en estos humedales, lo que es particularmente beneficio a las

especies de aves acuáticas insectívoras u omnívoras que aumentaron tanto en número de especies como de individuos en los humedales.

La hidrodinámica de las inundaciones temporales puede ser una de las razones detrás de la creación de un vasto hábitat expuesto a las inundaciones que tiene una amplia gama de recursos alimentarios. Estos recursos incluyen detritos y restos de plantas que son utilizados por diversas especies de invertebrados y vertebrados (Halsel et al., 2000; Van Leeuwen et al., 2017). Además, la disponibilidad de alimento puede ser un elemento decisivo en la disposición de la composición y estructura de las comunidades de aves. Los estudios realizados apoyan la idea de que estas poblaciones específicas de aves prosperan gracias a la abundancia de fuentes de alimento en estos humedales. Los estudios realizados por Hernández et al., (2012) y Nam et al., (2015) apoyan la idea de que estas poblaciones específicas de aves prosperan gracias a la abundancia de fuentes de alimento en estos humedales.

Los valores de importancia de los humedales brindan información valiosa sobre sus características distintivas, incluida su utilización por las aves acuáticas y su impacto directo sobre estas especies. Entre los humedales evaluados, Lago Chignahuapan (CH) y Bordo las Maravillas (LM) se consideraron los más excepcionales, a pesar de la presencia de animales domésticos (como perros y gatos) y el pastoreo de vacas y ovejas. No se puede subestimar la importancia de los humedales artificiales pequeños, que no miden más de 25 hectáreas. A pesar de estar sujetos a una intensa actividad humana, estos humedales juegan un papel crucial en la preservación de las especies de aves acuáticas, los pequeños hábitats funcionan como refugio para diversas especies y su conservación es prioridad al igual que los hábitats de mayor tamaño, (López, 2008; Pineda López & Zuria Jordán, 2019; Pineda-López, 2011).

Este trabajo de investigación tiene como objetivo proporcionar una visión general de las especies de aves acuáticas que habitan en los humedales de la Cuenca Alta del Río Lerma, arrojando luz sobre sus características distintivas y su significado general. Sin embargo, es importante reconocer que existen ciertas limitaciones y lagunas dentro de este estudio que requieren un examen más detenido. Por ejemplo, el impacto de las actividades humanas en el ecosistema de la cuenca, un aspecto crucial para su sostenibilidad a largo plazo, no se explora ampliamente en este documento. Para abordar el impacto de las actividades humanas

sobre las plantas y los animales de la cuenca, es imperativo que las investigaciones futuras prioricen las estrategias de mitigación. Sin embargo, este documento sirve como base fundamental para los próximos esfuerzos de investigación y contribuye a la progresión continua del conocimiento dentro del campo.

6. Conclusión

La fluctuación de las aves acuáticas se pudo observar en los diferentes humedales en particular, Lago Chignahuapan (CH) experimentó un mayor nivel de actividad de visitantes debido a la presencia de un parque recreativo que opera todos los días y a la caída deportiva que se presentó durante el registro y observación de las aves acuáticas. Como resultado de esto, las especies de aves acuáticas que se distribuían en este ecosistema se vieron obligados a reubicarse para encontrar fuentes alternativas de sustento y refugios seguros. La Laguna de Oxidación (LO), fue solo uno de los humedales que mostró un crecimiento significativo en términos de especies y su frecuencia de ocurrencia.

Otro de los humedales fue Bordo San Jerónimo donde tuvo aumento de visitantes a finales de diciembre, enero y principios de febrero, coincidiendo con la llegada del magnífico pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*), especie conocida por su carisma y gran tamaño. El humedal en cuestión poseía el mayor grado de biodiversidad, posiblemente debido a su extensión amplia y despejada, con escasa vegetación. Esta particular característica permitió que numerosas especies de aves pudieran refugiarse y alimentarse, de forma muy similar al humedal de Bordo Mina. Este último humedal experimentó un aumento tanto en poblaciones como en especies hacia finales de febrero y principios de marzo, pero comenzó a disminuir a partir de mediados de abril y mayo, debido a la asignación de sus recursos hídricos para riego durante estos meses.

La singular vegetación del humedal Bordo las Maravillas creó un ambiente desfavorable para sus habitantes, provocando reacciones adversas por parte de diversas especies. Esto se hizo especialmente evidente en el constante desplazamiento de aves acuáticas como consecuencia de la presencia humana, lo que provocó perturbaciones e incidentes que finalmente provocaron que las aves buscaran refugio en otros humedales. Estos cambios de comportamiento provocaron una fluctuación repentina e impredecible en la riqueza y abundancia de las diversas especies del humedal. A diferencia de Bordo San Jerónimo el Bordo San Mateo, sirvió únicamente como santuario y lugar de descanso para las especies que lo habitaban. La presencia de pequeñas islas dentro del humedal permitió a estas especies

utilizarlo con frecuencia, pero lamentablemente la contaminación lo ha vuelto inadecuado para su alimentación.

La distribución, diversidad, abundancia y riqueza de las comunidades de aves acuáticas se vieron directamente impactadas por las siguientes actividades y variables ambientales. Entre estas actividades la cacería legal e ilegal tuvo efectos adversos en las comunidades antes mencionadas. La presencia de animales domésticos también tuvo un impacto directo en las especies que habitan los seis humedales para su reproducción. Además, las variables fisicoquímicas del agua, aunque en menor medida, inciden en la proliferación de alimento que requieren las especies de aves acuáticas. Por último, la profundidad y sequía de estos humedales beneficio a grupos particulares de aves, a la exposición de alimento.

Aunque los humedales están sometidos a una inmensa presión debido a la contaminación y las actividades humanas, cumplen un propósito crucial como refugio y lugar de reproducción para una variedad de especies de aves acuáticas estos podrían considerarse como sitios de amortiguamiento o refugio temporal. Estas aves dependen de los humedales a pesar de la actual falta de gestión. Los humedales creados artificialmente para uso agrícola son igualmente vitales para sustentar tanto a las especies residentes como a las migratorias, y no pueden pasarse por alto cuando se trata de la conservación de estas aves principalmente en la Cuenca Alta del Río Lerma.

Tras la conclusión de esta investigación, podemos sugerir las siguientes recomendaciones.

- Realización de cursos, talleres o programas de educación ambiental. Esto tiene el objetivo de dar a conocer las especies de aves que habitan en los humedales artificiales de las áreas de estudio. Estos se logran mediante la implementación de programas educativos, talleres y cursos de concientización ambiental.
- Después de completar el trabajo inicial, sería beneficioso ampliar el proyecto para incluir un alcance más amplio. Esto permitiría el descubrimiento de posibles áreas adicionales para la observación y análisis de especies de aves, con un enfoque particular en los humedales artificiales que sirven como un hábitat sustituto crucial para las aves acuáticas.

