

CORRELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DEL AGUA Y LA DIVERSIDAD DE AVES SILVESTRES EN UNA LAGUNA RESTAURADA. BUENOS AIRES. ARGENTINA

CORRELATION BETWEEN WATER QUALITY AND WILD BIRD DIVERSITY IN A RESTORED LAGOON. BUENOS AIRES. ARGENTINA

Ing. Noemí Lobo

noemilobo@gmail.com

Recibido 28/02/2024; Aceptado: 26/04/2024

Resumen: El presente estudio de investigación tiene por finalidad describir la restauración hídrica de la laguna de los Coipos que junto a otras tres lagunas conforman, el humedal urbano Reserva Ecológica Costanera Sur, situado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. El tipo de investigación es aplicada, con enfoque mixto, nivel descriptivo y diseño observacional experimental con corte longitudinal. Los humedales costeros cumplen una importante función como hábitats para aves acuáticas, tanto residentes como visitantes. Para analizar la importancia de este albergue natural de aves acuáticas, se realizaron censos por un periodo de cuatro años entre los años 2014 y 2017. Como forma de acompañar la restauración hídrica de la laguna se adaptó un índice de calidad del agua. La pureza de la misma resultó *saludable* donde la diversidad y abundancia de especies, es moderada. Se censó un total de 49 especies que representan el 16,5% del total de aves registradas. Nuestros resultados mostraron diferencias temporales significativas en la estructura del ensamble de aves de la laguna de los Coipos a lo largo de los cuatro años.

Palabras-clave: Estimadores; índice de calidad del agua; abundancia; diversidad; curvas de rarefacción.

Abstract: This research study aims to describe the water restoration of the Coipos Lagoon, which together with three other lagoons make up the Costanera Sur Ecological Reserve urban wetland, located in the Autonomous City of Buenos Aires, Argentina. The type of research is applied, with a mixed approach, descriptive level and observational experimental design with a longitudinal cut. Coastal wetlands play an important role as habitats for waterbirds, both resident and migratory. To analyze the importance of this natural shelter for waterbirds, censuses were carried out for a period of four years between 2014 and 2017. To accompany the water restoration of the lagoon, a water quality index was adapted. The purity of the water was found

to be healthy, with moderate species diversity and abundance. A total of 49 species were recorded, representing 16.5% of the total birds registered. Our results showed significant temporal differences in the structure of the bird assemblage of the Coipos Lagoon over the four years.

Keywords: Estimators; water quality index; abundance; diversity; rarefaction curves.

1. Introducción

El concepto de “humedal” o “zona húmeda” se refiere a una superficie de tierra que se inunda de manera permanente o esporádica; cuando el suelo se satura da lugar a ecosistemas de transición entre acuáticos y terrestres. Son sistemas donde la evapotranspiración es mayor a las precipitaciones que los hace interdependientes de los aportes de las aguas superficiales o subterráneas. Son superficies de poca profundidad, con agua estancadas o someras. Son frecuentes en zonas de poco relieve con drenaje difícil y de moderada a baja permeabilidad. Abarcan una variedad de hábitats continentales, costeros y marinos que albergan una alta biodiversidad de fauna y flora especializada. La categorización biológica del humedal, está determinada por zonas geológicas múltiples y particulares como: ciénagas, esteros, marismas, pantanos, turberas y zonas de la costa marítima como los manglares de suelos anegadizos constantes por influencias del régimen de las mareas. Los humedales tan solo cubren un pequeño porcentaje de la superficie de la tierra (entre 5% y 8%), sin embargo, aportan el 46 % del total de los bienes y servicios que brindan a todos los seres vivos, según el Inventario de los Humedales del Corredor Fluvial Paraná – Paraguay. [elaborado por el Grupo de Trabajo de Recursos Acuáticos de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación año 2013].

Estas zonas húmedas sufren impactos directos y amenazas por la creciente actividad humana. El cambio del uso del suelo de estos sistemas, causan un gran deterioro en el ambiente a nivel local y regional. Los humedales desaparecen bajo los terraplenes de las autopistas, rutas, puentes, canalizaciones, urbanizaciones y embalses; son los factores que impactan en el ciclo hidrológico y en el recurso agua, obstruyen el natural escurrimiento modificando el funcionamiento y composición del paisaje que implica la pérdida de biodiversidad. El desconocimiento de los servicios ecológicos que prestan y de los bienes que proveen, son factores determinantes en la destrucción del 40% de los humedales del mundo en los últimos 40 años y que la población de especies de estos ecosistemas, se haya reducido en un 66%. (Secretario general Christopher Briggs ante la XII Reunión de la Conferencia de las Partes de la Convención de Ramsar sobre Humedales. COP12. Realizada en Punta del Este, Uruguay).

Los humedales son ecosistemas de gran importancia ecológica y económica (Zedler & Kercher 2005; Verhoeven et al. 2006; Ghermandi et al. 2010). Estos ambientes son zonas de transición entre sistemas acuáticos y terrestres, establecen áreas de inundación temporal o permanente y generalmente están determinados por el régimen hidrológico. Particularmente son importantes por su función ecológica, ya que son los sistemas más productivos del planeta. La degradación de estos, recae sobre las influencias de los factores naturales como antrópicos que afectan todos

los procesos de los humedales, con pérdida de su capacidad productiva. La planificación inapropiada y el uso de técnicas perjudiciales, la agricultura intensiva, urbanizaciones, la contaminación y la desecación son las causas de su transformación o destrucción.

Los humedales urbanos como la Reserva Ecológica Costanera Sur (en adelante RECS), objeto de nuestro estudio en este trabajo, no escapan a estas alteraciones, recibiendo los impactos de los procesos antrópicos continuos que alteran los ciclos naturales. Estos sistemas poseen atributos y valores intrínsecos que los distinguen de otros ecosistemas.

Objetivos específicos

- Sugerir un índice de calidad de agua fisicoquímico para las lagunas del humedal RECS.
- Evaluar el estado del recurso hídrico.
- Estimar y comparar la riqueza y diversidad de especies de aves aplicando diferentes estimadores y técnicas de rarefacción.

2. Reserva Ecológica Costanera Sur

2.1. Descripción general

Las tierras sobre las cuales se encuentra la RECS, pertenecieron al antiguo balneario de la ciudad de Buenos Aires, inaugurado en 1918. Al mejor estilo *belle époque*, símbolo de progreso del país, presentaba amplios bulevares, edificios lujosos y detalles muy ornamentados en la rambla y la pérgola. El sector de la rambla estaba definido entre el Espigón Plus Ultra y la Pérgola de Luís Viale. En el extremo del espigón –frente al río- se encuentra la obra, el “Plus Ultra”, del escultor José Lorda, en homenaje al hidroavión (Plus Ultra), tras su travesía realizada en 1926 entre Madrid y Buenos Aires, de ahí surge el nombre de dicho espigón.

