

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**EFFECTOS DE LA EUTROFIZACIÓN EN EL HÁBITAT DE LA BAHÍA DE
PUNO, EN LA DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA DE AVIFAUNA DEL LAGO
TITICACA.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Br. YANETH FAVIOLA VASQUEZ TURPO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PUNO - PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



EFFECTOS DE LA EUTROFIZACIÓN EN EL HÁBITAT DE LA BAHÍA DE PUNO, EN LA DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA DE AVIFAUNA DEL LAGO TITICACA.

TESIS

PRESENTADA POR:

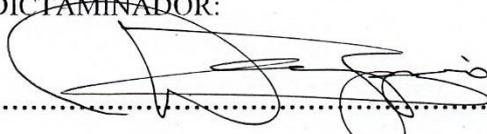
Br. YANETH FAVIOLA VASQUEZ TURPO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

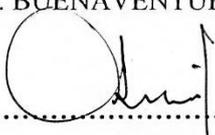
APROBADO POR EL JURADO DICTAMINADOR:

PRESIDENTE

: 

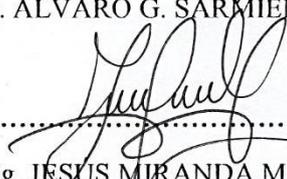
M.Sc. BUENAVENTURA O. CARPIO VÁSQUEZ

PRIMER MIEMBRO

: 

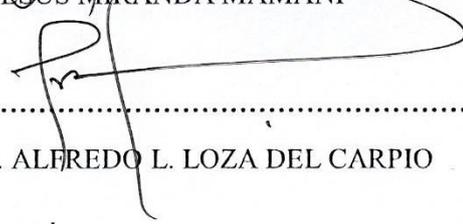
Dr. ÁLVARO G. SARMIENTO MENA

SEGUNDO MIEMBRO

: 

Mg. JESUS MIRANDA MAMANI

DIRECTOR

: 

M.Sc. ALFREDO L. LOZA DEL CARPIO

ÁREA

: ECOLOGÍA

TEMA

: DIVERSIDAD BIOLÓGICA

DEDICATORIA

Al creador del universo Dios, por la gran oportunidad de seguir con vida y llegar a realizar una de mis más anheladas metas.

A mis queridos padres Gregorio Vasquez y Carmen Turpo quienes supieron guiarme siempre por el mejor camino que se debe seguir en cada una de las etapas de mi vida, sin evitarme tropiezos, pero dándome valor para superarlos, hasta llegar a convertirme en lo que ahora soy. Por siempre todo mi amor, admiración y respeto.

A mis hermanos Fiorella, Michael y Lenin, quienes en todo momento me brindaron su apoyo incondicional en mi formación personal y profesional.

Yaneth F. Vasquez

AGRADECIMIENTO

Con enorme gratitud a los docentes de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, quienes me impartieron sus conocimientos durante mi estancia en las aulas universitarias y en mi formación profesional.

Un reconocimiento y gratitud especial al Mg. Sc. Alfredo Ludwing Loza del Carpio mi director de tesis, por su asesoría, su constante paciencia, comprensión, orientación, sus valiosas recomendaciones y aportaciones que me brindo durante la ejecución, desarrollo y culminación de mi investigación.

Al instituto del Mar del Perú – Laboratorio Continental Puno. Por las facilidades que brindaron para cumplir esta meta.

Un reconocimiento a los miembros del jurado revisor: M. Sc. Buenaventura O. Carpio Vásquez, Dr. Álvaro G. Sarmiento Mena y Mg. Jesús Miranda Mamani, quienes con sus conocimientos y sugerencias aportaron en la realización de mi investigación.

Al Dr. Angel Canales Gutierrez y M. Sc. Gilmar Goyzueta Camacho por su enseñanza motivación y apoyo incondicional durante mi formación profesional y ejecución de mi investigación.

A todos mis amigos y amigas, quienes me compartieron su amistad y compañerismo en la vida universitaria

Yaneth F. Vasquez

INDICE

Resumen

I. INTRODUCCIÓN	9
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Antecedentes	11
2.2. Marco teórico	13
2.2.1. Ecología de las aves	13
2.2.2. Morfología	13
2.2.3. Importancia del estudio de las aves	14
2.2.4. Humedales hábitats de aves	14
2.2.5. Características de hábitat del lago Titicaca para las aves	15
2.2.6. Características de las principales aves del lago Titicaca	15
2.2.7. Tipos de diversidad biológica	17
2.2.8. Ecología de poblaciones y comunidades	19
2.2.9. La contaminación y eutrofización	20
2.2.10. Lago Titicaca	21
2.3. Marco conceptual	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Área de estudio	24
3.2. Tipo de estudio	25
3.3. Población y muestra	25
3.4. Materiales	25
3.5. Metodología de la investigación	26
3.6. Método estadístico	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES	49
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	50

Anexo

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índices de biodiversidad alfa.....	18
Tabla 2. Zonas de macrófitas acuáticas correspondientes a Perú y Bolivia.	21
Tabla 3. Criterios de la OECD (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) para la clasificación de los lagos	22
Tabla 4. Especies de aves registradas en la bahía del lago Titicaca de Puno, septiembre 2015- enero 2016.	31
Tabla 5. Riqueza de especies de aves en las dos zonas de estudio de la bahía de Puno, septiembre 2015- enero 2016.	33
Tabla 6. Índice de diversidad de Simpson y Shannon Weaner para las dos zonas de estudio, Puno septiembre 2015- enero 2016.	36
Tabla 7. Índices de similitud de Sorensen y Morisita entre las zonas de la BIP y Ojerani, Puno septiembre 2015- enero 2016.	37
Tabla 8. Abundancia porcentual de individuos por especie en la BIP y Ojerani zonas de estudio de la bahía del lago Titicaca de Puno, septiembre 2015- enero 2016....	38
Tabla 9. Densidad poblacional de la avifauna en dos zonas del lago Titicaca en individuos/ha (promedio \pm error estándar).	42
Tabla 10. Densidad poblacional de la avifauna mensual de la bahía del lago Titicaca en individuos/ha (promedio \pm error estándar).	43
Tabla 11. Especies de vegetación macrófito observados en las zonas de estudio, septiembre 2015 – enero 2016.	44
Tabla 12. Resultados de los datos en promedio de los parámetros físico-químicos del agua en las zonas de estudio, septiembre 2015- enero 2016.	46
Tabla 13. Correlación de avifauna y los parámetros del agua de la bahía interior de Puno del lago Titicaca, septiembre 2015 - enero 2016.	47
Tabla 14. Ficha de toma de datos de campo de la avifauna de la bahía de Puno.....	55
Tabla 15. Análisis de componentes principales de los diferentes variables con aplicación del Software InfoStat versión 2013 I.	56
Tabla 16. Coeficiente de correlación de los parámetros del agua y la densidad, abundancia y riqueza de aves, aplicando el Software InfoStat versión 2013 I.	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio: bahía del lago Titicaca de Puno mostrando la ubicación de las zonas de estudio y sus respectivos puntos de conteo.....	25
Figura 2. Contraste de Duncan ($gl=1,4$; $\alpha= 0.05$), para encontrar diferencias del número de especies de avifauna entre la BIP y Ojerani, septiembre 2015 – enero 2016.....	34
Figura 3. Promedio de riqueza de especies mensuales en la BIP y Ojerani, septiembre 2015- enero 2016.....	35
Figura 4. Contraste de Duncan ($gl = 1,4$; $\alpha = 0.05$) para encontrar diferencias del número de especies de avifauna entre los meses de evaluación en la bahía de Puno (septiembre 2015 – enero 2016).....	35
Figura 5. Contraste de Duncan ($gl=1,4$; $\alpha = 0.05$) para encontrar diferencias de la abundancia de avifauna entre BIP y Ojerani, septiembre 2015 – enero 2016.	39
Figura 6. Promedio del número de individuos por meses de evaluación en la BIP y Ojerani, septiembre 2015- enero 2016.	40
Figura 7. Contraste de Duncan ($gl=1,4$; $\alpha = 0.05$) para encontrar diferencias de la abundancia de avifauna entre los meses de evaluación en la bahía de Puno, septiembre 2015 – enero 2016.	40
Figura 8. El grafico muestra los porcentajes de la densidad de los especies con mayor tamaño poblacional. A). Ojerani y B). Bahía Interior de Puno.....	43
Figura 9. Componentes principales y su asociación con los diferentes variables, septiembre 2015 – enero 2016.	47
Figura 10. Zona de la bahía interior de Puno. A) Punto 1, B) Punto 2, C) Punto 3.	58
Figura 11. Zona de estudio de Ojerani. A) Punto 1, B) Punto 2, C) Punto 3.	59
Figura 12. Observación y conteo de la avifauna.....	60
Figura 13. Comunidad de aves en la bahía interior de Puno	60
Figura 14. Secado de <i>Schoenoplectus tatora</i> (totora) para diversas actividades en Ojerani.....	61
Figura 15. Ingreso directo de aguas residuales a la bahía interior de Puno.....	61
Figura 16. Residuos sólidos en la bahía interior de Puno.....	62

Resumen

La investigación se realizó en la bahía de Puno del lago Titicaca. Entre los meses de septiembre del 2015 a enero del 2016, con el objetivo de determinar los efectos de la eutrofización, en la diversidad y abundancia de la avifauna, y caracterizar el hábitat para la avifauna de la bahía de Puno. En las dos zonas de estudio (bahía interior de Puno y Ojerani), se aplicó el método de puntos de conteo; así mismo se caracterizó el hábitat, mediante la observación de vegetación acuática y análisis de los parámetros físico-químicos. Se registró un total de 28 especies, pertenecientes a 15 familias y 7 órdenes; donde se encontró una diferencia significativa en el número de especies entre las zonas de estudio y los meses de evaluación ($F = 16.86$; $P = 0.015$; $gl=1,4$ y $F = 30.19$; $P = 0.003$; $gl = 4,4$), respectivamente, y también hay una diferencia en la abundancia de individuos entre las zonas y los meses de evaluación ($F = 16.15$; $P = 0.016$; $gl = 1,4$ y $F = 13.35$; $P = 0.014$; $gl = 4,4$). La bahía interior presentó una densidad poblacional de 379.7 ind/ha que es superior a la zona de Ojerani 326.2 ind/ha. El índice de similitud de Sorensen en promedio es 0.76 y así mismo el valor del índice de similitud de Morisita en promedio es 0.72. Las zonas de estudio son diferentes en composición de vegetación de macrófitas. Las concentraciones de: 1.2 mg/L de fosfato y 32.6 mg/m³ de clorofila-a, se mostraron por encima del valor de los ECA-agua 0.4 mg/L y 10 mg/L consecuentemente, la presencia alta de estos parámetros contribuye al proceso de eutrofización de la bahía interior; sin embargo en la zona de Ojerani es 0.21 mg/L de fosfato y 2.13 mg/m³ de clorofila-a. Según el coeficiente de correlación hay una asociación alta entre la riqueza y nitratos 0.95. En conclusión la riqueza de especies en las zonas de estudio son similares, mientras que la, mayor abundancia se encuentra en la bahía interior; así mismo la vegetación acuática y los parámetros físico-químicos son relevantes para la determinación de la riqueza de especies y sus poblaciones.

PALABRAS CLAVE: Abundancia, avifauna, diversidad, eutrofización y parámetros.

I. INTRODUCCIÓN

Las aves conforman grupos importantes dentro de los diferentes ecosistemas de todas las regiones del mundo, esto se debe a las notables funciones que realizan los mismos, como: controladores biológicos, diseminadores de semillas, polinizadores, y como parte del equilibrio ecológico e indicadores biológicos del estado de los ecosistemas naturales, dando aviso anticipado de cambios ambientales que pueden resultar dañinos para la humanidad (Miranda, 1995; Espejo, 2000; Rojas, 2002 y Álvarez, 2014). La diversidad de aves residentes y migratorias en los Andes del Perú, se encuentran habitando los ambientes acuáticos o humedales. Por lo tanto los ecosistemas acuáticos constituyen soportes para las aves, cuyas magnitudes poblacionales se regulan de acuerdo a la capacidad biótica de producción del medio ambiente (Miranda, 1995 y Espejo, 2000).

Goyzueta (2005) que los ecosistemas acuáticos son los más amenazados del mundo que reciben una serie de impactos ambientales negativos. Estos ecosistemas son muy importantes por ser considerados como fuentes de una importante diversidad biológica, reservorios de agua, proveer recursos importantes para las poblaciones locales, y cumplir diversas funciones ecosistémicas (Blanco *et al.*, 2001 y Álvarez, 2014). La producción primaria de estos ecosistemas los hace esenciales para una variedad de especies animales y vegetales que dependen de ella para su subsistencia, ya sea de manera permanente o esporádica, y son además importantes depósitos de material genético (Goyzueta, 2005 y Goyzueta *et al.*, 2009).

Sin lugar a dudas las especies animales más características de los humedales son las aves acuáticas, las cuales utilizan los humedales como lugares de descanso, alimentación y refugio (Goyzueta, 2005). Tabilo *et al.*, (1996) y Torres *et al.*, (2006) manifiestan que los aves por estar en los niveles superiores de la cadena trófica, ser especialistas y altamente sensibles a cambios ambientales, son buenas indicadoras de la calidad del ambiente, de los cambios ambientales y de las perturbaciones o como indicadores biológicos y climáticos. Las características del ciclo de vida anual de un ave las hace muy vulnerables al deterioro ambiental (Tabilo *et al.*, 1996).

La riqueza y abundancia de aves está asociada a las características ambientales tales como el régimen hidrológico, el tamaño del hábitat, heterogeneidad del sitio y la estructura de la vegetación (Torres, 2007). Cualquier alteración de estas características

pone en riesgo el éxito reproductivo y la sobrevivencia de estas especies (Maldonado, 2006 y Torres, 2007).

Uno de los principales problemas de los humedales, a nivel de Perú y el mundo son las actividades humanas de las áreas rurales y urbanas que causan un deterioro de estos ecosistemas (Miranda, 1995 y Ayala *et al.*, 2013). El lago Titicaca no es ajeno a esta problemática, puesto que considerando el acelerado crecimiento demográfico de varias poblaciones ribereñas y el aumento del turismo no planificado en la región, se ha incrementado significativamente la cantidad de residuos contaminantes que se descargan a las aguas del Titicaca (Fonturbel, 2003; Fonturbel, 2005 y Goyzueta, 2005). La bahía de Puno se encuentra inmerso a este problemática ambiental en donde la calidad del agua viene siendo degradada, por consecuente la perdida de hábitats, la disminución de alimento base para las aves, sitios de importancia de los que dependen para reproducirse y refugiarse las aves; según Pineda 1997), estos factores afectan de manera adversa a los aves; por ser una zona eutrofizada, causado por el ingreso de aguas servidas de la ciudad de Puno sin ningún tratamiento. Tabilo *et al.*, (1996); Fonturbel (2005); Gamarra (2006); Angles (2007); Goyzueta *et al.*, (2009) y Beltran *et al.*, (2015), indican que este deterioro medioambiental produce disminución de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos, en la que se presenta dominancia de especies generalistas y tolerantes, las cuales desplazan a las especies nativas (Ampan, 2000 y Habit *et al.*, 2005).

Los objetivos planteados fueron:

Objetivo general

- Evaluar los efectos de la eutrofización en el hábitat de la Bahía de Puno, en la diversidad y abundancia de avifauna del lago Titicaca.