7. Referencias bibliográficas

- Alcántara, J. L., & Escalante Pliego, P. (2005). Current threats to the Lake Texcoco globally important bird area. *Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas*, 20(24), 1143–1150.
- Amaya Ramirez, M. Ángel. (2015). Evaluación de herramientas de recuperación de información electrónica. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, 14 (1), 29–50.
- Argibay, J. C. (2009). Muestra en investigación cuantitativa. *Subjetividad y Procesos Cognitivos*, 13(1), 13–29.
- Arrona-Rivera, A. E., Sánchez-Godoy, F., & García-Espinosa, G. (2013). Micobacteriosis en cercetas migratorias capturadas en lagunas del altiplano centro de México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 4 (3), 399–404.
- Aves del Mundo. (2023). Laboratorio de Ornitología de Cornell, Ithaca, NY, EE. UU. <https://birdsoftheworld.org/bow/home>. (Acceso 11 noviembre 2023).
- Avibase. (2023). La Base de Datos Mundial de Aves. <https://avibase.bsc-eoc.org/about.jsp>. (Acceso 11 noviembre 2023)
- Avibase - The World Bird Database. (2023). <https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp?lang=EN>. (Acceso 11 noviembre 2023)
- Ayala-Pérez, V., Arce, N., & Carmona, R. (2013). Distribución espacio - temporal de las aves acuáticas invernantes en la ciénega de Tláhuac, planicie lacustre de Chalco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84 (1), 327–337. <https://doi.org/10.7550/rmb.28632>
- Badii, M. H., J. Castillo, J., Landeros, & K. Cortez. (2007). Papel de la estadística en la investigación científica. *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 4 (7), 107–145. <https://doi.org/10.29105/rinn4.7-5>
- Baker, N. J., Dieter, C. D., & Bakker, K. K. (2015). Reproductive Success of Colonial Tree-nesting Waterbirds in Prairie Pothole Wetlands and Rivers throughout Northeastern South Dakota. *The American Midland Naturalist*, 174(1), 132–149. <https://doi.org/10.1674/0003-0031-174.1.132>
- Barragán Severo, J., López-López, E., & Babb Stanley, K. A. (2002). Spatial and temporal variation patterns of a waterfowl community in a reservoir system of the Central Plateau, Mexico. *Hydrobiologia*, 467, 123–131. <https://doi.org/10.1023/A:1014969606303>
- Battelle, J. (2006). *Buscar: cómo Google y sus rivales han revolucionado los mercados y transformado nuestra cultura* (Ediciones Urano).

- Benites, L. (2021). Índice de Jaccard / Coeficiente de similitud. <https://Statologos.Com/Indice-Jaccard/>.
- Berlanga, H., Rodríguez-Contreras, V. Oliveras de Ita, A. Escobar, M., Rodríguez, L., Vieyra, J., & Vargas, V. (2008). Red de Conocimientos sobre las Aves de México (AVESMX). CONABIO.
- Berlanga, H., Silva, H. G. de, Vargas-Canales, V. M., Rodríguez-Contreras, V., Sánchez-González, L. A., Ortega-Álvarez, R., & Calderón-Parra, R. (2019). Aves de México. Lista actualizada de especies y nombres comunes. Conabio, México D.F.
- Berumen Solórzano, A., Maimone Celorio, M. R., Villordo Galván, J. A., Olivera Ávila, C. I., & González Oreja, J. A. (2017). Cambios temporales de la avifauna acuática en el sitio Ramsar “Presa de Valsequillo”, Puebla, México. Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología, 18(2), 202–211. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2017.18.2.278>
- BirdLife. (2023). BirdLife International. <https://www.birdlife.org/who-we-are/>
- Bystrak, d. (1981). Estimating Numbers of Terrestrial Birds. In Studies in Avian Biology (Vol. 6, pp. 34–41).
- Carreño, C., Zarazúa, G., Fall, C., Ávila-Pérez, P., & Tejeda, S. (2018). Evaluación de la toxicidad de los sedimentos del Curso Alto del Río Lerma, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 34(1), 117–120. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.10>
- Cazzolla Gatti, R., Amoroso, N., & Monaco, A. (2020). Estimating and comparing biodiversity with a single universal metric. Ecological Modelling, 424, 109020. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2020.109020>
- Ceballos, G. (2003). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR).
- Chao, A., & Chiu, C. (2016). Nonparametric Estimation and Comparison of Species Richness. ELS, 1–11. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.A0026329>
- Chao, A., & Lee, S.-M. (1992). Estimating the Number of Classes Sample Coverage. Journal of the American Statistical Association, 87(417), 210–217.
- Chao, A., & Shen, T.-J. (2003). Nonparametric estimation of Shannon’s index of diversity when there are unseen species in sample. Environmental and Ecological Statistics, 10, 429–443.
- Chesser, R. T., Billerman, S. M., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Hernández-Baños, B. E., Jiménez, R. A., Kratter, A. W., Mason, N. A., Rasmussen, P. C., Remsen, J. V., Jr., Stotz, D. F., & Winker, K. (2022). Checklist of North American Birds (online). American Ornithological Society. <https://checklist.americanornithology.org/>

- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18(1), 117–143. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>
- Codina, L. (2017). Investigación con bases de datos. Estructura y funciones de las bases de datos. In *Análisis de componentes y estudio de caso*.
- Codina, Ll. (2018). Sistemas de búsqueda y obtención de información: componentes y evolución. *Anuario ThinkEPI*, 12, 77. <https://doi.org/10.3145/thinkepi.2018.06>
- Cohen-Ballesteros, S., Mendoza-Polo, J., Borja-Acuña, R., & Martínez-Hernández, N. (2013). Composición y estructura de las aves playeras en punta astillero, atlántico, Colombia *. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 17 (1), 129–143. <https://doi.org/10.1215/00141801-2013-001>
- Colón-Quezada, D. (2009). Composición de la dieta de otoño del pato mexicano (*Anas diazi*) en el vaso sur de las ciénegas del Lerma, Estado de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(1), 193–202. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2009.001.596>
- Colón-Quezada, D. (2004). Presencia de patos pijije, alablanca (*Dendrocygna autumnalis*) y canelo (*Dendrocygna bicolor*), en Toluca, Estado de México. *Huitzil Revista Mexicana de Ornitología*, 5, 1–2.
- Colwell, R. K., Xuan Mao, C., & Chang, J. (2004). Interpolating, Extrapolating, and Comparing Incidence-Based Species Accumulation Curves. *Ecology*, 85(10), 2717–2727. www.google.com
- CONABIO. (2021). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- CONABIO. (2023). Enciclovida. <https://enciclovida.mx/>
- CONANP. (2016). Los Sitios Ramsar de México | Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas | Gobierno | gob.mx. <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/sitios-ramsar>
- Cruz-Elizalde, R., & Ramírez-Bautista, A. (2012). Diversity of reptiles in three vegetation types of the Hidalgo state, México. In *Revista Mexicana de Biodiversidad* (Vol. 83).
- De Graaf, R. M., Tilghman, N. G., & Anderson, S. H. (1985). Foraging guilds of North American birds. *Environmental Management*, 9, 493 – 536.
- De Grande, P. (2012). Pobre como siempre: estrategias de reproducción en la pobreza. *Miríada: Investigación En Ciencias Sociales*, 4 (8), 214 – 216.
- Delgado, D., Zarza, H., Flores, N., Cruz, R., Rayas, A., Díaz, M., Jiménez, J., García, M., Miranda, G., & Hernández, L. (2019). Presencia de metales pesados en Pato Mexicano (*Anas diazi* Ridgway). *Agroproductividad*, 12 (11), 89 – 92.