En esos años, miles de porteños llegaban al lugar a pie, en auto o por medio de tranvías, en busca de aire fresco. En las tardes de verano, para sobrellevar el calor, se daban un chapuzón en el río. Desde entonces el paseo prosperó mediante la instalación de bares, confiterías, lujosos restaurantes y diversos espectáculos de música y variedades, convirtiéndose en uno de los paseos preferidos de los capitalinos, no solo durante el día, sino también de noche. A finales de la década de 1950 las instalaciones comenzaron a deteriorarse y muchas confiterías fueron demolidas. Este hecho trajo consecuencias: el balneario empezó a decaer. Además, en años posteriores se prohibió a la gente bañarse en el río, debido a la creciente contaminación.

A principios de los años 70 se decidió “ganar” tierras al río, frente a lo que fuera el antiguo balneario cuyo objetivo era construir una ciudad satélite. Los materiales transportados a la ribera en esta “nueva” etapa comenzaron a depositarse en 1978. La técnica de construcción imitaba el sistema de los polders holandeses (forma de arco). Tenía terraplenes perimetrales contruidos con escombros, provenientes de

las demoliciones de casas y edificios realizadas para abrir el trazado de la Autopista 25 de mayo y de la ampliación de la Avda. 9 de julio. Los componentes depositados incluían toda clase de objetos acordes con ese origen. A medida que la zona se rellenaba con sedimentos extraídos del dragado del río de la Plata, el líquido sobrante era parcialmente desagotado. Así, se completaron los espacios delimitados por esos terraplenes -llamados “ollas”- y el barro que quedaba enterrado se escurría paulatinamente.

El esquema inicial de urbanización incluía la creación de áreas verdes entre las construcciones del futuro “Centro Administrativo de la Ciudad”. Sin embargo, este proyecto fue finalmente desestimado cuando se advierte que el material de relleno no era adecuado para las construcciones previstas, aunque la descarga y el relleno continuaron en forma discontinua hasta 1984. En ese año, los trabajos se suspendieron definitivamente, y el área quedó abandonada.

2.2. Historia ecológica y del paisaje

Con la documentación recopilada se pudo reconstruir los principales cambios que ocurrieron a partir de la desatención del predio. Sin ninguna intervención del hombre, el lugar empezó a evolucionar mediante el desarrollo de diferentes comunidades vegetales en torno de las áreas inundadas. A partir de semillas contenidas en los sedimentos, o transportadas por el viento y el agua, y por la dispersión de algunas aves, se configuró un equilibrado paisaje natural. Las plantas favorecieron el establecimiento de numerosas poblaciones, tanto de especies estables, como migratorias, que encontraron refugio y alimento. A medida que crecía la diversidad biológica, se conformaban ambientes de origen artificial, como lagunas, bañados, pastizales, matorrales, bosques y especies animales que iban modelando el paisaje. Por su ubicación estratégica cerca del microcentro porteño y por su misión principal de educación ambiental (Ord. N 45676/91), constituye un espacio verde diferenciado. Su principal objetivo educativo apunta a utilizar sus valores y recursos para la formación de ciudadanos ambientalmente responsables. Además, este humedal urbano posee un importante valor ecológico, representando una muestra de la vida silvestre del ecosistema ribereño. Tiene una alta biodiversidad y es fundamental como corredor biológico de la ribera occidental del río de la Plata. En ella se conservan aproximadamente 1650 especies, entre plantas, hongos, aves, reptiles, mamíferos, peces, anfibios y artrópodos. Posee Valor histórico y patrimonio cultural: expone las características ambientales que encontraron los conquistadores. También, se encuentran remanentes de mampostería, vítreos, pétreos, madera, revestimientos cerámicos, que revelan datos interesantes sobre la vida en el pasado de la sociedad porteña. Es de valor turístico, educativo, recreativo y deportivo; se realizan prácticas de aerobismo, expresión corporal, gimnasia, ciclismo, paseos recreativos diurnos y nocturnos, avistaje de aves y actividades culturales.

2.3. Categorización y clasificación

Durante la conmemoración del Día Mundial del Agua, el 22 de marzo de 2005, la Reserva Ecológica Costanera Sur, fue designada “Sitio Ramsar”. Dicho compromiso internacional asumido para la preservación del humedal, se enmarca dentro de la

Ley Nacional N° 23.919. Además, la RECS fue incluida al Sistema Federal de Áreas Protegidas, con Categoría IV de la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza, como “Área de Manejo de Hábitat y Especies”. También, es Área Importante para la Conservación de Aves Silvestres (AICA). Reconocimiento de BirdLife International y Aves Argentinas. La reserva es jurisdicción de la Subsecretaría de medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. También cuenta con el apoyo de un Consejo de Gestión, integrado por tres organizaciones no gubernamentales: Aves Argentinas; la Fundación Vida Silvestre Argentina y Amigos de la Tierra, además del Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

2.4. Cambio climático y efecto de la niña.

La Reserva Ecológica Costanera Sur, pertenece a la ecorregión de humedales de la cuenca del Plata; es una región fundamentalmente llana, posee cuatro lagunas que no tenían conexión con el río de la Plata hasta el año 2013, periodo de la restauración del humedal. Al igual que la mayoría de las lagunas pampásicas, estos cuerpos de agua se ajustaban a un régimen climático natural en los que se reiteraban tanto los periodos de sequía como los de inundación. El aporte de agua dependía fundamentalmente de las lluvias y su nivel variaba a lo largo del año, de acuerdo con el equilibrio entre precipitación, evaporación y escorrentía. La pequeña laguna de los Coipos pertenece a un sistema de pequeñas y someras albuferas que se ubican en la parte más deprimida del humedal. Debe su nombre a un mamífero predominante en la misma, el *Myocastor coypus* (coipo o nutria). Se extiende en forma horizontal, se ubica en el linde occidental de la reserva rodeada por el sendero de los Lagartos y la rambla de la costanera, el lado más urbano del humedal. Se destacan otras tres lagunas: hacia el noroeste la laguna de las Gaviotas; hacia el suroeste la laguna de los Patos y en el extremo noreste se encuentra la pequeña laguna de los Macáes.