Objetivos específicos

- Determinar los efectos de la eutrofización en el hábitat de la Bahía de Puno, en la diversidad y abundancia de avifauna del lago Titicaca.
- Caracterizar el hábitat para la avifauna de la Bahía de Puno del lago Titicaca.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes

En los estudios de diversidad y abundancia de aves, (Amparan, 2000), identifica 44 especies, pertenecientes a 12 familias en la laguna de Zapotlán, México, donde la familia mejor representada por su número de especies es Anatidae con 11 especies; así mismo la mayor riqueza de especies se observa en los meses de diciembre y enero, debido a la presencia de especies migratorias. En la planicie lacustre de Chalco, México determinaron 86 especies de aves, en donde se manifiesta el crecimiento de asentamientos humanos irregulares ha provocado que se depositen a la laguna desechos sólidos, aguas residuales y agroquímicos, que posiblemente provocan cambios sustanciales en la calidad de la laguna como hábitat (Ayala *et al.*, 2013).

Rodrigo *et al.*, (1998), en la laguna de Punta de Teatinos y ecosistemas adyacentes, de Chile, registró un total de 130 especies de aves, pertenecientes a 15 órdenes y 35 familias, la mayoría son provenientes del norte, centro y sur de Chile y seguidamente del hemisferio norte. Del total, 14 especies (10,8%) tienen problemas de conservación, especialmente por deterioro de la calidad de su hábitat.

La diversidad de aves para las lagunas de la subregión de Puno (Miranda, 1995), registró 43 especies de aves pertenecientes a 21 familias y 10 órdenes, así mismo indica una similitud de 0.85 entre las lagunas la Calzada y Saytocochoa, y la mayor diversidad para la laguna Saytocochoa con un valor de 0.87. Por otro lado en la Laguna Colorada de Lampa, Puno, registraron 22 especies de aves pertenecientes a 8 órdenes y la especie con mayor número de individuos fue *Fulica americana* (Espejo, 2000).

Álvarez (2014), para los humedales Chijos, Huayllani y Qalacruz del distrito de Putina, Puno, registra 48 especies agrupadas en 20 familias, en la que muestra mayor diversidad para el Huayllani con un valor de 3.06 y el humedal menos diverso es el humedal Chijos con 2.46 en promedio.

En 3 sectores de la bahía interior de la ciudad de Puno, la especie con mayor tamaño poblacional fue *Oxyura jamaicensis* (403,4 individuos), en el sector espinar según (Coila, 2000), así mismo encontró una diferencia significativa entre especies y entre sectores, donde $p < 0.05$. Sin embargo, para el sector Ramis de la Reserva Nacional del Titicaca (Rojas, 2002), identifica un total de 42 especies, donde la especie con mayor

número de individuos es *Anas flavirrostris*, con un estimado de 3182, de igual forma encuentra la mayor diversidad de avifauna en la zona C, en la comunidad de Jatun isla con 35 especies ($H' = 1.079$; $SI' = 0.874$), y menor diversidad en la laguna de Yanaoco con 32 especies ($H' = 1.038$; $SI' = 0.59$), que constituye el principal área de perturbación antropogénica.

Para la zona de influencia de la laguna de estabilización de Puno, (Gamarra, 2006), reportó un total de 17 especies con una abundancia de 1860 individuos avistados, teniendo como mayor índice de diversidad para la zona I ($SI' = 0.83$) y el menor valor para la zona IV ($SI' = 0.45$); del mismo modo se considera la zona III la más intervenida y con mayor influencia de las aguas residuales provenientes de la laguna de oxidación. Para los alrededores de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno registraron 39 especies de aves, 21 familias y 8 órdenes; así mismo manifiestan que existe diferencia de la diversidad y abundancia de aves entre los hábitats de los alrededores de la laguna de estabilización de Puno debido a la fuerte contaminación por las descargas de aguas servidas, y residuos sólidos (Mamani y Pari, 2014).

La vegetación acuática y los parámetros físico-químicos son relevantes para la determinación de la riqueza de especies y sus poblaciones. Al respecto (Carpio, 1989), en su estudio sobre la distribución y abundancia de macrófitos litorales, reporta a las siguientes especies para la bahía interior de Puno: *Cladophora sp.*, *Elodea potamogeton*, *Potamogeton strictus*, *Myriophyllum elatinoides*, *Schoenoplectus tatora*, *Lemna gibba*, *Hidrocotile ranunculoides*. Sin embargo en 6 zonas del lago Titikaka (La Paz, Bolivia), la zona 3 presentó mayor grado de eutrofización, donde el 35% de la superficie está cubierta por *Lemna minor* y *Azolla sp.*, así mismo presenta aguas turbias de muy mal olor y con un pH de 7.2; a diferencia de la zona 5 que presenta poca cantidad de *Azolla sp* y *Lemna sp* <10%, abundante cobertura de vegetación sumergida como *Chara sp* y *Potamogeton pectinatu*, poco fitoplancton, aguas claras y limpias (Fontúrbel, 2003), la proliferación de *Lemna gibba* y *Nasturtium officinale* son un claro indicador del avance del proceso eutrófico (Fontúrbel, 2005).

La eutrofización modifica los ecosistemas acuáticos, propiciando la baja diversidad de especies de aves acuáticas y grandes cambios en la vegetación acuática, al respecto (Pineda, 1997), para la bahía interior de Puno determinó la transparencia del agua que fluctúa entre 0.80 m y 1.10 m, el promedio de oxígeno fue de 7.2 ppm en la superficie y

de 5.5 ppm a 3 m de profundidad. Al respecto (Beltrán *et al.*, 2015), indica que el área próxima a la salida de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno, es una zona crítica de contaminación en la bahía interior de Puno. Ya que la transparencia del agua en promedio es 1.4 m, lo cual son valores bajos, la conductividad eléctrica del agua tiene valores elevados; el valor de pH en promedio es de 9.4. De los nutrientes a nivel superficial de la columna de agua, indican para nitratos un promedio de 0.13 mg/L, para nitritos un promedio de 0.07 mg/L, y para fosfatos un promedio de 1.03 mg/L. Los resultados de los datos físicos y químicos indican que la bahía interior de Puno se encuentra eutrofizada, cuya gradiente de contaminación de la bahía interior de Puno, es alta según los datos (Angles, 2007).

Álvarez (2014), manifiesta que los parámetros físico-químicos básicos de los humedales Chijos, Huayllani y Qalacruz del distrito de Putina, Puno, tienen un rango de 7.0 - 8.5 de pH; el O₂ disuelto en el humedal Huayllani muestra valores de 1.9 - 2.9 mg/L y el humedal Qalacruz con 1.2 - 4.8 mg/L, la cual no es aceptable para el desarrollo de la vida acuática, estos resultados indican que las actividades antrópicas (ganadería, contaminación por residuos sólidos, excretas, y entre otros) están ocasionando cambios en estos humedales.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Ecología de las aves

Las aves, forman una Clase dentro de los vertebrados, donde muchas especies han ido extinguiéndose, al mismo tiempo otras se adaptaron a nuevas situaciones. En la actualidad estos fenómenos se observa con relación a los nuevos ambientes que el hombre va modificando muchas veces de manera imprevista. De las aproximadamente 9020 especies de aves conocidas, Perú alberga unas 1800 debido a su variedad de ambientes, el segundo lugar en el mundo después de Colombia (Walker y Fjeldsa, 2002); Sin embargo, esta cifra no puede considerarse como definitiva, ya que prácticamente cada año se descubren nuevas especies (Gonzales *et al.*, 1998).

2.2.2. Morfología

Las aves se caracterizan por tener el cuerpo parcialmente cubierto de plumas. El vuelo, aunque no es exclusivo de las aves, es una función que en ellas depende principalmente de las plumas. Muchas aves debido a ciertos cambios, no tienen condiciones para volar

libremente. Sin embargo, tienen desarrollado otros órganos que les permiten actuar en el medio en que viven como: correr, nadar o zambullirse. Por lo demás, sus características morfológicas están estrechamente ligadas a su forma de vida como: el pico, forma del cuello, patas, coloración del plumaje, etc. (Walker y Fjeldsa, 2002).

2.2.3. Importancia del estudio de las aves

La importancia de las aves tiene significados diferentes; lo más importante es que desempeñan un papel un importante en el equilibrio de la naturaleza, también pueden representar otras fuentes de inmenso valor económico como por ejemplo el guano depositado en ciertas islas y utilizado como fertilizante agrícola (Walker y Fjeldsa, 2002). Las aves son buenas indicadores del ambiente, debido a que detectan cambios ambientales en los diferentes tipos de hábitats. Cualquier alteración de estas características pone en riesgo el éxito reproductivo y la sobrevivencia de estas especies (Torres, 2007). En general, la avifauna del Perú se agrupa en cuatro categorías: del mar, de la costa, de la sierra y de la selva, pero cada una de ellas contiene una gran variedad de hábitats, que a su vez pueden dividirse en micro hábitats, es lo que permite la existencia de una de las mayores diversidades de especies, dando lugar a la más densa coexistencia de especies de aves en el mundo (O'Neill, 1983).

2.2.4. Humedales hábitats de aves

La Convención Ramsar, o convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (como hábitat de aves acuáticas), define a los humedales como “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas (Blanco, 1998). Siendo estos ecosistemas los más productivos del planeta y son fuentes de diversidad biológica, pues aportan el agua y la productividad. Los humedales ofrecen a las aves acuáticas refugios, alimento y entre las funciones ecológicas más importantes sirven para la nidificación y alimentación (Blanco y Carbonell, 2001), Así mismo, muchos de estos ecosistemas proveen de una serie de productos para la subsistencia del poblador rural, no solo utilizando como fuente de agua, sino para la extracción de materiales de construcción (junco y totora) o alimentos (Goyzueta, 2005).

Los humedales son los ecosistemas que presentan mayor alteración quedando muy pocos en los últimos años, brindan alimento y constituyen un lugar de descanso y reproducción para la avifauna residente, las aves migratorias la usan como lugar de descanso y alimentación (Obando *et al.*, 2003).

2.2.5. Características de hábitat del lago Titicaca para las aves

Hábitat se define al conjunto de recursos físicos y biológicos que posibilitan la ocupación de un organismo determinado. Dichos recursos incluyen la disponibilidad de alimento, sitios de descanso, así como cualquier otro componente que sea necesario para la sobrevivencia y el éxito reproductivo de la especie (Hall *et al.*, 1997).

Los totorales y llachales del lago Titicaca son áreas de gran importancia para las aves acuáticas, como su principal hábitat, siendo primordial durante todo el año para las aves residentes y parte del año para las migratorias; en las aguas de poca profundas, al igual que las playas ribereñas fangosas y terrenos circundantes planos, permite la concentración de una gran variedad y miles de aves silvestres (Goyzueta *et al.*, 2009). El alimento para las aves es obtenido fácilmente, ya que existe una alta productividad de macrófitas acuáticas, peces, artrópodos, moluscos, crustáceos, platelmintos, anélidos, insectos, etc. (Goyzueta, 2005).

2.2.6. Características de las principales aves del lago Titicaca

“Polla del agua” *Gallinula chloropus*

Esta ave es muy común en Sudamérica, está adaptada a la costa, sierra e incluso a la Amazonia. Se alimenta mientras nada. Superficialmente similar a una gallareta pequeña, pero de porte más ligero y, cuando nada, mantiene la cola más arriba del cuerpo. En todas las edades presentan una línea blanca a los dos lados del cuerpo. El canto es un cacareo áspero, que se desacelera y desciende en tono. Llamadas un “¡PIIK!” agudo (Schulenberg *et al.*, 2010).

“Gallareta andina” *Fulica ardesiaca*

Es la gallareta más común y ampliamente distribuida; en casi toda la costa y los Andes, en pantanos y lagos. Se congregan en bandadas. Plumaje gris tizado, con muy poco o nada de blanco en las subcaudales. Una sola combinación de color de pico y escudo, se suele ver más aves con escudo castaño y pico amarillo. Juvenil gris claro con pico apagado. “tics” secos de llamada (Schulenberg *et al.*, 2010).

“Zambullidor del Titicaca” *Rollandia microptera*

Ave endémica del Titicaca (única del mundo), constituye el zambullidor más grande del humedal, mide aproximadamente 40 cm, sus poblaciones tienen una disminución

significativa, porque ellos muchas veces llegan a enredarse y ahogarse en redes de los pescadores; la contaminación también es una amenaza que fragmenta su hábitat. Se encuentra en lugares profundos, se alimenta principalmente de peces pequeñas e incuba sobre las llachales. El color de la cabeza y dorso es café oscuro con jaspes negros, teñido de color rojizo el cuello y pecho, el vientre color blanquecino, pico grande y amarillento (Schulenberg *et al.*, 2010).

“Zambullidor pinpollo” *Rollandia rolland*

Ampliamente distribuido en la costa y los Andes, por encima de 3200 m. Los adultos tienen la cara clara que contrastan con el resto de la cabeza y el cuello. Juvenil sin mechones blanquecinos en mejillas y con líneas blanquinegras en los lados de la cara. Aparentemente el canto es una serie de gemidos (rara vez oído) (Schulenberg *et al.*, 2010).

“Pato pana” *Oxyura jamaicensis*

Bastante común en los Andes y en la costa, 2800 - 4500 m. Relativamente corpulento y cuello grueso. El macho es el único pato de pico azul brillante y cabeza negra común y de amplia distribución; hembra muy opaca; reconocida mejor por la forma característica del cuerpo. Usualmente silencioso. La llamada del macho durante la exhibición es una serie con ritmo similar a un motor de dos tiempos que termina en un graznido (Schulenberg *et al.*, 2010).

“Pato colorado” *Anas cyanoptera*

Común en pantanos costeros, al menos hasta Lambayeque en el norte. También común en lagos y pantanos en el sur de los Andes, 3200 – 4400 m, pero visitante raro en el lago Junín. Tamaño mediano. Macho castaño en plumaje altermo inconfundible con motas y listas negras; algunos tienen motas negras dispersas en los flancos. La hembra es el pato marrón rojizo de pico negro más común; macho “eclipse” similar pero más bermejo y con iris rojo. (Schulenberg *et al.*, 2010).

“Pato puna” *Anas puna*

Común y ampliamente distribuido en los Andes, 3000 – 4600 m, en lagos y pantanos; divagante raro en la costa. Gregario. Notar pico azul brillante, birrete oscuro y mejillas y garganta blancas. Llamada compuesta por prolongados graznidos quejumbrosos (Schulenberg *et al.*, 2010).

“Pato sutro” *Anas flavirostris*

Ampliamente distribuido en los Andes, por encima de los 2800, en lagos, ríos y pantanos; también divagante raro en la costa. Pequeño de color marrón grisáceo, el pico es amarillo con línea longitudinal negra al medio, las patas son de color café amarillento. Las llamadas incluyen un claro silbido ascendente (macho) y graznidos (hembra) (Schulenberg *et al.*, 2010).

“Pato jerga” *Anas geórgica*

Bastante común en los lagos y pantanos de los Andes, 3200 – 4400 m; residente local en la costa sur y divagante raro en la costa central y norte. Se encuentran en bandadas pequeñas. Cuello largo y esbelto y cola relativamente larga y puntiaguda. Fácilmente reconocible por su forma, cabeza pálida y pico amarillo. Las llamadas incluyen un gorjeo corto a manera de campana (macho) y un graznido bronco gruñón (hembra) (Schulenberg *et al.*, 2010).

2.2.7. Tipos de diversidad biológica**Diversidad alfa**

La diversidad alfa es el número de especies presentes en un lugar, que se asocia con factores ambientales. El índice de diversidad está formado por dos componentes: el número de especies o riqueza de especie y la abundancia o equilibrio. La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea (Moreno, 2001).