- DOF. (2019). Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, e. http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat059-ModAnexoIII2019_11.pdf
- Dunn, J. L. (2017). Field guide to the birds of North America. National Geographic Books.
- eBird Basic Dataset. (2021). Version: EBD_relFeb-2021. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York.
- Echeverría Caro, A. I. (2019). Patrones temporales de comunidades de aves migratorias asociados con la productividad de diferentes hábitats en la península de Yucatán. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Efron, B. (2000). The bootstrap and modern statistics. Journal of the American Statistical Association, 95 (452), 1293–1296.
- Efron, B., & Tibshirani, R. (1985). THE BOOTSTRAP METHOD FOR ASSESSING STATISTICAL ACCURACY. Behaviormetrika, 17, 1–35.
- Espinoza Freira, E. E. (2018). El tutor en los entornos virtuales de aprendizaje. Universidad y Sociedad, 10 (1), 201 – 210. <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>
- Figueroa-Sandoval, B., Pimentel-López, J., Ugalde-Lezama, S., Figueroa-Rodríguez, O. L., Figueroa-Rodríguez, K. A., & Tarango-Arámbula, L. A. (2019). Aves en sistemas agrícolas con labranza de conservación en el centro-norte de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 22, 31–42. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1856>
- Flores Caicedo, J. C. (2010). La Gestión del conocimiento y las herramientas colaborativas: una alternativa de aplicación en instituciones de educación superior. Revista de Investigación, 34 (71), 11 – 31.
- Fonseca, J., Pérez-crespo, M. J., Cruz, M., Porras, B., Luís, J., & Lara, C. (2012). Aves acuáticas de la laguna de Acuitlapilco, Tlaxcala, México. Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología, 13 (2), 104 – 109.
- Frías- Navarro, D., & Pascual Soler, M. (2012). PRÁCTICAS DEL ANÁLISIS FACTORIAL EXPLORATORIO (AFE) EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE CONDUCTA DEL CONSUMIDORY MARKETING. Suma Psicológica, 19(1), 47–58. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-43812012000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- García, N. (2023). Qué es bootstrapping - cómo usarlo para calcular intervalos de confianza - Model Differently. <https://www.modeldifferently.com/2023/04/que-es-bootstrapping/>
- García-Morales, R., Moreno, C. E., & Bello-Gutiérrez, J. (2011). Renovando las medidas para evaluar la diversidad en comunidades ecológicas: El número de especies efectivas

- de murciélagos en el sureste de Tabasco, México. *Therya*, 2(3), 205–215.
<https://doi.org/10.12933/therya-11-47>
- García-Núñez, R. M., Romero-Díaz, C., Ugalde-Lezama, S., & Tinoco-Rueda, J. Á. (2020). Vegetación y estructura del hábitat que determina la dieta de aves insectívoras en sistemas agroforestales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4).
- Gatto, A., Quintana, F., & Yorio, P. (2016). Feeding Behavior and Habitat Use in a Waterbird Assemblage at a Marine Wetland in Coastal Patagonia, Argentina Author (s): Alejandro Gatto , Flavio Quintana and Pablo Yorio Source : *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology* , Vol . 31. *Waterbirds*, 31(3), 463–471.
- Gatto, A., Quintana, F., Yorio, P., & Lisnizer, N. (2005). Abundancia y diversidad de aves acuáticas en un humedal marino del Golfo San Jorge, Argentina. *Hornero*, 20(2), 141–152.
- GBIF: El Fondo Mundial de Información Sobre Biodiversidad. (2023). ¿Qué es GBIF? <https://www.gbif.org/what-is-gbif>
- Gélvez Ferreira, J. D. (2018). ¿Cuáles determinantes se relacionan con la percepción de seguridad? Un análisis estadístico y espacial para la ciudad de Bogotá, D. C. *Revista Criminalidad*, 61(1), 69–84.
- Getzner, M. (2002). Investigating public decisions about protecting wetlands. *Journal of Environmental Management*, 64 (3), 237 – 246.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1006/jema.2001.0471>
- Giner, S. B., & Pérez-Emán, J. L. (2016). Dinámica espacio - temporal de ensambles de aves playeras en la costa del Estado Falcon, Venezuela. *Acta Biol. Venezolana*, 36(2), 77–97.
- González, R., & Salazar, F. (2008). Aspectos básicos del estudio de muestra y población para la elaboración de los proyectos de investigación [Universidad de Oriente Núcleo de Sucre]. <http://ri2.bib.udo.edu.ve:8080/jspui/handle/123456789/2421>
- Green, A. J., Frisch, D., Michot, T. C., Allain, L. K., & Barrow, W. C. (2011). Endozoochory of seeds and invertebrates by migratory waterbirds in Oklahoma, USA. *Limnetica*, 29(2), 39–46.
- Guadagnin, D. L., Peter, Â. S., Perello, L. F. C., & Maltchik, L. (2005). Spatial and Temporal Patterns of Waterbird Assemblages in Fragmented Wetlands of Southern Brazil. *Waterbirds*, 28(3), 261–272. <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1675/1524-4695%282005%29028%5B0261%3ASATPOW%5D2.0.CO%3B2>
- Guo, C., & Wu, D. (2021). Canonical Correlation Analysis (CCA) Based Multi-View Classification: An Overview.