Tras una prolongada y persistente sequía que se da a comienzos de 2005 que alcanzó su pico máximo en el periodo 2007/2008, y las altas temperaturas, influyeron en la pérdida de agua por evaporación de las cuatro lagunas que, tradicionalmente se secaban naturalmente en primavera y recuperaban el agua en otoño, en función del balance hídrico. En la década del 2000, sufrieron un retroceso. Esta condición provocó el avance de pastizales circundantes (*Cortaderia selloana* y *Tipha latifolia*) y de bosquecillos de alisos de río, con la consiguiente pérdida del paisaje lagunar que condiciona la existencia de las adaptaciones de los seres vivos a su ambiente. En sus orillas inundables pueden desarrollarse playas barrosas sin vegetación o bordeadas por vegetación palustre. Por estas razones, sumadas a las sequías regionales, las lagunas se convirtieron en bañados en el mejor de los casos. El deterioro de la calidad del agua, además, de generar problemas de disponibilidad del recurso, afectó negativamente la estructura y composición de los ecosistemas asociados.

2.5. La restauración

El humedal urbano (RECS) ha sufrido un proceso de desecación de sus cuatro lagunas por causas naturales y antrópicas. Esta modificación del ecosistema lo llevó

a la pérdida de biodiversidad como consecuencia de la desaparición de hábitats. Con el fin de restaurar el ecosistema, el gobierno de la ciudad decide conectar a la laguna de los Coipos con el río a través de un sistema hidráulico de recarga artificial del acuífero, como técnica para su regeneración hídrica, restauración del paisaje que implicaba el retorno de las especies de aves tanto residentes como migratorias.

Este pequeño lecho lacustre de apenas 28 ha, era verdaderamente un sistema de alimentación hídrica, por sus características físicas. Al tener mayor altura, en un proceso natural, los excedentes líquidos desbordaban hacia las lagunas adyacentes (las Gaviotas y de los Patos), y mantenía el nivel óptimo de las tres. Además, la recirculación garantizaba la oxigenación, el intercambio de nutrientes y biota subacuática.

3.Marco geográfico

3.1. Ubicación

El humedal Reserva Ecológica Costanera Sur, se localiza sobre el margen occidental del río de la Plata, en el extremo este de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, en la región metropolitana en la localidad de Puerto Madero. Tiene un total de 362 hectáreas, y se encuentra entre los siguientes límites pertinentes a cada punto cardinal:

Extremo	Latitud	Longitud
Norte	34° 35' 42'' S	58° 21' 30'' W
Oeste	34° 35' 50'' S	58° 21' 47'' W
Sur	34° 37' 09'' S	58° 21' 19'' W
Este	34° 36' 55'' S	58° 21' 23'' W

Tabla 1 – Coordenadas geográficas del humedal Reserva Ecológica Costanera Sur. Fuente: Reserva Ecológica Costanera Sur. Ministerio de Ambiente y Espacio Público. Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Posee cuatro lagunas: la laguna de los Coipos que se extiende de norte a sur sobre el margen externo del humedal sobre la avenida Dr. Tristán Achával Rodríguez 1550; la misma carece de un contorno marginal definido, por lo que sufre pérdida de profundidad por la acumulación de sedimentos, que la hace muy productiva debido al mayor contacto del limo con la superficie del agua. También, su escaso nivel permite que el sol penetre hasta el fondo, impidiendo la formación de diferentes estratos térmicos. Se ubica en el linde occidental de la reserva y el istmo llamado camino de los Lagartos que la separa de las otras dos principales lagunas: hacia el noroeste la laguna de las Gaviotas; hacia el suroeste la laguna de los Patos, ambas lagunas están separadas por una franja estrecha de tierra que recorre de

oeste a este, llamado el camino del medio. Además de todas las lagunas mencionadas, se encuentra en el extremo noreste la pequeña laguna de los Macáes.

3.2. Primera etapa de la restauración

En 2013, con un presupuesto de 6.691.000 pesos y finalizados los estudios de factibilidad preliminares, comienza a implementarse la primera etapa que consistió en la hidratación de la laguna mediante un sistema de bombas hidráulicas, con el objetivo de succionar 300.000 m³ de agua desde el río de la Plata hasta el canal de derivación (Viamonte), a través de conductos donde es almacenada en un tanque cabecera, aguas arribas de la laguna, para acopiar un volumen estratégico para situaciones de emergencia hídrica y compensar las variaciones de nivel. A su vez el agua era derivada a una acequia a cielo abierto, de 500 metros aproximadamente, con una mínima pendiente y adoquinada con el objetivo de evitar la erosión hídrica y también, para oxigenar el agua que ingresaba a la laguna. Además, para reducir la cantidad de *Typha latifolia*, cobertura dominante, se llevó a cabo un desmalezado mecánico del lecho en algunos sectores para recuperar el nivel perdido por la acumulación de sedimentos y posteriormente, como eje central y de alta prioridad con el objetivo puesto en el retorno de las aves por el valor paisajístico y visual que estas representan, se decidió dar comienzo a las obras de llenado de la laguna. Por otra parte, también se realizó un muestreo de aves acuáticas para analizar la respuesta de las mismas a la restauración del ecosistema lacustre.

4. Metodología

En los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2013 se caracterizó el agua superficial de la laguna de los Coipos a través de tres estaciones ubicadas en la parte alta, media y baja del lago.

4.1. Estaciones de muestreo

- La Estación uno (E1), se ubica aguas arribas de la laguna, cercano al canal de derivación, próximo al ingreso del fluido.
- Estación dos (E2), se localiza donde se encuentra el monumento a Luís Viale, sobre el veredón, límite inmediato al margen derecho de la laguna.
- Estación tres (E3), se encuentra aguas abajo de la laguna (punto de referencia la Avenida Doctor Tristán Achával Rodríguez al 1550[≈].)