Tabla 1. Índices de biodiversidad alfa

	Índices	Riqueza de especies Margalef Menhinick Alfa de Williams
	Rarefacción	
RIQUEZA ESPECÍFICA	Funciones de acumulación	Logarítmica Exponencial De Clench
	Métodos no paramétricos	Chao 2 Jacknife de 2° orden Jacknife de 1° orden Bootstrap
	Modelos paramétricos	Serie geométrica Serie logarítmica Distribución log-normal Modelo de vara quebrada
	Modelos no paramétricos	Chao 1 Estadística Q
ESTRUCTURA	Índices de abundancia proporcional	Índices de dominancia Simpson Serie de Hill Berger-Parker Mcintosh
	Índices de equidad	Shannon-Wiener Pielou Brillouin Bulla Equidad de Hill Molinari

Fuente: Moreno (2001).

Medición de abundancia proporcional

Índice de Simpson

$$\lambda = 1 - \sum (p_i)^2$$

Dónde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

La interpretación de λ , es la probabilidad de un encuentro intraespecífico. O sea la probabilidad de que si tomas dos individuos al azar de la comunidad, ambos sean de la misma especie. Mientras más alto es esta probabilidad, menos diverso es la comunidad (Colwell y Coddington 1994).

Índice de Shannon

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dónde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988).

Diversidad beta

La diversidad beta mide el recambio entre las especies dos tipos de comunidad o paisajes. Diversidad beta considera la tasa o grado de cambio en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje. (Moreno, 2001).

Diversidad gamma

La diversidad gamma representa la heterogeneidad del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta (Moreno, 2001).

2.2.8. Ecología de poblaciones y comunidades

La ecología estudia las interrelaciones de los seres vivos con su entorno. Pero como es imposible estudiar todas las interrelaciones del planeta, se estudian principalmente tres niveles de integración: Ecosistema es el concepto más amplio de los tres, abarca comunidades y dentro de ellas poblaciones. Las poblaciones a su vez están conformadas por individuos. (Lugo y Morris, 1982).

La comunidad es el conjunto de poblaciones que viven en un área o hábitats dados y que interactúan entre sí (Odum, 1973). Se han medido y estudiado cinco características

tradicionales de las comunidades, estas son: diversidad de especies, estructura y formas de crecimiento, predominio, abundancia relativa y estructura trófica. Estos atributos son susceptibles de estudio en las comunidades que están en equilibrio o las que se encuentran en cambio (Krebs, 1985).

La población es el grupo de organismos de la misma especie que ocupan un determinado lugar en un momento específico. Los elementos fundamentales de la población son los organismos individuales (Odum, 1973). Dentro de las características propias de una población están: la densidad, natalidad, mortalidad, inmigración, emigración, distribución de edades, razón de sexos, composición genética y patrones de distribución (Krebs, 1985).

2.2.9. La contaminación y eutrofización

Contaminación

La contaminación es la aparición o introducción al ambiente de sustancias nuevas o ajenas a un sistema natural (atmósfera, agua, suelos). Existen diferentes tipos de contaminación que dependen de determinados factores y que afectan distintamente a cada ambiente (RAPAL, 2010).

Eutrofización

El término eutrofización se utiliza para describir los efectos biogeofísicos y biológicos en un ecosistema acuático, derivados de un incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes, principalmente Nitrógeno y Fósforo. ((Northcote *et al.*, 1991). Eutrófico se llama a un ecosistema caracterizado por una alta cantidad de nutrientes. Se dice que dicho ambiente se encuentra forzado, bajo tensión o sometido a stress (Chalar, 2006).

Efectos del proceso de eutrofización

La eutrofización produce un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad. En los ecosistemas acuáticos eutrofizados, se comienza a dar una alteración de la biota y de la diversidad biológica, provocando una proliferación de algas unicelulares, algas azul-verdes (cianobacterias) y de macrófitas en exceso (Dejoux e Iltis, 1991). El desarrollo de algas provoca un enturbiamiento, que impide que la luz penetre hasta las profundidades del ecosistema. Las consecuencias directas son la imposibilidad de llevar a cabo la fotosíntesis en el fondo de dicho cuerpo de agua y por lo tanto la no producción de oxígeno libre. (Northcote *et al.*, 1991).

2.2.10. Lago Titicaca

Generalidades

El lago Titicaca es un lago de origen tectónico, cuya área es 8562 km², distribuidos de la siguiente manera: el lago mayor 6, 542 km² con una profundidad máxima de 281 m (isla Soto), el lago menor 1,48 km² con una profundidad máxima de 45 m y la bahía de Puno 582 km² con una profundidad máxima de 30 m. (Dejoux e Iltis, 1991). El Titicaca tiene un volumen de 903 km³, con una temperatura superficial de 9 a 14 °C y la temperatura ambiental oscila entre 1.5 y 15.3 °C, presentando un pH ligeramente alcalino, la humedad relativa en el entorno del lago oscila entre 50 a 65% (Goyzueta *et al.*, 2009).

Tabla 2. Zonas de macrófitas acuáticas correspondientes a Perú y Bolivia.

Zonas de macrófitas del Lago Titicaca	PERÚ	BOLIVIA
Bahía de Puno	350 km ² , incluye R. N. del Titicaca.	
Lago mayor	395 km ² , incluye R. N. del Titicaca.	91 km ²
Lago menor	23 km ²	227 km ²
Total	768 km²	318 km²

Fuente: Goyzueta *et al.*, 2009.

La bahía interior de Puno que es una pequeña sección, con una superficie aproximada de 16 km², es un espejo de agua entre los promontorios de Chulluni y Chimú, aunque el estrecho entre estos promontorios es de casi 4 km de ancho. En la bahía interior la profundidad máxima encontrada es de 8 m y la profundidad promedio es de aproximadamente 2.4 m, el área de superficie menor a 2 m de profundidad corresponde al 50% del área total de la Bahía Interior de Puno (Northcote *et al.*, 1991).

Actualmente, el sitio es un cuerpo de agua dulce eutrofizada (Bahía Interior de Puno) utilizado como área de descarga de aguas de uso doméstico (Pineda, 1997). La flora del sitio es conformada por plantas emergentes, sumergidas, totales y pastizales; en el anillo circunlacustre se realizan actividades agrícolas y ganaderas (Goyzueta *et al.*, 2009; Mamani y Pari, 2014).

La clasificación del estado trófico de los lagos según el Programa Internacional para la Organización, Cooperación y Desarrollo Económico de aguas interiores (OECD, 1982),

el cuál proporciona los valores límites de PT, Cl-a y DS, en el ámbito de los lagos de (Tabla 3).

Tabla 3. Criterios de la OECD (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) para la clasificación de los lagos

Categoría trófica	Clorofila-a (mg/L)		Fósforo total (mg/L)	Transparencia a Disco Secchi (m)	
	Media	Máxima		Media	Máxima
Ultra oligotrófico	< 1,0	< 2,5	< 4,0	> 12,0	> 6,0
Oligotrófico	< 2,5	< 8,0	< 10,0	> 6,0	> 3,0
Mesoeutrófico	2,5 - 8	8 - 25	10 - 35	3 - 6	1,5 - 3
Eutrófico	8 - 25	25 - 75	35 - 100	1,5 - 3	0,7 - 1,5
Hipereutrófico	> 25	> 75	> 100	< 1,5	< 0,7

Fuente: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico OECD, 1982

2.3. Marco conceptual

Aves.- Los miembros de la clase Ave se caracterizan por tener el cuerpo parcialmente cubierto de plumas, con excepción del pico y las patas. Las plumas en las aves sustituyen las escamas de la piel de los reptiles, pero su función es mucho más compleja. Aunque las aves descienden de animales de sangre fría, las plumas les ayudan a mantener la constante la temperatura corporal (Walker y Fjeldsa, 2002).

Abundancia.- Es la cantidad o número total de individuos que integran una población (Krebs, 1985).

Densidad.-Número de individuos por unidad de área o de volumen (Krebs, 1985).

Especie.- Se denomina a cada uno de los grupos en que se dividen los organismos, es decir, la limitación de lo genérico en un ámbito morfológicamente concreto. Una especie se define a menudo como grupo de organismo capaz de entrecruzar y de producir descendencia fértil (Odum, 1973).

Diversidad.- Es la variabilidad de organismos vivos. Es la riqueza, cantidad y la gran variedad de seres vivos que existen en un área determinado. Incluye el número de individuos que existen en un determinado área (Sarmiento, 2000).

Hábitat.- Se define el conjunto de recursos físicos y biológicos presentes en un área específica, los cuales posibilitan la ocupación por parte de un organismo determinado. Dichos recursos incluyen la disponibilidad de alimento, el tipo de cobertura vegetal,

sitios de descanso, así como cualquier otro componente que sea necesario para la sobrevivencia y el éxito reproductivo de la especie (Hall *et al.*, 1997).

Ecosistema.- Sistema formado por la interacción de una comunidad biótica (seres vivos) y el medio físico (comunidad abiótica) en un espacio determinado. (Odum, 1973).

Riqueza.- Número total de especies obtenido por un censo de la comunidad (Moreno, 2001).

Avifauna.- Grupo de animales de la clase aves que viven en una misma región (Sarmiento, 2000).

Eutrofización.- Fenómeno que se caracteriza por un enriquecimiento de nutrientes y consecuentemente una explosión de la vegetación. (Puede ser Fitoplanctónica o bentónica) (Northcote *et al.*, 1991).

Eutrofización cultural.- Es la introducción excesiva de nutrientes al lago por parte del hombre (Northcote *et al.*, 1991).

Macrófitas.- Son aquellas plantas que tienen todas sus estructuras vegetativas (hojas, tallos y raíz) sumergidas o flotantes. Se incluyen en este grupo las plantas vasculares, algunos géneros de briófitos y las algas carófitas. Son las plantas acuáticas en sentido estricto (García *et al.*, 2009).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

La investigación se realizó en la bahía de Puno del lago Titicaca, que cuenta un área de 8,562 km², que tiene un nivel medio de 3,809 msnm y las tres cuartas partes pertenecen al Perú. En él se reconocen tres zonas: el lago grande con 6,542 km² y una profundidad máxima de 281 m, el lago pequeño con 1 428 km² y una profundidad máxima de 45 m y la Bahía de Puno con 589 km² y una profundidad máxima de 30 m encerrada por las penínsulas de Capachica y Chucuito (Dejoux e Iltis, 1991). La bahía interior de Puno tiene una superficie aproximada de 16 km², es un espejo de agua entre los promontorios de Chulluni y Chimú, aunque el estrecho entre estos promontorios es de casi 4 km de ancho. En la bahía interior la profundidad máxima encontrada es de 8 m y la profundidad promedio es de aproximadamente 2.4 m, el área de superficie menor a 2 m de profundidad corresponde al 50% del área total de la Bahía Interior de Puno (Northcote *et al.*, 1991).

Actualmente, el sitio es un cuerpo de agua dulce eutrofizada (Bahía Interior de Puno) utilizado como área de descarga de aguas de uso doméstico. La flora del sitio es conformada por, plantas emergentes, sumergidos pastizales y totorales; en el anillo circunlacustre se realizan actividades agrícolas y ganaderas (Mamani y Pari, 2014).

El área de estudio de la investigación está dividida en dos zonas: la Bahía interior de Puno que tiene una variabilidad ambiental, y Ojerani que es la zona de referencia que tiene un menor grado de eutrofización; cada zona de estudio tiene 3 puntos de muestreo: para la Bahía Interior de Puno, el punto 1 se encuentra en las coordenadas: 15°49'42.1" latitud sur y 70°0'50.35" longitud oeste, a la altura de la universidad las mismas que tienen ingreso directo de aguas residuales; punto 2 en las coordenadas: 15°50'36.27" latitud sur y 70°0'56.84" longitud oeste, margen izquierdo del muelle antiguo y punto 3 en las coordenadas: 15°51'9.93" latitud sur y 69°59'54.82" longitud oeste margen derecho de la laguna de estabilización donde hay rebasamiento de las aguas residuales); para la zona de Ojerani se tomó en consideración características similares de hábitat al de la Bahía interior; el punto 1 se encuentra en las coordenadas: 15°51'18.80" latitud sur y 69°57'36.15" longitud oeste, punto 2 en coordenadas: 15°51'34.3" latitud sur y 69°57'18.7" longitud oeste, punto 3 en coordenadas: 15°52'6.12" latitud sur y 69°56'4.41 longitud oeste (Figura 1).



Fuente: Elaboración propia, en base a google earth.

Figura 1. Área de estudio: bahía del lago Titicaca de Puno mostrando la ubicación de las zonas de estudio y sus respectivos puntos de conteo.

3.2. Tipo de estudio

La investigación es de tipo comparativo y descriptivo, donde se realizó la comparación de avifauna entre la bahía interior y Ojerani, así mismo se describió las características del hábitat para la avifauna de la Bahía de Puno del lago Titicaca.

3.3. Población y muestra

La población lo constituye la avifauna de la bahía de Puno del lago Titicaca, la muestra estudiada fue los individuos de aves observados dentro del área de estudio.

3.4. Materiales

- Binocular TASCOS 10x50: Se utilizó este equipo con la finalidad de tener mayor visibilidad y alcance para la identificación de los individuos de avifauna.
- Cámara digital NIKON COOLPIX P510 42 x WIDE OPTICAL ZOOM ED VR 4.3-180 mm 1:3-5.9. 16.1 Megapixels. Equipo que se utilizó para la toma de imágenes de aves para facilitar la identificación.
- Espectrofotómetro.
- Laboratorio portátil (kit). LA MOTTE, ALABAMA WATER QUALITY MONITORING.
- Disco Secchi.

- Equipo MULTIPARAMETRICO Sens156 30QD marca HACH.
- Guía de Aves del Perú, (Schulenberg *et al.*, 2010).
- Libreta de apuntes y fichas de registro.

3.5. Metodología de la investigación

Para la observación de la diversidad y abundancia de especies de aves, se realizaron visitas cada quince días a la Bahía de Puno, de septiembre del 2015 a enero del 2016, la toma de datos se realizó por las mañanas de 07:00 – 10:00 a.m. La identificación de la diversidad y abundancia avifaunística se efectuó a partir de observaciones directas con ayuda de binoculares TASCOS 10 x 50 mm, a las especies que no fueron identificadas se tomaron fotografías con cámaras NIKON y para su identificación se utilizó la Guía de aves del Perú (Schulenberg *et al.*, 2010).

3.5.1. Determinación de los efectos de la eutrofización en el hábitat de la Bahía de Puno, en la diversidad y abundancia de avifauna del lago Titicaca.

Para la determinación de la diversidad, densidad y abundancia de aves se utilizó el método de puntos de conteo (Ralph *et al.*, 1996), la cual consiste en permanecer en un punto fijo y tomar nota de todas las aves vistas u oídas dentro de un radio de 50 m, cada conteo tomo 15 minutos, después de dos minutos de silencio usados para reducir la influencia del observador en el conteo, los puntos de conteo (Pc) estuvieron distanciados mayor a 250 m; en la bahía de Puno 6 puntos de conteo fueron establecidas, distribuidos de forma que cada 3 puntos pertenecieran a las zonas de estudio, es decir, 3 para la bahía interior y otros 3 para Ojerani. La abundancia se estimó mediante el conteo directo de los individuos observados de todas las especies de cada zona de estudio. El área total de estudio fue 2.34 ha, en tal sentido el tamaño de cada zona de estudio es 1.17 ha. Para estimar la densidad poblacional de los individuos de cada especie se realizó, el conteo del número de individuos por unidad de área, es decir del área del semicírculo del punto de conteo. Los resultados se muestran en individuos por hectárea (ind/ha).