- Haig, S. M., Murphy, S. P., Matthews, J. H., Arismendi, I., & Safeeq, M. (2019). Climate-Altered Wetlands Challenge Waterbird Use and Migratory Connectivity in Arid Landscapes. *Scientific Reports*, 9 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41135-y>
- Halsel, S. A., Shief, R. J., Storey, A. W., Lansburyt, I., Cale, D. J., Harveys, M. S., Management, L., Collections, H. E., Road, P., Kingdom, U., Museum, W. A., & Street, F. (2000). Aquatic invertebrates and waterbirds of wetlands and rivers of the southern Carnarvon Basin, Western Australia. *Records of the Western Australian Museum Supplement*, 61 (0313), 217–265.
- Hammer, Ø., & Harper, D. T. A. (2006). Paleontological Data Analysis. In Blackwell Publishing. Universidad de Valparaíso. Facultad de Ciencias del Mar. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572009000100025>
- Hernández, S., Serrano, S., Hernández, X. a., & Robles, M. I. (2012). Variación temporal y espacial de aves playeras en la laguna Barra de Navidad, Jalisco, en tres temporadas no reproductivas. *Revista de Biología Tropical*, 60 (3), 1317 – 1326.
- Hernández Ugalde, J. R. (2017). Distribución espacial de aves acuáticas en humedales de Pantanos de Centla-Laguna de Términos. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Hill, M. O. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54 (2), 427 – 432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- Howell, S. N., & Webb, S. (1995). A guide to the birds of Mexico and northern Central America (Oxford University Press, Ed.).
- INEGI. (2019). Informe Técnico de la Cuenca Hidrológica Río Lerma 1. Humedales. Informe Técnico.
- Ivchenko, G. I., & Honov, S. A. (1998). On the Jaccard similarity test. *Journal of Mathematical Sciences*, 88 (6), 789 – 794. <https://doi.org/10.1007/BF02365362/METRICS>
- Jiang, H., & Eastman, J. R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14 (2), 173 – 184. <https://doi.org/10.1080/136588100240903>
- Jing, K., Chen, J., Zhao, B., Li, B., Ma, Z., & Tang, S. (2003). Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds? – A case study on Chongming Island, China. *Biodiversity and Conservation*, 13 (2), 333 – 350. <https://doi.org/10.1023/b:bioc.00000006502.96131.59>
- Josens, M. L., Haydee, E. A., & Favero, M. (2009). Seasonal Variability of Waterbird Assemblages in Relationship to Habitat Characteristics in a Pampas Wetland. *Waterbirds*, 32 (4), 523 – 530. <https://doi.org/10.1675/063.032.0405>

- Josens, M. L., Pretelli, M. G., & Escalante, A. H. (2009). Censos de aves acuáticas en sus colonias reproductivas de lagunas del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Hornero*, 24 (1), 7 – 12.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113, 363 – 375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Junk, W. J., An, S., Finlayson, C. M., Gopal, B., Květ, J., Mitchell, S. A., Mitsch, W. J., & Robarts, R. D. (2013). Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: A synthesis. *Aquatic Sciences*, 75(1), 151–167. <https://doi.org/10.1007/s00027-012-0278-z>
- Köbrich, C., Maino, M., & Aguilar, F. (2009). Modelo analítico jerárquico para la priorización de humedales según riesgo de ingreso de influenza aviar. *Economía Agraria*, 13.
- Lafuente Ibáñez, C., & Marín Egoscózábal, A. (2008). Metodologías de la investigación en las ciencias sociales: Fases, fuentes y selección de técnicas. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 64, 5–18. <https://doi.org/10.21158/01208160.N64.2008.450>
- Landgrave, R., & Moreno-Casasola, P. (2012). Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. En *Investigación ambiental* (Vol. 4, Issue 1, pp. 19–35).
- Lepage, D., Vaidya, G., & Guralnick, R. (2014). Avibase – a database system for managing and organizing taxonomic concepts. *ZooKeys*, 420 (420), 117. <https://doi.org/10.3897/ZOOKEYS.420.7089>
- LGPC. (2012). Texto vigente. Últimas reformas publicadas DOF 03-06-2014. Distrito Federal, México: Secretaría de Gobernación. In *Diario Oficial de la Federación* (Vol. 2).
- Liu, J., & Diamond, J. (2005). China's environment in a globalizing world. *Nature*, 435, 1179–1186.
- López Portillo, J. A., Vásquez Reyes, V. M., Gómez Aguilar, L. R., & Priego Santander, Á. G. (2010). Humedales. In *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural* (pp. 230–248).
- López, R. P. (2008). Diversidad y conservación de aves acuáticas en una zona semiárida del centro de México.
- López-Saut, E., Rodríguez-Estrella, R., & Chávez-Ramírez, F. (2014). ¿Son las grullas indicadoras de la riqueza de especies de aves acuáticas en humedales en el Altiplano Mexicano? *Acta Zoológica Mexicana* (N.S.), 30(2), 268–287. <https://doi.org/10.21829/azm.2014.302102>

- Lou, J., & González, J. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana*, 56 (2), 3 – 14. http://www.lillo.org.ar/revis/zoo/2012/v56n1_2/v56n1_2a01.pdf
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey. Princeton University Press.
- Martella, M. B., Truper, E., Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). *Manual de Ecología Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres*. Reduca (Biología). Serie Ecología, 5 (1), 1 – 31.
- Martínez C, J. M. (2016). Análisis del cambio de ocupación del suelo en el polígono número tres del Área de Protección de Flora y Fauna Ciénegas de Lerma (APFFCL) en el periodo 2004-2014. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/65828>
- Martínez, C. M., & Sepúlveda, M. A. R. (2012). Introducción al análisis factorial exploratorio. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 41 (1), 197 – 207. [https://doi.org/10.1016/S0034-7450\(14\)60077-9](https://doi.org/10.1016/S0034-7450(14)60077-9)
- Martínez-Haro, M., Sánchez-Nava, P., Salgado-Maldonado, G., & De Jesús Rodríguez-Romero, F. (2012). Helmintos gastrointestinales en aves acuáticas de la subcuenca alta del río Lerma, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83 (1), 36 – 41. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2012.1.1133>
- MathWorks. (2023). Coeficiente de similitud de Jaccard para segmentación de imágenes - MATLAB jaccard. <https://la.mathworks.com/help/images/ref/jaccard.html>
- Matías Castillo, B. C. (2017). *Análisis de Correlación Canónica lineal y no lineal*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- McCune, & Grace. (2002). Análisis de correspondencia canónica (CCA) - PPT descargar. <https://slideplayer.es/slide/4689436/>
- Medellín, R. A., Abreu-Grobois, A., Arizmendi, M. del C., Mellink, E., Ruelas, E., Santana C., E., & Urbán, J. (2009). Conservación de especies migratorias y poblaciones transfronterizas, en *Capital natural de México*. In Estado de conservación y tendencias de cambio (Vol. 2, pp. 459–515). CONABIO.
- Mendoza, A., Solano¹, C., Palencia¹, D., & Garcia¹, D. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) for decision-making with expert judgment. *Revista Chilena de Ingeniería*, 27 (3), 348 – 360.
- Mitsch, W. J., & Gossilink, J. G. (2000). The value of wetlands: Importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 35 (1), 25 – 33. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00165-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00165-8)
- Moncada-Hernández, S. G. (2014). *Cómo realizar una búsqueda de información eficiente. Foco en estudiantes, profesores e investigadores en el área educativa*.

INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN MÉDICA, 3(10), 106–115.
<https://www.mendeley.com/researchpapers/search/?query=Cómo+realizar+una+búsqueda+de+información+eficiente>

- Montes de Oca Hernández, A., Camacho Pichardo, G., Millán Rojas, L., Hernández García, M. Á., Torres Oregón, F., Guzmán Puente, M. A. D. L. Á., & Espinosa Rodríguez, L. M. (2021). Humedales artificiales en México. Planteamientos alternativos a la extracción de los recursos hídricos.
- Moore, D. S. (2005). Estadística Aplicada Básica (Antoni Bosch, Ed.).
- Moreira Cuenca, X. R. (2021). Evaluación del impacto de las políticas públicas en el desempeño ambiental del Humedal de La Segua, Manabí/Ecuador. UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. In M&T–Manuales y Tesis SEA (Vol. 1).
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82 (4), 1249 – 1261. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.745>
- Moreno-Casasola, P. (2006). Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha. In Entornos Veracruzanos: LA COSTA DE LA MANCHA. Instituto de Ecología, A.C.
- Murray, C. G., & Hamilton, A. J. (2010). Perspectives on wastewater treatment wetlands and waterbird conservation. *Journal of Applied Ecology*, 47 (5), 976 – 985. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01853.x>
- Nam, H. K., Choi, Y. S., Choi, S. H., & Yoo, J. C. (2015). Distribution of Waterbirds in Rice Fields and Their Use of Foraging Habitats. *Waterbirds*, 38 (2), 173 – 183. <https://doi.org/10.1675/063.038.0206>
- Nantes, E. A. (2019). EL MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS PARA LA TOMA DE DECISIONES. REPASO DE LA METODOLOGÍA Y APLICACIONES. *Investigación Operativa*, 46, 54 – 73.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 476–495. <https://doi.org/10.7550/rmb.41882>
- Niemuth, N. D., & Solberg, J. W. (2003). Response of Waterbirds to Number of Wetlands in the Prairie Pothole Region of North Dakota, U.S.A. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2003\)026\[0233:ROWTNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2003)026[0233:ROWTNO]2.0.CO;2), 26 (2), 233 – 238. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2003\)026](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2003)026)

- Ocampo-Peñuela, N. (2010). El fenómeno de la migración en aves: una mirada desde la Orinoquia The phenomenon of migration in birds: a view from the Orinoco. *Orinoquia*, 14(2), 188–200.
- Ortega-Álvarez, R., & MacGregor-Fors, I. (2011). Dusting-off the file: A review of knowledge on urban ornithology in Latin America. *Landscape and Urban Planning*, 101(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.020>
- Ortiz, T. (2014). Estadística Computacional. <https://Tereom.Github.Io/Est-Computacional-2018/Index.Html>.
- Ortiz, T. (2023). Bootstrap no paramétrico. https://tereom.github.io/est_computacional/05-Bootstrap.html
- Osorio, J., & Orejuela, J. P. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, 14, 247–252.
- Paracuellos, M., & Tellería, J. L. (2004). Factors Affecting the Distribution of a Waterbird Community: The Role of Habitat Configuration and Bird Abundance Factors Affecting the Distribution of a Waterbird Community: The Role of Habitat Configuration and Bird Abundance. *Waterbirds*, 27(4), 446–453. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2004\)027](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2004)027)
- Patricia, B.-S. (2010). PROTOCOLO DE MONITOREO DEL AGUA (Vol. 01). http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/2011-PROTOCOLO-ANAPeru.pdf%5Cnhttp://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13504/1/ArangoMendozaJulianAndres2014.pdf%5Cnhttp://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd54
- Peralta-Moctezuma, J. V., & Halfpeter-Salas, G. (2013). Diversidad verdadera y recambio en la comunidad de escarabajos copronecrófagos de dos montañas del eje Neovolcánico.
- Pereyra, L. C., & Moreno, C. E. (2013). Divide y vencerás: revisión de métodos para la partición de la diversidad regional de especies en sus componentes alfa y beta. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86(3), 231–239. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2013000300001>
- Pérez-Arteaga, A., & Gastón, K. J. (2004). Wildfowl population trends in Mexico, 1961–2000: A basis for conservation planning. *Biological Conservation*, 115(3), 343–355. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00088-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00088-0)
- Perez-Arteaga, A., Gaston, K. J., & Kershaw, M. (2002). Population trends and priority conservation sites for Mexican Duck *Anas diazi*. *Bird Conservation International*, 12, 35–52. <https://doi.org/10.1017/S0959270902002034>
- Pineda López, R., & Zuria Jordán, I. L. (2019). Recomendaciones para el muestreo de aves acuáticas en ambientes lénticos del centro de México. *Antropización: Primer Análisis Integral*. <https://doi.org/10.22201/ib.9786073020305e.2019.c19>

- Pineda-López, R. (2011). AVES ACUÁTICAS URBANAS Y EXTRA-URBANAS EN QUERÉTARO, MÉXICO. *Revista de La Sociedad Mexicana de Ornitología A. C.*, 2(1), 87–103.
- Podestá, J., & Barona, D. (2021). Abundancia de aves playeras (Charadriiformes: Scolopacidae) y su relación con la temperatura del agua en un humedal de Perú (2013 - 2019). *Revista de Biología Tropical*, 69 (4), 1322–1332. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i4.48080>
- Pulido, H. G., Gutiérrez González, P., Garibay López, C., & Caldera, L. D. (2014). Análisis multivariado y QFD como herramientas para escuchar la voz del cliente y mejorar la calidad del servicio Multivariate analysis and QFD as tools to listen to the voice of the customer and improve service quality. *Revista Chilena de Ingeniería*, 22 (1), 62–73.
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., Desante, D. F., Milá, B., John, C., Geoffrey, R., Thomas, E., & David, F. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. In Gen. Tech. Rep. PSW-GTR- 159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, <http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/31462>
- Ramírez-Albores, J. E., & Pérez Suárez, M. (2018). El papel de la Universidad Autónoma del Estado de México-campus El Cerrillo como refugio de la diversidad de aves en el Valle de Toluca, México. *CIENCIA Ergo Sum*, 25 (3), 1–11. <https://doi.org/10.30878/CES.V25N3A10>
- RAMSAR. (2020a). The List of Wetlands of International Importance. In Ramsar website.
- RAMSAR. (2020b). The List of Wetlands of International Importance (the Ramsar List). <https://www.ramsar.org/document/the-list-of-wetlands-of-international-importance-the-ramsar-list>
- Ramsar Convention Secretariat. (2013). The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971). In Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland (6th ed. Ramsar). Convention Secretariat, Gland.
- Reis, V., Hermoso, V., Hamilton, S. K., Ward, D., Fluet-Chouinard, E., Lehner, B., & Linke, S. (2017). A Global Assessment of Inland Wetland Conservation Status. *BioScience*, 67 (6), 523–533. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix045>
- Riojas-López, M. E., & Mellink, E. (2019). Registros relevantes de aves en el sur del Altiplano Mexicano. Huitzil, *Revista Mexicana de Ornitología*, 20 (2), 1–15. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2019.20.2.457>
- Rodríguez-Casanova, A. J., & Zuria, I. (2018). Coloración aberrante en aves acuáticas de la Laguna de Zumpango, Estado de México. Huitzil, *Revista Mexicana de Ornitología*, 19(1), 131–140. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2018.19.1.316>

- Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez- Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M. I., Ressler, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta- Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., Fueyo- Mac Donald, L., & Galindo-Leal, C., (2013). Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo (Primera edición). <https://www.researchgate.net/publication/272293455>
- Romero, M. A., Villamizar, E., & Malaver, N. (2013). Estructura de la comunidad de esponjas (Porifera) en tres arrecifes del Parque Nacional Morrocoy, Venezuela y su relación con algunas variables ambientales. In *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN (Vol. 61, Issue 3)*.
- Saaty, T. L. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *JOURNAL OF MATHEMATICAL PSYCHOLOGY*, 15, 234–281.
- Sáenz, J. C., Villatoro, F., Ibrahim, M., Fajardo, D., & Pérez, M. (2006). Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agro paisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua y Colombia. *agroforestería En Las Américas*, 45.
- Sanchez, K., Jiménez, F., Velásquez, S., Piedra, M., & Romero, E. (2004). Recursos Naturales y Ambiente: Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. In *Recursos Naturales y Ambiente* (pp. 88–95).
- Sasa, M., Oviedo-Brenes, F., & Beneyto-Garrigos, D. (2022). Uso de la diversidad biológica de grupos indicadores para evaluar la compensación ecológica: el caso del Embalse Río Piedras, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 70, 53487. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v70iS1.53487>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recurso Naturales. (2018). Programa de Manejo, Área de Protección de Flora y Fauna Ciénegas de Lerma. (Vol. 1). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/20_libro_pm.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2011). Plan de Manejo tipo para el aprovechamiento en vida libre de las aves acuáticas en las Ciénegas de Lerma, Estado de México. DIRECCION GENERAL DE VIDA SILVESTRE.
- SEMARNAT. (2021). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF. <https://www.gob.mx/semarnat>
- Simeone, A., Oviedo, E., Bernal, M., & Flores, M. (2008). LAS AVES DEL HUMEDAL DE MANTAGUA: RIQUEZA DE ESPECIES, AMENAZAS Y NECESIDADES DE CONSERVACIÓN. *Boletín Chileno de Ornitología*, 14 (1), 22 – 35.
- Singh, K., & Hie, M. (2008). Bootstrap: a statistical method. {Unpublished Manuscript, Rutgers University, USA. Retrieved from [Http://Www. Stat. Rutgers. Edu/Home/Mxie/RCpapers/Bootstrap. Pdf](http://www.stat.rutgers.edu/Home/Mxie/RCpapers/Bootstrap.Pdf)}, 1 – 14.

- Solanas, A., & Sierra, V. (1992). Bootstrap: fundamentos e introducción a sus aplicaciones. *Anuario de Psicología / The UB Journal of Psychology*, 55, 143–154.
- Soriano-Vargas, E., & Salgado-miranda, C. (2018). El Bordo Las Maravillas. *Universitaria*, 1(6), 25–27.
- Tavares, D. C., Guadagnin, D. L., de Moura, J. F., Siciliano, S., & Merico, A. (2015). Environmental and anthropogenic factors structuring waterbird habitats of tropical coastal lagoons: Implications for management. *Biological Conservation*, 186, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.02.027>
- Ter Braak, C. J., & Verdonschot, P. F. (1995). Canonical correspondence analysis and relate multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*, 57, 255–289. <https://doi.org/10.1007/BF00877430>
- Tiner, R. W. (2005). Assessing cumulative loss of wetland functions in the nanticoke river watershed using enhanced national wetlands inventory data. *Wetlands*, 25(2), 405–419. <https://doi.org/10.1672/15>
- Tzioutzios, C., & Kastridis, A. (2020). Multi-criteria evaluation (MCE) method for the management of Woodland plantations in floodplain areas. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/ijgi9120725>
- UICN. (2021). Unión Internacional para la Conservación de la naturaleza. <https://www.iucn.org/es>
- Van Horne, B. (1983). Density as a Misleading Indicator of Habitat Quality. *The Journal of Wildlife Management*, 47(4), 893. <https://doi.org/10.2307/3808148>
- Van Leeuwen, C. H. A., Lovas-Kiss, Á., Ovegård, M., & Green, A. J. (2017). Great cormorants reveal overlooked secondary dispersal of plants and invertebrates by piscivorous waterbirds. *Biology Letters*, 13(10), 10–14. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2017.0406>
- Vázquez, R. (2019). El Bordo “Las Maravillas”, santuario de la biodiversidad de la UAEM. *Criterio Noticias*. <https://criterionoticias.wordpress.com/2019/06/06/el-bordo-las-maravillas-santuario-de-la-biodiversidad-de-la-uaem/>
- Vergara Rodríguez, C., Pablo Mendoza Ortega, G., & Salgado Ordosgoitia, R. (n.d.). Implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones en la gestión de abastecimiento; aplicación a una empresa productora de queso costeño.
- Villalpando, P., Castillo, J. A., Cortez, K., & De Negocios, I. (2007). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica (Canonical correlation analysis and scientific research). <https://www.researchgate.net/publication/315813696>
- Wang, H.-T., Smallwood, J., Mourao-Miranda, J., Xia, C. H., Satterthwaite, T. D., Bassett, D. S., & Bzdok, D. (2018). Finding the needle in high-dimensional haystack: A tutorial on canonical correlation analysis. *ArXiv Preprint ArXiv*, 1812(02598).

- Wang, W., Fraser, J. D., & Chen, J. (2017). Wintering waterbirds in the middle and lower Yangtze River floodplain: changes in abundance and distribution. *Bird Conservation International*, 27, 167–186. <https://doi.org/10.1017/S0959270915000398>
- Wehrens, R., Putter, H., & Buydens, L. M. C. (2000). The bootstrap: a tutorial. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 54(1), 35–52. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(00\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(00)00102-7)
- XLSTAT Help Center. (2023). Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) en Excel. <https://help.xlstat.com/es/6505-canonical-correspondence-analysis-cca-tutorial>
- Zepeda-Gómez, C., Lot-Helgueras, A., Antonio Nemiga, X., & Madrigal-Uribe, D. (2012). Florística y diversidad de las ciénegas del río Lerma, estado de México, México. *Acta Botánica Mexicana*, 98, 23 – 49. <https://doi.org/10.21829/abm98.2012.1139>
- Zhang, Y., Fox, A. D., Cao, L., Jia, Q., Lu, C., Prins, H. H. T., & de Boer, W. F. (2019). Effects of ecological and anthropogenic factors on waterbird abundance at a Ramsar Site in the Yangtze River Floodplain. *Ambio*, 48(3), 293. <https://doi.org/10.1007/S13280-018-1076-1>
- Zou, Y. A., Pan, B. H., Zhang, H., Zhang, P. Y., Yao, Y., Liu, X. K., Gao, D. L., & Xie, Y. H. (2017). Impacts of microhabitat changes on wintering waterbird populations. *Scientific Reports*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14317-9>

Glosario

Aves acuáticas: Las aves acuáticas son aves que viven en ambientes acuáticos. El medio acuático en el que viven puede ser: Océano: Playa u océano que alberga aves marinas, Agua dulce: como lagos y humedales.