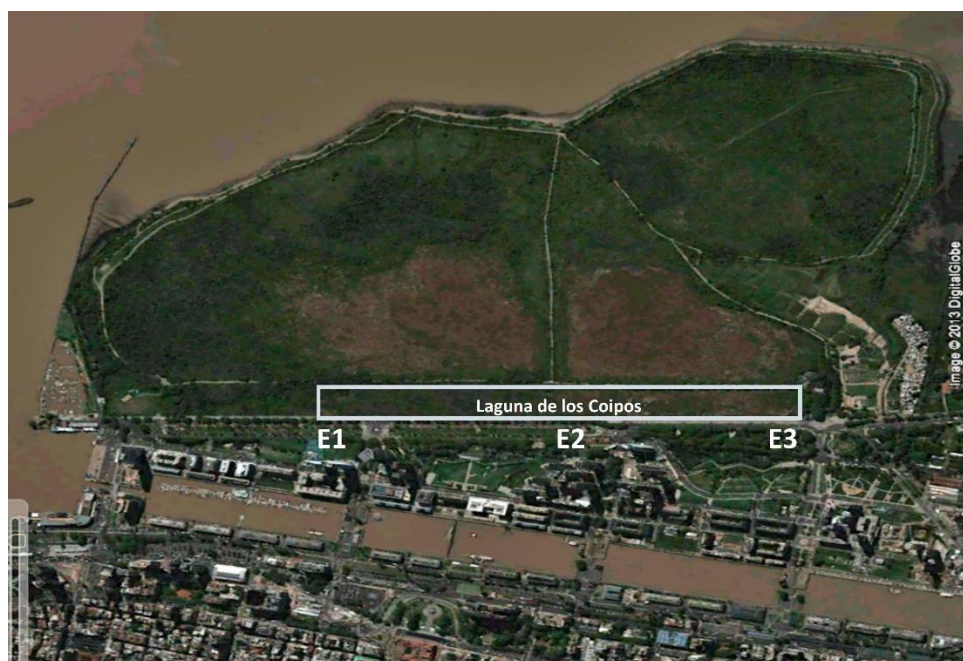


Figura 1 – Estaciones de muestreo en la laguna de los Coipos. Fuente: elaboración propia sobre mapa de Google Earth 2018.

4.2. Obtención y transporte de muestras

Las muestras de agua se tomaron sumergiendo un recipiente, cuyo contenido se cargaron en botellas de 500 ml por triplicado, a una profundidad sub-superficial entre 0,30 m y 0,50 m y a una distancia aproximada de la costa de 1 a 5 m. Cada muestreo se realizó en ausencia de lluvias previas a la campaña y en caso de haber sucedido este evento climático, las muestras se realizaron a los tres días posteriores de las precipitaciones, en horario de la mañana de 9hs a 11:30hs

Se midieron diferentes parámetros *in situ* tales como: oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y temperatura con sensores Hanna Instruments, debidamente calibrado con estándares certificados. Las muestras se trasladaron al laboratorio a 4° C donde se determinaron: sólidos suspendidos totales (SST) a 103-105 °C (método 2540 D, APHA et al., 1992); amonio (N-NH₄⁺) con indofenol azul (método 4500-NH₃ D, APHA et al., 1992); fósforo reactivo soluble (PRS) con molibdato ascórbico (Strickland y Parsons, 1972) y cloruros por volumetría con nitrato de plata (método 4500-Cl- B, APHA et al., 1992). Todo el proceso de manipulación y preservación de muestras se realizaron respetando las normas internacionales de la USEPA, descriptas en los manuales de estudio de efluentes (USEPA, 2002^a; USEPA, 2002^b) y según la metodología estandarizada para aguas (APHA, 1998).

4.3. Análisis de la información

Con el análisis de estos parámetros, se generó un Índice de Calidad de Agua para la Reserva Ecológica Costanera Sur, teniendo en cuenta el uso específico de la laguna que es el de la conservación de la biota acuática.

4.4. Elaboración del Índice de Calidad de Agua

El fósforo reactivo soluble es tomado del índice de León. Para calcular el amonio se emplearon las ecuaciones de las curvas del Ministerio de Transición Ecológica de España (MTE). Del indicador de Dinius, se consideraron siete variables (temperatura, pH, OD, Ce, SST, nitrato y cloruro). Considerando que estos tres índices se pueden adaptar y modificar de acuerdo a las condiciones predominantes del medio, de cada sistema acuático en particular o para un uso determinado, bajo estas condiciones se diseñó un índice de calidad cuya adaptación está orientada a generar un ICA para las lagunas del humedal y en particular la laguna de los Coipos [ICA-RECS] de acuerdo a las condiciones ambientales y al uso específico de la misma, modificando los parámetros que lo conforman con base al análisis del comportamiento de estos en el tiempo y en el espacio. Es por ello, que los pesos porcentuales asignados a cada variable, conforme con su grado de importancia en la evaluación de la calidad del agua del sitio en estudio, varían de los métodos utilizados teniendo en cuenta que estos fueron generados para garantizar una evaluación integral del agua destinada al consumo humano. Por este motivo, los pesos asignados (W_i) son específicamente para lagunas de la RECS. Las variables seleccionadas, se aplican de forma diferenciada y de acuerdo con la valoración del uso del recurso lacustre, ya que guarda estrecha relación con el mismo. (Tabla 2). También, se establecieron los rangos de calidad y colores para el ICA-RECS. (Tabla 3). Con la aplicación de este índice se pretende interpretar y relacionar de una manera coherente los resultados de calidad teniendo en cuenta los antecedentes y el uso de la laguna de los Coipos.

Parámetros	Índices analizados			Índice Propuesto		
	ICA-León 1998	ICA-Dinius 1987	MTE (España)	ICA-REC 2023	Unidad	Valor W_i
ΔT		✓		✓	C°	0,2
pH		✓		✓	U de pH	0,18
OD		✓		✓	OD (mg/l)	0,16
CE		✓		✓	CE ($\mu S/cm$)	0,13
PRS	✓			✓	PO ₄ (mg/l)	0,12
SST		✓		✓	SST (mg/l)	0,07
Amonio			✓	✓	NH ₄ ⁺ (($\mu g/l$))	0,07
Nitrato		✓		✓	N-NO ₃ ⁻ ($\mu g/l$)	0,04
Cl ⁻		✓		✓	Cl ⁻ (mg/l)	0,03

Tabla 2 – Parámetros analizados para generar el ICA-RECS con sus pesos ponderados (W_i) modificados. Elaboración: propia.

Calidad	Vida acuática	Rango
Óptima	Fauna ictícola profusa y diversa	80 a 100
Adecuada	Vida ictícola sustentable	60 a 80
Saludable	Abundancia y diversidad moderada	40 a 60
Restringida	Sólo para organismos resistentes	20 a 40
Pésima	Sólo especies adaptadas	0 a 20

Tabla 3. Clases de calidad, vida acuática, colores representativos y Rangos para el ICA-RECS. Elaboración propia.

