UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza

Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

DINAMICA TEMPORAL DE UNA COMUNIDAD DE AVES ACUÁTICAS EN EL TRANQUE DE RELAVES OVEJERÍA AL INTERIOR DE UN AREA INDUSTRIAL MINERA AL NORTE DE LA REGION METROPOLITANA

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

MAURICIO PÁEZ LÓPEZ
Licenciado en Ciencias y Artes Ambientales

Santiago, Chile
2013

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

Profesor Guía

Nombre CRISTIÁN ESTADES

Firma

Nota

Profesor Consejero

Nombre PEDRO CATTAN

Firma

Nota

Profesor Consejero

Nombre JURGEN ROTTMAN

Firma

Nota

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mi madre que me dio la vida y luego me alentó a desafiar adversidades para lograr metas soñadas desde niño y que hoy se han ido cumpliendo, muchas, paso a paso.

A mi familia, a Alejandra que siempre me dijo que no debía abandonar compromisos ya asumidos y que estuvo en todas para dejarme tiempo para trabajar en esto. A mis hijas Alanís y Millaray, que si bien no entendían muy bien en un principio para que tanto esfuerzo en lo académico, posteriormente también formaron parte de este momento.

A CODELCO Chile, División Andina, que facilitó los datos para dar origen a esta interesante tesis.

A Cristián Estades que me dio una segunda oportunidad; al LEVS, por acogerme.

A la Paz Acuña!

A la Celeste Silva!

A Sebastián Teillier, que sin miramientos y tiempos ocupados, me ayudó con correcciones que hoy forman parte de este documento final.

Al resto de mi familia, hermanos y papá y a mis amigos que siempre estuvieron atentos a mi situación académica.

Contenido

1. INTRODUCCION. 1

2. METODOLOGIA. 6

2.1. Área de Estudio. 6

2.2. Fuentes de Información. 9

2.2.1. Aves Acuáticas. 9

2.3. Trabajo de Gabinete. 10

2.3.1. Análisis Temporal. 10

2.3.1.1. Variables independientes. 10

2.3.2. Análisis estadísticos. 11

2.3.2.1. Escala temporal. 11

2.3.2.1.1. Análisis de series de tiempo. 11

3. RESULTADOS. 12

3.1. Comunidad de aves acuáticas en el tranque de relaves Ovejería. 12

3.2. Variación de la abundancia de las especies pertenecientes a la comunidad de aves acuáticas en el tranque de relaves Ovejería. 16

3.3. Análisis de componentes. 28

4. CONCLUSIONES. 31

5. BIBLIOGRAFÍA. 37

6. ANEXO FOTOGRAFÍAS. 44

Lista de Figuras

Figura N° 1. Ubicación del fundo Rinconada de Huechún en la comuna de Til-Til, al norte de la Región Metropolitana. En el círculo negro se encierra el área de estudio. 6
Figura N° 2. Temperatura y precipitaciones para el periodo verano 2000-verano 2012, obtenidos de la estación meteorológica Huechún Andina, que se encuentra al interior del fundo Rinconada de Huechún..... 8
Figura N° 3. Distribución de los puntos de observación y recorrido en bote para el censo de aves acuáticas para el periodo verano 2000-verano 2012 al interior del tranque de relaves Ovejería..... 10
Figura N° 4. Riqueza acumulada y riqueza estacional de aves acuáticas en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012. 15
Figura N° 5. Abundancia estacional de la comunidad de aves acuáticas en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012. Los principales peak de abundancia incluyen la presencia de la gaviota de Franklin, en su periodo migratorio estival. 15
Figura N° 6. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Podicipedidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.17
Figura N° 7. Abundancia poblacional del cormorán (*Phalacrocorax brasilianus*) en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005..... 19
Figura N° 8. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Ardeidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005. 20
Figura N° 9. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Anatidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005. 22
Figura N° 10. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Rallidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005. 25
Figura N° 11. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Laridae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005. 27

Figura N° 12. Abundancia total de la comunidad de aves acuáticas estacionalmente, descartando la población de la gaviota de Franklin, *Larus pipixcan*. 33

Lista de Tablas

Tabla N° 1. Especies de aves acuáticas observadas en el fundo Rinconada de Huechún. La frecuencia (%) está expresada como el número de veces en que se avistó la especie durante los censos (n=49). Las abundancias representan el número mínimo y máximo de individuos registrado en uno de los censos dentro del programa de monitoreo. 13

Tabla N° 2. Variables predictoras de la abundancia de aves acuáticas en el tranque Ovejería. Significancia de las variables en el mejor modelo múltiple (+++ : significativamente positivo; --- : significativamente negativo). 30

Lista de Fotografías

Fotografía N° 1. Visión general del área de estudio al interior del fundo Rinconada de Huechún, propiedad de Codelco Chile División Andina (año 2005). 44
Fotografía N° 2. Punto de Conteo Torre de Captación (año 2011)..... 44
Fotografía N° 3. Punto de Conteo Muro de Contención (año 2005). 45
Fotografía N° 4. Punto de Conteo Casas Ovejería (año 2005)..... 45
Fotografía N° 5. Vista en el tranque de relaves Ovejería sobre bote (año 2005)..... 46
Fotografía N° 6. Huala, *Podiceps major*. 46
Fotografía N° 7. Picurio, *Podilymbus podiceps*. 47
Fotografía N° 8. Pimpollo, *Rollandia rolland*..... 47
Fotografía N° 9. Blanquillo, *Podiceps occipitalis*. 48
Fotografía N° 10. Cormorán o Pato yeco, *Phalacrocorax brasilianus*..... 48
Fotografía N° 11. Cormorán o Pato yeco, *Phalacrocorax brasilianus*, nidificando (año 2011). 49
Fotografía N° 12. Garza cuca, *Ardea cocoi*..... 49
Fotografía N° 13. Huairavo, *Nycticorax nycticorax*. 50
Fotografía N° 14. Garza grande, *Casmerodius albus*..... 50
Fotografía N° 15. Pato gargantillo, *Anas bahamensis*. 51
Fotografía N° 16. Pato cuchara, *Anas platalea*. 51
Fotografía N° 17. Pato rana, *Oxyura vittata*, junto a un conjunto de tagüas. 52
Fotografía N° 18. Dos individuos de pato jergón, *Anas georgica*, junto a un individuo de pato colorado, *Anas cyanoptera*. 52
Fotografía N° 19. Tagüita, *Gallinula melanops*..... 53
Fotografía N° 20. Tagüa común, *Fulica armillata*. 53
Fotografía N° 21. Gaviota cahuil, *Larus maculipennis*..... 54
Fotografía N° 22. Pato negro, *Netta peposaca*. 54
Fotografía N° 23. Tagüa de frente roja, *Fulica rufifrons*..... 55
Fotografía N° 24. Gaviota dominicana, *Larus dominicanus*..... 55
Fotografía N° 25. Queltehue, *Vanellus chilensis*. 56

RESUMEN

Los residuos mineros resultantes del procesamiento de los recursos minerales, son usualmente almacenados en tranques de relave. Estas reservas de aguas contaminadas, atraen muchas especies de aves acuáticas, representando un riesgo potencial, ya que en ellos son expuestas a altas concentraciones de metales pesados y otros contaminantes. Por lo tanto, tienen un carácter de “trampas ecológicas”. Mediante un análisis de series de tiempo, estudié la comunidad de aves acuáticas presente en el tranque de relaves Ovejería, al interior del fundo Huechún propiedad de CODELCO Andina, al norte de la Región Metropolitana. El periodo de estudio abarca censos estacionales entre la primavera de 1999 y el invierno de 2012. Utilicé siete variables asociadas a aspectos ambientales y antropogénicos para correlacionar las dinámicas poblacionales a diversas escalas temporales. El objetivo general fue identificar la variación temporal de las aves, residentes y migratorias. Usé un Modelo Lineal Generalizado para cada una de las especies, incluyendo un término autoregresivo. En diez años de monitoreo, se registraron 30 especies de aves, con una composición comunitaria similar a aquella registrada en humedales cercanos. Varias especies presentaron tendencias de largo plazo, pero no fue posible determinar si estos cambios corresponden a efectos de la evolución del tranque o a tendencias regionales. La baja actividad reproductiva observada, sugiere que la mayoría de las aves presentes en el área provienen de otros humedales. Las abundancias de varias especies se correlacionaron positivamente con el tamaño del espejo de agua y parecen no ser afectadas por la disponibilidad de hábitats de borde. Aunque con los datos colectados no es posible descartar que este patrón sea en realidad un efecto del tiempo transcurrido. Factores estacionales tales como las precipitaciones y la temperatura se correlacionaron significativamente con la abundancia de algunas especies. Particularmente, la abundancia del *Podiceps occipitalis* (blanquillo) se correlacionó negativamente con las precipitaciones, lo que podría explicarse por el aumento de la disponibilidad de humedales temporales, que permiten su dispersión geográfica. Por otra parte, la introducción de la carpa (*Cyprinus carpio*) fue el mejor predictor de la composición de la comunidad de aves en el tranque, ya que más del 50% de las poblaciones de especies analizadas respondieron a la presencia de este pez exótico, introducido en el tranque el año 2005. En relación a esto, la abundancia total de aves mostró un incremento significativo durante los primeros cinco años de estudio, sin embargo, a partir del año 2005 se observó un descenso importante tanto en las

abundancias como en la riqueza específica. En forma alternativa, la reducción de las poblaciones podría explicarse por el efecto tóxico de largo plazo de los metales pesados. Las especies cuyas abundancias poblacionales aumentaron con la presencia de la carpa, son piscívoras mientras que todas aquellas que disminuyeron son herbívoras y filtradoras. Las aves más abundantes del tranque son piscívoras de gran tamaño, lo que sugiere que el tamaño dominante de las carpas es grande. La presencia de aves piscívoras sugiere que la carpa puede ser un factor importante de biotransferencia de metales pesados. Estudios preliminares, realizados sobre órganos y tejidos de aves acuáticas colectados en el tranque de relave Ovejería, dan cuenta de la presencia de metales en las muestras, aunque no existen evidencias del posible rol de estos contaminantes en las dinámicas poblacionales de estas especies. Algunas medidas de manejo utilizadas para evitar la presencia de aves en sitios contaminados consisten en desincentivar activamente o repeler la llegada de individuos, y ofrecer ambientes lacustres sanos. De este modo, la presencia de cuerpos de agua contaminada en regiones áridas y semiáridas donde los humedales son escasos, representa una amenaza importante para las especies de aves locales y migratorias.

Palabras Claves: *Análisis de series de tiempo, comunidad de aves acuáticas, dinámicas poblacionales, contaminación, tranque de relaves*, Cyprinus carpio.

.

SUMMARY

Mining waste materials resulting from processing of mineral resources are usually stored in tailings dams. These reservoirs of polluted water, attract many watebird species, posing a potential risk because birds get exposed to high concentration levels of heavy metals, and other pollutants. Therefore, tailings dams are "ecological traps". Using a time-series analysis, I studied the aquatic bird community in the Ovejería tailings dam, located in the CODELCO's Huechún farm at the north of the Metropolitan Region. Data were collected during seasonal censuses performed from the spring of 1999, through the winter of 2012. I tested seven environmental and anthropogenic variables, in order to assess correlation of population dynamics at various temporal scales. The general objective of this study was to identify the temporal variation of aquatic bird populations, for both resident and migratory species. I used a Generalized Linear Model for each species, including an autoregressive term. During ten years of population monitoring, thirty species of waterbirds were recorded, showing similar community composition to that found in nearby wetlands. Several species showed long-term population trends, but it was not possible to determine whether these changes are a consequence of temporal changes of the tailings dam levels of water, or regional metapopulations trends. The low reproductive activity observed, suggests that most of the birds in the area come from other wetlands. Moreover, the abundance of several species correlated positively with water surface extension, rather than edge habitats availability. Although it is possible that this pattern is an effect of the time elapsed during the study period. Seasonal factors such as rainfall or temperature significantly correlated with the abundance of some species. Particularly, the abundance of *Podiceps occipitalis* (silvery grebe) was negatively correlated with rainfall, which may be explained by the presence of temporary wetlands that increase its dispersion in the landscape. On the other hand, the presence of *Cyprinus carpio* (carp) was the best predictor of bird community composition, since over 50% of the species populations correlated with the presence of this exotic fish, introduced in the reservoir during 2005. Total bird abundance showed a strong increase during the first five years of the study, although since 2005 a significant decline is observed in both the abundance and species richness. Alternatively, the decrease of the populations may be explained by long-term toxic effects of heavy metals. Since carp was introduced in the site, abundance of piscivorous species populations increased while all herbivorous and filtering species populations decreased. The birds most abundant in the dam are large piscivorous

suggesting that the dominating size of carp is large. The presence of piscivorous species suggests an important biotransfer of heavy metal from carp to bird species. In this regard, preliminary studies of organs and tissues of aquatic bird species collected at the same study area show the presence of heavy metals in the samples, although no evidence of the possible role of these pollutants in the populations dynamics of these species is available yet. Some management measures used to prevent the presence of birds in polluted sites include actions to actively discourage the arrival of individuals, and at the same time to offer them healthy lacustrine environments. The presence of polluted water bodies, especially in arid and semiarid regions, where wetlands are scarce, is a major threat to local and migratory bird populations.

Key words: *time series analysis*, *aquatic bird community, population dynamic, pollution, tailings dam,* Cyprinus carpio

1. INTRODUCCION.

Todas las sociedades humanas, incluyendo aquellas que han alcanzado altos niveles de tecnología, están basadas en el uso de los recursos naturales, que incluyen fuentes de energía como el sol, combustibles fósiles, los minerales, el suelo y otras fuentes vivas que van de las bacterias a las plantas y animales (Junior 2009).

Entre las actividades económicas de mayor impacto, se encuentran las extractivas como la minería, cuyas acciones generan cambios, a veces, profundos en la biota terrestre y acuática, debido a que produce la pérdida y la fragmentación de hábitats ya sea por la extracción del mineral o por la generación de enormes cantidades de escombros y residuos que pueden tener efectos nocivos por décadas. Efectos ecológicos negativos comprobados de las actividades mineras sobre la biota son la pérdida de la cubierta vegetal, la contaminación de los suelos, la emigración de los animales y muerte por la contaminación de sus fuentes de alimentación (Kitula 2006). La superficie de la tierra directamente alterada por este rubro, sigue siendo relativamente baja en términos del inventario mundial, pero pueden proporcionalmente representar cantidades considerables en cada país (Cooke & Johnson 2002).

La actividad minera en Chile, genera gran cantidad de residuos sólidos Estos residuos eran depositados directamente en los ríos, quebradas o en el mar, lo que ocasionó efectos negativos en los ecosistemas (Montenegro *et al.* 2009). Actualmente se almacenan en tranques de relaves. Los relaves mineros constituyen residuos tóxicos compuestos por metales pesados. En muchos casos, son depositados en zonas vecinas a asentamientos humanos, dañando la salud de sus pobladores (SERNAGEOMIN 2007).

En aquellos recintos donde los residuos industriales mineros son depositados en tranques o embalses, los impactos, producto de la construcción y operación, se manifiestan en el paisaje y en la biodiversidad, por ejemplo, mediante el remplazo de la vegetación natural por vegetación exótica (de la cual se aprovecha el recurso maderero y que es regada con las aguas claras, definida esta como el agua libre de partículas en suspensión, decantado naturalmente) y por la pérdida de hábitats producto del crecimiento continuo del embalse. Particularmente, tranques o embalses, promueven la congregación y permanencia de

aves acuáticas. El tipo de costa superficial con franjas de vegetación, permite congregar una mayor diversidad de especies que otros cuerpos de aguas profundos.

Las aves que llegan a los tranques de relaves, a los embalses de riego e incluso a las piscinas, pueden pasar de colonizadoras a residentes; aquellas migratorios, encuentran en ellos, un importante hábitat. En algunos casos, los ambientes lacustres artificiales se convierten en hábitats de alta productividad ("humedales artificiales") ya que juegan un rol importante en la conservación de la vida silvestre. *Gallinula cloropus guami*, un ave endémica de las islas Marianas, clasificada como especie en peligro, ocupó cerca del 80% de los humedales artificiales de la isla entre los años 1987 y 1988 tales como estanques para acuicultura, estanques para el control de inundaciones, reservorios municipales y estanques en canchas de golf. De este modo, los biólogos diseñando humedales estéticos y funcionales han encontrado la oportunidad de integrar los requerimientos de hábitat de la especie con las necesidades de desarrollo (Ritter 1993).