Ecosistema acuático: Como sugiere el nombre, estos son exactamente los ecosistemas o ambientes que consisten principalmente en agua y la biodiversidad de la flora, fauna y otros organismos en ese ambiente.

Plantas acuáticas: son plantas vasculares que habitan principalmente en ecosistemas de agua dulce y de transición. Algunas especies también se encuentran en ambientes marinos. Pueden prosperar completamente sumergidos, flotando o enraizados en suelos inundados. Estas plantas se conocen comúnmente como hidrófitas.

RAMSAR: La Convención sobre Humedales Importantes, también conocida como Convención de Ramsar, es un tratado internacional diseñado para conservar y proteger los humedales. El tratado fue firmado en Ramsar, Irán, en 1971 y actualmente cuenta con 171 países como miembros. Su propósito es asegurar el uso sustentable de los humedales, así como reconocer los beneficios ecológicos, económicos, culturales y científicos que brindan.

Humedales: Se refiere a toda área terrestre que está saturada o inundada de agua de manera estacional o permanente. Entre los humedales continentales se incluyen acuíferos, lagos, ríos, arroyos, marismas, turberas, lagunas, llanuras de inundación y pantanos. Entre los humedales costeros se incluyen todo el litoral, manglares, marismas de agua salada, estuarios, albuferas o lagunas litorales, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral.

CONABIO: Establecida en 1992 con carácter permanente, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) es una comisión intersecretarial.

Especie: La unidad fundamental de la taxonomía es una clasificación que abarca individuos de plantas que comparten características morfológicas similares y pueden producir descendencia fértil mediante fertilización recíproca. Se le conoce comúnmente como categoría taxonómica.

Hábitat: Es un lugar que ofrece condiciones ambientales adecuadas para que un organismo vivo, ya sea una especie, una comunidad animal o vegetal, prospere y sobreviva.

Biodiversidad: Se refiere a la diversidad de vida en todas sus formas. Esto abarca varios niveles de organización biológica, desde la variedad de especies de plantas, animales, hongos y microbios que residen dentro de un hábitat particular, hasta la diversidad genética de estos organismos, los ecosistemas de los cuales son componentes integrales y los paisajes o regiones más amplios. Además, la biodiversidad abarca los procesos ecológicos y evolutivos que tienen lugar en diferentes niveles, incluidos aquellos que se desarrollan a nivel de genes, especies, ecosistemas y paisajes.

Migración: Se caracteriza por ser un movimiento cíclico y estacional de animales. Este movimiento suele estar motivado por una variedad de factores, que incluyen, entre otros, las fluctuaciones del clima, la accesibilidad al sustento y la necesidad de reproducirse. En casi todos los casos observados, la migración implica un patrón regular de movimiento de un lugar a otro y luego de regreso al punto de partida original.

Bordo: Se refiere a una construcción hecha de tierra, utilizada a menudo para recolectar y conservar agua.

Coordenadas geográficas: El posicionamiento de un punto o ubicación específica está determinado por un conjunto de ángulos. Esto se logra mediante la aplicación de una metodología universal para la localización de puntos en la superficie terrestre. Esta metodología se basa en una serie de anillos hipotéticos que rodean la esfera terrestre, concretamente meridianos y paralelos. Las coordenadas de este sistema se denominan Latitud y Longitud, respectivamente.

Coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator): El sistema de coordenadas del plano mundial, que utiliza coordenadas cartesianas, se implementa mediante la proyección UTM.

Cuenca hidrológica: Una cuenca se refiere a la extensión de terreno que está bordeada por un cuerpo de agua o curso de agua específico y cuyo escurrimiento se dirige hacia el mismo curso de agua primario. Esta área está reconocida como una subdivisión distinta dentro de la Región Hidrológica.

Cuerpo de agua: Extensión de agua limitada por tierra.

Degradación: El término se utiliza para describir un conjunto de procedimientos que conducen a la degradación de los recursos del suelo, resultando en una reducción de su productividad o diversidad orgánica.

Ecosistema: En un momento y lugar específicos, el elemento fundamental de la relación entre los organismos vivos y su entorno es la interacción entre sí. Esta interacción, a su vez, crea la unidad funcional básica de la vida.

Especie dominante: La identificación de las especies primarias o influyentes que residen dentro de una comunidad vegetal puede dictar no sólo el tipo de vegetación que crece, sino también el estado de crecimiento sucesional y la apariencia general de la cubierta vegetal dentro del área.

Georreferenciación: Una serie de tareas o acciones emprendidas para determinar la ubicación de un grupo de puntos, un punto singular o cualquier dato geográfico en general, en correlación con un sistema de referencia específico en la Tierra.

Muestreo: El acto de obtener un volumen que se considera como muestra representativa de un cuerpo de agua a los efectos de analizar características particulares que hayan sido definidas.

Región prioritaria: Al realizar proyectos con el objetivo de recopilar datos de un lugar particular, como un área protegida o una región de prioridad de conservación, es imperativo

identificar y restringir la región de interés a las proximidades del sitio de recolección u observación del espécimen o especie en cuestión.

Temperatura: La evaluación de la energía térmica en una sustancia particular se logra a través de varias escalas termométricas, como la escala centígrada, Fahrenheit, Réaumur y absoluta.

UMA: La asignación de unidades de manejo para el aprovechamiento de la vida silvestre es una práctica que enfatiza la importancia de la administración y conservación responsable. Dichas unidades están designadas para preservar y proteger los hábitats de diversas especies de animales, al mismo tiempo que brindan oportunidades para la caza sostenible y otras actividades recreativas. Este enfoque garantiza la protección de las poblaciones de vida silvestre y sus ecosistemas, al mismo tiempo que satisface las necesidades de los humanos de una manera que sea tanto ética como ecológicamente sólida.

Vida silvestre: La vida silvestre se puede definir como los organismos colectivos que consisten en flora y fauna que existen y crecen de forma independiente dentro de su entorno natural, formando una población y un ecosistema autosostenibles que interactúan entre sí, incluidas poblaciones más pequeñas e individuos que pueden estar bajo control humano.

ANP: Áreas Naturales Protegidas.

AICAS: Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

MSNM: Metros sobre el nivel medio del mar.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Km: Kilómetro. Unidad de longitud que equivale a 1000 metros.

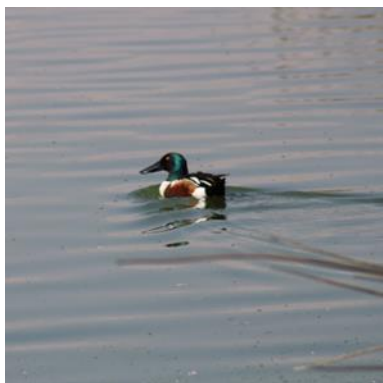
DOF: Diario oficial de la federación.