4.5. Muestreo y registro de aves

Para el registro de especies se utilizó la metodología de Puntos de Conteo propuesta por Ralph *et al.* (1996), estableciendo ocho puntos distribuidos de la siguiente manera: cuatro en la ribera interna de la laguna, sobre el camino de los Lagartos y cuatro sobre el borde del perímetro urbano, separados entre sí por 500m y 50m \approx de ancho, Las aves fueron censadas entre el verano 2014 y verano 2017, con una frecuencia de 12 campañas anuales. Se realizó un censo mensual en horario matutino (a partir de las 8:00am, hora referencial).

El tiempo de observación en cada punto fue entre 10 y 15 min. En cada registro se contabilizó la presencia de aves acuáticas presentes en la laguna, en las riberas y arboledas circundantes, de manera visual y auditiva (Buckland, Anderson, Burnham, & Laake, 2005). A los puntos de conteo se los identificó como: s1a, s2a; s3a; s4a y s1b; s2b; s3b y s4b. (Figura 1).

Para tener una aproximación del número de especies que se puede encontrar en el hábitat lacustre, se evaluó la representatividad de los muestreos mediante curvas de acumulación de especies (Colwel & Coddington, 1994), en función de estimadores de riqueza no paramétricos Chao 1 y Jack 1 (Chao, 1984; Krebs, 1999; Magurran, 2004), son utilizados cuando se tiene abundancia y puesto que Chao1 y 2 son los más estrictos y menos sesgados (Villareal *et al.*, 2004) son los que en este estudio se aplican. Estos análisis se realizaron en el programa EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013) y JMP IN (2003). Con los valores evaluados de riqueza, se determinó la representatividad del muestreo (Soberón & Llorente, 1993). Para cada matriz de datos se llevó a cabo un análisis de bootstrap con 100.000 iteraciones (Chernick 2008).

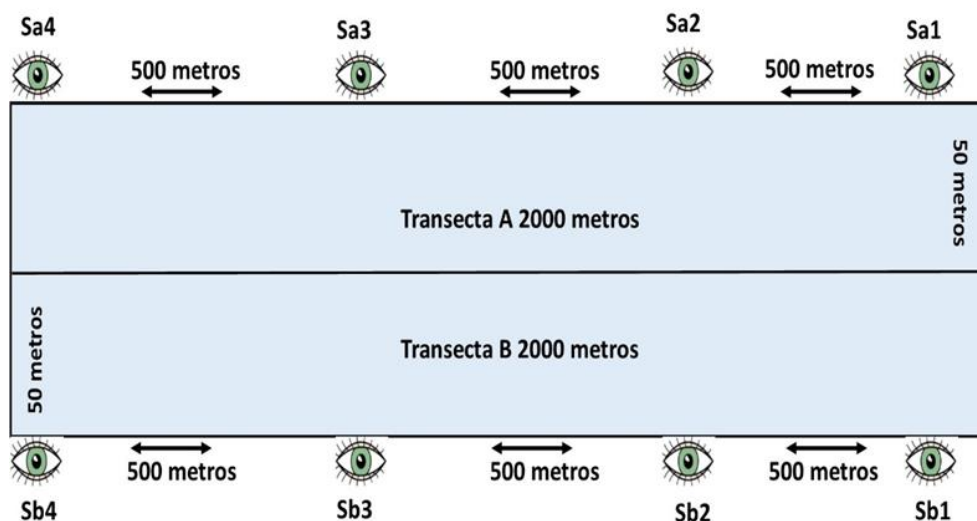


Figura 2. Se muestra el trazado de las transectas y puntos de observación sobre la laguna de los Coipos. Elaboración propia.

5. Resultados

5.1. Análisis físicoquímicos

En la estación uno, el fósforo superó ampliamente el límite seleccionado por Acumar y establecido por Australia ($<10\mu\text{g/l}$). A finales de la primavera de 2013 se postergó la intervención a la laguna, lo que ocasionó que la materia orgánica sedimentara y parte del fósforo que la constituye, se liberara mediante la oxidación y por la actividad degradadora de las bacterias (los valores de la demanda de oxígeno no alcanzaron el valor aceptable de $>5\text{mg/l}$). En condiciones de sub-oxigenación, el fósforo que se encontraba adherido a las partículas del suelo, se liberó a la columna de agua. Se midieron valores altos en E1 y E2 de amonio, contra el valor guía ($< 0,6 \text{ mg/l}$), el aumento registrado de este parámetro, ocurrió por la descomposición de la materia orgánica y la amonización, producto de los residuos del desmalezado, lo que provocó que esta carga de nutrientes convirtiera a estos dos sitios en eutróficos y la calidad del agua resultara **restringida** para la vida icónica con excepción de algunas especies resistentes a entornos perturbados.

Se explica la calidad **Adecuada** en E3 por las mejores condiciones observadas y analizadas. El sitio se encontraba libre de vegetación flotante y sin intervención de maquinarias lo que favoreció la sustentabilidad del ecosistema (Tabla 4).

Parámetros	Símbolo	Unidades	Período 2013			
			Valores límites	E1	E2	E3
Temperatura	T°C	Celsius	< 3 °C	0,1	0,23	2,36
pH	pH	U.de pH	6 ≤ pH ≤ 9	7,3	7,3	7,5
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	>5mg/l	3,1	2,6	9,76
Conductividad	CE	µS/cm	-	218	380	344
Fósforo reactivo soluble	PRS	mg/l	< 10 µg/l	14,89	3,76	0,63
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	< 10 µg/l	0,2	0,25	0,32
Nitrógeno amoniacal	N-NH ₄ ⁺	µg/l	< 0,6 mg/l	7,89	1,07	0,86
Nitrato	N-NO ₃ ⁻	µg/l	Sin restricción	0,48	5,27	7,7
Cloruro	Cl	mg/l	-	0,1	0,23	1,6
ICA-RECS				36,25	37,71	66,1

Tabla 4. Resultados fisicoquímicos del agua en el periodo 2013. Elaboración propia.

5.2. Resultados: Diversidad de aves

Se registró un total de 5676 individuos, agrupados en 18 especies de 17 familias que representan el 16,5% del total de la diversidad de avifauna registrada en el humedal, pertenecientes a 13 ordenes. La composición del ensamble estuvo dominada por la familia *Anatidae* (16 especies), le siguió en importancia *Rallidae* (12 especies).