La diversidad de aves se estimó utilizando los índices de Shannon- Wiener y Simpson (este último mide principalmente dominancia, valores elevados solo domina unas pocas especies, valores bajos alta diversidad y baja dominancia), e índices de similitud de Sorensen y Morisita. La escala de interpretación utilizada para Shannon-Wiener es: de 0 a 1 bits/ind la diversidad es baja; de 1 a 2 bits/ind la diversidad es media y de 2 a más

bits/ind la diversidad es alta, y la escala de interpretación utilizada para Simpson es: de 0 a 0,5 el predominio es bajo; de 0,5 a 0,6 el predominio es medio y de 0,6 a 1 el predominio es alto.

Las formulas aplicadas fueron:

- **Índice de Simpson:**

Para determinar la dominancia y diversidad de especies

$$\lambda = \sum P_i^2$$

Siendo:

$P_i = n_i/N$, donde n_i es el número de individuos de la especie "i" y N es la abundancia total de las especies, en otras palabras P_i es la abundancia proporcional de la especie "i".

Se expresa como: $SI' = 1 - \sum_i (P_i)^2$

- **Índice de Shannon Weaner:**

Para calcular la diversidad de especies y se expresa de la siguiente manera:

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i$$

Donde P_i es la abundancia proporcional de cada especie.

- **Índice de similitud de Sorensen**

$$I_s = \frac{2c}{a + b}$$

Donde

a = número de especies presentes en el sitio A

b = número de especies presentes en el sitio B

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

- **Índice de similitud de Morisita – Horn**

$$I_{M-H} = \frac{2 \sum (a_{ni} \times b_{nj})}{d_a + d_b} \frac{1}{a_N \times b_N}$$

Donde

a_{ni} = número de individuos de la i -ésima especie en el sitio A

b_{nj} = número de individuos de la j -ésima especie en el sitio B

$$d_a = \frac{\sum a_{ni}^2}{aN^2}$$

$$d_b = \frac{\sum b_{nj}^2}{bN^2}$$

3.5.2. Caracterización del hábitat para la avifauna de la Bahía de Puno del lago Titicaca.

Caracterizar cada uno de los hábitats de estudio, han sido de gran importancia, ya que difieren en varios aspectos, la cual influye en la composición de la riqueza de especies. A continuación un detalle de la metodología empleada en cada una de las áreas de estudio de la bahía de Puno.

Se identificaron la vegetación macrófita en cada hábitat acuático de las zonas de estudio, realizando muestreos de vegetación macrófita sumergida y flotante, las especies identificadas se sistematizaron según a las condiciones en la que se desarrollan.

En cada uno de los hábitats acuáticos de las zonas de estudio, se realizó la observación y descripción de la población que vive en los alrededores de las zonas de estudio, con las que se determinaron las principales actividades antrópicas que se desarrollan y consecuentemente se identificaron los problemas que se presentan en cada caso, en la que se mencionan detalladamente.

Así mismo en cada zona de estudio se determinaron parámetros básicos físico-químicos mediante un equipo portátil, en puntos establecidos, la toma de muestra de agua superficial se realizó en horas de la mañana. Los parámetros analizados fueron: temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, nitratos, nitritos, fosfatos, clorofila-a y transparencia.

3.6. Método estadístico

Para determinar la variación de la abundancia y riqueza con respecto a los zonas de estudio y meses se aplicó la prueba estadística ANDEVA de bloques completamente al azar con previa transformación de datos $\sqrt{x + 1}$ y con un nivel de significancia de $\alpha =$

0.05. Así mismo se utilizó la prueba de contraste de Duncan para las diferencias significativas, con el Software INFOSTAT versión 2013 I.

El modelo estadístico lineal aditivo en el DBCA es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}; \quad i = 1, 2, \dots, t \text{ (t = tratamientos)}$$

$$j = 1, 2, \dots, r \text{ (r = bloques)}$$

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta observada en la unidad experimental ubicada en el j-ésimo bloque que recibe el tratamiento "i".

μ = constante común para toda la observación o media de la población.

τ_i = es el efecto del tratamiento "i", el cual es igual a $(\mu_i - \mu)$, es la diferencia entre el promedio poblacional del tratamiento y la media poblacional μ .

β_j = es el efecto del bloque "j", que es igual a $(\mu_j - \mu)$, es la diferencia entre el promedio poblacional del bloque y la media poblacional μ .

ε_{ij} = termino que representa el error de su respectiva Y_{ij} que se considera como la variable aleatoria distribuida en forma normal e independiente con media cero y varianza constante, es: $\varepsilon_{ij} \sim DNI(0, \sigma_e^2)$.

Para determinar el grado de asociación entre las variables de abundancia, densidad y riqueza de aves, versus los parámetros físico-químicos del agua obtenidas en cada uno de las zonas de estudio, se realizó el análisis de correlación y análisis de componentes principales, que mide el grado de asociación entre las distintas variables, así como el sentido, positivo o negativo, de dicha relación, para lo cual se utilizó el Software INFOSTAT versión 2013 I.

– **Coefficiente de correlación**

Cuya fórmula es:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2][n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

Donde:

n = Número de pares de observaciones

$\sum X$ = Suma de las variables X

$\sum Y$ = Suma de las variables Y

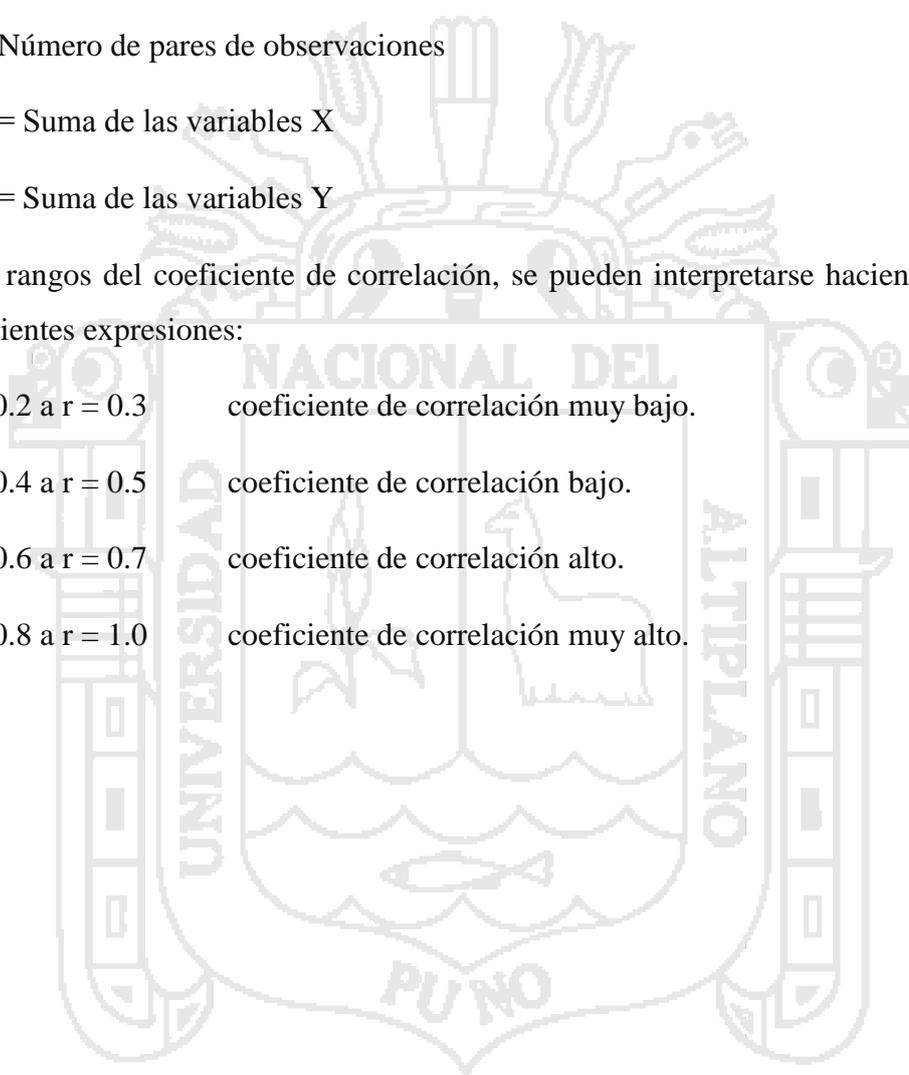
Los rangos del coeficiente de correlación, se pueden interpretar haciendo uso de las siguientes expresiones:

r = 0.2 a r = 0.3 coeficiente de correlación muy bajo.

r = 0.4 a r = 0.5 coeficiente de correlación bajo.

r = 0.6 a r = 0.7 coeficiente de correlación alto.

r = 0.8 a r = 1.0 coeficiente de correlación muy alto.



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación del efecto de la eutrofización en el hábitat de la Bahía de Puno, en la diversidad y abundancia de avifauna del lago Titicaca.

4.1.1. Diversidad

La avifauna de las dos zonas en conjunto fue registrada un total de 28 especies de aves incluidas en 15 familias y 7 órdenes. Las familias que presentan más especies son Anatidae con 5 especies, Rallidae, Podicipedidae y Scolopacidae con 3 especies cada uno, y las familias Ardeidae, Threskiornithidae y Tirannidae con 2 especies cada una (Tabla 4).

Tabla 4. Especies de aves registradas en la bahía del lago Titicaca de Puno, septiembre 2015- enero 2016.

ORDEN	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Anseriformes	Anatidae	<i>Anas puna</i>	Pato puna.
		<i>Anas flavirostris</i>	Pato andino, pato sutro
		<i>Anas georgica</i>	Pato jerga.
		<i>Anas cyanoptera</i>	Pato colorado.
		<i>Oxyura jamaicensis</i>	Pato rana, pato pana.
Gruiformes	Rallidae	<i>Fulica ardesiaca</i>	Gallareta andina.
		<i>Gallinula chloropus</i>	Polla de agua.
		<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	Gallineta plumiza.
Podicepediformes	Podicipedidae	<i>Podiceps occipitalis</i>	Zambullidor blanquillo
		<i>Rollandia rolland</i>	Zambullidor pimpollo.
		<i>Rollandia microptera</i>	Zambullidor de Titicaca.
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Tringa flavipes</i>	Pata amarilla menor.
		<i>Tringa melanoleuca</i>	Pata amarilla mayor.
		<i>Calidris himantopus</i>	Playero de pata larga.
	Charadriidae	<i>Vanellus resplendens</i>	Lekecho, centinela
	Laridae	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota andina.
	Recurvirostridae	<i>Himantopus melanurus</i>	Perrito de agua.
Ciconiiformes	Ardeidae	<i>Egretta thula</i>	Garza blanca pequeña.
		<i>Nycticorax nycticorax</i>	Pájaro bobo
	Threskiornithidae	<i>Theristicus melanopis</i>	Bandurria, Qaqencura.
		<i>Plegadis ridwayi</i>	Yanavico, Ibis negro.
Phoenicopteriformes	Phoenicopteridae	<i>Phoenicopus chilensis</i>	Flamenco chileno
Passeriformes	Tirannidae	<i>Tachuris rubrigastra</i>	Siete colores.
		<i>Lessonia oreas</i>	Negrito andino.
	Furnariidae	<i>Phleocryptes melanops</i>	Totorero, reke - reke.
	Emberezidae	<i>Zonotricha capensis</i>	Gorrión americano.
	Icteridae	<i>Agelasticus thilius</i>	Chencco.
	Hirundinidae	<i>Haplochelidon andecola</i>	Golondrina

Fuente: elaboración propia, en base a la guía de aves del Perú.

Las familias con mayor número de especies Anatidae y Rallidae son similares a lo descrito por Mamani y Pari (2014), quienes indican que Anatidae presentó 6 especies y Rallidae con 3 especies en las inmediaciones de la laguna de estabilización de Puno; de igual forma Amparan (2000), reporta a la familia Anatidae con 11 especies, como la mejor representada por su número de especies, en la laguna de Zaplotan, sin embargo, Alvarez (2014), menciona a la familia Scolopacidae con mayor número de especies 6, seguido Anatidae con 5 especies; esto puede ser debido a que el estudio se realizó en lagunas alto andinas de mayor tamaño y así mismo estas presentan mínimo grado de alteración.

De las 28 especies observadas en la bahía de Puno, 18 son comunes a las dos zonas de estudio. Este resultado puede ser consecuencia de factores como: diferencias en las estructuras de las comunidades de aves en diferentes hábitats, como resultado de cambios en la vegetación acuática, alteración de régimen hidrológico, disponibilidad de alimento. Al respecto Amparan (2000), indica que es probable que los factores físico – químicos tengan una incidencia directa sobre la riqueza, composición y abundancia de las especies, porque la temperatura, pH, oxígeno, tienen influencia directa en la estructura y composición de la vegetación acuática (disposición de recursos) y consecuentemente sobre la diversidad de la avifauna acuática.

La riqueza de especies en las zonas de estudio son similares, habiendo una pequeña diferencia de superioridad en la zona de Ojerani con 24 especies, esta superioridad de la riqueza de especies observada en el área de estudio podría relacionarse a la diversidad de hábitat y a la heterogeneidad ambiental que normalmente caracterizan los ecosistemas de los humedales, mientras que la zona de la bahía interior de Puno presenta 22 especies, la misma que presenta una alteración de hábitat (Tabla 5).

Tabla 5. Riqueza de especies de aves en las dos zonas de estudio de la bahía de Puno, septiembre 2015- enero 2016.

	Bahía Interior Puno	Ojerani
1	<i>Anas puna</i>	<i>Anas puna</i>
2	<i>Anas flavirostris</i>	<i>Anas flavirostris</i>
3	<i>Anas georgica</i>	<i>Anas georgica</i>
4	<i>Anas cyanoptera</i>	<i>Anas cyanoptera</i>
5	<i>Oxyura jamaicensis</i>	<i>Oxyura jamaicensis</i>
6	<i>Fulica ardesiaca</i>	<i>Fulica ardesiaca</i>
7	<i>Gallinula chloropus</i>	<i>Gallinula chloropus</i>
8	<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	_____
9	_____	<i>Podiceps occipitalis</i>
10	_____	<i>Rollandia rolland</i>
11	<i>Rollandia microptera</i>	<i>Rollandia microptera</i>
12	<i>Tringa flavipes</i>	_____
13	<i>Tringa melanoleuca</i>	_____
14	<i>Calidris himantopus</i>	_____
15	<i>Vanellus resplendens</i>	<i>Vanellus resplendens</i>
16	<i>Chroicocephalus serranus</i>	<i>Chroicocephalus serranus</i>
17	<i>Himantopus melanurus</i>	<i>Himantopus melanurus</i>
18	_____	<i>Egretta thula</i>
19	_____	<i>Nycticorax nycticorax</i>
20	_____	<i>Theristicus melanopsis</i>
21	<i>Plegadis ridwayi</i>	<i>Plegadis ridwayi</i>
22	_____	<i>Phoenicopterus chilensis</i>
23	<i>Tachuris rubrigastra</i>	<i>Tachuris rubrigastra</i>
24	<i>Lessonia oreas</i>	<i>Lessonia oreas</i>
25	<i>Phleocryptes melanops</i>	<i>Phleocryptes melanops</i>
26	<i>Zonotricha capensis</i>	<i>Zonotricha capensis</i>
27	<i>Agelasticus thilius</i>	<i>Agelasticus thilius</i>
28	<i>Haplochelidon andecola</i>	<i>Haplochelidon andecola</i>
Total	22	24

Fuente: elaboración propia, en base a la guía de aves del Perú.

El número de especies que presenta cada unidad de evaluación varía significativamente entre sí ($F = 16.86$; $P = 0,015$; $gl = 1,4$) (Figura 2); presentando Ojerani una superioridad en el número de especies con un promedio de 15.60 especies, mientras que la bahía interior de Puno tiene un promedio de 14.30 especies. Esta diferencia de la diversidad de especies en la bahía de Puno se debe a que la bahía interior presenta una mayor alteración antropogénica en comparación a Ojerani.