Gremios Alimenticios: Un conjunto de especies que utilizan recursos ambientales comparables de manera comparable.

IUCN: Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

AOS: Sociedad Estadounidenses de Ornitólogos

Anexo 1. Fotografías con especies de aves acuáticas y la problemática en humedales.



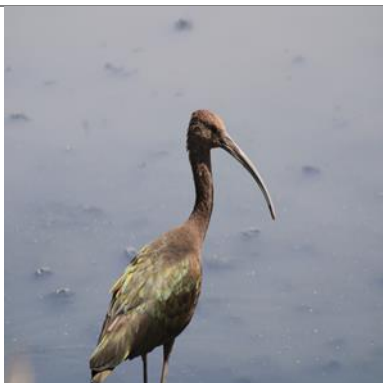
Spatula clypeata

Fotografía: Juan Ramón Hernández



Bubulcus ibis

Fotografía: Juan Ramón Hernández



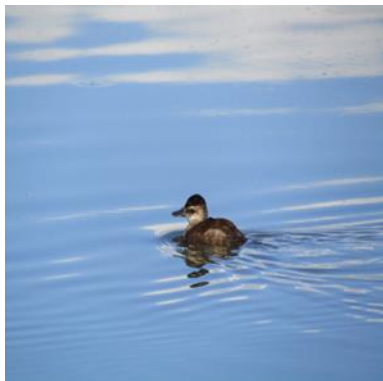
Plegadis chihi

Fotografía: Juan Ramón Hernández



Fulica americana

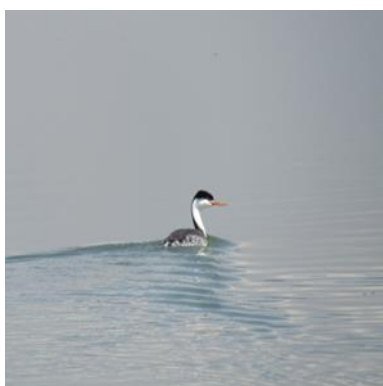
Fotografía: Juan Ramón Hernández



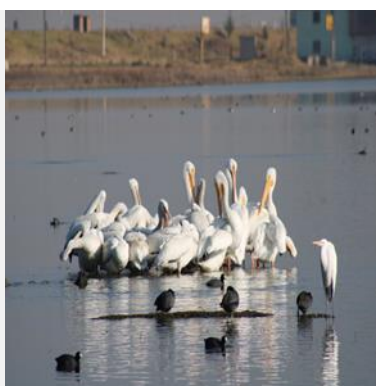
Oxyura jamaicensis
Fotografía: Juan Ramón Hernández



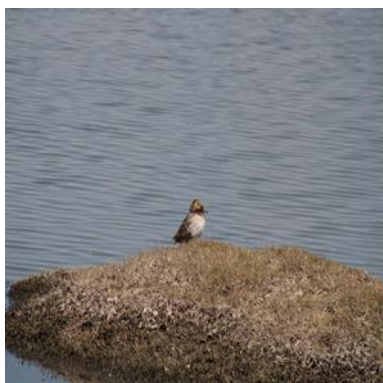
Recuvirostra americana
Fotografía: Juan Ramón Hernández



Aechmophorus clarkii
Fotografía: Juan Ramón Hernández



Pelecanus erythrorhynchos
Fotografía: Juan Ramón Hernández



Aythya valisineria
Fotografía: Juan Ramón Hernández



Gallinago delicata
Fotografía: Juan Ramón Hernández



Presencia de Perros
San Jerónimo



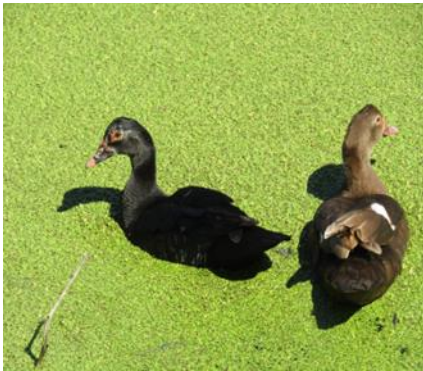
Presencia de Gato
San Jerónimo



Presencia de Basura
San Jerónimo



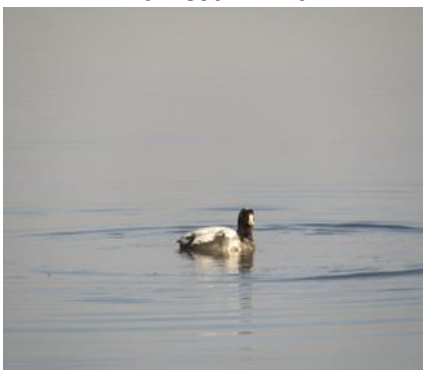
Cerceta Alas Azules (*Spatula Discors*)
San Jerónimo



Pato de Corral domesticado (*Cairina Moschata*)
Humedal Mina



Depredación de Ave Acuática
Las Maravillas



Leucismo de Gallareta Americana (*Fulica Americana*)
San Jerónimo



Presencia de turista
San Jerónimo



Cacería Cinegetica
Lago Chignahuapan



Presencia de Perros
Humedal Mina

(*Egretta thula*) Depredación
San Jerónimo



Aguas Residuales
San Jerónimo



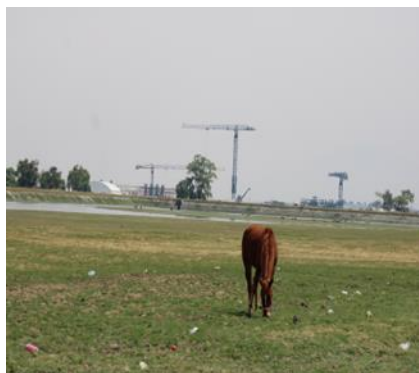
Depredación
Las Maravillas



Depredación (*Fulica americana*)



Ganso domestico
San Jerónimo



Presencia de Caballo y Borregos
Humedal Mina

Anexo 2. Valores de las variables fisicoquímicas de los humedales muestreados.

<i>Humedales</i>	<i>Temperatura del agua</i>	<i>pH del agua</i>	<i>Oxígeno disuelto</i>	<i>Conductividad</i>	<i>Precipitación</i>
CH	11 °C	6.9	1.35 mg/L	1100 µS/cm	93.8 mm
LO	10 °C	7.08	1.20 mg/L	381 µS/cm	93.8 mm
SJ	5 °C	7.26	1.57 mg/L	416 µS/cm	77.4 mm
SM	12 °C	7.65	3.52 mg/L	482 µS/cm	77.4 mm
LM	9 °C	7.08	1.54 mg/L	453 µS/cm	76.2 mm
M	12 °C	7.1	4.34 mg/L	258 µS/cm	75.2 mm