Según los estimadores de riqueza no paramétricos Chao 1, Bootstrap y Jack 1, predijeron 18, 18.4, 18.8 especies respectivamente. Estas predicciones calculadas concuerdan con las 18 especies que se han registrado, por lo tanto, la representatividad del muestreo efectuado fluctúa entre 100, 97.83 y 95.34 de la población esperada para este estudio. Esto se puede contrastar con las curvas de acumulación, realizadas en el programa Estimates en donde se observa que estas comienzan a estabilizarse llegando a la asíntota (Gráficos 1), lo cual prueba una aceptable eficiencia de muestreo realizado en el año 2014 en la laguna de los Coipos. El mismo análisis puede realizarse para los años 2015, 2016 y 2017 (Tabla 5)

Índice de Completitud				
Año	Chao 1	Bootstrap	Jack1	S Mean (especies observadas)
2014	100%	97,83%	95,34%	18
2015	100%	99,56%	100%	13
2016	100%	95,15%	92,31%	21
2017	100%	89,37%	85,11%	20

Tabla 5: relación entre el esfuerzo de muestreo (unidades de muestreos) y el número de especies observado. Elaboración propia.

El número de especies acumuladas en el transcurso de una medida de esfuerzo de muestreo, se denomina curva de acumulación de especies. Estas curvas evidencian el número de nuevas especies encontradas, pero no así la riqueza total.

Para estimar la riqueza se calcularon las curvas de acumulación, suavizadas (curva de rarefacción) para eliminar los sesgos temporales o espaciales del muestreo de acuerdo a los siguientes estimadores no paramétricos: la curva de acumulación de especies de Chao 1, se basa en la abundancia. Como es conocido, hay un gran número de especies que sólo están representadas por algunos individuos en una muestra (las especies raras), contrastadas con las especies comunes que representan un gran número de individuos. Por lo tanto, Chao 1 se basa en la presencia de las especies raras. En consecuencia, se requiere saber cuántas especies están representadas por tan sólo un individuo en la muestra (singletons) y cuántas están representadas precisamente por dos individuos (doubletons).

Jack 1 considera el número de individuos presentes en sólo una unidad de muestreo. Finalmente, el estimador bootstrap tiene en cuenta la probabilidad de que una especie sea muestreada a medida que aumenta el número de muestras. Chao 1 mostró una curva equivalente a la riqueza observada en todos los sitios censados durante los cuatro periodos en estudio, mientras que Jack1 y Bootstrap sólo lo hicieron en el año 2015 cuando la laguna estaba en su esplendor.

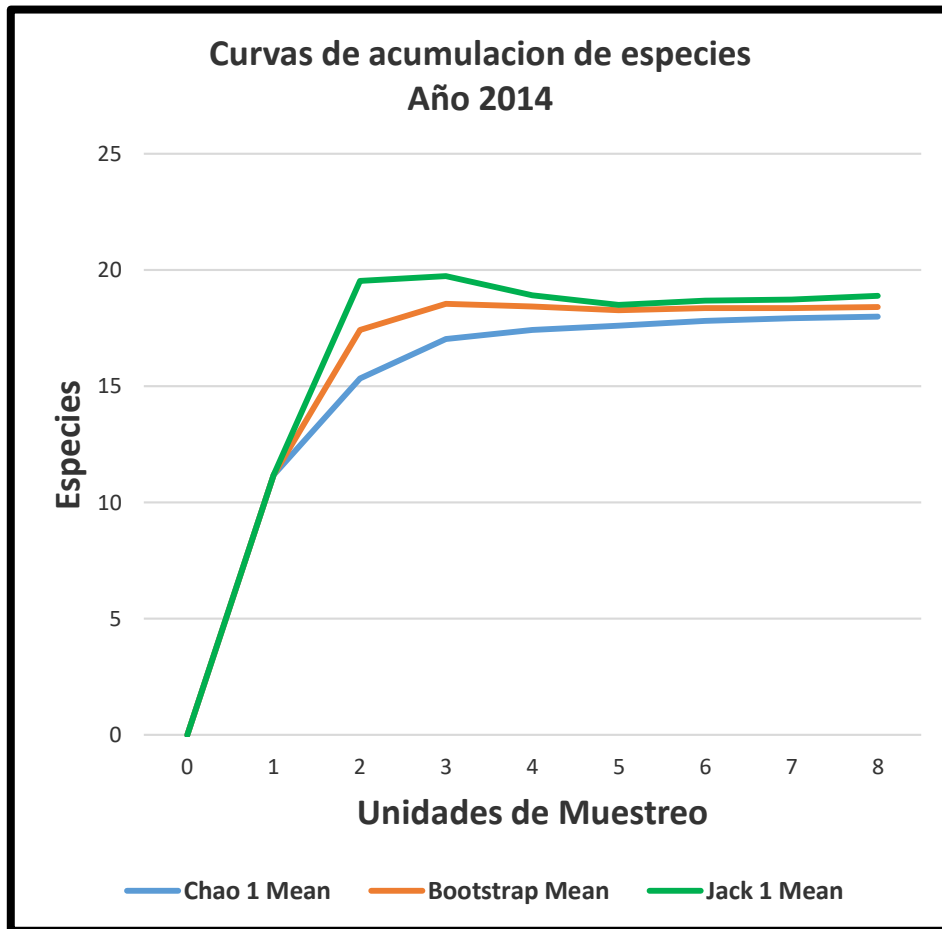


Gráfico 1. Elaboración propia.

La línea verde, corresponde al estimador Jack 1; la misma se encuentra ligeramente por encima de Chao 1 y Bootstrap, lo que indica que para este estimador no es suficiente el esfuerzo de recolección en los sitios 6, 7 y 8. Por lo tanto el número de especies no alcanza el máximo y no tiende a estabilizarse. Esto puede explicarse por la cancelación de las tareas de desmalezado e hidratación de la laguna de los Coipos, que sucedió en el verano de 2014. A partir del invierno fue notoria la ausencia de especies de aves acuáticas.

