



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**ALTERACIÓN DEL HÁBITAT Y BIODIVERSIDAD (MACRÓFITOS Y AVES)
DEL LAGO TITICACA – PERÚ OCASIONADO POR EL TRASVASE DE
AGUA A BOLIVIA**

PRESENTADA POR:

GILMAR GAMALIEL GOYZUETA CAMACHO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2020



DEDICATORIA

Cuando pensé que ya no era posible alcanzar este logro, por mi familia me motivé a emprender el camino hacia el doctorado, y hoy al alcanzar nuevas metas y objetivos de estudios en mi desarrollo de vida, siento la satisfacción de tener una gran familia, que constantemente me impulsa a la superación, brinda permanente apoyo y el compartir la paciencia y sacrificio en este periodo de vida, por lo cual, dedico a ellos el presente trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

- ✚ A la Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Posgrado, Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente por promover la superación profesional.
- ✚ A mi esposa e hijos por su comprensión, apoyo y motivo de superación.
- ✚ Al Doctor Edmundo Gerardo Moreno Terrazas por su valioso asesoramiento, apoyo permanente y sobre todo por su gran amistad.
- ✚ A todas las autoridades y docentes del Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente por contribuir con mi fortalecimiento profesional.
- ✚ A los jurados de tesis; Doctora María Trinidad Romero Torres, Doctor Ángel Canales Gutiérrez, Doctor Juan José Pauro Roque, por contribuir en el trabajo de investigación.
- ✚ A la Reserva Nacional del Titicaca y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, por el apoyo documental en la realización de la presente tesis.
- ✚ A los compañeros de estudio del Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente por la constante motivación a conseguir nuestro objetivo.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1	Marco teórico	4
1.1.1	Trasvase de agua en el Perú	4
1.1.2	Índice de Idoneidad de Hábitat	4
1.1.3	Datos de interés sobre el lago Titicaca	5
1.1.4	Macrófitos acuáticos del lago Titicaca	5
1.1.5	Diversidad de aves silvestres	6
1.1.6	Hábitat	6
1.1.7	Humedales	7
1.1.8	Hidrología de la cuenca del lago Titicaca	7
1.1.9	Funcionamiento y balance hidrológico del lago Titicaca	7
1.1.10	Balance Hidrológico	8
1.1.11	Clima de la cuenca del lago Titicaca	8
1.1.12	Precipitaciones	9
1.1.13	Niveles del lago Titicaca	9
1.1.14	Evapotranspiración de cuencas y la evaporación del lago Titicaca	10
1.1.15	Población, tamaño y criterios de evaluación	10
1.1.16	Compuerta de regulación del lago Titicaca	10



1.2	Antecedentes	11
-----	--------------	----

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	15
2.2	Enunciados del problema	16
2.3	Justificación	16
2.4	Objetivos	17
2.4.1	Objetivo general	17
2.4.2	Objetivos específicos	17
2.5	Hipótesis	17
2.5.1	Hipótesis general	18
2.5.2	Hipótesis específicas	18

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Lugar de estudio	19
3.2	Población	19
3.3	Muestra	19
3.4	Métodos de la investigación	19
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	20
3.5.1	Variables analizadas	20
3.5.2	Materiales y equipos	20
3.5.3	Metodología por objetivo 1: Determinar el impacto ambiental en el hábitat del lago Titicaca a efecto de disminución del nivel de cota de agua del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero	20
3.5.4	Metodología por objetivo 2: Evaluar la pérdida de biodiversidad del lago Titicaca ante la alteración de su hábitat a efecto del trasvase de agua a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero.	24

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Alteraciones de hábitat en el lago Titicaca – Perú, ocasionadas por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero	27
4.1.1	Relación hábitat y biodiversidad en el lago Titicaca	27
4.1.2	Relación hábitat y precipitación pluvial en el lago Titicaca	28
4.1.3	Hábitat y nivel del lago Titicaca	30



4.1.4	Índice de Idoneidad del Hábitat HSI para evaluar alteraciones de hábitat del lago Titicaca	34
4.1.5	Comparación de la condición de estatus de hábitat del lago Titicaca	36
4.1.6	Impactos colaterales a la alteración del hábitat en torno al lago Titicaca	45
4.2	Disminución de biodiversidad (macrófitos y aves) en el lago Titicaca – Perú por alteración de su hábitat ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero	48
4.2.1	Disminución de abundancia de macrófitos del lago Titicaca - Perú	48
4.2.2	Disminución de la biodiversidad de aves silvestres del lago Titicaca – Perú	55
	CONCLUSIONES	62
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA	64
	ANEXOS	70