Existe una visión muy difundida de los depósitos de relaves como ambientes sumideros o trampas ecológicas. Al menos dos factores están involucrados en ello: muchos de los humedales artificiales sufren inundaciones o períodos de sequía producto de los patrones de lluvias estacionales y de la utilización de las aguas en los procesos productivos; estos cambios drásticos en los niveles de agua son críticos para la fauna. Segundo, por la presencia en el agua de agentes biológicos (algas o bacterias) o minerales (metales pesados), que afecta la red trófica comenzando por la contaminación de la producción primaria, para seguir luego con la intoxicación de los componentes de los niveles tróficos superiores.

En la región metropolitana de Chile, la red de "humedales artificiales" está formada por embalses para riego, como el de Huechún y el de Batuco y por algunos depósitos de relaves como los de Ovejería y de Las Tórtolas. En este tipo de ambientes la avifauna acuática ha aumentado en el curso de los años. Entre las especies de aves acuáticas más frecuentes en ellos se cuentan a aquellas pertenecientes a las familias Anatidae, Ardeidae, Laridae, Podicipedidae y Rallidae (ATM 2008).

Una de las maneras prácticas de evaluar la dinámica comunitaria y poblacional de las especies de fauna en el largo plazo, en un lugar y tiempo determinados, son "las

investigaciones de largo plazo"; las que han producido datos críticos sobre un número de problemas prácticos que conciernen a la sociedad y han hecho una importante contribución al desarrollo y a la evaluación de la teoría ecológica (Elliot 2006). La *National Science Fundation*, que realiza investigaciones ecológicas de largo plazo desde hace muchos años (*Long–Term Ecological Research*, LTER en inglés), focaliza su escala de tiempo en "de años a décadas a siglos como el mayor esfuerzo para entender la estructura y funcionamiento ecológico escondido en el presente invisible" (Magnuson 1993). Desde el punto de vista de la conservación biológica, las investigaciones de largo plazo han permitido mejorar nuestra capacidad de distinguir el impacto humano de los cambios naturales (Carlson & Schmiegelow 2002), crear modelos predictivos para usarlos como herramientas de manejo y planificación (Durant *et al.* 2007) y alertar a los manejadores de cambios repentinos, permitiéndoles identificar las causas de la declinación de las especies amenazadas para luego planificar y ejecutar acciones preventivas. Redman *et al.* (2004), consideran prioritaria la inclusión del ámbito de las ciencias sociales en los LTER, lo que permite entender el rol de la dimensión humana, de las instituciones sociales, de los ciclos sociales y del orden social, en los cambios ecológicos.

Los análisis de las series de tiempo como herramienta estadística, permite registrar la variación a lo largo del tiempo de cualquier fluctuación cuantitativa cuyos valores están influenciados -al menos en parte- por algún mecanismo aleatorio (Priestley 2006). Una serie de tiempo ecológico contiene las claves de las causas que dan lugar a la dinámica que se observa en un tiempo dado (Berryman & Lima 2007). La distribución de las abundancias es un dato importante en los modelos de dinámicas poblacionales. Tales modelos contienen tres elementos esenciales: el número de especies que interactúan (o dimensión), el tipo de interacción o proceso ecológico que determina la dinámica poblacional y la forma de variación ambiental (Halley & Inchausti 2002).

La metodología tradicional para el estudio de las series de tiempo se basa en descomponerlas en partes como la tendencia, la variación estacional o periódica y otras fluctuaciones irregulares (CIESM 2003). La tendencia es la dirección general de la variable en el periodo de observación, es decir, el cambio a largo plazo de la media de la serie; la variación estacional o periódica corresponde a las fluctuaciones de la variable, en periodos relativamente cortos de tiempo; el período es la cantidad de tiempo que pasa

antes que se repita. Otras fluctuaciones irregulares, se refiere a una serie de valores residuales, que pueden ser o no totalmente aleatorios, obtenidos después de extraer de la serie la tendencia y la variación periódica.

Estudios de largo plazo se han desarrollado en múltiples países del mundo; teniendo como objetivo las comunidades de vertebrados en ambientes marinos (e.g. Ducklow *et al.* 2009), los primates en Tanzania (Thirgood *et al.* 2007, Chapman & Peres 2001) o el guepardo del Serengeti (Durant *et al.* 2007). En Chile, se encuentran estudios desarrollados en torno al fenómeno del Niño (Jaksic 1998, Jaksic *et al.* 1993, 1996, 1997, Farias & Jaksic 2007, Meserve *et al.* 2011), a la variación del tamaño poblacional del gremio de los vertebrados predadores de la región Neotropical semi-árida, asociado a la producción primaria dependiente de las precipitaciones y a las explosiones demográficas de micromamíferos (Jaksic *et al.* 1993), al rol de los factores bióticos y abióticos sobre el matorral chileno semiárido (Gutiérrez *et al.* 2010), entre otros. Si bien algunos son estudios de pocos años, la frecuencia de los datos (mensuales), ha dado lugar a información relevante. También se han desarrollado en nuestro país estudios de largo plazo con comunidades de aves llevados a cabo por algunos organismos gubernamentales como el Servicio Agrícola y Ganadero o por ONG's, como UNORCH (mediante sus censos coordinados y los censos Neotropicales), *BirdLife* y *Ebird* (base de datos mundial de los observadores de aves profesionales y voluntarios). Finalmente, otra forma de obtener y almacenar datos en el largo plazo, han sido los monitoreos realizados por las empresas que se someten al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, y que han adquirido compromisos ambientales a través de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA).

Un caso de estos tipos de estudio de largo plazo se desarrolla en el fundo Rinconada de Huechún, Región Metropolitana. En él se sitúa y opera el tranque de relaves Ovejería de propiedad de CODELCO-Andina, que acumula los residuos industriales, excedentes de los procesos de extracción de cobre de la mina ubicada en la comuna de Los Andes, a ochenta kilómetros al noreste de Santiago, entre 3.700 y 4.200 metros sobre el nivel del mar. La empresa, CODELCO Andina, se comprometió ante la autoridad ambiental mediante una resolución de calificación ambiental a desarrollar un plan de monitoreo denominado "Monitoreo de vegetación, flora y fauna en el fundo Rinconada de Huechún", cuyos principales objetivos en el caso de la fauna son caracterizar los estados de las

especies en el largo plazo con frecuencia estacional, teniendo especial consideración en los efectos que puedan tener las actividades asociadas al proyecto; para ello se efectúa un seguimiento estacional de las poblaciones, ensambles y comunidades de los vertebrados que habitan en el área de estudio. Actualmente obras del proyecto tales como el canal de contorno del embalse, los caminos de acceso y la canaleta de relaves se encuentran terminadas y se continúa con el llenado del embalse.

El objetivo general de este estudio es identificar la variación temporal de la comunidad de aves acuáticas (residentes y migratorias) que habitan en el tranque de relaves Ovejería, al interior del fundo Rinconada de Huechún.

Los objetivos específicos son:

- Identificar la riqueza de especies y sus respectivas abundancias dentro del periodo de estudio.
- Identificar tendencias y variaciones estacionales de las especies asociados a eventos poblacionales (influencia de la población en el tiempo t-1), ambientales (aspectos climáticos) o antropogénicos (presencia del pez introducido *Cyprinus carpio*, cambios en el tamaño del tranque).
- Cuantificar la importancia de las variables en la estructuración de la comunidad de aves acuáticas y en los tamaños poblacionales de cada especie.

2. METODOLOGIA.

2.1. Área de Estudio.

El fundo Rinconada de Huechún, se ubica en la comuna de Tiltil cerca de centros poblados como Colina, Quilapilún, Montenegro, Rungue, en la Región Metropolitana.

La actividad agrícola, ocupa una fracción importante de la actividad económica del área, a través de la hortifruticultura de exportación, sin embargo, también presenta actividades comerciales e industriales, las que presentan diferencias a nivel urbano y rural. (Figura N° 1).

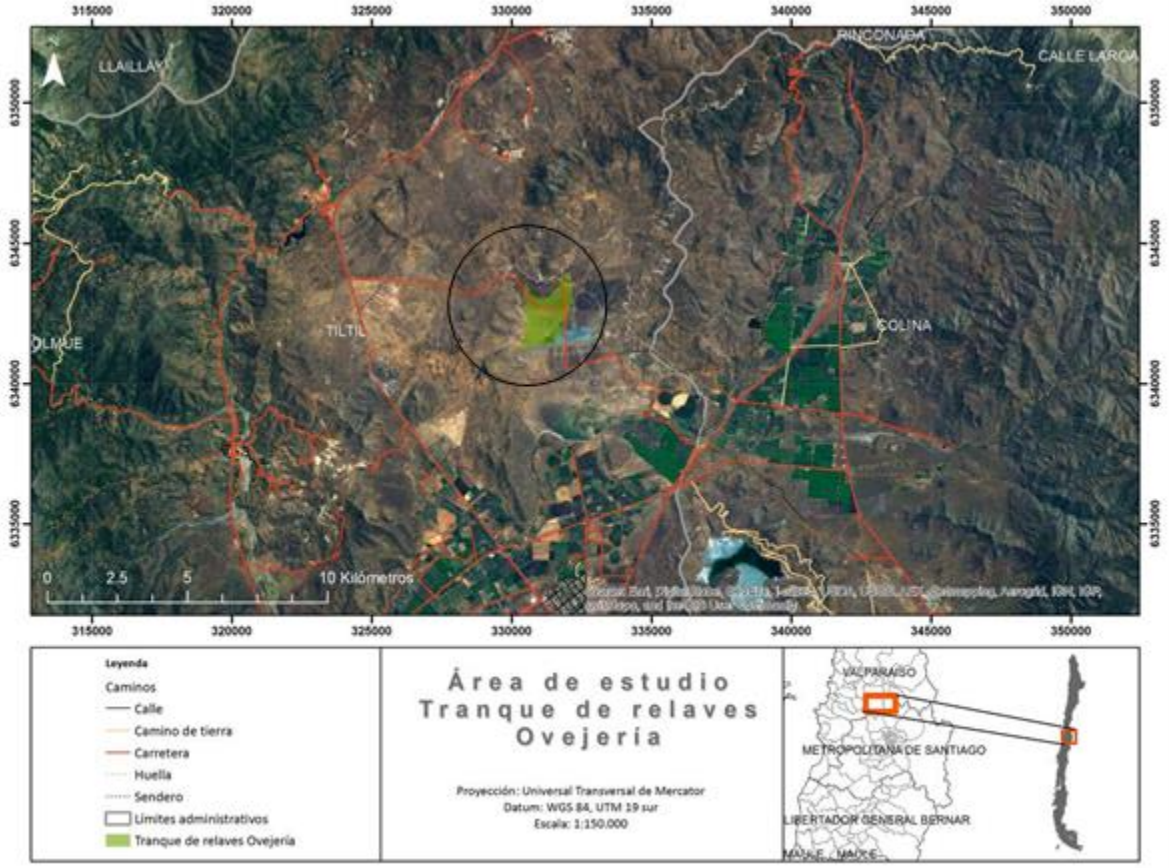


Figura N° 1. Ubicación del fundo Rinconada de Huechún en la comuna de Til-Til, al norte de la Región Metropolitana. En el círculo negro se encierra el área de estudio.

Desde el punto de vista de la geomorfología, el fundo Rinconada de Huechún se ubica en un valle circundado por cerros el que funcionaria en términos de los flujos de los recursos como una unidad ecológica autónoma o semipermeable.

La mayor abundancia de vegetación se encuentra en las laderas de exposición sur; en los planos o lomas y en los cerros de menor tamaño que flanquean el valle (CICA 1997). La vegetación corresponde a una etapa de sucesión regresiva del bosque esclerófilo original que probablemente cubrió toda el área y que hoy se encuentra relegado a las partes altas, en donde aún es posible encontrar especies como quillay (*Quillaja saponaria*), boldo (*Peumus boldus*), maitén (*Maytenus boaria*), litre (*Lithraea caustica*), entre otras especies. Esto se observa en la presencia mayoritaria en el área de vegetación del tipo estepa de espino (*Acacia caven)*, formación vegetal que aparece luego de la apertura del bosque original y es considerada como una resultante de la degradación antrópica del bosque esclerófilo mediterráneo. Domina una pradera anual mediterránea propia de la zona central; esta ha sufrido un fuerte grado de intervención antrópica de carácter histórico, determinado tanto por el cultivo de la tierra como por su utilización para pastoreo de ganado ovino. Esta situación ha provocado una fuerte introducción de especies herbáceas foráneas o alóctonas, caracterizadas por su alta plasticidad, es decir, por su capacidad de desarrollarse bajo diversas condiciones de hábitat (humedad, exposición, pendiente, sustrato, etc.). Dado el carácter de mediterraneidad del área de emplazamiento del proyecto, en donde las primeras lluvias se producen en otoño, el desarrollo de la pradera presenta una fuerte estacionalidad, comenzando con las primeras lluvias de otoño y finalizando cuando la humedad del suelo se hace limitante (Geotécnica Consultores 1999). La Fotografía N° 1, Anexo 6, muestra una visión general del área de estudio al interior del fundo Rinconada de Huechún.

La región central de Chile está bajo la influencia del clima mediterráneo, con precipitaciones concentradas en el período frío del año y con sequía durante la estación más cálida (Emberger 1955). El área de estudio se inserta en la zona semiárida, que corresponde a las provincias de Santiago y Valparaíso y una pequeña parte de la de Aconcagua. La vegetación dominante es la sabana de *Acacia caven* sobre todo el valle longitudinal, mientras hacia la costa y la precordillera se observan bosques esclerófilos más o menos abiertos. Al norte de Santiago, existen áreas de clima más árido y con

mayores fluctuaciones térmicas, que reflejan la penetración del clima de estepa algo continental (Di Castri & Hajek 1976).

En la región mediterránea semiárida, las temperaturas son máximas en los meses de primavera y verano, mientras que las precipitaciones son abundantes en el periodo frio o invernal. Entre el verano del año 2000 al verano del año 2012, se observa, en el caso de la temperatura, que las máximas se concentraron en la primavera, sin sobrepasar los 22,3 °C (Figura N° 2). Las temperaturas mínimas se dieron en la estación de otoño, aunque no menor a los 8,2° C. En promedio, la temperatura máxima dentro del periodo fue de 19,7 °C y la mínima de 9,7 °C. Las precipitaciones se concentraron a final de otoño (e inicios de invierno), con máximas en el periodo frio de los años 2000 y 2002, por sobre los 200 ml. de agua caída (asociados a eventos NIÑO) y promedio de 88,2 ml para el periodo de estudio (Figura N° 2).

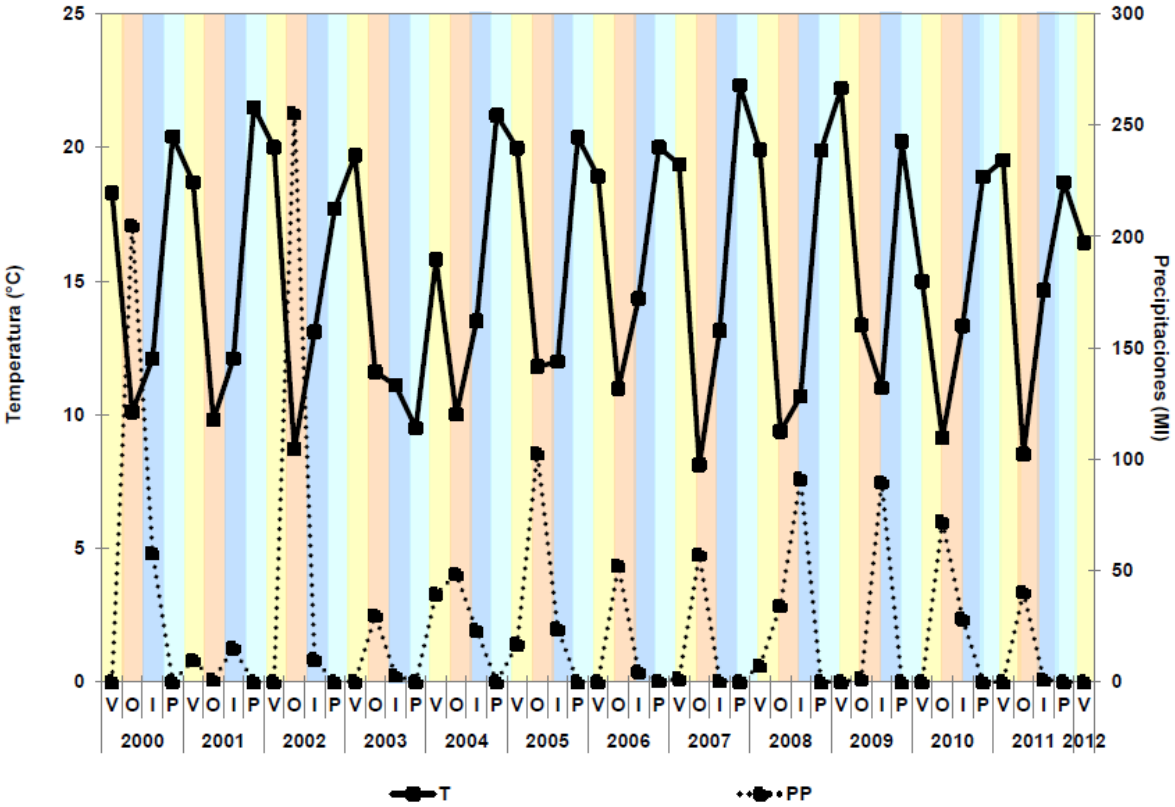


Figura N° 2. Temperatura y precipitaciones para el periodo verano 2000-verano 2012, obtenidos de la estación meteorológica Huechún Andina, que se encuentra al interior del fundo Rinconada de Huechún.