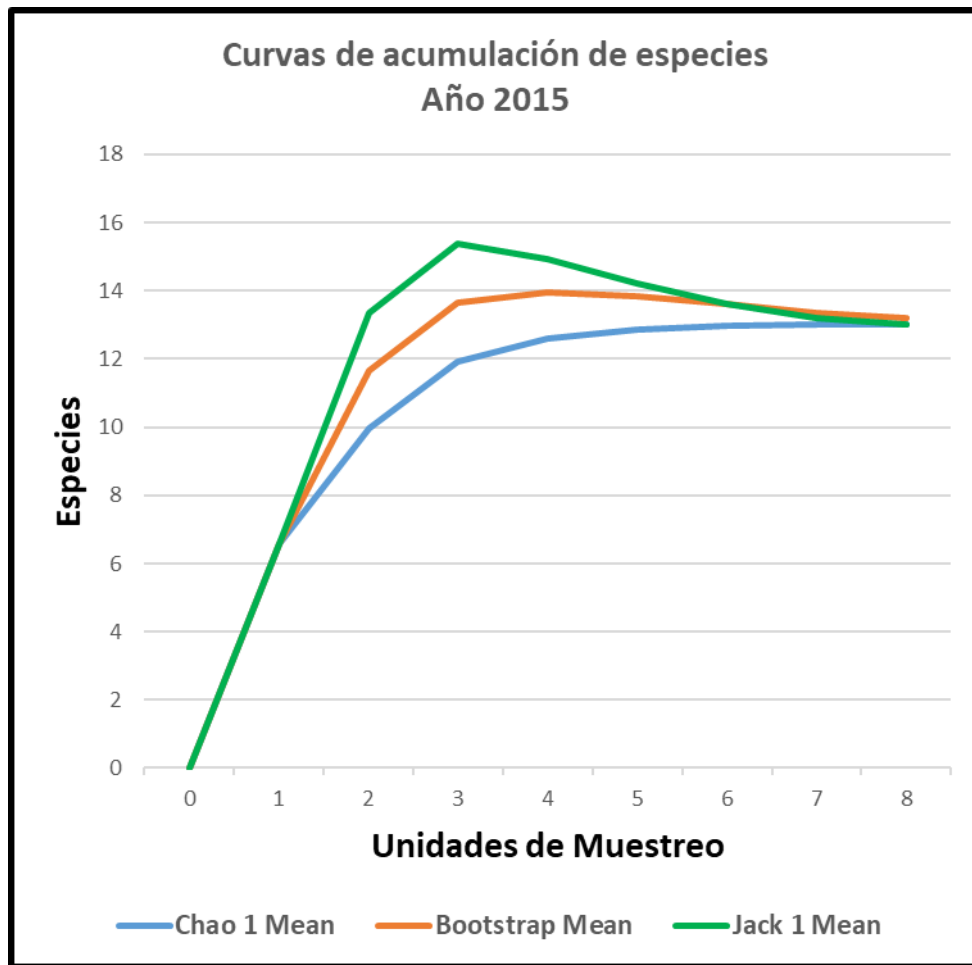


Gráfico 2. Elaboración propia.

En este caso los tres estimadores son coincidentes al reflejar la riqueza y el número máximo de especies que se alcanzará y se estabilizará en una asíntota. Se puede percibir que el número de especies estimadas y observadas son semejantes (extremo derecho de las curvas). En el 2015 se retomaron las obras de restauración de la laguna de los Coipos, con ella regresaron las aves acuáticas y otras especies.

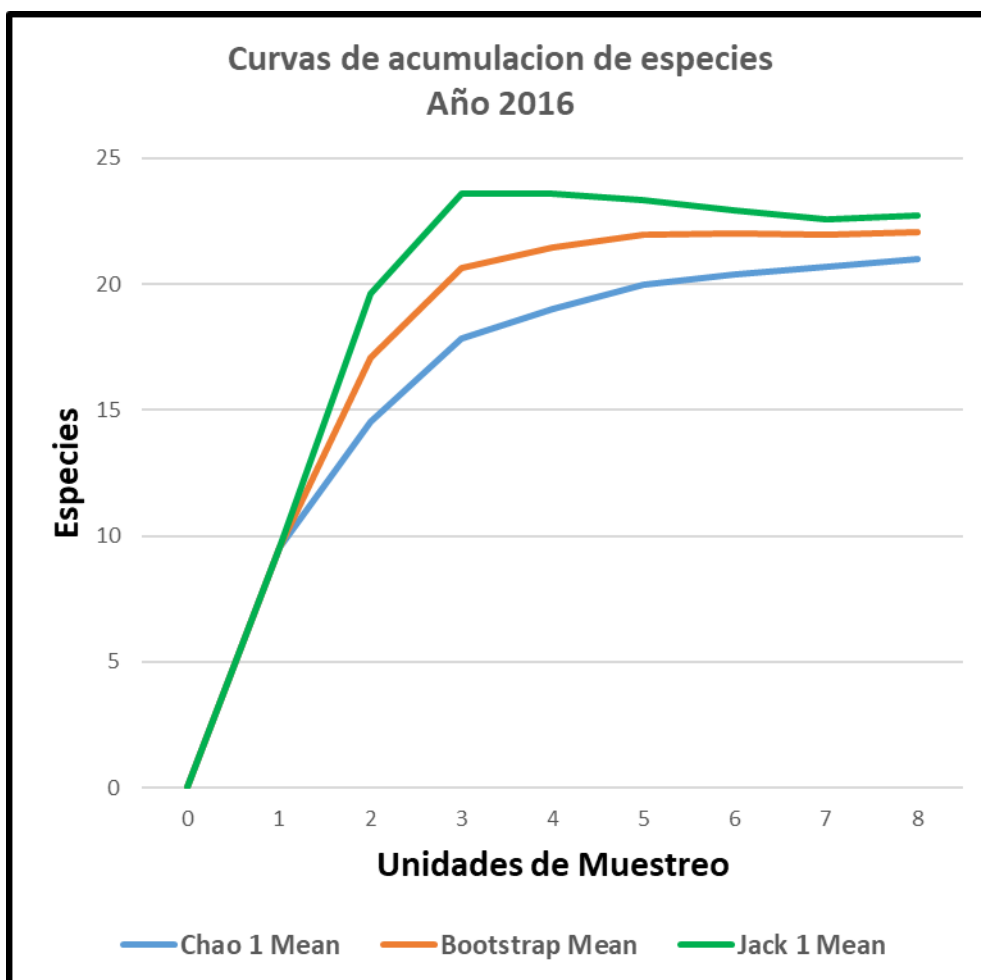


Gráfico 3. Elaboración propia.

La curva de Chao 1 crece, se estabiliza y muestra un comportamiento asintótico, llegando la gráfica a una eficiencia de muestreo correcto considerando que este estimador se basa en la abundancia, pero resulta insuficiente para el resto de los estimadores: Bootstrap (95,15%) estima la riqueza de especies sobre la base del tamaño de muestras que contienen a cada una de ellas y Jack 1 (92,31%) considera la cantidad de individuos en una muestra o en dos muestras. Esto es congruente con el estado físico de la laguna, que se encontraba intervenida con maquinarias desmalezadoras que removieron el fondo causando el aumento de los sólidos suspendidos. La turbidez impacta en los ecosistemas acuáticos por la dispersión de la luz solar afectando la fotosíntesis y la concentración de oxígeno.