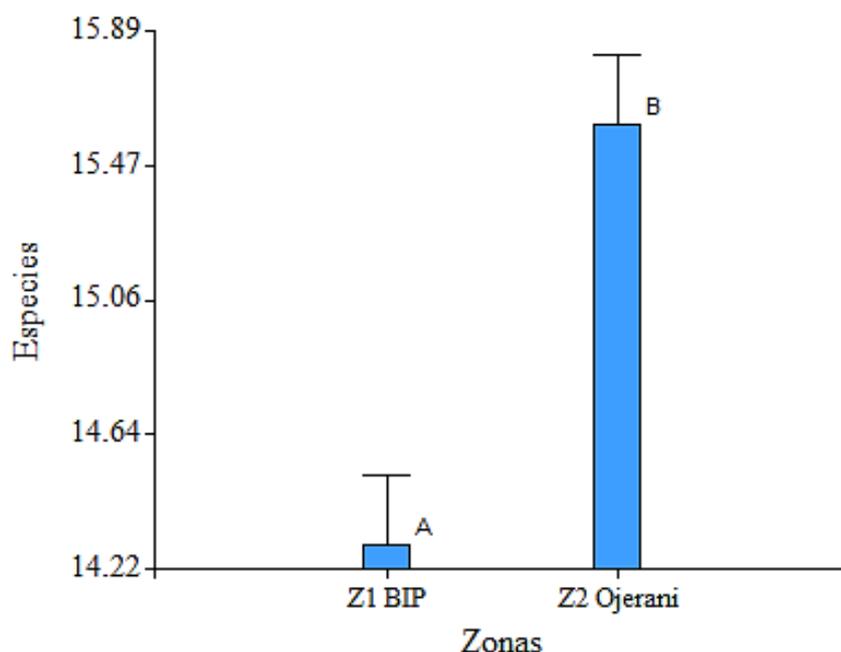


Figura 2. Contraste de Duncan ($gl=1,4$; $\alpha= 0.05$), para encontrar diferencias del número de especies de avifauna entre la BIP y Ojerani, septiembre 2015 – enero 2016.

Mamani y Pari (2014), registraron 38 especies para totorales norte de la zona de influencia de la laguna de estabilización Puno y 28 especies para las laderas de la Isla el Espinar; al igual que Gamarra (2006) en la zona 1 de su estudio menciona 15 especies (zona con abundante presencia de macrófitas parte norte de la laguna de estabilización) y con 3 especies para la zona 4 que corresponde a suburbana (cultivos). Aparentemente la riqueza de especies disminuye en un hábitat de condiciones hostiles (mayor alteración del medio ambiente), al respecto Habit *et al.*, (2003); Torres *et al.*, (2006) y Tabilo *et al.*, (1996), mencionan que en sistemas de mayor trofía (como es caso de la zona A) y menor calidad de agua se produce la dominancia de especies tolerantes y la desaparición de especies nativas, lo cual estaría sucediendo en la zona de la bahía Interior de Puno.

El número de especies con respecto a los meses de evaluación a lo largo del estudio va diferenciándose, presentando septiembre mayor número de especies en ambas zonas de estudio; el mismo que corresponde al mes en que llegan las aves migratorias. Los meses siguientes presenta poca variación del número de especies, como se muestra en la (Figura 3).

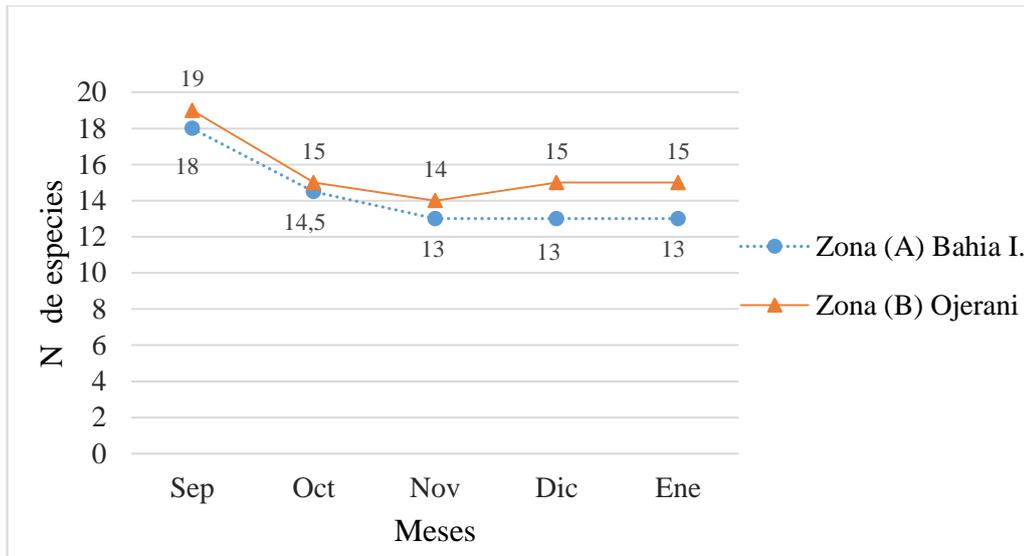


Figura 3. Promedio de riqueza de especies mensuales en la BIP y Ojerani, septiembre 2015- enero 2016.

Hay diferencia entre los meses de evaluación del número de especies ($F = 30.19$; $P = 0.003$; $gl = 4,4$); siendo septiembre el mes con mayor número de especies con una media de 18.50, sin embargo, noviembre presenta un promedio de 13.50, siendo la más baja con respecto a los meses de octubre, enero y diciembre (Figura 4).

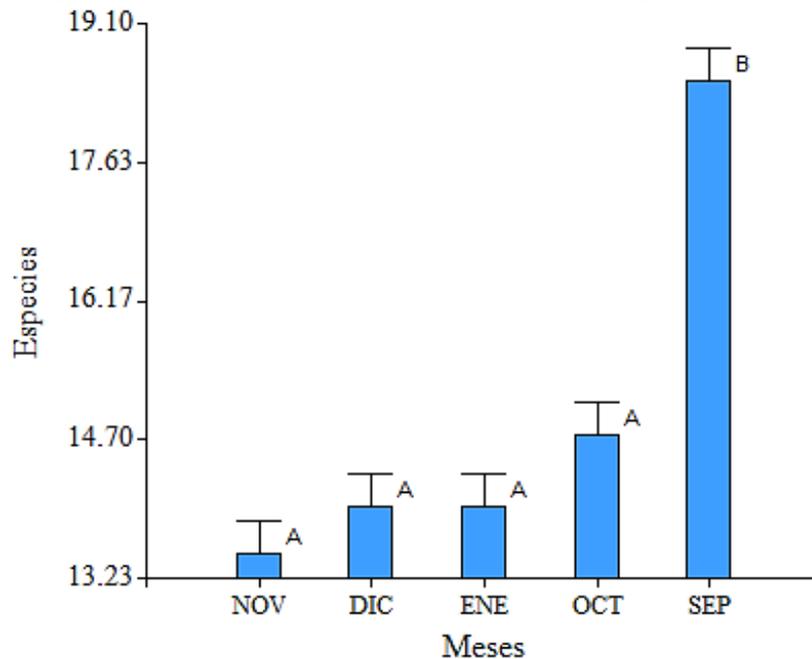


Figura 4. Contraste de Duncan ($gl = 1,4$; $\alpha = 0.05$) para encontrar diferencias del número de especies de avifauna entre los meses de evaluación en la bahía de Puno septiembre 2015 – enero 2016).

Los resultados del número de especies para el mes de enero, son similares, a lo descrito por Mamani y Pari (2014), quienes señalan que la fluctuación del número de especies en cada hábitat presenta los valores más bajos en el mes de enero, las que paulatinamente van incrementándose con la llegada de especies migratorias en el mes de abril; al

respecto Torres *et al.*, (2006), señalan que esta diferencia entre los meses es probable a que muchas especies migratorias usan estos humedales como puntos de parada durante su migración al hemisferio norte .

4.1.2. Índice de diversidad de especies de avifauna

El promedio del índice de Shannon para la bahía interior es 3.21, y para índice de Simpson es 0.87, de igual forma para Ojerani el índice de Shannon en promedio es 3.08, y el índice de Simpson es 0.82; estos resultados obtenidos de los índices de diversidad son semejantes entre zonas de estudio (Tabla 6).

Tabla 6. Índice de diversidad de Simpson y Shannon Weaner para las dos zonas de estudio, Puno septiembre 2015- enero 2016.

Zonas	Índices de Diversidad	Meses de Evaluación					Prom
		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	
A) BIP	Simpson	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86	0.87
	Shannon	3.45	3.21	3.08	3.17	3.14	3.21
B) Ojerani	Simpson	0.83	0.82	0.84	0.81	0.82	0.82
	Shannon	3.26	3.08	3.15	2.95	2.95	3.08

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la variabilidad temporal de los índices de Simpson y Shannon – Weaner, se muestra que no hay mucha diferencia, ya que estos valores son considerados altas, según las escalas de interpretación de estos índices; por consiguiente el valor de los índices de diversidad es semejante entre los meses de evaluación (Tabla 6).

Los resultados de los índices de diversidad entre las zonas de estudio y los meses de evaluación son similares a lo descrito por Álvarez (2014) quien señala que el índice de Simpson es de 0.86 en el humedal Chijos, y Rojas (2002), indica que en sector Ramis de la Reserva Nacional del Titicaca que el índice Simpson supera el nivel de 0,80 lo cual indica una alta diversidad.

Con respecto al índice de similitud de Sorensen (considera solo el número de especies) entre la bahía interior de Puno y Ojerani en promedio es de 0.76. Estos índices indican el grado de semejanza de especies presentes entre las dos zonas. El valor promedio de 0.76 indica que 18 especies de aves están presentes en ambas zonas; 4 especies de un total de 22 especies reportadas para la bahía interior de Puno no están presentes en la Zona de Ojerani, de la misma forma 6 especies de un total de 24 especies reportadas para Ojerani no están en la bahía interior (Tabla 7). La diferencia de la comparación

entre estas zonas mediante el índice de similitud se debe probablemente a las características del hábitat. Así mismo Miranda (1995), reporta que el índice de similitud es 0.76 entre la laguna la Calzada y Maquera, este valor es similar al resultado obtenido del estudio, mientras que 0.85 entre la Calzada y Saytocochoa, y 0.82 entre Saytocochoa y Maquera estas diferencias se deben a la composición de la flora y aspectos físicos como la profundidad y la distancia entre las lagunas. Sin embargo Álvarez (2014) reporta que la comparación mediante el índice de similitud de Wittaker entre los humedales Chijos con Huayllani es 0.47, Qalacruz con Chijos es 0.46, y para Huayllani con Qalacruz es 0.85, señala que estas diferencias se deben a la altitud, profundidad, condiciones climáticas y fundamentalmente a la composición de la vegetación macrófita.

Tabla 7. Índices de similitud de Sorensen y Morisita entre las zonas de la BIP y Ojerani, Puno septiembre 2015- enero 2016.

Índices de Similitud	Meses de Evaluación					
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Prom
Sorensen	0.76	0.76	0.74	0.84	0.71	0.76
Morisita	0.81	0.71	0.72	0.64	0.74	0.72

Fuente: elaboración propia.

El valor del índice de similitud de Morisita en promedio es 0.72, la misma que nos indica que el 72% de individuos comparten ambas zonas de estudio.

4.1.3. Abundancia y densidad de avifauna en la bahía de Puno

En las zonas evaluadas de la bahía de Puno se registró un total de 2132 individuos de aves, la mayor abundancia resultó para la zona de la bahía interior de Puno con 1153 individuos y Ojerani con 979 individuos. A través del estudio se registró que la especie más abundante es *Fulica ardesiaca* (gallareta andina), que representa el 25.9% del total de individuos, coincidiendo con lo reportado por Amparan (2000), donde menciona como más abundante a *Fulica ardesiaca*, mostrándose como especie generalista; seguido por *Gallinula chloropus* (polla del agua) con 13.2% (Tabla 8); y las especies con menor cantidad de individuos que representan el 0.1% para la bahía interior son y *Tringa melanoleuca* (pata amarilla mayor) y *Rollandia microptera* (zambullidor del Titicaca) y para Ojerani son *Podiceps occipitalis* (zambullidor blanquillo) y *Tachuris rubrigastra* (siete colores). Al respecto Rojas (2002), señala que los principales factores perturbadores son el pastoreo de ganado, la extracción de totora y la caza furtiva.

Tabla 8. Abundancia porcentual de individuos por especie en la BIP y Ojerani zonas de estudio de la bahía del lago Titicaca de Puno, septiembre 2015- enero 2016.

Especies	N° de individuos BIP		N° de individuos Ojerani		Total de individuos	
		%		%		%
<i>Anas puna</i>	34	2.9	115	11.7	149	7.0
<i>Anas flavirostris</i>	127	11.0	70	7.2	197	9.2
<i>Anas georgica</i>	7	0.6	17	1.7	24	1.1
<i>Anas cyanoptera</i>	23	2.0	6	0.6	29	1.4
<i>Oxyura jamaicensis</i>	98	8.5	30	3.1	128	6.0
<i>Fulica ardesiaca</i>	232	20.1	321	32.8	553	25.9
<i>Gallinula chloropus</i>	216	18.7	66	6.7	282	13.2
<i>P. sanguinolentus</i>	2	0.2	----	----	2	0.1
<i>Podiceps occipitalis</i>	----	----	1	0.1	1	0.05
<i>Rollandia rolland</i>	----	----	9	0.9	9	0.4
<i>Rollandia microptera</i>	1	0.1	37	3.8	38	1.8
<i>Tringa flavipes</i>	7	0.6	----	----	7	0.3
<i>Tringa melanoleuca</i>	1	0.1	----	----	1	0.05
<i>Calidris himantopus</i>	6	0.5	----	----	6	0.3
<i>Vanellus resplendens</i>	4	0.3	8	0.8	12	0.6
<i>Chroicocephalus serranus</i>	68	5.9	152	15.5	220	10.3
<i>Himantopus melanurus</i>	43	3.7	3	0.3	46	2.2
<i>Egretta thula</i>	----	----	3	0.3	3	0.1
<i>Nycticorax nycticorax</i>	----	----	2	0.2	2	0.1
<i>Theristicus melanopis</i>	----	----	3	0.3	3	0.1
<i>Plegadis ridwayi</i>	129	11.2	6	0.6	135	6.3
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	----	----	2	0.2	2	0.1
<i>Tachuris rubrigastra</i>	8	0.7	1	0.1	9	0.4
<i>Lessonia oreas</i>	4	0.3	4	0.4	8	0.4
<i>Phleocryptes melanops</i>	56	4.9	50	5.1	106	5.0
<i>Zonotricha capensis</i>	10	0.9	17	1.7	27	1.3
<i>Agelasticus thilius</i>	39	3.4	19	1.9	58	2.7
<i>Haplochelidon andecola</i>	38	3.3	37	3.8	75	3.5
TOTAL DE INDIVIDUOS	1153	54	979	45.92	2132	100
TOTAL DE ESPECIES	22		24			

Fuente: elaboración propia, en base a la guía de aves del Perú.