Puno, 09 de octubre de 2020

ÁREA: Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
TEMA: Alteración ambiental del Titicaca
LÍNEA: Impacto tecnológico y ambiental

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Comparación del área y la proporción de las zonas del lago Titicaca con vegetación acuática emergente (totora)	6
2. Precipitación promedio total anual en mm en torno al lago Titicaca - Perú, año 2001 al 2019	28
3. Precipitación promedio total mensual, anual en mm en torno al lago Titicaca - Perú, año 2001 al 2019.	29
4. Tendencia de disminución del nivel de agua del lago Titicaca – Perú, en base a registros promedio mensual anual, años 2001 al 2019.	31
5. Índice de Idoneidad del Hábitat aplicado al hábitat de totorales, lago Titicaca Perú, 2019.	35
6. Índice de Idoneidad del Hábitat aplicado al hábitat de llachal - totoral en el lago Titicaca Perú, 2019.	35
7. Índice de Idoneidad del Hábitat aplicado al hábitat de espejo de agua en el lago Titicaca Perú, 2019.	36
8. Valores ponderados de cada uno de los atributos de l Índice de Idoneidad del Hábitat para hábitats de totoral, llachal - totoral y espejo de agua en el lago Titicaca Perú, 2019.	37
9. Calificación de calidad de hábitat en totorales, llachal - totoral y espejo de agua en el lago Titicaca – Perú, ocasionado por el trasvase de agua a Bolivia, 2019	49
10. Biomasa de totorales en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, 2019	53
11. Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.	54
12. Prueba de homocedasticidad / homogeneidad de varianzas.	54
13. Análisis de Varianza para biomasa de totorales en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, en 4 zonas de hábitats de totoral y totoral llachal y 1 periodo de estudio, 2019	55
14. Preferencia de hábitat de especies de aves silvestres acuáticas en áreas de totoral, totoral – llachal y espejo de agua en el lago Titicaca, 2019	56
15. Biodiversidad de aves silvestres en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, 2019	57
16. Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para la biodiversidad de aves silvestres en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, en 4 zonas de hábitat en totoral – llachal y totoral, y 1 periodo de evaluación, 2019	60
17. Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para la biodiversidad de aves silvestres en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, en 3 zona de hábitat de aves acuáticas; totoral – llachal, totoral y espejo de agua en diferentes periodos. 2019	60
18. Flora en el ecosistema totoral llachal del lago Titicaca	71
19. Aves en el ecosistema totoral y llachal del lago Titicaca	72



20.	Para Índice de Idoneidad del Hábitat HSI	73
21.	Valores X_{ji} del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI	73
22.	Valores de Ponderación para cada uno de los atributos del índice	74
23.	Valores X_{ji} del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, total	74
24.	Valores ponderados para cada uno de los atributos del Índice de Idoneidad del Hábitat para áreas de totorales en el lago Titicaca Perú, 2019	74
25.	Valores X_{ji} del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, llachal – total	75
26.	Valores ponderados para cada uno de los atributos del Índice de Idoneidad del Hábitat para áreas de llachal - total en el lago Titicaca, 2019	75
27.	Valores X_{ji} del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, espejo de agua.	76
28.	Valores ponderados para cada uno de los atributos del Índice de Idoneidad del Hábitat para áreas de espejo de agua en el lago Titicaca Perú, 2019	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Niveles de agua promedio en el lago Titicaca del periodo entre 1920 y 2005.	30
2. Tendencia descendente del nivel del lago Titicaca años 2001 al 2018, registrado por la Estación Hidrométrica de Desaguadero (ORLT).	32
3. Aziruni, presencia de totorales en deterioro en nivel 20 a 30 centímetros de profundidad de agua.	38
4. Bahía de Puno, pequeñas muestras de totoral verde en nivel de profundidad de más de 50 centímetros.	38
5. Huerta Huaraya, totorales emergentes desecados por descenso del nivel de agua, terrenos baldíos.	38
6. Chinchero, totorales emergentes como terrenos eriazos, por descenso del nivel de agua.	38
7. Cotos, presencia de totoral – llachal en zonas con algunos centímetros de nivel agua.	39
8. Capano, canales con nivel de agua de más de 1 metro permiten en el borde crecimiento de totorales y presencia de aves.	39
9. Isla Amantani, espejo de agua con profundidades de zonas litorales de más de 5 metros, no permiten crecimiento de macrófitos.	39
10. Isla Taquile, espejo de agua, con profundidades de más de 100 metros, no permiten crecimiento de totoral – llachal tampoco presencia de biodiversidad.	39
11. Isla Foroba, descenso del nivel de agua ocasiona pérdida de totoral–llachal, queda 20 a 30 centímetros de profundidad de agua, sin periodo de secas.	40
12. Chulluni, lago por descenso de nivel agua, se tiene pérdida de totorales, no siendo años de escasa precipitación en la región.	40
13. Titino, presencia de totorales emergentes desecados por descenso del nivel de agua, siendo años lluviosos en la Región.	41
14. Llachón, descenso continuo del nivel agua del lago Titicaca provoca la pérdida de zonas de totoral en toda el área de macrófitos del lago.	41
15. Millojachi, escaso ganado pastorea áreas de totora emergente desecada por el descenso del nivel de agua.	41
16. Paucarcolla - Chinchero, sobrevivencia de ganado en zonas de totorales emergentes desecados en riberas del lago Titicaca.	41
17. Muelle Puno, solo embarcaciones de tránsito a Islas del lago Titicaca, navegan en zonas de profundidad.	42
18. Chulluni, embarcaciones navegan en algunos canales del lago que quedan por descenso del nivel de agua.	42
19. Capucra, quema de totorales desecados en zona lago pérdida de espejo de agua.	43