2.2. Fuentes de Información.

Se utilizaron los datos de los censos estacionales (primavera, verano, otoño e invierno) de aves acuáticas asociados al Programa de Monitoreo Estacional de Fauna Terrestre (CICA 1997); los censos de las aves acuáticas comienzan la primavera de 1999 y se prolongan hasta el invierno de 2012.

2.2.1. Aves Acuáticas.

Los censos de aves acuáticas asociadas al tranque de relaves se iniciaron en la primavera de 1999 a través de un punto fijo de observación, método que se prolongó hasta el verano de 2002. A partir del otoño de 2003, se establecieron tres puntos de observación en el borde del tranque. A partir del verano de 2005, se incluye un conteo sobre bote a motor y se mantiene la metodología hasta el verano de 2012 (Fotografías N° 2 a la N° 5, Anexo 6). Los cambios en la metodología de obtención de los datos, se debe al crecimiento del espejo de agua y del área cubierta por el relave. Se hizo un solo censo por campaña durante la jornada de la mañana entre las 9 y las 12 horas.

Se utilizaron los datos de abundancia obtenidos de los censos de aves acuáticas entre el verano de 2000 al verano de 2012. Se excluyen de este ensayo, las aves pertenecientes al Orden de las Passeriformes, incluidas por Vilina & Cofré (2008) como parte de la diversidad de especies de aves acuáticas continentales. Debido a los cambios metodológicos realizados en terreno (diferencias en la cantidad de puntos de observación para ciertos periodos), los datos fueron estandarizados, dividiendo las abundancias por especie por el número de puntos de observación.

La Figura N° 3, muestra el área cubierta en los censos de aves acuáticas al interior de tranque de relaves y los puntos de observación surgidos durante el periodo de estudio.

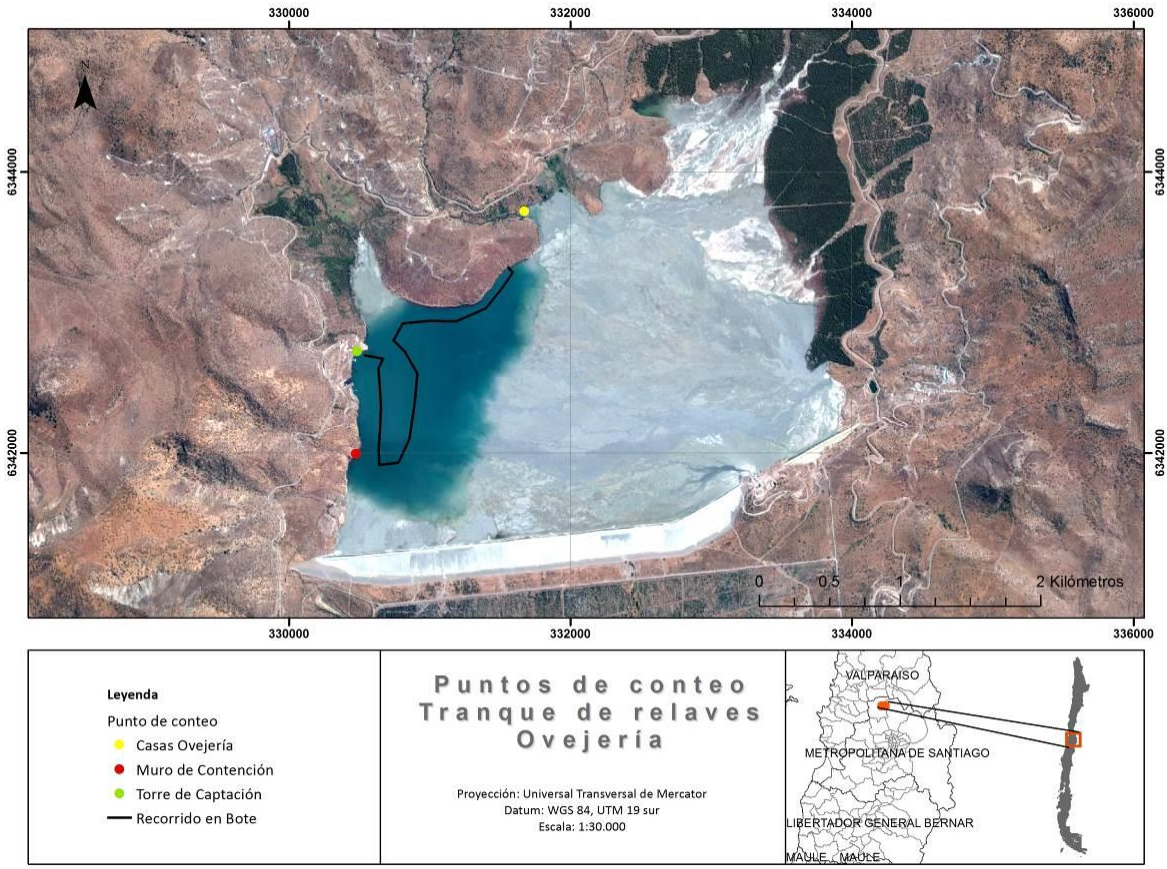


Figura N° 3. Distribución de los puntos de observación y recorrido en bote para el censo de aves acuáticas para el periodo verano 2000-verano 2012 al interior del tranque de relaves Ovejería.

2.3. Trabajo de Gabinete.

2.3.1. Análisis Temporal.

2.3.1.1. Variables independientes.

Para correlacionar las dinámicas poblacionales de las aves que habitan en el fundo Rinconada de Huechún, a diversas escalas temporales, se utilizaron como variables independientes los siguientes datos:

- Tamaño de la población en el tiempo t-1.

- Datos climáticos de precipitación y temperatura, que comprende el periodo 2000-2012; ambos corresponden a los valores promedios de cada mes. Estos fueron obtenidos de la estación meteorológica Huechún Andina, que se encuentra al interior del fundo Rinconada de Huechún y solicitados al Centro de Información de Recursos Hídricos, de la Dirección General de Aguas, perteneciente al Ministerio de Obras Públicas.
- Tamaño de la superficie de la laguna del tranque (espejo de agua) medido en metros cuadrados (m^2).
- Mes, la frecuencia con que la especie se encuentra en el área de estudio, permitiendo de esta manera establecer alguna tendencia dentro del periodo de estudio.
- Estación, la influencia de las estaciones climáticas en el comportamiento poblacional lo que permite establecer un fenómeno cíclico.
- La presencia de la especie *Cyprinus carpio* (carpa), un taxa del grupo de los peces que fue introducida al tranque de relaves en el verano del año 2005.

2.3.2. Análisis estadístico.

2.3.2.1. Escala temporal.

2.3.2.1.1. Análisis de series de tiempo.

Mediante el uso del programa R Project, se utilizó un Modelo Lineal Generalizado para cada una de las especies donde se seleccionó el mejor para predecir la abundancia de cada especie mediante el criterio de Akaike. La inclusión dentro de las variables predictoras del tamaño de la población en el período anterior se usó para dar cuenta de la posible dependencia temporal entre censos.

3. RESULTADOS.

3.1. Comunidad de aves acuáticas en el tranque de relaves Ovejería.

En el área, dentro del periodo de estudio, se registraron 30 especies de aves acuáticas, que corresponden al 38,5% del total de aves acuáticas continentales descritas para Chile, exceptuando la aves Passeriformes (Vilina & Cofré 2008) (Tabla N° 1).

Las especies representan a seis órdenes y a nueve familias, siendo la familia Anatidae (patos, cisnes) la más numerosa con nueve especies, seguido por la familia Podicipedidae (zambullidores) y Rallidae (tagüas) con cinco especies, luego Ardeidae (garzas) con cuatro especies, Laridae (gaviotas) con tres especies, Scolopacidae (playeros y pitotoys) con dos especies y Phalacrocoracidae (cormoranes o yecos), Charadriidae (queltehues y chorlos) y Recurvirostridae (perritos) con una sola especie.

Respecto de la frecuencia, expresada como el número de veces en que se avistó la especie durante los censos (n=49), dos especies estuvieron por sobre el 90%, el pato jergón grande (*Anas geórgica*) y la tagüa común (*Fulica armillata*); otras seis estuvieron por sobre el 50% de frecuencia; 15 especies están por sobre el 10% y bajo el 50%, mientras que siete, están bajo el 10% (Tabla N° 1).

Cuatro de las especies más frecuentes, obtuvieron también una alta abundancia relativa (valor porcentual que obtiene una especie, respecto del total de individuos dentro del periodo); excepcionalmente, la gaviota de Franklin (*Larus pipixcan*), fue la especie que tuvo el mayor porcentaje de abundancia relativa (42,9%), principalmente por la presencia de grandes poblaciones migrantes que desembocaban en el tranque de relaves Ovejería durante la estación estival.

Entre la primavera del año 2000 y el invierno del año 2005, se observa un aumento significativo de la riqueza acumulada; hasta el otoño del año 2007 se mantiene casi estable y a partir del invierno de 2007 no ha habido registros de nuevas especies (Figura N° 4).

Durante las estaciones de primavera y verano, se encuentran las mayores riquezas en el área de estudio, tal como lo muestran los principales peak de riqueza anual (Figura N° 4).

Tabla N° 1. Especies de aves acuáticas observadas en el fundo Rinconada de Huechún. La frecuencia (%) está expresada como el número de veces en que se avistó la especie durante los censos (n=49). Las abundancias representan el número mínimo y máximo de individuos registrado en uno de los censos dentro del programa de monitoreo.

Clasificación	Especies		Frecuencia (%)	Abundancia	
	Nombre Científico	Nombre Común		Min.	Máx.
Orden					
PODICIPEDIFORMES					
Familia					
PODICIPEDIDAE	*Rollandia rolland*	Pimpollo	59,2	1	52
	Podiceps occipitalis	Blanquillo	44,9	1	49
	Podiceps major	Huala	53,1	1	35
	Podilymbus podiceps	Picurio	16,3	1	6
Orden					
SULIFORMES					
Familia					
PHALACROCORACIDAE	*Phalacrocorax brasilianus*	Cormorán negro	57,1	2	205
Orden					
CICONIIFORMES					
Familia					
ARDEIDAE	*Ardea cocoi*	Garza Cuca	44,9	1	9
	Casmerodius albus	Garza Grande	28,6	1	4
	Egretta thula	Garza Chica	24,5	1	10
	Nycticorax nycticorax	Huairavo	65,3	1	26
Orden					
ANSERIFORMES					
Familia					
ANATIDAE	*Cygnus melancoryphus*	Cisne cuello negro	2,0	2	2
	Anas bahamensis	Pato Gargantillo	42,9	1	30
	Anas georgica	Pato Jergon Grande	95,9	1	563
	Anas flavirostris	Pato Jergón Chico	6,1	2	3
	Anas cyanoptera	Pato Colorado	12,2	1	7
	Anas sibilatrix	Pato Real	42,9	2	60
	Anas platalea	Pato Cuchara	55,1	2	113
	Netta peposaca	Pato Negro	8,2	1	4
	Oxyura vittata	Pato Rana de Pico Delgado	40,8	1	66

(Continuación Tabla N° 1)

Tabla N° 1. Especies de aves acuáticas observadas en el fundo Rinconada de Huechún. La frecuencia (%) está expresada como el número de veces en que se avistó la especie durante los censos (n=49). Las abundancias representan el número mínimo y máximo de individuos registrado en uno de los censos dentro del programa de monitoreo.

Clasificación	Especies		Frecuencia (%)	Abundancia	
	Nombre Científico	Nombre Común		Min.	Máx.
Orden					
CHARADRIIFORMES					
Familia					
CHARADRIIDAE	*Vanellus chilensis*	Queltehue	57,1	2	271
SCOLOPACIDAE	*Tringa flavipes*	Pitotoy chico	6,1	1	4
	Calidris bairdii	Playero de Baird	2,0	2	2
RECURVIROSTRIDAE	*Himantopus melanurus*	Perrito	12,2	3	32
LARIDAE	*Larus dominicanus*	Gaviota Dominicana	24,5	1	38
	Larus pipixcan	Gaviota de Franklin	14,3	1	1000
	Larus maculipennis	Gaviota Cáhuil	4,1	2	10
Orden					
GRUIFORMES					
Familia					
RALLIDAE	*Pardirallus sanguinolentus*	Pidén	4,1	1	3
	Gallinula melanops	Tagüita	40,8	1	51
	Fulica armillata	Tagüa Común	93,9	1	589
	Fulica leucoptera	Tagüa Chica	42,9	2	19
	Fulica rufifrons	Tagüa de Frente Roja	14,3	2	3

Durante la primavera, se registraron las mayores abundancias, sumando todos los individuos de la comunidad de aves acuáticas. Entre los años 2000 y 2005, se observa una tendencia al aumento en el número de individuos, particularmente durante el verano de 2005 y la primavera de 2006, con un importante aporte en la abundancia total debido a la presencia de la gaviota de Franklin (*Larus pipixcan*). A partir del verano de 2008, la abundancia empieza a descender; durante la primavera de 2010, nuevamente aumenta por la presencia de la gaviota de Franklin (Figura N° 5).

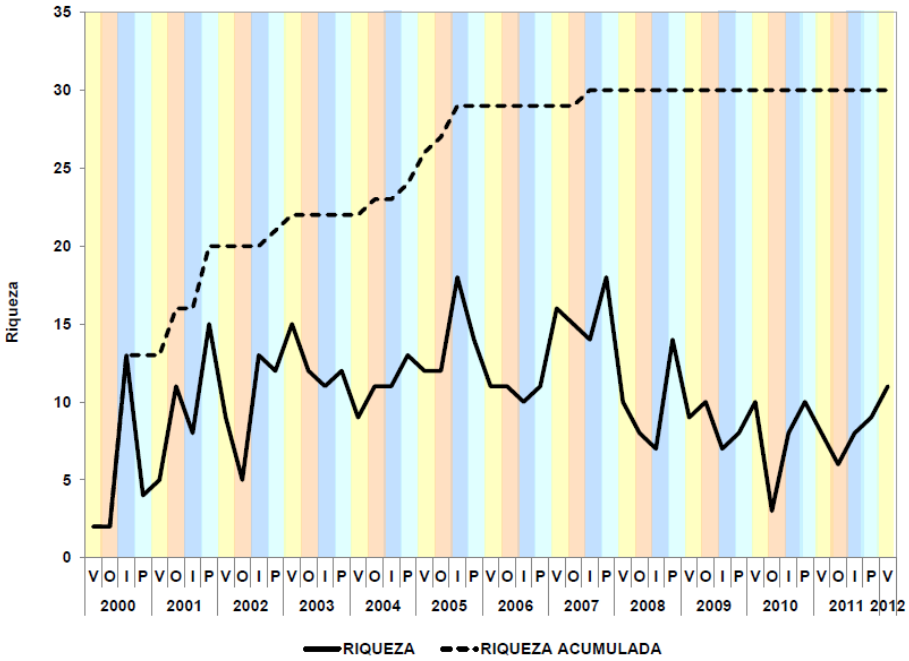


Figura N° 4. Riqueza acumulada y riqueza estacional de aves acuáticas en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012.