En la bahía interior de Puno la abundancia total es 1153 individuos de las cuales la más abundante es *Fulica ardesiaca* (gallareta andina) con 232 individuos y *Gallinula chloropus* (polla del agua) con 216 individuos. Estos resultados son similares a los resultados de Amparan (2000), quien indica, que *F. ardesiaca* y *G. chloropus* presenta altas abundancias en todo los microhabitats de Zaplotan, mostrándose como especies generalistas. *Plegadis ridwayi* (yanabico) presenta 129 individuos para la bahía interior de Puno, especie que es indicadora de mala calidad de hábitat, corroborado por (Gamarra, 2006), quien encuentra abundantes individuos de *P. ridwayi*, *G. chloropus* en la zona de 3 de su estudio (receptor de aguas residuales). Para *Rollandia microptera*

(zambullidor del Titicaca) se reporta tan solo 1 individuo durante toda la investigación en la bahía interior de Puno, de la misma forma 1 individuo para *Tringa melanoleuca* (pata amarilla mayor) (Tabla 8). Al respecto Maldonado (2006), señala que los procesos de la eutrofización afectan a los zambullidores en su reproducción porque dependen de aguas algo claras con vegetación y abundancia de alimento.

Mientras que en la zona de Ojerani se encontró 979 individuos de aves en donde la más abundante es *Fulica ardesiaca* (gallareta andina) con 321 individuos, seguido por *Chroicocephalus serranus* (gaviota andina) con 152 individuos, 115 individuos presenta *Anas puna* (pato puna); sin embargo para *Podiceps occipitalis* (zambullidor blanquillo) se reporta tan solo 1 individuo durante toda la investigación, de la misma forma 1 individuo para *Tachuris rubrigastra* (siete colores).

Aplicando la prueba estadística de ANDEVA de bloques ($F = 16.15$; $P = 0,016$; $gl = 1,4$), existe diferencia de la abundancia de aves entre las unidades de evaluación de la bahía de Puno (Figura 5).

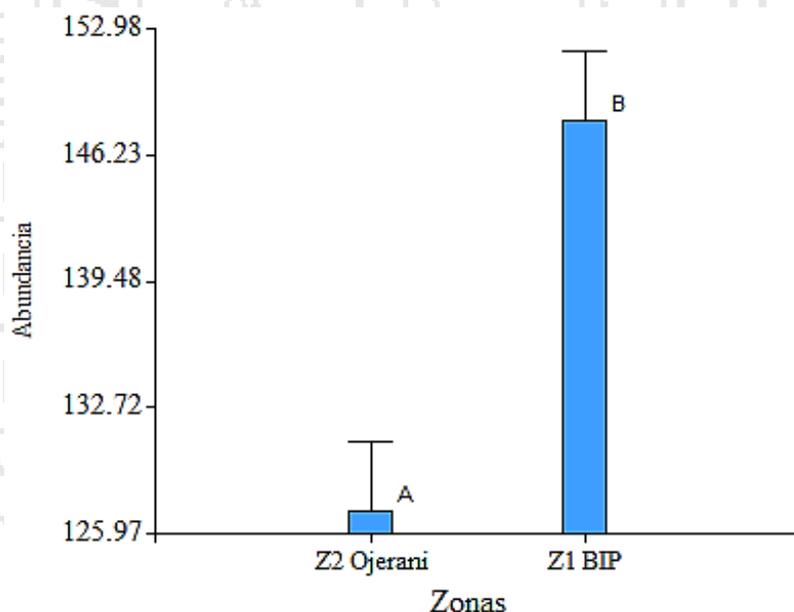


Figura 5. Contraste de Duncan ($gl=1,4$; $\alpha = 0.05$) para encontrar diferencias de la abundancia de avifauna entre BIP y Ojerani, septiembre 2015 – enero 2016.

A lo largo de los meses de evaluación (Figura 6), la mayor abundancia se registró en el mes de septiembre en la bahía interior y en Ojerani con 166 y 162 respectivamente, y con una bajada en diciembre. El aumento en el número de individuos para la bahía interior de Puno es característico de una fase de enriquecimiento trófico en la que sin desaparecer las especies típicas de medios oligotróficos, se incorporan otras que responden positivamente a dicho proceso.

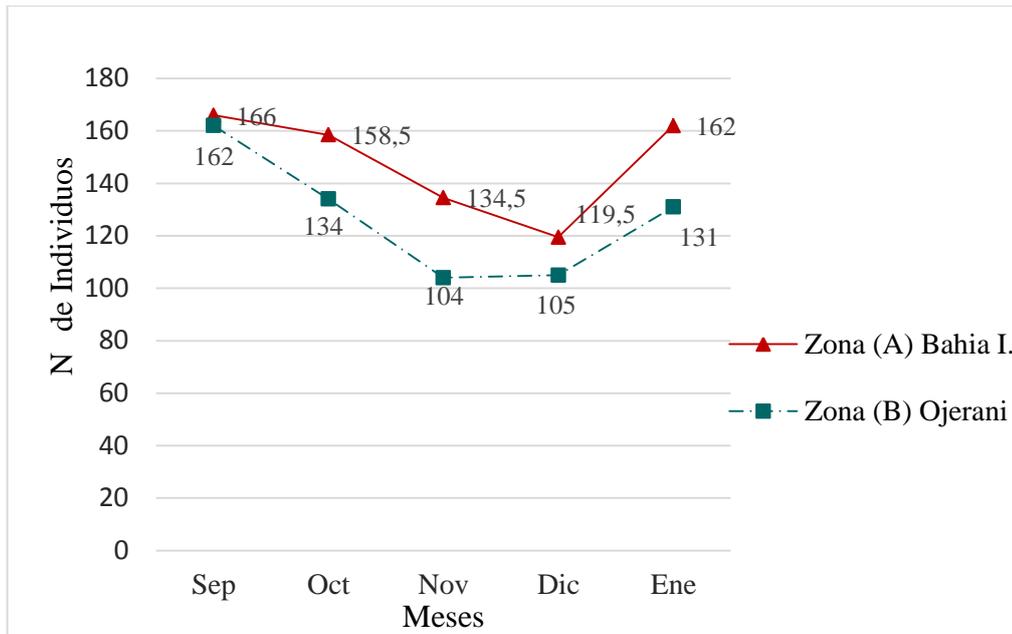


Figura 6. Promedio del número de individuos por meses de evaluación en la BIP y Ojerani, septiembre 2015- enero 2016.

Así mismo la abundancia fue diferente entre los meses de evaluación ($F = 13.35$; $P = 0,014$; $gl = 4,4$) (Figura 7). De acuerdo a los promedios de la abundancia septiembre es el mes en la que hay mayor abundancia 164, mientras que menor abundancia es para el mes de diciembre con un promedio de 112.25, esta inferioridad puede ser debido a que este mes no tuvo precipitación fluvial, además el nivel de agua de la bahía de Puno disminuyó bastante, con respecto a los meses anteriores.

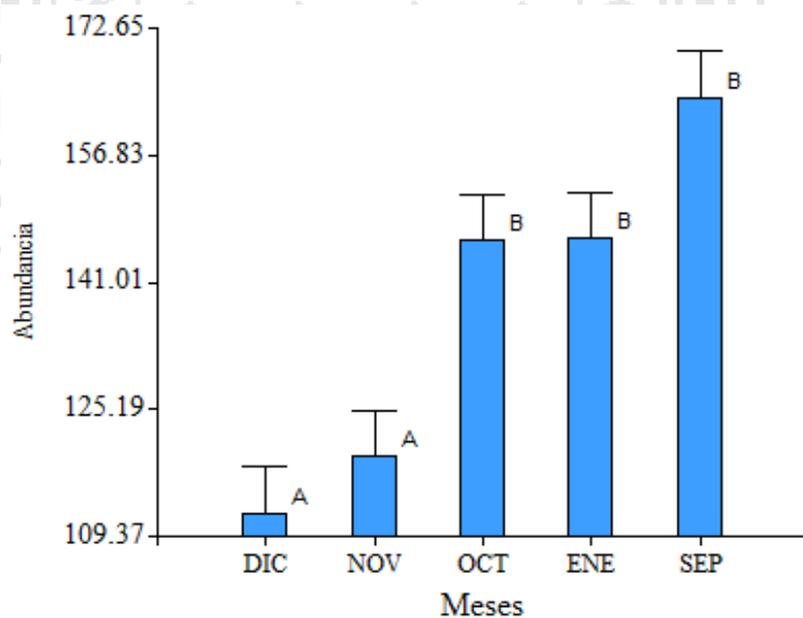


Figura 7. Contraste de Duncan ($gl=1,4$; $\alpha = 0.05$) para encontrar diferencias de la abundancia de avifauna entre los meses de evaluación en la bahía de Puno, septiembre 2015 – enero 2016.

Los resultados de variación temporal son similares a los de Álvarez (2014), quien registra menor número de individuos para diciembre en los humedales Chijos, Huayllani 780 y 436 respectivamente; además Espejo (2000), reporta un mayor número de individuos para la época de lluvias (enero, febrero, marzo) y menor número de individuos época seca (abril, mayo, junio). Los resultados de mayor abundancia en los meses de septiembre y enero son corroborados por Torres *et al.*, (2006), quien registra picos de abundancia en los meses de septiembre y enero, a lo que sugiere que las poblaciones de aves provenientes de otros humedales utilizarían a Pantanos de Villa como punto de parada dentro de sus rutas migratorias.

Coila (2000), señala que la variación poblacional de aves, para la zona de Huaje-Puno, en el mes de enero es bajo, después paulatinamente se incrementa hasta el mes de abril, para luego descender hasta el mes de junio; indicando que estas variaciones, es probable que se deban a la búsqueda de alimento y otros factores ambientales como: vientos, nivel de agua, presencia humana que afectan negativamente la presencia de aves.

Las dos zonas de estudio de la bahía de Puno del lago Titicaca presentó un total de 2132 individuos registradas en un área de total de 2.34 ha, con una densidad poblacional total de 705.94 ind/ha; de tal forma que la bahía interior de Puno del lago Titicaca presento una densidad poblacional de 379.74 ind/ha que es superior a la zona de Ojerani 326.2; siendo *Fulica ardesiaca* (gallareta andina) la especie con mayor densidad 78.46 ind/ha en promedio, seguido por *Gallinula chloropus* (polla del agua) con una densidad de 69.74 ind/ha en promedio en la bahía interior; de la misma forma *Fulica ardesiaca* es la que predominan en cuanto a densidad en la zona de Ojerani. Mientras que *Rollandia microptera* (zambullidor del Titicaca) tiene una densidad de 0.26 ind/ha en promedio en la bahía interior de Puno, y para Ojerani *Podiceps occipitalis* (zambullidor blanquillo) y *Nycticorax nycticorax* (pájaro bobo), quienes tienen una densidad de 0.5 ind/ha (tabla 9).

Tabla 9. Densidad poblacional de la avifauna en dos zonas del lago Titicaca en individuos/ha (promedio \pm error estándar).

especies	BAHIA INTERIOR			OJERANI		
	Media	\pm EE	%	Media	\pm EE	%
<i>Anas puna</i>	11.28	\pm 1.69	2.97	38.5	\pm 2.5	11.79
<i>Anas flavirostris</i>	43.59	\pm 2.86	11.48	24.4	\pm 2.3	7.47
<i>Anas georgica</i>	2.31	\pm 1.51	0.61	6.2	\pm 1.2	1.89
<i>Anas cyanoptera</i>	9.23	\pm 4.16	2.43	2.3	\pm 1.3	0.71
<i>Oxyura jamaicensis</i>	30.26	\pm 1.37	7.97	8.5	\pm 1.6	2.59
<i>Fulica ardesiaca</i>	78.46	\pm 2.01	20.66	105.4	\pm 2.6	32.31
<i>Gallinula chloropus</i>	69.74	\pm 1.99	18.37	21.3	\pm 0.8	6.52
<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	0.77	\pm 1.31	0.20			
<i>Podiceps occipitalis</i>				0.5	\pm 1.6	0.16
<i>Rollandia rolland</i>				3.3	\pm 1.4	1.02
<i>Rollandia microptera</i>	0.26	\pm 1.13	0.07	12.3	\pm 0.7	3.77
<i>Tringa flavipes</i>	2.56	\pm 1.27	0.68			
<i>Tringa melanoleuca</i>	0.26	\pm 1.13	0.07			
<i>Calidris himantopus</i>	1.79	\pm 1.28	0.47			
<i>Vanellus resplendens</i>	1.79	\pm 2.50	0.47	3.1	\pm 1.2	0.94
<i>Egretta thula</i>				1.3	\pm 2.0	0.39
<i>Nycticorax nycticorax</i>				0.5	\pm 1.6	0.16
<i>Chroicocephalus serranus</i>	22.56	\pm 3.29	5.94	52.3	\pm 4.3	16.04
<i>Himantopus melanurus</i>	14.36	\pm 3.69	3.78	1.0	\pm 1.4	0.31
<i>Theristicus melanopis</i>				0.8	\pm 2.0	0.24
<i>Plegadis ridgwayi</i>	38.46	\pm 3.22	10.13	1.5	\pm 1.3	0.47
<i>Phoenicopterus chilensis</i>				1.0	\pm 2.3	0.31
<i>Tachuris rubrigastra</i>	3.59	\pm 3.53	0.95	0.5	\pm 1.6	0.16
<i>Lessonia oreas</i>	1.03	\pm 2.26	0.27	1.0	\pm 1.1	0.31
<i>Phleocryptes melanops</i>	16.41	\pm 1.57	4.32	16.2	\pm 1.0	4.95
<i>Zonotricha capensis</i>	2.82	\pm 1.47	0.74	4.9	\pm 1.4	1.49
<i>Agelasticus thilius</i>	14.62	\pm 3.82	3.85	7.7	\pm 4.2	2.36
<i>Haplochelidon andecola</i>	13.59	\pm 2.25	3.58	11.8	\pm 2.1	3.62
Riqueza de especies	22		47.83	24		52.17
Total de individuos	379.74		53.79	326.2		46.21
Índice de Simpson	0.87		51.48	0.82		48.52
Índice de Shannon	3.21		51.03	3.08		48.97

Fuente: elaboración propia, en base a la guía de aves del Perú.

La mayor densidad poblacional de las especies de *F. ardesiaca* y *G. chloropus* son concordantes a lo señalado por Coila (2000), quien indica que *F. ardesiaca* tiene una densidad de (184,3 ind/ha) en el sector huaje de la bahía interior y *G. chloropus* (266,7 ind/ha) en el sector del hospital de la ciudad de Puno.

Los porcentajes de la densidad poblacional de aves que tienen mayor representación, es decir mayor, tamaño poblacional, según las zonas de estudio. En Ojerani *Fulica ardesiaca* tiene un porcentaje de 32.31% y menor tamaño poblacional es para

Nycticorax nycticorax y *Tachuris rubrigastra* 0.16% cada uno; así mismo en la bahía interior *Fulica ardesiaca* con 20.66% es la que predomina y la que tiene menor densidad en porcentajes es para *Rollandia microptera* (Figura 8).

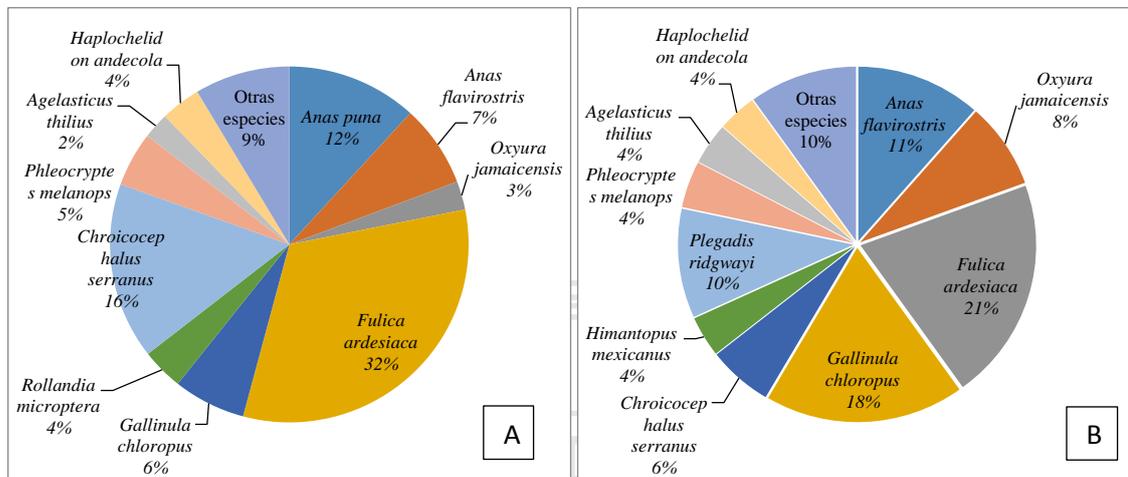


Figura 8. El grafico muestra los porcentajes de la densidad de los especies con mayor tamaño poblacional. A). Ojerani y B). Bahía Interior de Puno.