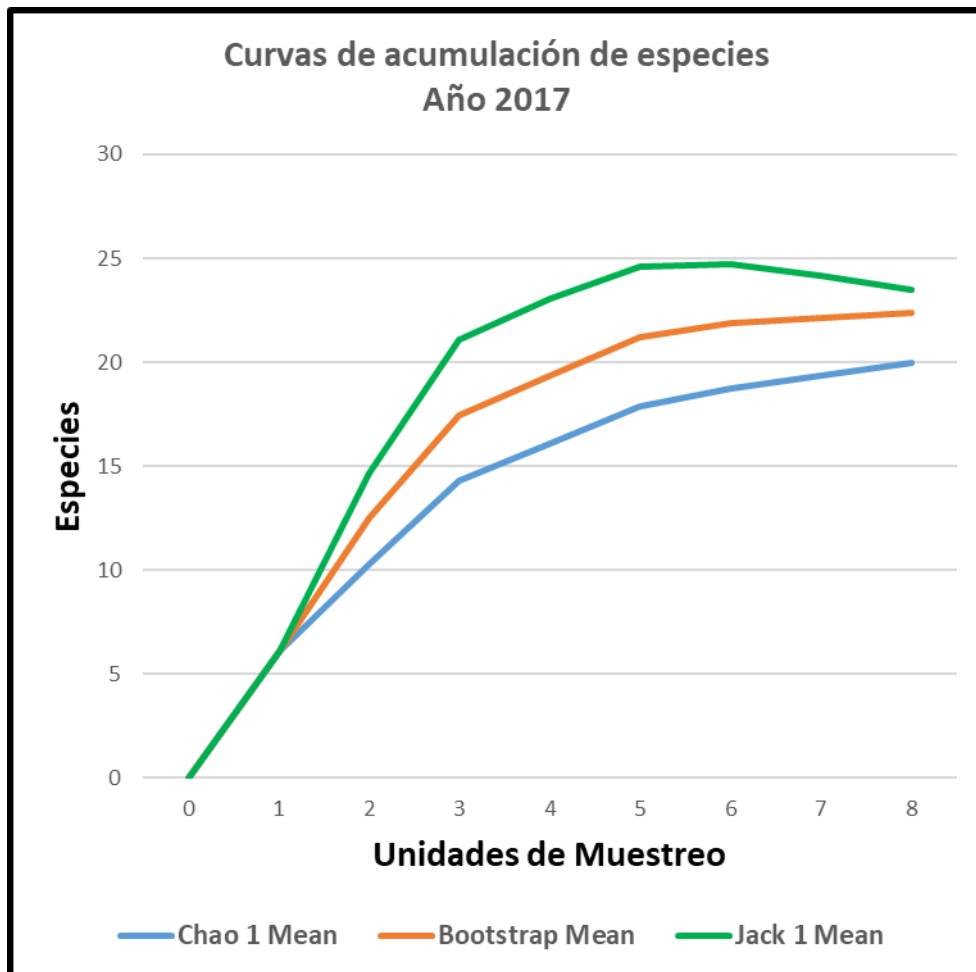


Gráfico 4. Elaboración propia

En este caso se advierte que la eficiencia no fue la mejor (Bootstrap 89,37% y Jack 1 85,11%). Es decir que apenas se logra el umbral de las especies que tiene que haber en el sitio. Faltaría una presencia significativa de especies para obtener un estadístico más cercano a la eficiencia del 100%. En este periodo se acentuaron los problemas de manejo de la laguna que se evidenciaron a partir del 2016 (Gráfico 3). Sólo se observaron algunas aves residentes que se ve reflejado en las curvas de abundancia y diversidad. El espejo de agua se encontraba totalmente cubierto por lentejas de agua (*Lemna minor*) y repollitos de agua (*Pistia stratiotes*) que dificultó la presencia de aves.

6. Conclusiones

6.1 Hábitat perturbado vs diversidad de especies

Al comienzo del verano de 2014, se observó una disminución de la riqueza de especies, debido a la cancelación de las obras de restauración hídrica de la laguna. Sin embargo, los Coipos presentaba un espacio libre de vegetación que permitió que muchas aves utilizaran en forma diferencial ese sector y se vió reflejado en la abundancia y diversidad de individuos. En la época de reproducción y arribo de especies, que coincidió con el reinicio de las tareas de desmalezado, se alteró la estructura vegetal afectando a las especies que nidifican en el humedal. Al relacionar la estacionalidad de las especies con sus preferencias de hábitat, se observó que las aves residentes tienden a usar un entorno no perturbado, por lo que se infiere que las especies abandonaron el lugar por las tareas de desmalezado y escasa superficie libre en la laguna. En los años 2016 y 2017 el análisis en diferentes periodos estacionales es el mismo. La alteración del ecosistema lacustre continúa. La generación de ruidos y la presencia de maquinarias, estresa a las aves en las etapas biológicas del ciclo anual con la consecuencia lógica de escapar a las lagunas aledañas que comenzaban a encharcarse. La presencia de aves está estrechamente relacionada con la condición de los hábitats. La mayoría de las especies resultan sensibles a la perturbación, por lo cual las convierte en un grupo indicador de alteración o cambios en los ecosistemas. La excesiva frecuentación y la fragmentación del hábitat continúan siendo una amenaza importante para la conservación de los ecosistemas del humedal. Esto implica la necesidad de evitar los efectos negativos de la intervención de las lagunas de la Reserva Ecológica Costanera Sur.

7. Referencias Bibliográficas

- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., & Lake, J. L. (2005). Distance Sampling. En P. Armitage & T. Colton (Eds), *Encyclopedia of Biostatistics* (2nd ed., pp. 1-6). USA: John Wiley & Sons, Ltd.
- Butler, B. J., and R. L. Chazdon. (1998). *Species richness, spatial variation, and abundance of the soil seed bank of a secondary tropical rain forest*. *Biotropica* 30 (2): 214-222.
- Chao, A. (1984). Non-parametric estimation of the number of classes. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11, 265-270.
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples, Versión 9.1.0. University of Connecticut, USA. Retrieved from <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>
- Cowell, R. K., & Coddington, J. A. (1994). Estimating Terrestrial Biodiversity through Extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 345 (1311), 101-118.
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological methodology* (second edition). Menlo Park, California USA: Benjamin/Cummings.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Soberón, J. M., & Llorente, J. B. (1993). The Use of Species Accumulation Functions for the Prediction of Species Richness. *Conservation Biology*, 7(3), 480-488.
- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Umaña, A. M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de Biodiversidad*. Bogotá, Colombia.