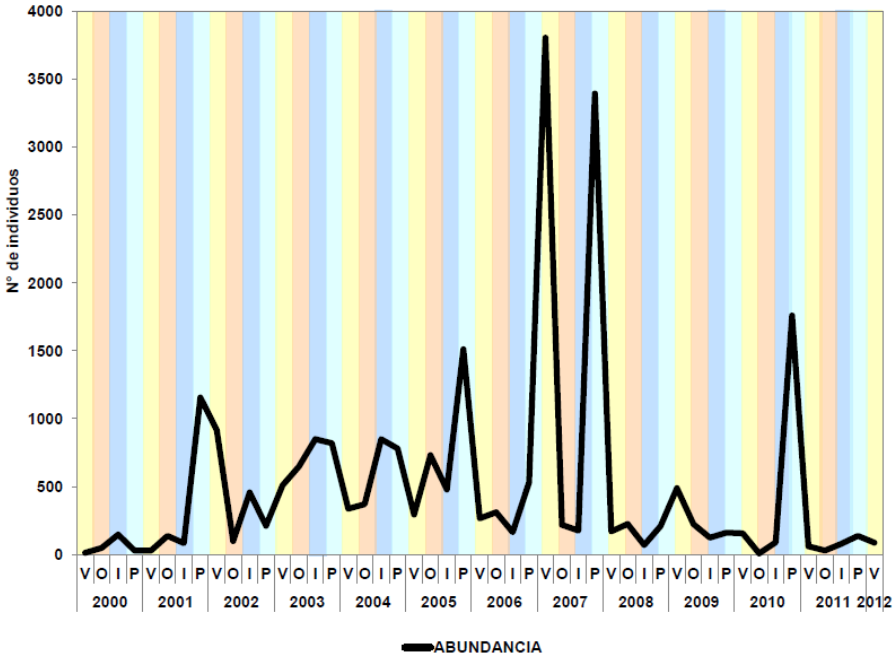


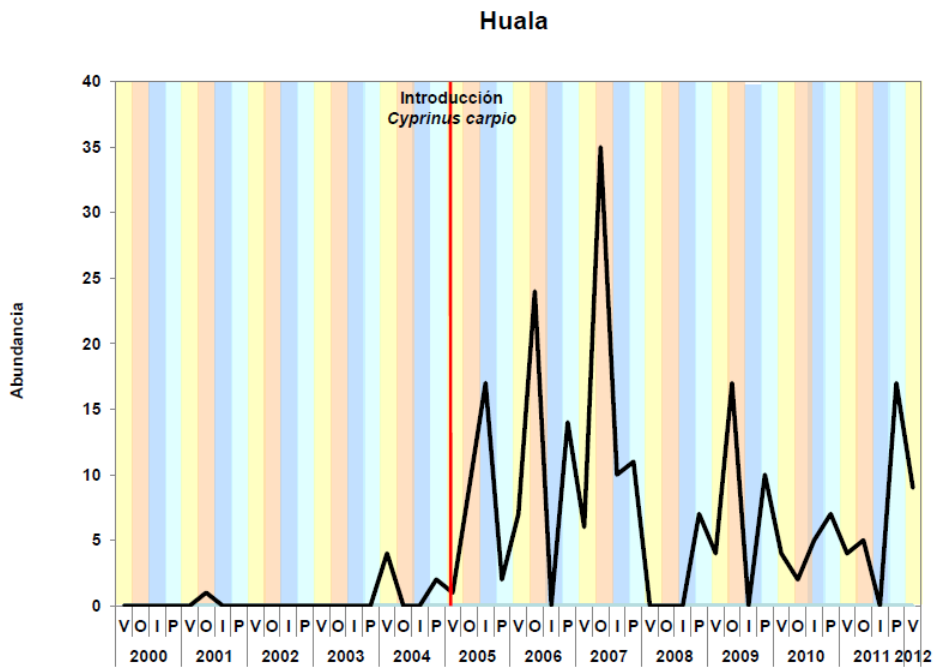
Figura N° 5. Abundancia estacional de la comunidad de aves acuáticas en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012. Los principales peak de abundancia incluyen la presencia de la gaviota de Franklin, en su periodo migratorio estival.

3.2. Tendencias poblacionales y variación de la abundancia de las especies pertenecientes a la comunidad de aves acuáticas en el tranque de relaves Ovejería.

Desde que se inició el llenado del tranque, algunas especies se establecieron, donde han desarrollado aspectos importantes de su historia de vida, como la nidificación. Hay otras pocas especies que han sido visitantes irregulares del tranque principalmente aves migratorias, mientras que otras, que, dependiendo de la disponibilidad de los recursos o la variabilidad o dinámica del cuerpo de agua del tranque, han aparecido tardíamente o han abandonado el tranque sin volver a aparecer en el periodo más reciente.

Uno de los factores que queda de manifiesto en la conformación del ensamble de aves que habita el tranque de relaves, es la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005, que muestra un antes y un después de la comunidad de aves acuáticas. En el caso de las especies que forman parte de la familia Podicipedidae, dos presentaron respuestas positivas a la presencia de *Cyprinus carpio*; la dieta de las cuatro especies considera el consumo de pequeños peces y moluscos como ítems principales; la huala (*Podiceps major*) (Fotografía N° 6, Anexo 6), que se alimenta de peces de mayor tamaño, registra un aumento sustancial en la abundancia de la población; el picurio (*Podilymbus podiceps*) (Fotografía N° 7, Anexo 6), muestra un crecimiento poblacional muy bajo con peaks en las estaciones de invierno-primavera (Figura N° 6a, b); contrariamente, el pimpollo (*Rollandia rolland*) (Fotografía N° 8, Anexo 6) y el blanquillo (*Podiceps occipitalis*) (Fotografía N° 9, Anexo 6) muestran una baja en la abundancia de sus poblaciones posterior a la introducción de *Cyprinus carpio*; posteriormente, *Podiceps occipitalis,* a partir del verano de 2008, no se ha vuelto a registrar en el área de estudio (Figura N° 6c, d).

a)



b)

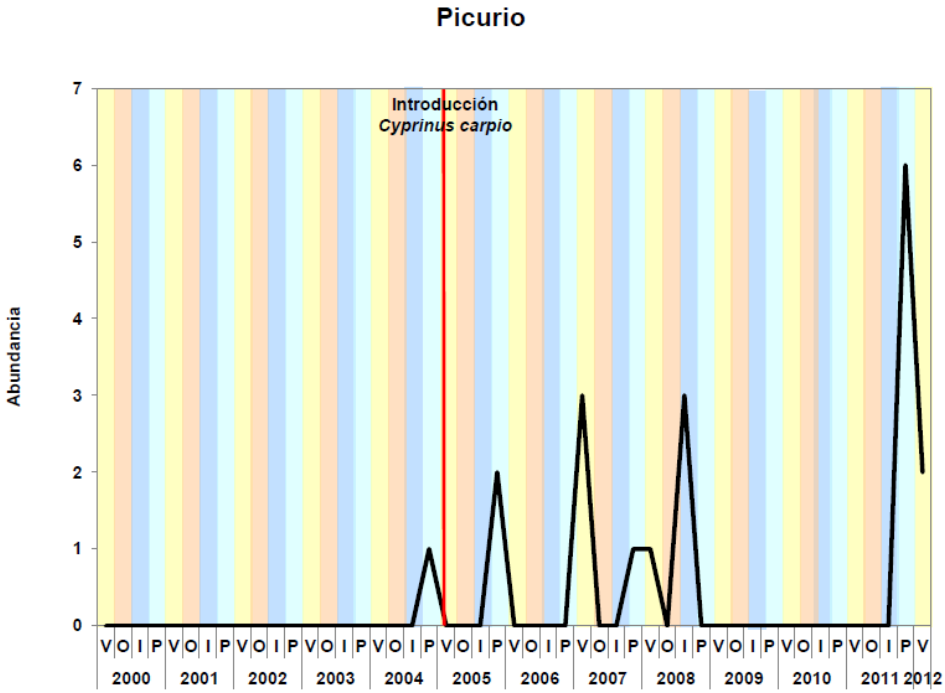
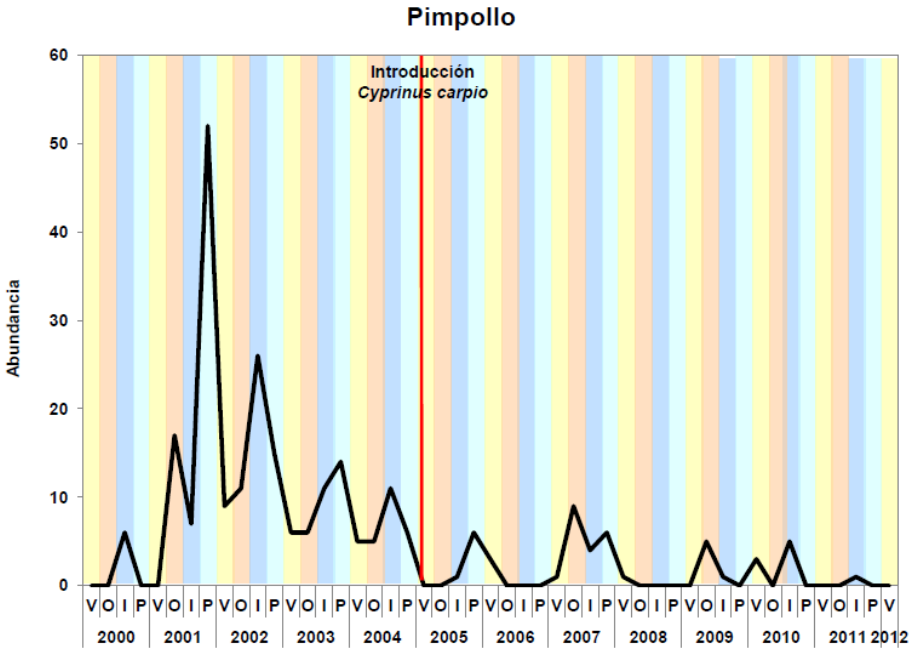


Figura N° 6. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Podicipedidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

(Continuación Figura N° 6)

c)



d)

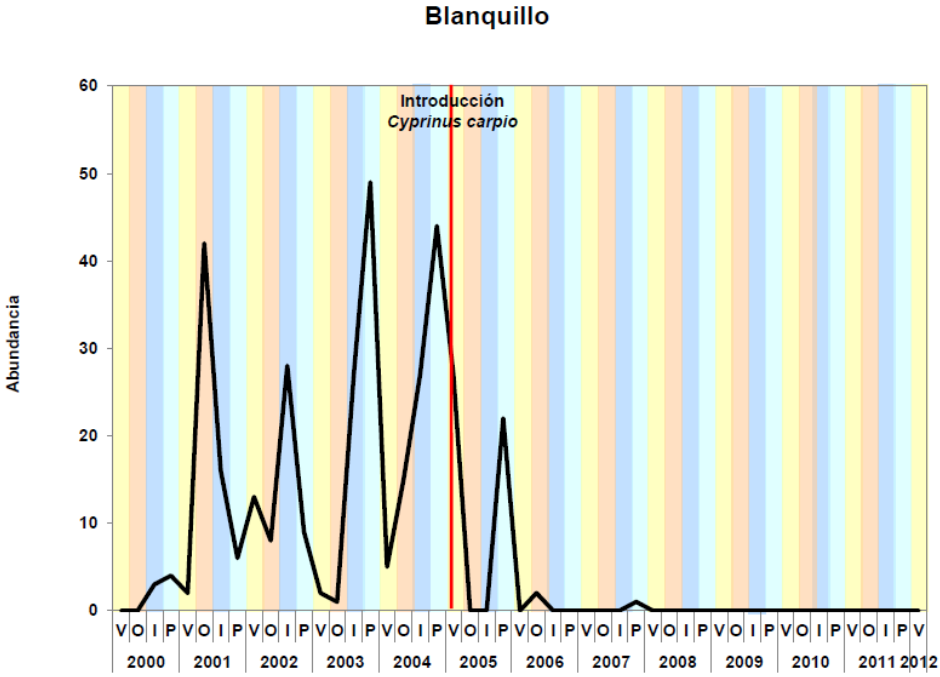


Figura N° 6. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Podicipedidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

El cormorán (*Phalacrocorax brasilianus*) (Fotografías N° 10 y N° 11, Anexo 6), es otra especie de hábitos alimentarios netamente piscívoros, que una vez introducido *Cyprinus carpio*, apareció dentro del tranque para aumentar notablemente su población, por sobre los 200 individuos en el verano de 2009, siendo parte del ensamble de aves acuáticas hasta la actualidad (Figura N° 7).

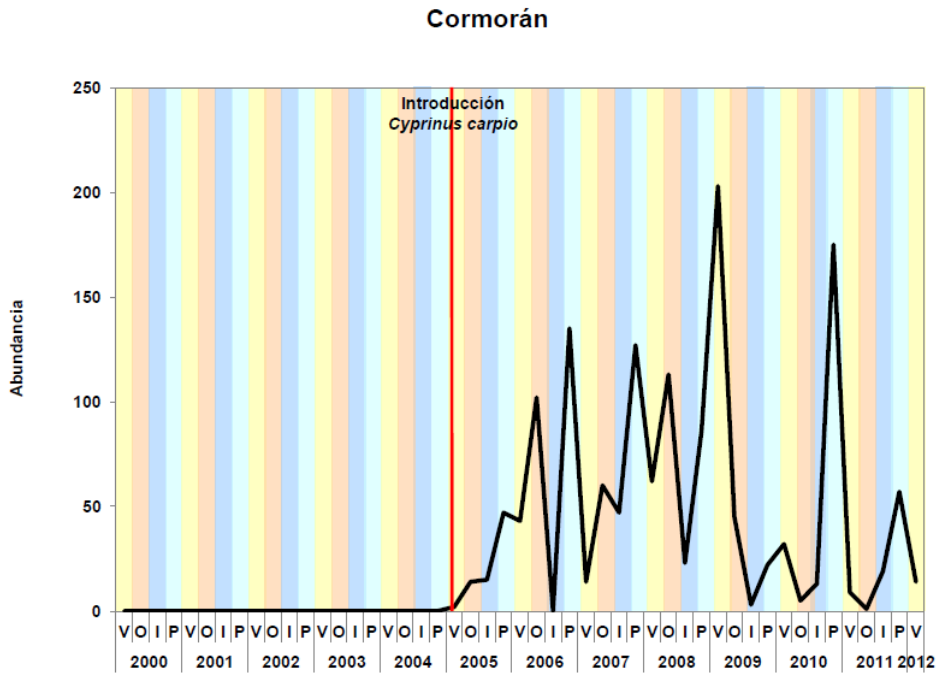
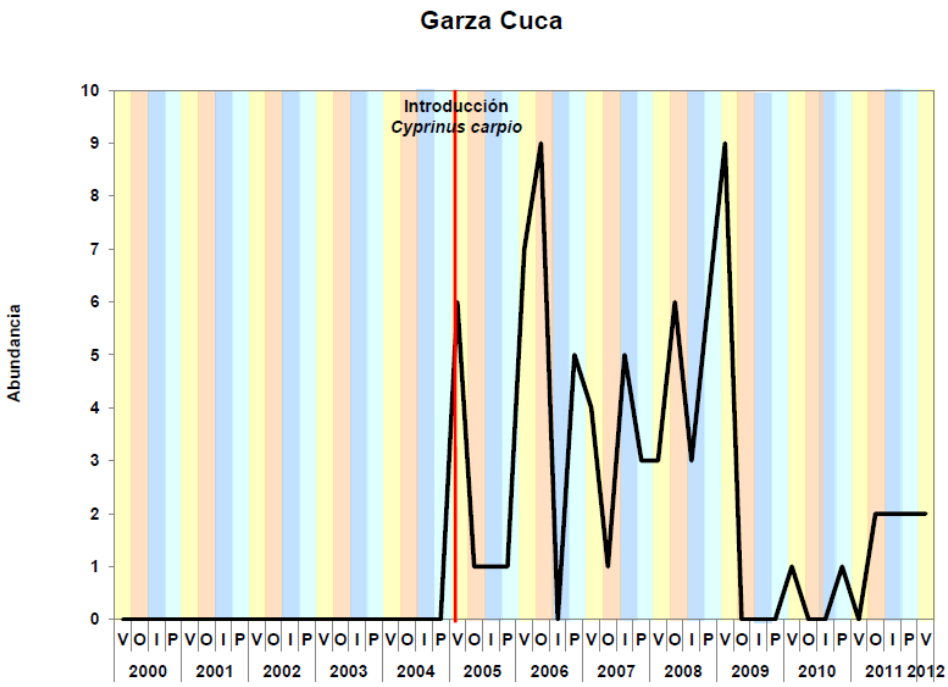


Figura N° 7. Abundancia poblacional del cormorán (*Phalacrocorax brasilianus*) en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