En cuanto a los meses de evaluación septiembre es el mes que tiene mayor densidad poblacional en promedio en ambas zonas de estudio (Tabla 10). Sin embargo, en la bahía interior en el mes de diciembre hay una baja densidad 102.14. ind/ha, con respecto a los demás, de la misma manera para Ojerani en noviembre se encontró una densidad baja de 88.89 ind/ha. Al respecto Torres *et al.*, (2006), señalan que septiembre corresponde al mes que hay aves migratorias. Así mismo, Coila (2000), manifiesta que esta variación es probable que se debe a la búsqueda de alimento y otros factores ambientales como: vientos, nivel de agua, presencia humana que afectan negativamente la presencia de aves.

Tabla 10. Densidad poblacional de la avifauna mensual de la bahía del lago Titicaca en individuos/ha (promedio ± error estándar).

Meses	Bahía Interior			Ojerani		
	Media	± EE	%	Media	EE	%
Septiembre	141.88	± 4.06	22.42	138.46	± 3.93	25.47
Octubre	135.47	± 3.29	21.40	114.53	± 1.90	21.07
Noviembre	114.96	± 2.77	18.16	88.89	± 2.20	16.35
Diciembre	102.14	± 4.06	16.14	89.74	± 3.45	16.51
Enero	138.46	± 10.00	21.88	111.97	± 6.59	20.60
Total de ind/ha	632.90		53.80	543.60		46.2

Fuente: elaboración propia.

4.2. Caracterización del hábitat para la avifauna de la Bahía de Puno del lago Titicaca.

En la bahía interior de Puno y en Ojerani la vegetación acuática se describe según a las condiciones en la que se desarrollan, siendo *Schoenoplectus tatora* (totora), que se encuentra en gran cantidad en ambas zonas, esta es una de las especies de gran importancia como centro de nidificación, refugio, y dormitorios de las especies de aves (Tabla 11). Sin embargo *Lemna spp* (lenteja de agua) y *Hydrocotyle ranunculoides* (sombbrero de agua) no se encuentran en la zona de Ojerani, así mismo la bahía interior no presenta las especies *Myriophyllum elatinoides* (hinojo llacho), *Elodea potamogeton* (yana llacho), algas filamentosas (lacco) y *Nostoc sp.* (llullucha), (Miranda,1995; Álvarez, 2014), en las lagunas alto andinas de Puno se encuentran especies de macrófitos similares a lo que se encontró en la zona de Ojerani del estudio (Tabla 11).

Tabla 11. Especies de vegetación macrófito observados en las zonas de estudio, septiembre 2015 – enero 2016.

Condición	Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Zona
Helófitas	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus tatora</i>	Totora	A,B
o anfibias	Apiaceae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Sombbrero de agua	A
Limnofitas	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton strictus</i>	Sigi llacho	A,B
o	Haloragaceae	<i>Myriophyllum elatinoides</i>	Hinojo llacho	B
sumergidas	Hydrochariceae	<i>Elodea potamogeton</i>	Yana llacho	B
Anfifitas	Lemnaceae	<i>Lemna spp</i>	Lenteja de agua	A
o	Oedoniaceae	Algas filamentosas	Lacco	B
flotantes	Nostoceae	<i>Nostoc sp.</i>	Llullucha, cushuro	B

Fuente: elaboración propia. Bahía interior de Puno (A) y Ojerani (B).

Según Fonturbel (2003) y Fonturbel (2005) la aparición y proliferación de macrófitas flotantes muestra estar asociada con reducción de la diversidad de macrófitas sumergidas (limnófitas) y de fitoplancton. La vegetación acuática encontrada durante la investigación es similar a lo reportado por Gamarra (2006), quien encuentra *S. tatora*, *Lemna spp* e *H. ranunculoides*, en las zonas de influencia de la laguna de estabilización de Puno, mientras que Carpio (1989) menciona las especies de *Cladophora sp.* (lacco), *E. potamogeton*, *P. strictus*, *M. elatinoides*, *S. tatora*, *Lemna spp*, *H. ranunculoides* para la bahía interior de Puno. Así mismo, Álvarez (2014), señala que la composición de vegetación macrófita en los humedales es relevante para la determinación de la riqueza de especies y sus poblaciones.

Las actividades antrópicas en la bahía interior de Puno, es el pastoreo de ganado ovino, además existe contaminación por el ingreso directos de aguas residuales al lago, lo cual acelera el proceso de la eutrofización, de igual manera los residuos sólidos (bolsas, botellas de plástico, y entre otros contaminan la bahía interior de Puno. Mientras que en Ojerani las actividades antrópicas principales son: la ganadería, agricultura, de la misma forma en esta zona se observan lanchas de pescadores. Al respecto (Gamarra, 2006; Álvarez, 2014; Mamani y Pari, 2014 y Ayala *et al.*, 2013) indican que los hábitats se encuentran fuertemente influenciados por aguas residuales, residuos sólidos, por otra parte, Espejo (2000), señala rebaños en pastoreo, y la agricultura provocan cambios sustanciales de los humedales como hábitat, lo cual corrobora a los resultados del estudio.

Los resultados promedios de los parámetros físico-químicos del agua en la bahía interior indican que el valor del oxígeno disuelto es 9.7 mg/L (aguas muy oxigenadas) lo cual es producto de la alta productividad primaria. Las concentraciones de: 1.2 mg/L de fosfato y 32.6 mg/m³ de clorofila-a (Tabla 12), se mostraron por encima del valor de la categoría 4 de los estándares de calidad ambiental (ECA)-agua 0.4 mg/L y 10 mg/L consecuentemente, la presencia alta de estos parámetros contribuye al proceso de eutrofización, cuya fuente es el ciclo cerrado de este nutriente a nivel del ecosistema. El pH promedio es 9.1, excede el valor de la categoría 4 de los ECA-agua que tiene un rango de 6.5 - 8.5; en cambio los valores de nitratos y nitritos se encuentran dentro de los rangos establecidos en los ECA-agua categoría 4 (conservación del ambiente acuático).

Para Ojerani se reporta que el pH promedio es de 8.71 excede ligeramente el valor de la categoría 4 de los ECA-agua que tiene un rango de 6.5 - 8.5 (Tabla 12); mientras que los valores de oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, nitritos y clorofila-a se encuentran dentro de los rangos establecidos en los ECA-agua categoría 4.

Tabla 12. Resultados de los datos en promedio de los parámetros físico-químicos del agua en las zonas de estudio, septiembre 2015- enero 2016.

variables	BIP		Ojerani	
	Media	± EE	Media	± EE
Oxígeno disuelto mg/L	9.72	± 0.46	6.66	± 0.23
pH	9.12	± 0.08	8.71	± 0.01
Conductividad eléctrica $\mu\text{s}/\text{cm}$	1761.4	± 1.37	1485	± 0.33
Temperatura del agua	18.01	± 0.32	16.10	± 0.28
Transparencia m	0.96	± 0.12	2.50	± 0.45
Nitratos mg/L	0.50	± 0.72	0.23	± 0.0
Nitritos mg/L	0.16	± 0.19	0.02	± 0.0
Fosfatos mg/L	1.19	± 0.23	0.21	± 0.0
Clorofila- a mg/m^3	32.61	± 2.08	2.13	± 0.41

Fuente: elaboración propia.

Al existir diferencia entre los distintos factores físico – químicos del hábitat Amparan (2000), indica que es probable que los factores físico – químicos tienen una incidencia directa sobre la riqueza, composición y abundancia de las especies; también señala que la profundidad y la temperatura tienen influencia directa en la estructura y composición de la vegetación acuática; ya que estos factores pueden ejercer su efecto vía los recursos alimentarios o bien, del efecto de estos sobre el nivel de competencia que pueda ofrecer la comunidad.

Las concentraciones de los parámetros físico-químicos son similares a lo reportado por (Pineda, 1997; Angles, 2007 y Beltrán *et al.*, 2015), quienes indican, que existe un proceso de eutrofización alta según el análisis de las variables físico-químicos de la bahía interior de Puno.

El análisis de correlación entre la densidad, abundancia, riqueza y los parámetros físico-químicos de la bahía interior de Puno en los cinco meses de evaluación (Tabla 13). Se tiene que, la densidad y la clorofila-a están asociados positivamente 0.64, es decir al aumentar clorofila-a, la densidad también aumenta; y por otro lado, la densidad está asociada negativamente con temperatura y pH, lo cual nos indica que al aumentar cualquiera de estos parámetros del agua, hará que disminuya la densidad, mientras que con el resto de las variables no está correlacionada la densidad. En cuanto la variable riqueza y nitrato (NO_3) están asociados positivamente 0.95 lo cual muestra una diferencia $P = 0.01$, así mismo la riqueza con oxígeno disuelto, pH, conductividad, temperatura y fosfato está asociado negativamente; la transparencia y nitritos no tienen una correlación con la riqueza de aves.

Tabla 13. Correlación de avifauna y los parámetros del agua de la bahía interior de Puno del lago Titicaca, septiembre 2015 - enero 2016.

Avifauna	parámetros del agua								
	Oxígeno disuelto	pH	C. E.	Temperatura del agua	Transparencia	NO ₃	NO ₂	PO ₄	Clorofila - a
Densidad	-0.30	-0.59	0.45	-0.53	0.13	0.49	0.41	-0.07	0.64
Abundancia	-0.30	-0.59	0.45	-0.53	0.13	0.49	0.41	-0.07	0.64
Riqueza	-0.83	-0.71	-0.28	-0.87	0.43	0.95	-0.10	-0.60	-0.07

Fuente: elaboración propia.

Al respecto Amparan (2000), señala que la profundidad y la temperatura tienen influencia directa en la estructura y composición de la vegetación acuática (disposición de recursos) y consecuentemente sobre la diversidad de la avifauna acuática.

El análisis de componentes principales permite visualizar la variabilidad de los datos en cuanto a la asociación de los diferentes variables (Figura 9). En tal sentido los meses de noviembre y diciembre están asociados a la variación de temperatura y pH; enero está fuertemente asociado al incremento de clorofila-a, conductividad, fosfatos y oxígeno disuelto, mientras que hay una asociación baja con temperatura y pH; septiembre y octubre están asociados con la densidad, abundancia, riqueza, nitritos y nitratos.

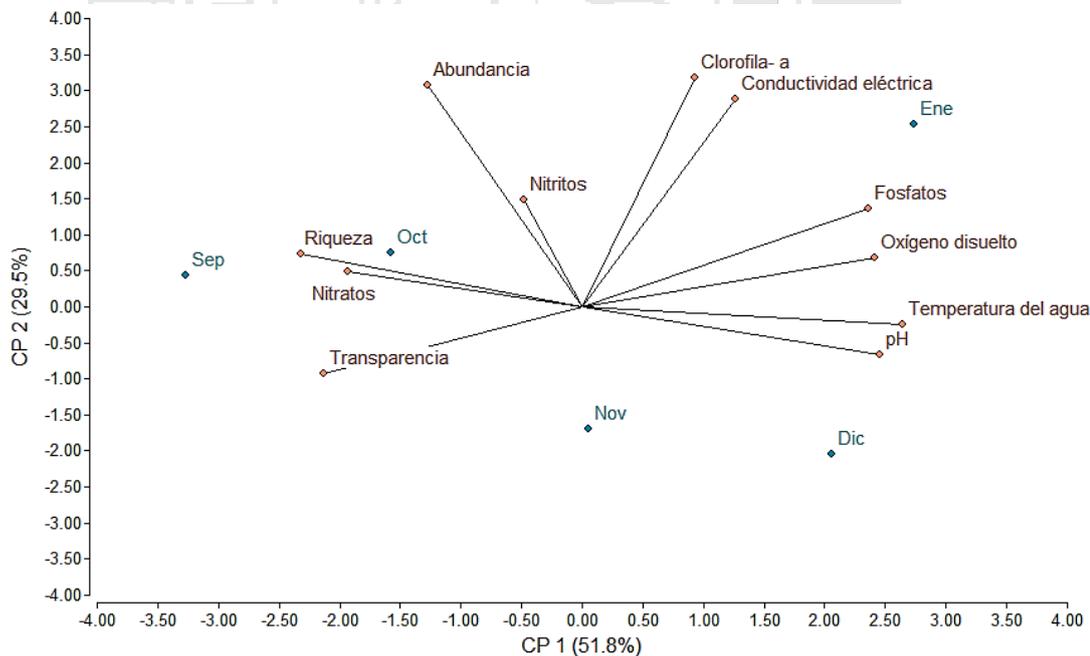


Figura 9. Componentes principales y su asociación con los diferentes variables, septiembre 2015 – enero 2016.

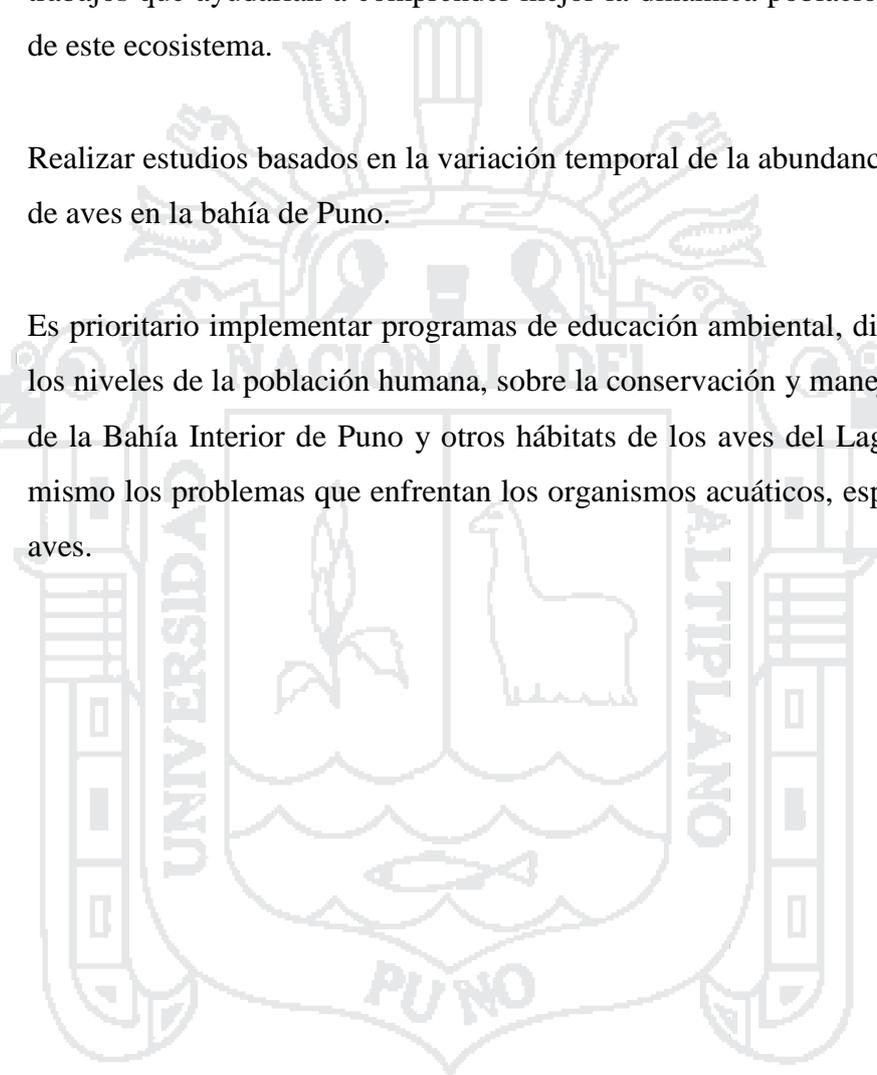
En tal caso la densidad y abundancia de aves está asociado a la clorofila- a y nitritos, los cuales influyen de manera positiva y negativa respectivamente a las variables de densidad y abundancia, mientras que la riqueza está asociada a nitratos y transparencia quienes afectan negativamente (Figura 9).