Tres de las cuatro especies pertenecientes a la Familia Ardeidae, manifestaron cambios sustanciales ante la introducción de *Cyprinus carpio*. La garza cuca (*Ardea cocoi*) (Fotografía N° 12, Anexo 6) y el huairavo (*Nyxticorax nycticorax*), (Fotografía N° 13, Anexo 6) reconocidas aves piscívoras (Del Hoyo 1992), incrementan su población a partir del verano de 2006 (Figura N° 8a, d); la garza grande (*Casmerodius albus*) (Fotografía N° 14, Anexo 6) aumentó su población a partir del verano de 2007 (Figura N° 8b) mientras que en la garza chica (*Egretta thula*) no muestra respuesta significativa después de la introducción de *Cyprinus carpio* y su presencia en el tranque de relaves responde a un aspecto estacional (Figura N° 8c).

a)



b)

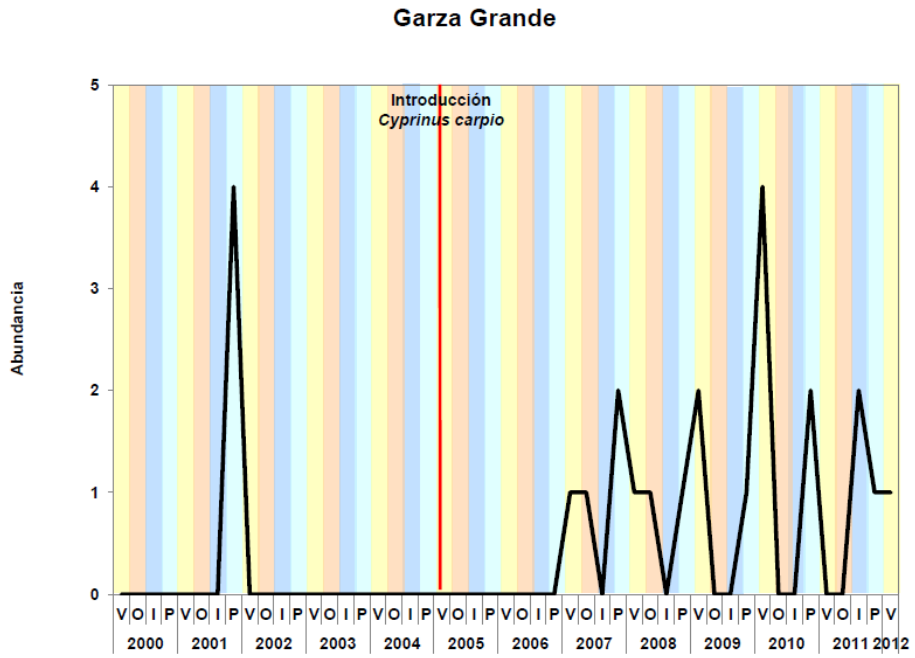
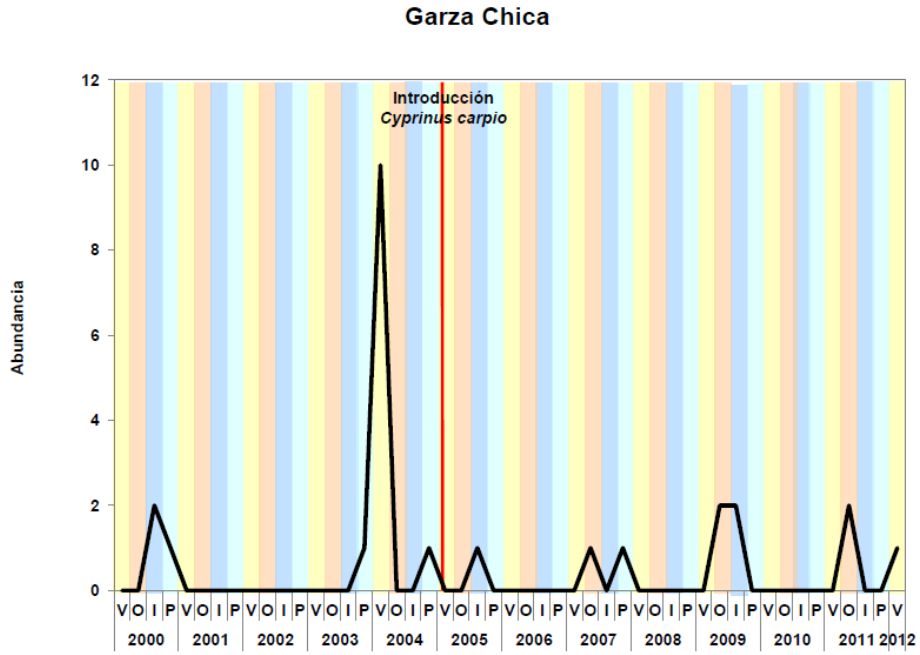


Figura N° 8. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Ardeidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

(Continuación Figura N° 8)

c)



d)

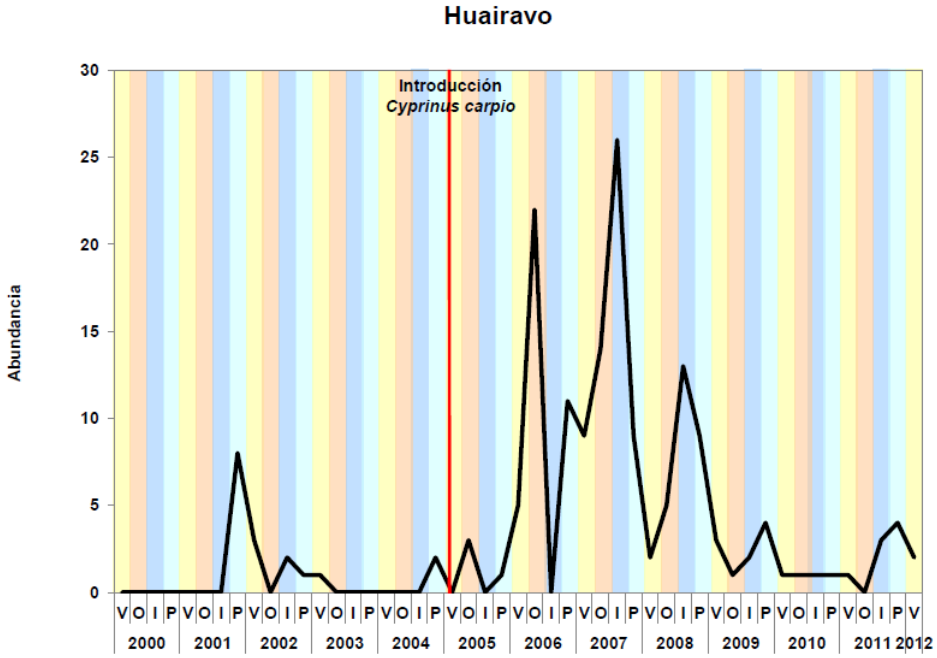


Figura N° 8. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Ardeidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

De los nueve miembros de la Familia Anatidae identificados durante este estudio, analizamos la variación poblacional de cinco especies que fueron las más frecuentes, las más abundantes y las que mostraron variaciones ante la presencia de *Cyprinus carpio*. En general, las poblaciones reaccionaron negativamente, disminuyendo rápidamente su abundancia hasta casi desaparecer algunas de ellas como el pato gargantillo (*Anas bahamensis*) (Fotografía N° 15, Anexo 6), el pato cuchara (*Anas platalea*) (Fotografía N° 16, Anexo 6) y el pato rana de pico delgado (*Oxyura vittata*) (Fotografía N° 17, Anexo 6) (Figura N° 9a, b, c, d). El pato jergón grande (*Anas georgica*) (Fotografía N° 18, Anexo 6) presentó variaciones estacionales no relacionables con la presencia de *Cyprinus carpio* (Figura N° 9e).

a)

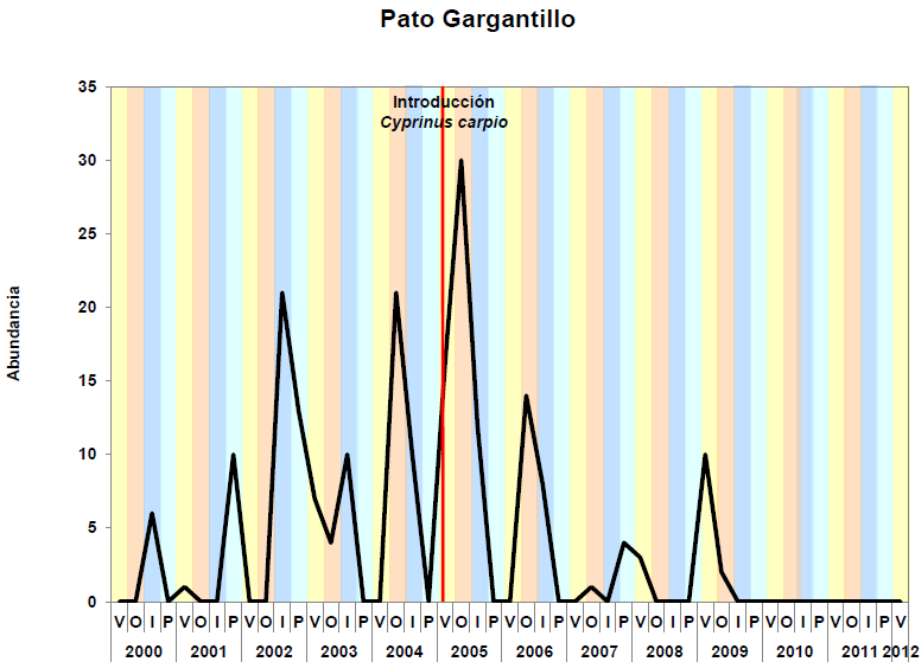
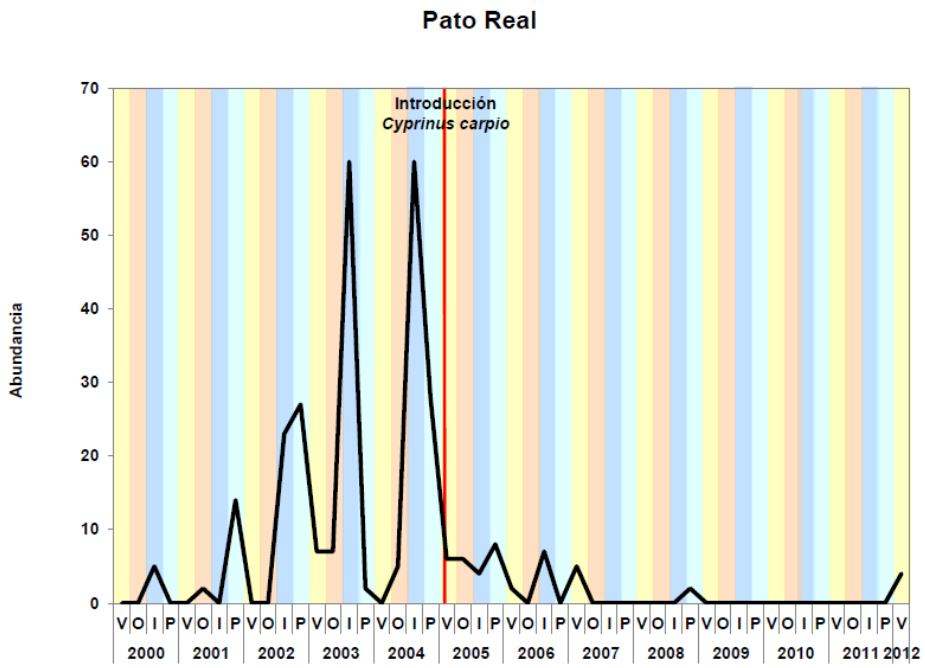


Figura N° 9. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Anatidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

(Continuación Figura N° 9)

b)



c)

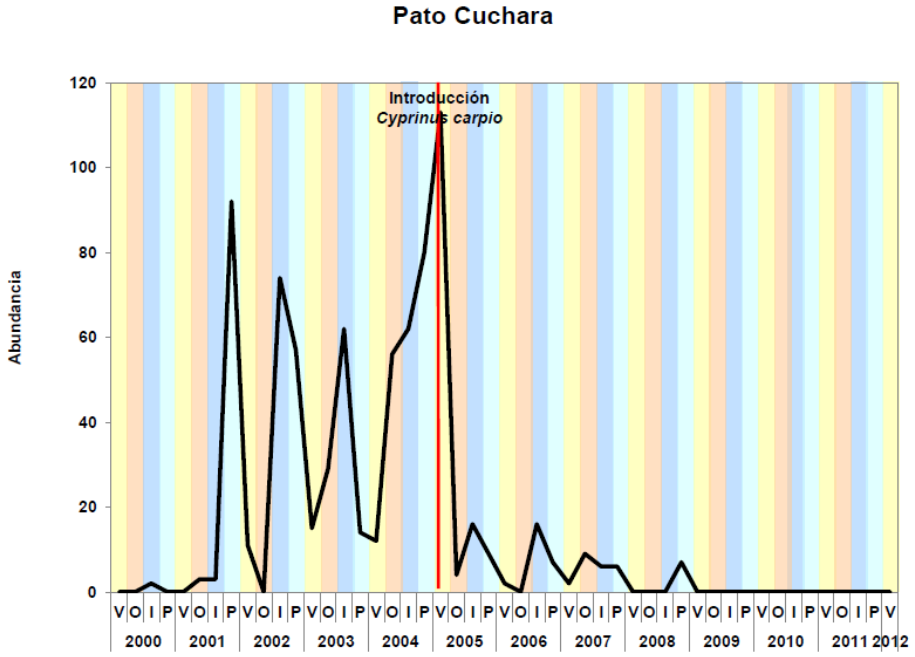
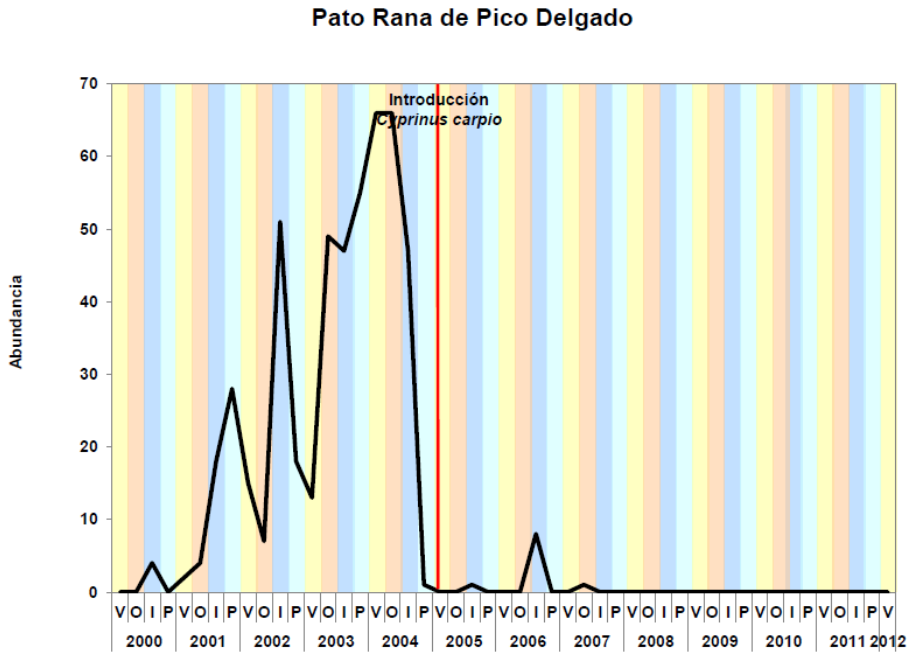


Figura N° 9. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Anatidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

(Continuación Figura N° 9)

d)



e)

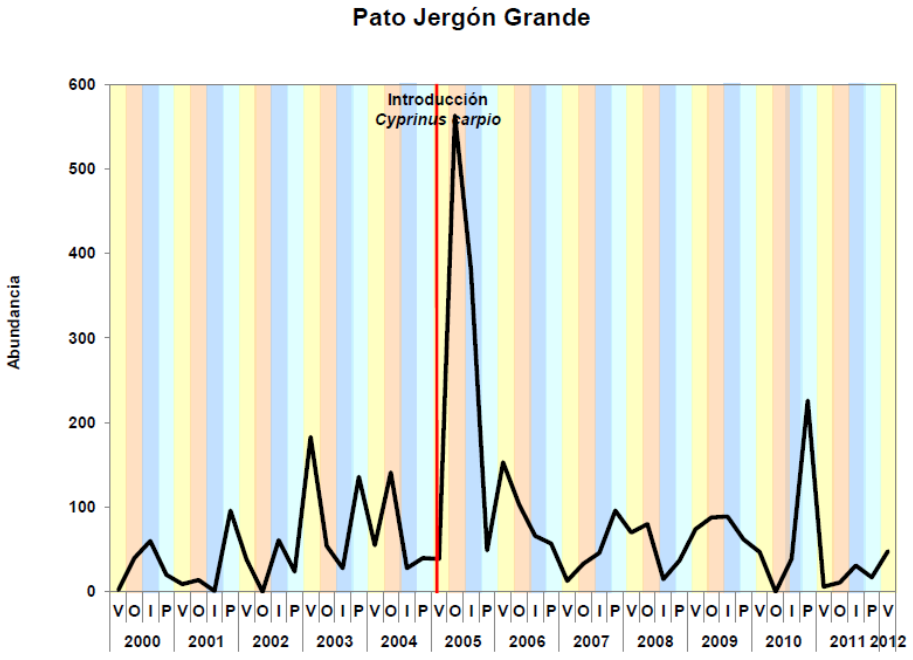


Figura N° 9. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Anatidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

Al igual que los Anátidos, las especies de la Familia Rallidae también experimentan una reducción significativa del tamaño poblacional ante la introducción de *Cyprinus carpio*; la tagüita (*Gallinula melanops*) (Fotografía N° 19, Anexo 6) y la tagua común (*Fulica armillata*) (Fotografía N° 20, Anexo 6), fueron más drásticamente afectadas que la tagua chica (*Fulica leucoptera*) que ha manifestado peak de abundancias asociadas a un comportamiento estacional (Figura N° 10a, b, c).

a)

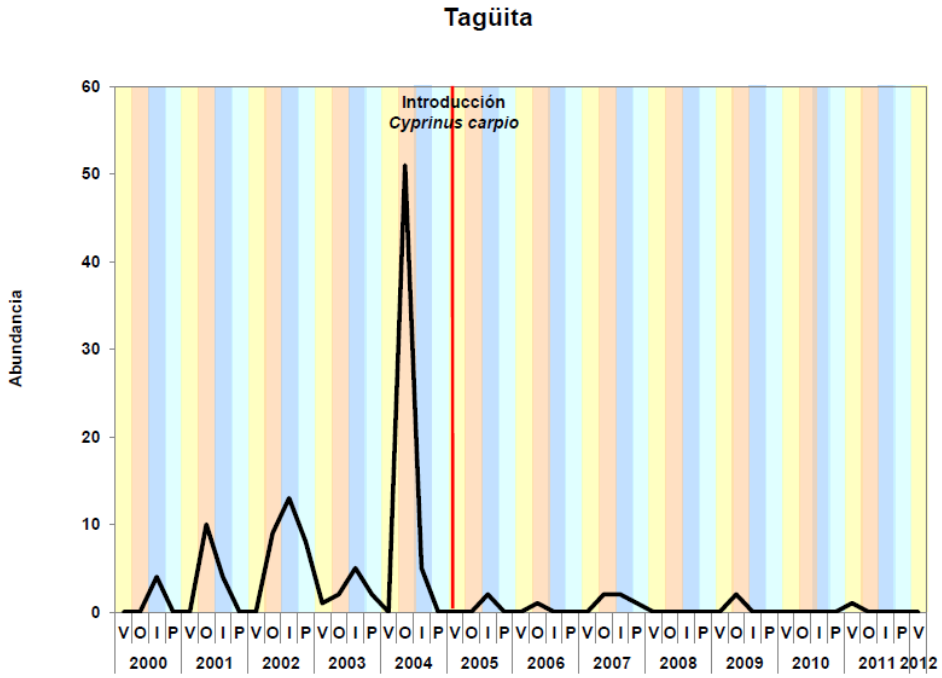
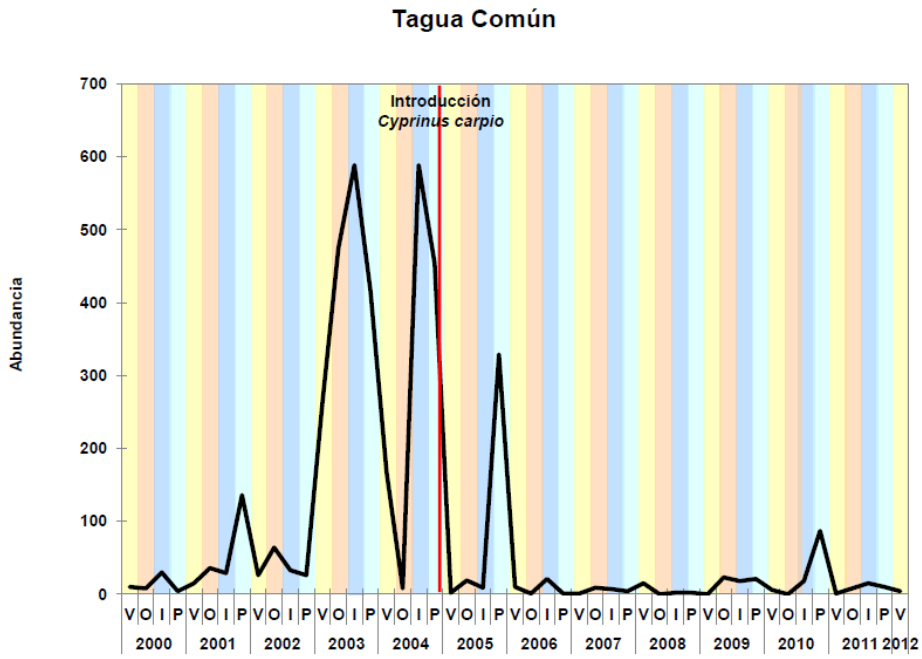


Figura N° 10. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Rallidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

(Continuación Figura N° 10)

b)



c)

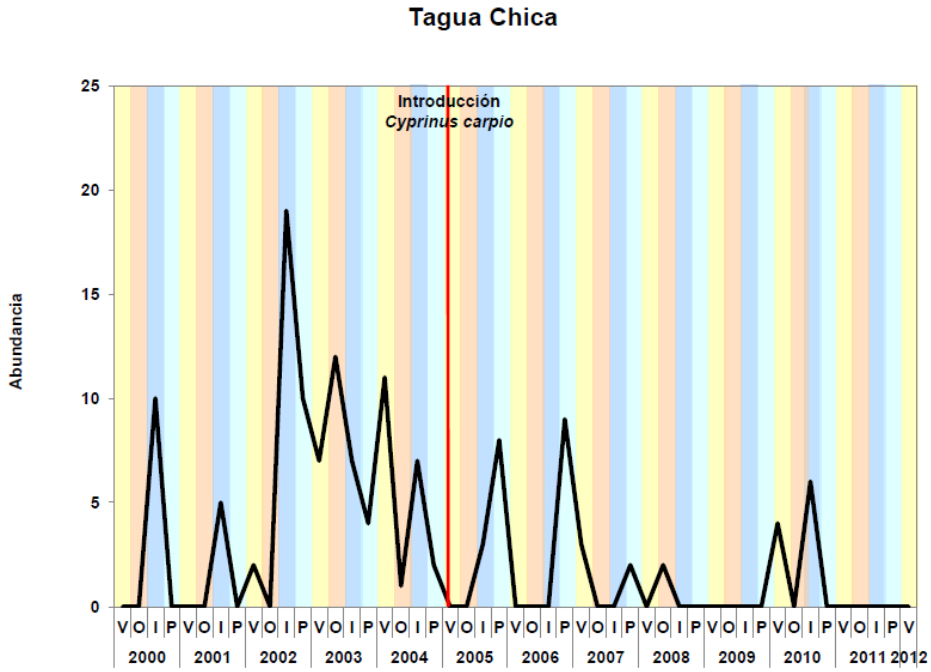
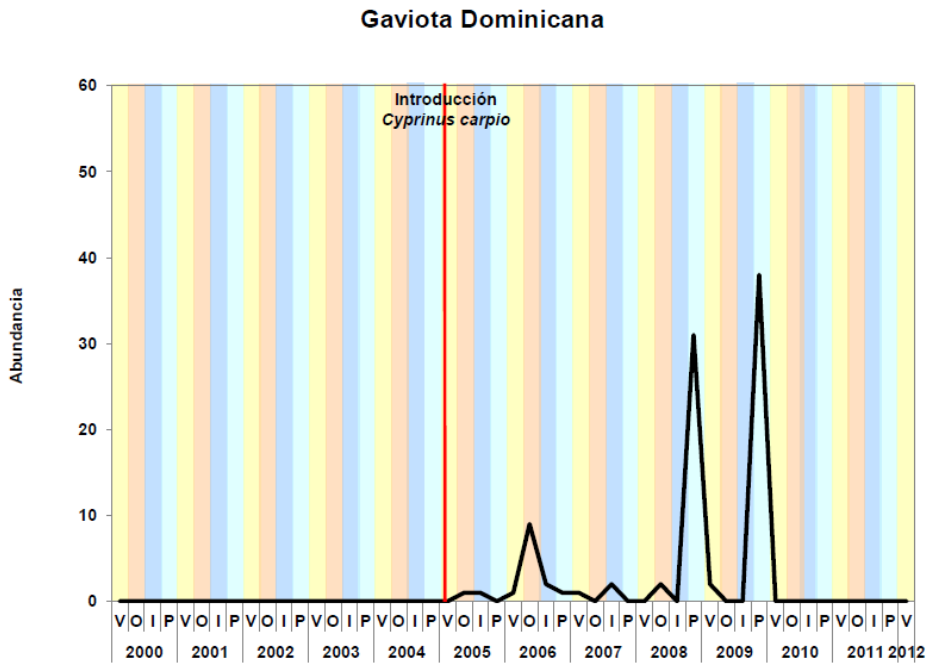


Figura N° 10. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Rallidae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

a)



b)

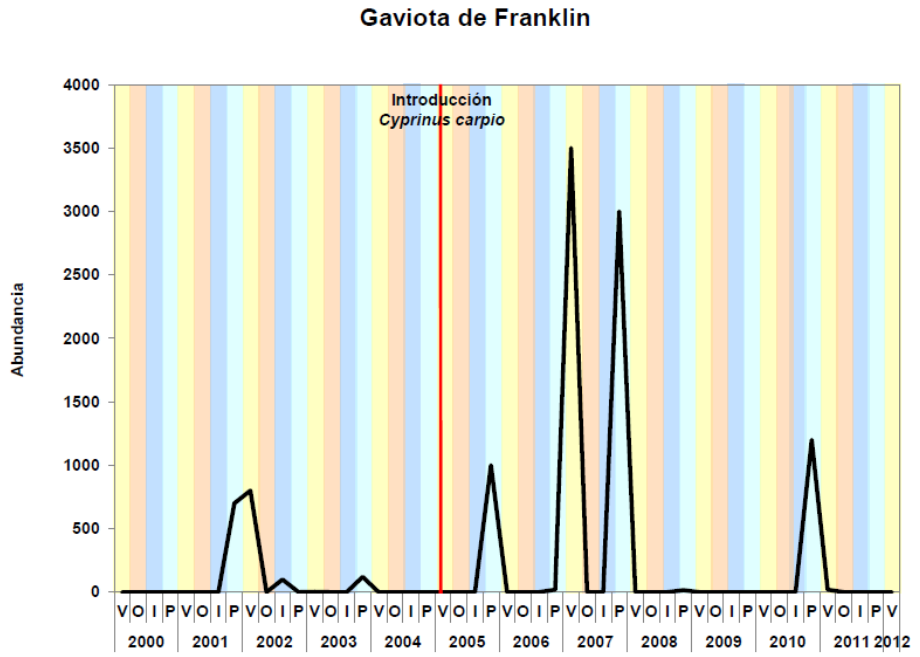


Figura N° 11. Abundancia poblacional de las especies perteneciente a la Familia Laridae en el tranque de relaves Ovejería entre el verano de 2000 y el verano de 2012; se indica con línea roja la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano de 2005.

Las gaviotas experimentaron a su vez, un incremento en su abundancia poblacional posterior a la introducción de *Cyprinus carpio*, pero con peak de individuos en la estación estival. En el caso de la gaviota de Franklin (*Larus pipixcan*) (Fotografía N° 21, Anexo 6), los máximos poblacionales están en estrecha relación a su periodo de inmigración desde el Hemisferio Norte (Figura N° 11a, b).

3.3. Análisis de series de tiempo (modelos autoregresivos).

De las siete variables que se usaron para el análisis poblacional de cada especie de ave, cinco de ellas ejercen una influencia importante en el comportamiento poblacional de algunas de ellas. Las precipitaciones y la estacionalidad (estaciones climáticas), no ejercen influencia significativa, reducidas a un par de especies (Tabla N° 2).

El tamaño de la población en el tiempo t-1, juega un rol positivo en el tamaño y en la estabilidad de las poblaciones; los tamaños poblacionales iniciales permitirían sostener a las especies en el tiempo. En el tranque de relaves Ovejería, el pato rana de pico delgado (*Oxyura vittata*) y la tagua común (*Fulica armillata*), son muy abundantes al inicio del periodo, disminuyendo paulatinamente hasta desaparecer en el caso del pato rana de pico delgado (invierno 2006) y mientras que la tagua común mantuvo bajas abundancias por el resto del periodo, con algunos aumentos poblacionales de mediana significancia (primavera 2010), que dan sustento en el largo plazo (Tabla N° 2).

Respecto de la tendencia, se observa una influencia negativa, aunque poco significativa para la gran mayoría de las especies afectadas, sin embargo no debiera ser una limitante para la permanencia de una población. De los anátidos, que son el grupo que presenta mayor respuesta a esta variable, cuatro especies de siete responden negativamente; el picurio (*Podilymbus podiceps*) y la garza grande (*Casmerodius albus*), responden positivamente. Por otro lado, la estacionalidad no ejerce mayor influencia en la dinámica poblacional de las aves acuáticas (Tabla N° 2).

La introducción del pez exótico de origen europeo *Cyprinus carpio* (carpa) en el verano del año 2005, ejerció influencias negativas y positivas respecto de las poblaciones de aves acuáticas. Se observó un incremento en el caso de algunas especies piscívoras

tales como la huala, *Podiceps major*, el cormorán, *Phalacrocorax brasilianus* y la garza cuca, *Ardea cocoi*; a la inversa, se observó decrecimiento en el número de patos, taguas y zambullidores; *Cyprinus carpio* es un severo perturbador del hábitat y un fuerte competidor por el espacio y los recursos tróficos (Tabla N° 2).

Para algunas especies, el aumento del tamaño de la laguna ha ejercido un efecto positivo de sus poblaciones, porque han podido evitar la competencia por espacio o por recursos tróficos; cerca de la mitad de las especies se benefició de esta variable, particularmente los patos y las tagüas (Tabla N° 2).

En relación con las condiciones del clima, la temperatura ejerce una influencia reconocible en la variación del tamaño poblacional del queltehue (*Vanellus chilensis*) que vio incrementar su efectividad en los meses de primavera y verano (Tabla N° 2).

Tabla N° 2. Variables predictoras de la abundancia de aves acuáticas en el tranque Ovejería. Significancia de las variables en el mejor modelo múltiple (+++ : significativamente positivo; --- : significativamente negativo).

ESPECIES		Significancia de las Variables									
						Estación					
Familia	Nombre Común	Población T-1	PP	T°	Tendencia	V	O	I	P	Laguna	Carpa
PODICIPEDIDAE	Pimpollo										---
	Blanquillo	+	-	. (-)							---
	Huala						+		. (+)		++
	Picurio				+						
PHALACROCORACIDAE	Cormorán negro			+							+++
ARDEIDAE	Garza Cuca				-						+++
	Garza Grande				++					. (-)	
	Garza Chica										
	Huairavo	+									. (+)
ANATIDAE	Pato Gargantillo				---		. (+)			+++	
	Pato Jergón Grande				-						++
	Pato Jergón Chico				-					+	+
	Pato Colorado				-					+	
	Pato Real			. (+)						+++	---
	Pato Cuchara	+		. (+)						+	--
	Pato Rana de Pico Delgado	+++	. (-)	-							-
CHARADRIIDAE	Queltehue	. (+)		++							
RECURVIROSTRIDAE	Perrito				. (-)						
LARIDAE	Gaviota Dominicana										
	Gaviota de Franklin			. (+)						-	
RALLIDAE	Tagüita			. (-)							-
	Tagua Común	+++								++	---
	Tagua Chica		. (-)		. (-)					++	
	Tagua de Frente Roja									++	---

4. DISCUSIONES.

Los relaves mineros representan un riesgo potencial para las aves acuáticas, las que se ven expuestas a altas concentraciones de metales pesados y otros contaminantes (Vermeer & Thompson 1992, Beyer *et al.* 2004). Un factor que agrava el problema es que la acumulación de agua en ellos atrae a las aves (Henny *et al.* 1994, Read 1999) por lo que estos sitios adquieren un carácter de “trampas ecológicas”; esto ha llevado, en muchos casos, a la necesidad de implementar medidas para impedir la llegada de aves a estos humedales industriales (Read 1999).