V. CONCLUSIONES

- La riqueza de especies de aves es alta en la zona de Ojerani con 24 especies, mientras que en la zona de la bahía interior de Puno se presentó menor número de especies 22, así mismo se encontró una diferencia estadística del número de especies entre las zonas y los meses de evaluación ($P = 0.015$ y $P = 0.003$) respectivamente; mientras que la mayor abundancia se encontró en la bahía interior de Puno con 54.13%, mientras que en Ojerani es 45.92%, así mismo se determinó diferencias significativas de abundancia de individuos entre las zonas de estudio y los meses de evaluación, de la misma forma septiembre es el mes que presenta mayor diversidad y número de individuos en la bahía interior y en Ojerani.
- Las zonas de estudio son diferentes en composición de vegetación de macrofitas; de la misma forma se determinó altos niveles de concentración de fosfatos 1.2 mg/L y clorofila-a 32.6 mg/m³ en las aguas superficiales de la bahía interior de Puno, dando lugar a la proliferación de procesos de eutrofización cultural. La clorofila-a y la densidad están asociados positivamente 0.64, mientras que la densidad con temperatura y pH, la asociación es negativa -0.53 y -0.59 respectivamente. De la misma forma la variable riqueza y nitrato (NO₃) están asociados positivamente 0.95.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios acerca de la ecología de las distintas especies de aves, como requerimientos de hábitats, comportamiento, dieta, migración local, entre otros trabajos que ayudarían a comprender mejor la dinámica poblacional de las aves de este ecosistema.
- Realizar estudios basados en la variación temporal de la abundancia y diversidad de aves en la bahía de Puno.
- Es prioritario implementar programas de educación ambiental, dirigidos a todos los niveles de la población humana, sobre la conservación y manejo del humedal de la Bahía Interior de Puno y otros hábitats de los aves del Lago Titicaca, así mismo los problemas que enfrentan los organismos acuáticos, especialmente las aves.



VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Álvarez, Q. O. 2014. Diversidad y abundancia de avifauna en los humedales Chijos, Huayllani y Qalacruz del distrito de Putina, Puno. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 117 p.
- Amparan, S. R. T. 2000. Diversidad de la comunidad de aves acuáticas y caracterización de sus hábitats en la laguna de Zapotlan, Jalisco, México. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 75 p.
- Angles, Ch. J. I. 2007. Evaluación de los parámetros físico- químicos de la bahía interior de Puno para determinar el nivel de la contaminación. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 90 p.
- Ayala, P. V., Arce, N. y Carmona, R. 2013. Distribución espacio-temporal de aves acuáticas invernantes en la Ciénega de Tláhuac, planicie lacustre de Chalco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 327-337.
- Beltrán, F. D. F., Palomino C. R. P., Moreno T. E. G., Gamarra P. C. y Montesinos T. D. B. 2015. Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. *Revista peruana de biología* 22(3): 335 – 340
- Blanco, D. E. 1998. Los humedales como hábitat de aves acuáticas. *Humedales Internacional- Américas*, Monroe 2142. Buenos Aires Argentina. 208- 217 p.
- Blanco, D. y Carbonell, M. 2001. El censo neotropical de aves acuáticas. Los primeros 10 años: 1990-1999. *Wetlands International*, Buenos Aires, Argentina y Ducks unlimited, Inc. Memphis, USA. 190 p.
- Chalar, G. 2006. Dinámica de la Eutrofización a Diferentes Escalas Temporales: Embalse Salto Grande (Argentina-Uruguay). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*. 87-101.
- Carpio, V. B. O. 1989. Distribución y abundancia de macrófitos litorales en la bahía interior de Puno. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 62 p.
- Coila Q. R. 2000. Evaluación poblacional de aves de importancia socioeconómica en tres sectores de la bahía interior de la ciudad de Puno. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 42 p.

- Colwell, R. K. y Coddington, J. A. 1994. Estimating Terrestrial Biodiversity through Extrapolation. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, Vol. 345, N° 1311, Biodiversity: Measurement and Estimation: 101–118.
- Decreto Supremo N°002-2008-MINAM. Estándares Nacionales de Calidad para Agua.
- Dejoux, C. e Iltis, A. 1991. El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual. Hisbol - ORSTON, La Paz – Bolivia. 584p.
- Espejo, M. J. C. 2000. Aves silvestres alto andinas en la laguna colorada y su preferencia de hábitat Lampa Puno 2000. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 88 p.
- Fonturbel, F. R. 2003. Algunos criterios biológicos sobre el proceso de eutrofización a orillas de seis localidades del Lago Titikaka. *Ecología Aplicada*, vol. 2, núm. 1, diciembre, 75-79 p.
- Fonturbel, F. R. 2005. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del lago titikaka (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1,2).
- Gamarra, P. C. 2006. Evaluación de aves en la zona de influencia de la laguna de estabilización de Puno. Examen de suficiencia para optar el título de licenciado en Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú. 46 p.
- García, M. P., Fernández, Z. R. y Cirujano, B. S. 2009. Habitantes del agua Macrófitos. Editorial Monto Cultura, 278 p.
- González, O., Putrat, L., González, J. 1998. Las aves más comunes de Lima y alrededores. Editorial Santillana, Lima, Perú. 158 p.
- Goyzueta, C. G. 2005. “Majestuoso lago Titicaca, fuente de vida”. Editorial FIMART SAC. Lima – Perú. 39 p.
- Goyzueta, C. G., Alfaro, T. R., Aparicio, S. M. 2009. “Totorales del lago Titicaca, importancia, conservación y gestión ambiental”. Primera Edición. Editorial Meru diseño y publicidad, Puno – Perú. 325 p.
- Habit, E., Parra, O., y Valdovinos, C. 2005. Ictiofauna de un sistema fluvial receptor de aguas servidas: respuestas a una nueva planta de tratamiento (Río Quilque, Chile Central). *Gayana* 69(1): 94-103. ISSN 071-6538.
- Hall, L. S., Krausman, P. R. y Morrison, M. L. 1997. The hábitat concept and plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin* 25: 173 – 182.
- Krebs, Ch.; 1985. *Ecología. Estudio de la distribución y abundancia*. Segunda edición, editorial Harla. Mexico. 743 p.
- Lugo, A. y Morris, G. 1982. Los sistemas ecológicos y la humanidad. OEA. Programa Regional de Desarrollo Científico y tecnológico.

- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Mamani, F. M. y Pari, Q. D. 2014. Diversidad de aves en los alrededores de la laguna de estabilización de Puno. Revista. Investig. (Esc. Post Grado) V 5, N° 3.
- Maldonado, Ch. W. 2006. Hábitat y población de *Rollandia microptera*, *Podiceps occipitalis* y *Rollandia rolland* (AVES: Podicipididae) en la Reserva Nacional del Titicaca, sector Puno- Perú. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 63 p.
- Miranda, A. W. O. 1995. Comunidad de aves en tres ecosistemas acuáticos alto andinos de la subregión Puno. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 63 p.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y tesis SEA, vol. 1.
- Northcote, T., Morales, P., Levy, D. y Greaven, M. 1991. Contaminación en el Lago Titicaca. Wetwater Research Center. University of British Columbia. IAA-Puno. Perú. 278 p.
- Obando, C. L., Campos, M, G; García, Z, H; Romero, N, H. 2003. Inventario de la diversidad ornitológica del Humedal de Caucato Pisco durante 1997. Universidad Nacional de San Luis Gonzaga de Ica. Asociación de Biólogos.
- Odun, E. P. 1973. Fundamentos de ecología. Sexta edición. Ediciones. 808 p.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). 1982. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. Cooperative Programmers on Monitoring of Inland Waters (Eutrophication Control), Environment Directorate, Paris, Final Report. France.
- O'Neill, J. 1983. La Distribución de las Aves del Perú con comentarios sobre algunos problemas sistemáticos. En Primer Simposio de Ornitología Neotropical: 15-22 Editado por F. Gary Stiles y P. Aguilar F. Lima- Perú.
- Pineda, M. D. H. 1997. Influencia de la eutrofización en la distribución espacial de ictiofauna en la bahía interior de Puno. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 67 p.
- Ralph, C., J.; Geupel, G., R.; Pyle, p., Martin, T., E; DeSante, D., F y Mila, B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany,CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p.

- Red en Acción de Plaguicidas y sus alternativas para América Latina. 2010. Contaminación y eutrofización del agua. Editorial RAPAL Uruguay, Montevideo Uruguay. 30 p.
- Rodrigo, J., Tabilo, E. T. y Mondaca V. 1998. Avifauna de la laguna de punta de teatinos ecosistemas adyacentes, Bahía de Coquimbo, Chile. Boletín Chileno de Ornitología 5: 2 - 9.
- Rojas, Q. R. 2002. Aspectos ecológicos de las aves silvestres del sector Ramis de la Reserva Nacional del Titicaca y su área de influencia natural, Puno. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 60 p.
- Sarmiento, F. O. 2000. Diccionario de ecología. Paisaje, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica. Quito, Ecuador. 514 p.
- Schulenberg, T. S., Stotz D. F., Lane D.F., O'neill J. P. y Parker T. A. 2007. Birds of Perú. Published by Princeton University Press, William Street, Princeton, New Jersey, 656 p.
- Schulenberg, T. S., Stotz D. F., Lane D.F., O'neill J. P. y Parker III T. A. 2010. Aves de Peru. Primera Edicion. Centro de Ornitologia y Biodiversidad- CORBIDI. Lima, 660 p.
- Tabilo E., Jorge. R., Riquelme R., Mondaca A., Labra C., Campusano J., Tabilo M., Varela, M., Tapia A. y Salaberry M. 1996. Management and conservation of the habitats used by migratory shorebirds at Coquimbo, Chile. International Wader Studies. 8 (2): 79-84.
- Torres, M., Quinteros, Z. y Takano, F. 2006. Variación temporal de la abundancia y diversidad de aves limícolas en la Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa, Lima-Perú. Ecol. Apl. 5(1-2):119-125.
- Torres, M. 2007. Evaluación Ornitológica de los Humedales de Puerto Viejo, pantanos de Villa y humedales de Ventanilla. Serie de publicación de flora y fauna silvestre. Instituto nacional de recursos naturales, Lima, Perú. [En línea] http://www.inrena.gob.pe/iffs/iffs_biodiv_estud_flora_fauna_silvestrehtm. [Consulta: 20 junio 2016].
- Walker, B. y Fjeldsa J. 2002. Guía de campo: Aves de Machu Picchu, PROFONANPE, Lima. 234 P.



Anexo I

Tabla 14. Ficha de toma de datos de campo de la avifauna de la bahía de Puno.

Fecha:/...../..... Hora:

Especies	Tratamiento 1			Tratamiento 2				
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Σ	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Σ
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								
.....								

Anexo 2

Tabla 15. Análisis de componentes principales de los diferentes variables con aplicación del Software InfoStat versión 2013 I.

Análisis de componentes principales

Datos estandarizados

Casos leídos 5

Casos omitidos 0

Variables de clasificación

Caso

Autovalores

Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	6.22	0.52	0.52
2	3.54	0.30	0.81
3	2.03	0.17	0.98
4	0.21	0.02	1.00
5	0.00	0.00	1.00
6	0.00	0.00	1.00
7	0.00	0.00	1.00
8	0.00	0.00	1.00
9	0.00	0.00	1.00
10	0.00	0.00	1.00
11	0.00	0.00	1.00
12	0.00	0.00	1.00

Autovectores

Variables	e1	e2
Oxígeno disuelto	0.36	0.10
pH	0.37	-0.10
Conductividad eléctrica	0.19	0.43
Temperatura del agua	0.40	-0.04
Transparencia	-0.32	-0.14
Nitratos	-0.29	0.07
Nitritos	-0.07	0.22
Fosfatos	0.36	0.21
Clorofila-a	0.14	0.48
Densidad	-0.19	0.46
Abundancia	-0.19	0.46
Riqueza	-0.35	0.11



Anexo 3

Tabla 16. Coeficiente de correlación de los parámetros del agua y la densidad, abundancia y riqueza de aves, aplicando el Software InfoStat versión 2013 I.

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes/probabilidades

	Oxígeno disuelto	pH	Conductividad eléctrica	Temperatura del agua	Transparencia	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	Clorofila- a	Densidad	Abundancia	Riqueza
Oxígeno disuelto	1.00	0.19	0.18	0.07	0.27	0.10	0.75	0.10	0.50	0.62	0.63	0.08
pH	0.70	1.00	0.73	0.01	0.06	0.42	0.34	0.08	0.73	0.30	0.30	0.18
Conductividad eléctrica	0.71	0.21	1.00	0.52	0.41	0.58	0.45	0.20	0.08	0.45	0.45	0.65
Temperatura del agua	0.85	0.95	0.38	1.00	0.10	0.19	0.66	0.05	0.62	0.36	0.36	0.06
Transparencia	-0.61	-0.87	-0.48	-0.81	1.00	0.76	0.38	0.02	0.26	0.84	0.84	0.47
Nitratos	-0.81	-0.47	-0.34	-0.70	0.19	1.00	0.51	0.47	0.98	0.40	0.41	0.01
Nitritos	0.19	-0.55	0.45	-0.27	0.51	-0.40	1.00	0.73	0.82	0.50	0.49	0.87
Fosfatos	0.80	0.83	0.68	0.87	-0.94	-0.43	-0.21	1.00	0.18	0.91	0.91	0.28
Clorofila- a	0.40	0.22	0.83	0.31	-0.62	-0.02	0.14	0.71	1.00	0.24	0.24	0.91
Densidad	-0.30	-0.59	0.45	-0.53	0.13	0.49	0.41	-0.07	0.64	1.00	1.4E-09	0.29
Abundancia	-0.30	-0.59	0.45	-0.53	0.13	0.49	0.41	-0.07	0.64	1.00	1.00	0.29
Riqueza	-0.83	-0.71	-0.28	-0.87	0.43	0.95	-0.10	-0.60	-0.07	0.60	0.60	1.00



Anexo 4



Figura 10. Zona de la bahía interior de Puno. A) Punto 1, B) Punto 2, C) Punto 3.



Figura 11. Zona de estudio de Ojerani. A) Punto 1, B) Punto 2, C) Punto 3.



Figura 12. Observación y conteo de la avifauna.



Figura 13. Comunidad de aves en la bahía interior de Puno.



Figura 14. Secado de *Schoenoplectus tatora* (totora) para diversas actividades en Ojerani.



Figura 15. Ingreso directo de aguas residuales a la bahía interior de Puno.



Figura 16. Residuos sólidos en la bahía interior de Puno.