Sin embargo, aunque los datos analizados en este estudio no permiten descartar un problema de exposición excesiva de las aves a contaminantes, al menos muestran una comunidad de aves sin signos evidentes de disfuncionalidad. Además, con su riqueza de 30 especies, registradas durante los años de monitoreo, la avifauna del tranque Ovejería representa un conjunto de especies similar a aquellos encontrados en humedales cercanos al área como Batuco, los humedales de Lampa y el tranque La Cadellada. Esto concuerda con el patrón observado en muchas partes, en que la composición de la biota en zonas intervenidas por la minería depende de la composición de las comunidades regionales (Brändle *et al.* 2003).

Lo anterior no implica que la comunidad de aves del tranque Ovejería sea estable, ni menos, autosuficiente. De hecho, la existencia de una baja actividad reproductiva (observación personal), sugiere que muchas de las aves presentes en el área provienen de otros humedales. Sin embargo, esta situación no es suficiente como para inferir la existencia de una dinámica de tipo "fuente-sumidero” (Pulliam 1988).

La comunidad de aves acuáticas ha cambiado de forma significativa durante los años de funcionamiento del tranque. Varias especies presentaron tendencias de largo plazo estadísticamente significativas (presencia o ausencia de especies; aumento o disminución de la abundancia, ver Tabla N° 2). Sin embargo, no es fácil determinar si estos cambios corresponden a efectos de la evolución del tranque desde su creación o a tendencias regionales en las poblaciones de estas especies.

En el primer caso, varias especies vieron sus abundancias asociadas al tamaño del espejo de agua. Este factor afecta la disponibilidad de hábitat de borde o ribereño. Sin embargo, puesto que esta variable ha sido creciente durante el período estudiado, no es fácil descartar el que este patrón sea en realidad un efecto del tiempo transcurrido. En el caso alternativo de una tendencia regional, desafortunadamente no existen datos similares en los humedales del entorno con los cuales poner a prueba esta hipótesis.

La abundancia de algunas especies varió en función de factores estacionales (Tabla N° 2). En parte, este efecto tiene una explicación por el comportamiento cíclico de algunas especies que tienen migraciones de corta o larga distancia o por una respuesta directa a las precipitaciones o temperaturas. Por ejemplo, Vilina & Cofré (2000) observaron que algunos zambullidores aumentan su abundancia en humedales de Chile central durante años húmedos. Sin embargo, en este estudio la abundancia del blanquillo (*Podiceps occipitalis*) en el tranque Ovejería se correlacionó negativamente con la precipitación, lo que puede explicarse porque las lluvias estimulan el desarrollo de humedales temporales que pueden atraer las aves y disminuir su presencia en humedales permanentes.

Un factor que, sorpresivamente, resultó ser el mejor predictor de la composición de la comunidad de aves en el tranque Ovejería fue la introducción de la carpa (*Cyprinus carpio*). De hecho más del 50% de las especies analizadas fue afectada significativamente por la presencia de este pez exótico (Tabla N° 2). Así, la introducción de la carpa durante 2005 se tradujo en un punto de inflexión evidente para la tendencia poblacional de muchas aves, el que también se ve reflejado en un efecto para el conjunto de las especies (Figura N° 12).

En esta figura se observa que la abundancia total de aves acuáticas (sin incluir la gaviota de Franklin) tuvo un incremento claro durante los primeros cinco años de estudio, y que partir del año 2006, esta tendencia se revirtió mostrando un descenso importante en la cantidad total de aves, además de la riqueza de especies Figura N° 12

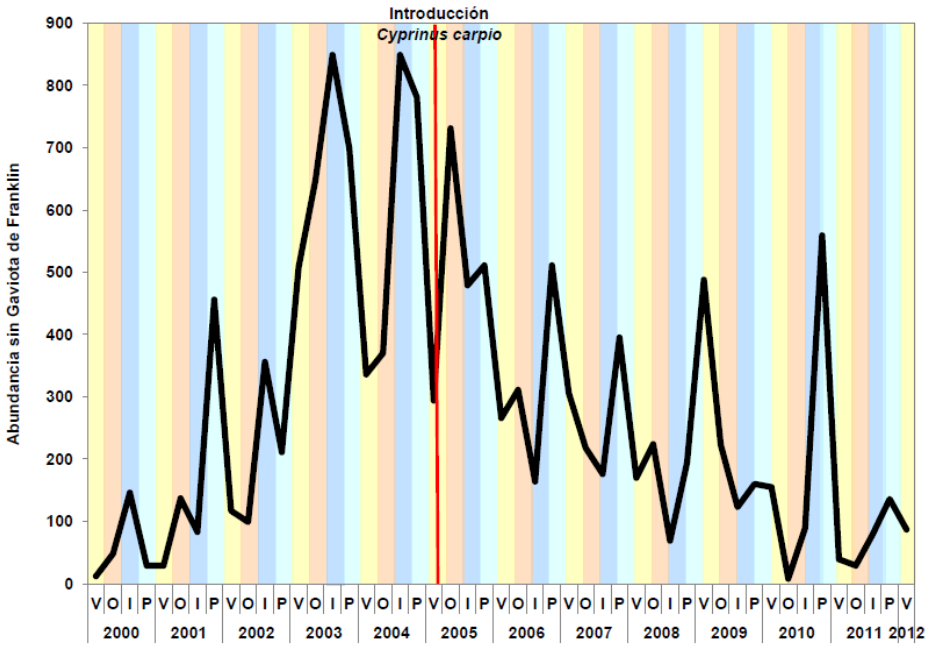


Figura N° 12. Abundancia total de la comunidad de aves acuáticas estacionalmente, descartando la población de la gaviota de Franklin, *Larus pipixcan*.

Es razonable argumentar que el patrón descrito podría ser una mera coincidencia y que, alternativamente se podría explicar por un aumento inicial de las aves durante los primeros años de desarrollo del tranque, seguido por una reducción de las poblaciones debida al efecto tóxico de largo plazo de los metales pesados. Aunque los datos de este estudio no permiten descartar tal hipótesis, el análisis caso a caso de las especies afectadas sugiere fuertemente que la carpa ha tenido un rol funcional en estos cambios.

Al respecto, la mayor parte de las especies beneficiadas por la presencia de la carpa son piscívoras como la huala (*Podiceps major*) o el cormorán (*Phalacrocorax brasilianus*), mientras que las perjudicadas son herbívoras (e.g. la tagua común, *Fulica armillata*), o filtradoras (e.g. el pato real, *Anas sybilatrix*) o consumidoras de invertebrados (e.g. el pimpollo, *Rollandia rolland*).

La carpa común, nativa de Eurasia, ha sido introducida deliberadamente en muchas regiones del planeta, para acuacultura, recreación y propósitos ornamentales (Kulhanek *et al.* 2011) y actualmente es considerada como una de las especies invasoras

ecológicamente más dañinas del mundo (Lowe *et al.* 2004). Esta especie fue introducida en Chile en el siglo XIX (Brenner 1994).

Existen numerosas evidencias sobre la capacidad de la carpa de alterar los ecosistemas en los que se introduce (Baldry 2000), afectando la biodiversidad vegetal y animal, acuática y terrestre (Hinck *et al.* 2009, Kloskowski, 2004, 2011, Kloskowski *et al.* 2010). Sin embargo, su efecto principal suele ser sobre las comunidades bentónicas y zooplanctónicas (Lougheed *et al.* 1998, Zambrano & Hinojosa 1999, Parkos *et al.* 2003, Matsuzaki *et al.* 2009, Wahl *et al.* 2011).

Baldry (2000) describe una reducción de las poblaciones de patos asociada a la introducción de carpas en los lagos de Minnesota, aparentemente mediada por la reducción de las macrófitas acuáticas por acción de estos peces. Además el aumento de la turbidez del agua por la resuspensión de sedimentos afecta las poblaciones de macroinvertebrados (Kloskowski *et al.* 2010), lo que podría explicar el efecto negativo de la carpa sobre especies como el blanquillo (*Podiceps occcipitalis*) y el pimpollo (*Rollandia rolland*).

Kloskowski (2004) y Kloskowski *et al.* (2010) identificaron que la densidad de patos y pequeños zambullidores (Podicipedidae) estuvo negativamente relacionada con el gradiente de tamaño de estos peces evitando los estanques con peces más grandes, presumiblemente porque son competidores más eficientes.

En la actualidad las poblaciones de aves acuáticas más abundantes del tranque de relaves Ovejería, son las de las especies piscívoras de mayor tamaño, como el cormorán, *Phalacrocorax brasilianus* y el huairavo, *Nycticorax nycticorax*, lo que sugiere que el tamaño dominante de las carpas es grande. La presencia de una alta proporción de aves piscívoras indica que la carpa puede ser un factor importante de biotransferencia de metales pesados. Se han registrado altas concentraciones de cadmio, plomo, mercurio y arsénico en carpas de un río contaminado (Ebrahimi & Taherianfard 2010).

Por otro lado individuos de *Phalacrocorax carbo*, mostraron altas concentraciones de metales y trazas de metal, más que en sus presas (la carpa común *Cyprinus carpio* y la carpa prusiana *Carassius gibelio*), tanto en tejidos como en plumas. *Phalacrocorax carbo*

tiene un potencial de bio-magnificación mayor que sus presas, distribuyéndolos por órganos, tejidos y plumas. El aumento de las concentraciones de cobre (Cu) en los hígados de *Cyprinus carpio* y *Carassius gibelio*, sería la fuente del incremento de las concentraciones de Cu en el hígado de *Phalacrocorax carbo* (Skoric *et al.* 2012).

Estudios preliminares en aves acuáticas (pato jergón, pato real, taguas y cormoranes) y otros vertebrados terrestres como zorros al interior del fundo Rinconada de Huechún, dan cuenta de la presencia de metales en órganos y tejidos aunque no existen evidencias del posible rol de estos contaminantes en las poblaciones de estas especies. Los zambullidores (pimpollo, blanquillo, picurio) (O'Donnel & Fjeldsa 1997) y algunos filtradores (Hinojosa-Sáez *et al.* 2009, Beltzer *et al.* 2010) (e.g. pato jergón, pato cuchara, taguas), que se alimentan de organismos pertenecientes a los primeros niveles tróficos de la cadena alimenticia, como fitoplancton, zooplancton o pequeños artrópodos y moluscos, se podrían ver afectados por las sustancias tóxicas absorbidas por estos organismos. El estudio de la composición y la abundancia del fitoplancton en el tranque de relaves Ovejería mostró que entre las algas las clases con mayor riqueza y abundancia son las Chlorophyceae (90%), mientras que las diatomeas (Bacillariophyceae) y las cianobacterias (Cyanophyceae) no superan el 10% de la abundancia, las que son características de sistemas en condición eutrófica, entre las que se encuentran algunas con conocido efecto tóxico. Respecto del zooplancton, predominan los microcrustáceos del orden Cladocera, seguido por organismos pertenecientes al orden Cyclopida y Rotífera. Las especies del orden Cladocera, son reconocidos recursos alimenticios de especies filtradoras como los patos y las taguas (ATM Ingeniería 2005).

Las aves herbívoras como los patos (pato gargantillo, pato jergón, pato cuchara, pato real) y las taguas (Olguín *et al*. 2011) están propensas a la intoxicación por el consumo de algunas plantas terrestres, tales como, gramíneas y poligonáceas, las que entran en contacto con el tranque porque quedan temporalmente sumergidas con las aguas del tranque o son cubiertas por polvo de relave llevado por el viento.

El consumo de carpas por especies piscívoras como la huala, el huairavo, el cormorán y las garzas cuca, grande y chica, tienen un alto potencial de intoxicación debido a que *Cyprinus carpio,* dado sus hábitos omnívoros, se alimenta de fito y zooplancton y de la

vegetación sumergida, aumentando la bioacumulación de metales contaminantes en sus órganos.

Tal como en *Phalacrocorax carbo*, las aves que habitan el tranque de relaves Ovejería serían útiles como bioindicadores de contaminación de hábitats acuáticos, sobre todo aquellas especies que tienen un amplio rango geográfico y larga vida útil, importantes factores para evaluar los efectos a nivel regional y en el largo plazo. Las concentraciones de metales en los órganos o tejidos de las aves acuáticas varían en su orden de magnitud y esto dependerá de factores tales como la región, el estado reproductivo, la edad y el sexo (Ackerman & Eagles-Smith 2009).

Inmediatamente después de una mortandad masiva de aves en el tranque de relaves en enero de 2006 asociado a un contagio por botulismo que se inició en el humedal de Batuco y que habría afectado a la comunidad de aves de la red de humedales de la zona norte de Santiago se aplicaron tecnologías de ahuyentamiento de aves para evitar que utilizaran este hábitat lacustre: cañones de gas y parlantes con sonidos de predadores; no se evaluó el éxito del método; en aeropuertos, se describen efectos positivos iniciales hasta que las aves se acostumbran a los ruidos, por lo que requieren de constante monitoreo; Baird *et al*. (1993), puso a prueba diferentes técnicas de control no letales de aves predadoras en base a equipos de pirotecnia, cintas relucientes, balones con “ojos de diablo”, balones aéreos y grillas con mallas que cubrían estanques de agua por cierto periodo de tiempo para demostrar si se reducía el consumo de dos tipos de peces en un centro de cultivo; demostró que el consumo de peces por parte de los predadores aumentó en la medida que avanzaba el experimento, alcanzando el 99,7% después del octavo mes. Sin embargo, medidas de conservación a nivel regional para que las aves acuáticas puedan evitar sitios contaminados como los tranques de relave, es aumentar la disponibilidad de ambientes lacustres sanos, con fuentes de aguas limpias. Las fuentes de aguas contaminadas en ambientes áridos y semiáridos, son una amenaza importante para las aves locales y las migratorias debido a su permanente demanda por agua y porque son hábitats de uso frecuente cuando no se cuenta con una extensa red de cuerpos de aguas naturales. Las aves migratorias pueden verse más afectadas puesto que dependen de fuentes de agua en sus movimientos migratorios en invierno o como hábitats reproductivos en verano (Isanhart *et al.* 2011).

5. BIBLIOGRAFÍA.

ACKERMAN. J.T. & C.A. EAGLES-SMITH. 2009. Selenium bioaccumulation and body condition in shorebirds and terns breeding in San Francisco bay, California, USA Environmental Toxicology and Chemistry 28 (10): 2134–2141.

ATM Ingeniería. 2005. Informe de componentes bióticos del tranque de relaves Ovejería. CODELCO División Andina.

BAIRD, M.L., SMITH, T.I.J. & W.E. JENKINS. 1993. Evaluation of Control Techniques for Avian Predators of Pond-reared Fishes. Annual Conference of the Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies 47:580-587.

BALDRY, I. 2000. Effect of Common Carp (*Cyprinus carpio*) on Aquatic Restorations. Student on-line journal 6 (6): 1-8, University of Minnesota.

BELTZER, A.H., M.A. QUIROGA & J.J. MEDRANO. 2010. Nota sobre la dieta del pato cuchara: Anas platalea (Aves: Anatidae) en Santa Fe, Argentina. Revista FABICIB 14: 162-164.

BERRYMAN, A. & M. LIMA. 2007. Detecting the order of population dynamics from time series: nonlinearity causes spurious diagnosis. Ecology 88 (8): 2121–2123.

BEYER, W. N., DALGARN, J., DUDDING, S., FRENCH, J.B., MATEO, R., MIESNER, J., SILEO, L. & J. SPANN. 2004. Zinc and lead poisoning in wild birds in the Tri-State Mining District (Oklahoma, Kansas, and Missouri). Archives of Environmental Contamination and Toxicology 48:108-117.

BRENNER, H. 1994. Las pesquerías de aguas continentales frías en América Latina. COPESCAL Documento Ocasional. No. 7. Roma, FAO. 32p.

BRÄNDLE, M., DURKA, W., KRUG, H. & R. BRANDL. 2003. The assembly of local communities: Plants and birds in non-reclaimed mining sites. Ecography 26: 652–660.

CARLSON, M. & F. SCHMIEGELOW. 2002. Cost-effective sampling design applied to large-scale monitoring of boreal birds. Conservation Ecology 6(2): 11. [online] URL: http://www.consecol.org/vol6/iss2/art11

CICA Ingenieros Consultores. 1997. Monitoreo de Vegetación, Flora y Fauna en el Fundo Rinconada de Huechún: Primera Campaña y Manual de Monitoreo. Proyecto Relaves Valle. CODELCO-Chile, División Andina

CIESM. 2003. Mediterranean biological time series. CIESM Workshop monographs Nº 22, 142 pp. Monaco. www.ciesm.org/publications/split03.pdf.

CHAPMAN, C.A. & C.A. PERES.. 2001. Primate conservation in the new millennium: the role of scientists. Evolutionary Anthropology 10:16–33.

COOKE, J.A. & M.S. JOHNSON. 2002. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice. Environmental Review 10: 41–71.

DEL HOYO, J., ELLIOT, A. & J. SARGATAL. 1992. Handbook of the birds of the world. Volume N° 1. Lynx Ediciones.

DI CASTRI, F. & E.R. HAJEK. 1976. Bioclimatología de Chile. Imprenta Editorial. Universidad Católica de Chile. Santiago. 1976. 128 pp.

DUCKLOW, H.W., DONEY, S.C. & D. K. STEINBERG. 2009. Contributions of long-term research and time-series observations to marine ecology and biogeochemistry. Annual Review Marine Science 1: 279–302.

DURANT, S.M., BASHIR, S. MADDOX, T. & M. K. LAURENSON. 2007. Relating long-term studies to conservation practice: the case of the Serengeti Cheetah Project. Conservation Biology 21 (3): 602–611.

EBRAHIMI, M. & M. TAHERIANFARD. 2010. Concentration of four heavy metals (cadmium, lead, mercury, and arsenic) in organs of two cyprinid fish (Cyprinus carpio and Capoeta sp.) from the Kor River (Iran). Environmental Monitoring Assessment 168: 575–585.

ELLIOTT, J. M. 2006. The need for long-term investigations in ecology and the contribution of the Freshwater. Freshwater Biology 23 (1): 2-5.

EMBERGER, L. 1955. Une classification biogéoaraphique des climats. Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Fac. Se. 7(11): 3-43.

FARIAS, A.A. & F.M. JAKSIC. 2007. El Niño events, the lean versus fat scenario, and long-term guild dynamics of vertebrate predators in a South American semiarid ecosystem austral ecology. Austral Ecology 32: 225–238.

GEOTÉCNICA CONSULTORES. 1999. Monitoreo de vegetación, flora y fauna en el Fundo Rinconada de Huechún (primavera de 1999). CODELCO División Andina.

GUTIÉRREZ, J.R. 2010. Long-term research in Bosque Fray Jorge National Park: Twenty years studying the role of biotic and abiotic factors in a Chilean semiarid scrubland. Revista Chilena de Historia Natural 83: 69-98.

HALLEY, J & P. INCHAUSTI. 2002. Lognormality in ecological time series. OIKOS 99: 518–530.

HENNY, C.J., HALLOCK, R.J. & E.F. HILL. 1994. Cyanide and migratory birds at gold mines in Nevada, USA. Ecotoxicology 3:45–58.

HINCK J.E., SCHMITT, C.J., CHOJNACKI, K.A. & D.E. TILLITT. 2009. Environmental contaminants in freshwater fish and their risk to piscivorous wildlife based on a national monitoring program. Environmental Monitoring and Assessment 152: 469–494.

HINOJOSA-SÁEZ. A., GONZÁLEZ-ACUÑA, D. & M.G. NASCIMENTO. 2009. Parásitos metazoos de Anas georgica Gmelin, 1789 (Aves: Anseriformes) en Chile central:

especificidad, prevalencia y variaciones entre localidades. Revista Chilena de Historia Natural 82: 337-345.

ISANHART, J.P., PANDHER, K., MACRAE, R.K., COX, S.B. & M.J. HOOPER. 2001. Behavioral, Clinical, and Pathological Characterization of Acid Metalliferous Water Toxicity in Mallards. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 61:653–667.

JAKSIC, F.M. 1998. The multiple facets of El Nino/Southern Oscillation in Chile. Revista Chilena de Historia Natural 71: 121-131.

JAKSIC, F.M., FEISINGER, P. & J.E. JIMENEZ. 1993. A long-term study on the dynamics of guild structure among predatory vertebrates at a semi-arid Neotropical site. Oikos 67: 87-96.

JAKSIC, F.M., FEISINGER, P. & J.E. JIMENEZ. 1996. Ecological redundancy and long-term dynamics of vertebrates predator in semi-arid Chile. Conservation Biology 10: 252-262.

JAKSIC, F.M., SILVA, S.I., MESERVE, P.L & J.R. GUTIÉRREZ. 1997. A long term study of vertebrates predator responses to an El Niño (ENSO) disturbance in western South America. Oikos 71: 341-354.

JUNIOR, O.M. 2009. Impact of humanity on tropcial ecosystem: an overview (VOL II). Tropical biology and conservation management: Natural History of Tropical Plants, pp. 133–154. Eolss Publishers, Oxford.

KITULA, A.G.N. 2006. The environmental and socio-economic impacts of mining on local livelihoods in Tanzania: A case study of Geita District. Journal of Cleaner Production 14: 405-414.

KLOSKOWSKI, J. 2004. Food provisioning in red-necked grebes (Podiceps grisegena) at common carp (Cyprinus carpio) ponds. Hydrobiologia 525: 131–138,

KLOSKOWSKI, J., NIEOCZYM, M, POLAK, M. & P. PITUCHA. 2010. Habitat selection by breeding waterbirds at ponds with size-structured fish populations. Naturwissenschaften 97: 673–682.

KLOSKOWSKI, J. 2011. Consequences of the size structure of fish populations for their effects on a generalist avian predator. Oecologia 166: 517–530.

KULHANEK, S.A, LEUNG, B. & A. RICCIARDI. 2011. Using ecological niche models to predict the abundance and impact of invasive species: application to the common carp. Ecological Applications 21(1): 203–213.

LOUGHEED, V.L., CROSBIE, B. & P. CHOW-FRASER. 1998. Predictions on the effect of common carp (Cyprinus carpio) exclusion on water quality, zooplankton, and submergent macrophytes in a Great Lakes wetland. Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences 55:1189–1197.

LOWE, B., BROWNE, M., BOUDJELAS, S. & M. DE POORTER. 2004. 100 of the world's worst invasive alien species. The Invasive Species Specialist Group (ISSG) of the World Conservation Union (IUCN), Auckland, New Zealand.

MAGNUSON, J.J. 1993. Long term ecological research and the invisible present. Bioscience 49 (7): 495-501.

MESERVE, P.L., KELT, D.A., PREVITALI, A., MILSTEAD, W.B. & J.R. GUTIÉRREZ. 2011. Global climate change and small mammal populations in north-central Chile. Journal of Mammalogy, 92(6): 1223–1235.

MATSUZAKI, S.S., USIO, N. & N. TAKAMURA. 2009. Contrasting impacts of invasive engineers on freshwater ecosystems: an experiment and meta-analysis. Oecologia 158: 673–686.

MONTENEGRO, G., FREDES, C., MEJÍAS, E., BONOMELLI, C. & L. OLIVARES. 2009. Contenidos de metales pesados en suelos cercanos a un relave cuprífero chileno. Agrociencia 43: 427-435.

O'DONNEL, C. & B.J. FJELDSA (compilers). Grebes 1997. Status survey and conservation action plan. IUCN/SSC Grebe Specialist Group. IUCN gland, Switzerland and Cambridge. UK vii+59 pp.

OLGUIN, P.F., BELTZER, A.H., ATTADEMO, A.M. & A. PERCARA. 2011. Biología alimentaria de la gallareta chica (*Fulica leucoptera*) en el valle de inundación del río Paraná medio, Argentina. Revista Nodo 10: 5: 113-121.

PARKOS, J.J., SANTUCCI, V.J. & D.H. WAHL. 2003. Effects of adult common carp (*Cyprinus carpio*) on multiple trophic levels in shallow mesocosms. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 60:182–192.

PULLIAM, H.R. 1988. Sources, sinks and population regulation. American Naturalist 132: 652-661.

PRIESTLEY, M.B. 2006. The development and construction of general nonlinear models in time series analysis. Annals of the New York Academy of Sciences 452 (1): 296-304.

READ, J.L. 1999. A strategy of minimizing waterfolwl death on toxic waterbodies. Journal of Applied Ecology 36: 345-350.

REDMAN, L.C., GROVE, J.M. & L.H. KUBY. 2004. Integrating social science into the long-term ecological research (LTER) network: social dimensions of ecological change and ecological dimensions of social change. Ecosystems 7: 161-171.

RITTER, M.W. & T.M. SWEET. 1993. Rapid colonization of a human-made wetland by Mariana Common Moorhen on Guam. Wilson Bulletin 105 (4): 685-687.

SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería). 2007. Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves.

SKORIC, S., VISNJIC-JEFTIC, Z., JARIC, I., DJIKANOVIC, V., MICKOVIC, B., NIKCEVIC, M. & M. LENHARD. 2012. Accumulation of 20 elements in great cormorant (*Phalacrocorax*

carbo) and its main prey, common carp (*Cyprinus carpio*) and Prussian carp (*Carassius gibelio*). Ecotoxicology and Environmental Safety 80: 244–251.

THIRGOOD, S.J., MDUMA, S.A.R., KEYYU, J.D. & M. K. LAURENSON. 2007. Special Section: The value of long-term research: conservation science and practice in Tanzania. Conservation Biology 21 (3): 576–579.

VERMEER, K. & J.A.J THOMPSON. 1992. Arsenic and cooper residues in waterbirds and they food down inlet from the island cooper mill. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 44:733-738.

VILINA, Y.A. & H.L. COFRÉ. 2000. “El Niño” effects on the abundance and habitat association patterns of four Grebes species in Chilean wetlands. Waterbirds 23: 95–101.

VILINA, Y. & H. COFRÉ. 2008. Diversidad de especies de aves acuáticas continentales. EN: Biodiversidad de Chile: Patrimonio y Desafíos. CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente). Ocho Libros Editores, Santiago, 640 pp.

WAHL, D.H., WOL FE, M.D., SANTUCCI , J.R. & J.A. FREEDMAN. 2010. Invasive carp and prey community composition disrupt trophic cascades in eutrophic ponds. Hydrobiologia 678: 49–63.

ZAMBRANO, L. & D. HINOJOSA. 1999. Direct and indirect effects of carp (*Cyprinus carpio* L.) on macrophyte and benthic communities in experimental shallow ponds in central Mexico. Hydrobiologia 408:131–138.

6. ANEXO FOTOGRAFÍAS.

Fotografía N° 1. Visión general del área de estudio al interior del fundo Rinconada de Huechún, propiedad de Codelco Chile División Andina (año 2005).

Fotografía N° 2. Punto de Conteo Torre de Captación (año 2011).

Fotografía N° 3. Punto de Conteo Muro de Contención (año 2005).

Fotografía N° 4. Punto de Conteo Casas Ovejería (año 2005).

Fotografía N° 5. Vista en el tranque de relaves Ovejería sobre bote (año 2005).

Fotografía N° 6. La huala, *Podiceps major,* individuos adulto en el área correspondiente a Torre de Captación.

Fotografía N° 7. El picurio, *Podilymbus podiceps*, la fotografía muestra algunos ejemplares de los pocos individuos registrados en el tranque Ovejería

Fotografía N° 8. El pimpollo, *Rollandia rolland*, habitante regular, principalmente frecuente durante los primeros años de funcionamiento del tranque del Ovejería.

Fotografía N° 9. El blanquillo, *Podiceps occipitalis*, habitante regular durante los primeros años de funcionamiento del tranque del Ovejería

Fotografía N° 10. El cormorán o pato yeco, *Phalacrocorax brasilianus*, abundante y residente posterior a la introducción de *Cyprinus carpio.*

Fotografía N° 11. El cormorán o pato yeco, *Phalacrocorax brasilianus*, comienza a nidificar en forma abundante en razón de la presencia de *Cyprinus carpio* (año 2011).

Fotografía N° 12. La garza cuca, *Ardea cocoi*, especie frecuente pero poco abundante en el tranque de relaves Ovejería.

Fotografía N° 13. El huairavo, *Nycticorax nycticorax*, especie abundante a partir de la introducción de *Cyprinus carpio*.

Fotografía N° 14. La garza grande, *Casmerodius albus*, especie poco frecuente y poco abundante, pero presente en mayor número de individuos a partir de la introducción de *Cyprinus carpio*.

Fotografía N° 15. El pato gargantillo, *Anas bahamensis*, a la izquierda de un conjunto de patos jergones, abundante durante los primeros años de funcionamiento del tranque Ovejería.

Fotografía N° 16. El pato cuchara, *Anas platalea*, abundante durante los primeros años de funcionamiento del tranque Ovejería, hasta antes de la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano del año 2005.

Fotografía N° 17. El pato rana, *Oxyura vittata*, a la izquierda de un conjunto de tagüas, que experimento la disminución de su población a partir de la introducción de *Cyprinus carpio* en el verano del año 2005.

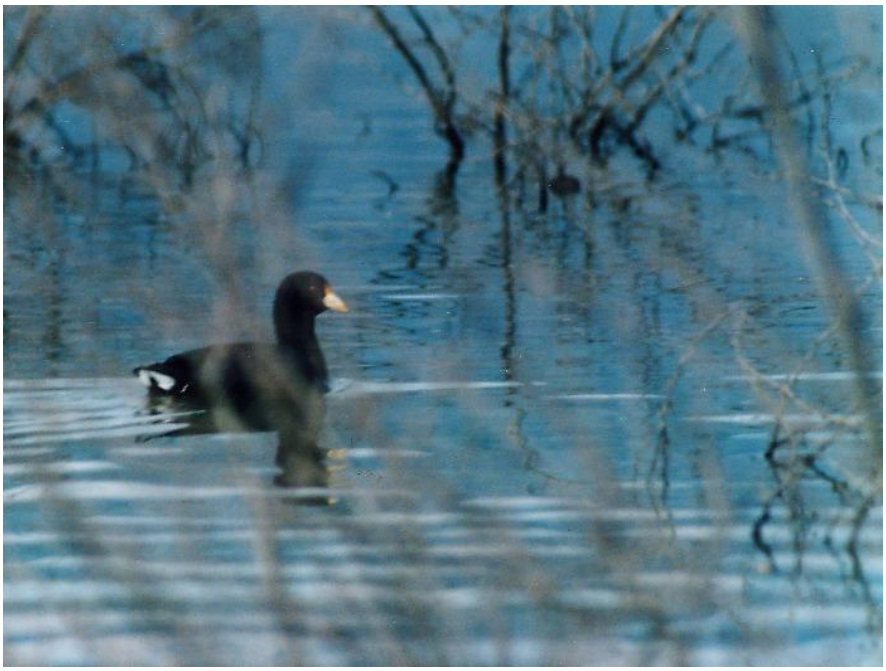
Fotografía N° 18. Dos individuos de pato jergón, *Anas georgica*, junto a un individuo de pato colorado, *Anas cyanoptera*; mientras la primera fue la principal abundancia entre los Anátidos, la segunda fue escasa y poco frecuente.

Fotografía N° 19. La tagüita, *Gallinula melanops*, especie frecuente durante los primeros años de funcionamiento del tranque Ovejería, asociado al pajonal del sector de Torre de Captación.

Fotografía N° 20. La tagüa común, *Fulica armillata*, la especie de la familia Rallidae más frecuente del tranque de relaves Ovejería.

Fotografía N° 21. La gaviota cahuil, *Larus maculipennis*, en el borde arenoso del tranque de relaves Ovejería.

Fotografía N° 22. El pato negro, *Netta peposaca*, una de las especies menos abundantes y poco frecuentes de la comunidad de aves acuáticas.



Fotografía N° 23. La tagüa de frente roja, *Fulica rufifrons*, otra de las especies menos abundantes y poco frecuentes de la comunidad de aves acuáticas del tranque de relaves Ovejería.

Fotografía N° 24. La gaviota dominicana, *Larus dominicanus*, especie poco frecuente y visitante de verano en el tranque de relaves Ovejería.

Fotografía N° 25. El queltehue, *Vanellus chilensis*, especie muy abundante en las playas arenosas del sector de muro de contención en el tranque de relaves Ovejería.