20. Jirata Vizcachuni, extensas áreas de totorales quemados a causa del descenso del nivel de agua del lago Titicaca. 43
21. Bahía interior de Puno, presencia de aves sobre zonas húmedas, ante la pérdida de hábitat en el lago Titicaca. 43
22. Queñola, zambullidor visto en Kapi Cruz, espejos de agua distante de su hábitat, por pérdida de totorales y llachales en el lago Titicaca. 43
23. Compuerta de regulación río Desaguadero, abierta permanentemente desde 2008, produce el descenso del nivel de agua del lago Titicaca, alterando hábitats y la biodiversidad. 44
24. Río Desaguadero, trasvasa aguas del lago Titicaca hacia Bolivia, alterando el nivel de agua. 44
25. Bahía interior de Puno, descenso inusual del nivel del lago Titicaca, altera el hábitat del medio. Fuente: G. Goyzueta, 2019 45
26. Chimu lago, descenso del nivel de agua deja zonas emergentes de totorales, como terrenos baldíos. 45
27. Bahía interior de Puno, tendencia a eutrofización del lago por el descenso del nivel de agua, afecta hábitat y la biodiversidad de zonas de totoral – llachal. 46
28. Chulluni, descenso del nivel de agua del lago, promueve concentración de nutrientes y tendencia a la eutrofización. 46
29. Isla Allan Ribera, zonas de totorales desecados emergentes, concentran altas temperaturas y ausencia de biodiversidad. 47
30. Chulluni lago, zonas de totorales emergentes desecados no permiten presencia de aves por altas temperaturas del medio. 47
31. Islas Uros, mantenimiento de islas con totorales traídos de zonas distantes para sostener el turismo y calidad estética. 48
32. Islas Uros, imagen frontal aparente para el turismo nacional e internacional. Fuente: G. Goyzueta, 2019 48
33. Islas Uros, Colegio Adventista los Uros, ausencia de totora en confección de ambientes, se reemplaza con material prefabricado. 48
34. Islas Uros Colegio Estatal, quedan en terrenos emergentes por disminución del nivel de agua y con material prefabricado, antes como isla y totora. 48
35. Huerta Huaraya, hábitat calificado nulo por pérdida de espejo de agua y biodiversidad, antes zona lago. 50
36. Balseromayo, zona de totoral lago emergente desecado como hábitat nulo para la biodiversidad, antes con profundidad de agua de más de 1 metro. 50
37. Chimu ribera, alguna presencia de totora en zonas con nivel de agua de 20 a 30 centímetros, atrás presencia de ganado por totorales emergentes. 50
38. Chulluni, zona lago con totorales emergentes deteriorados sin presencia de biodiversidad, calificación de hábitat malo. 50



ÍNDICE DE ANEXOS

1. Tablas referenciales de uso al análisis de datos de la investigación	71
2. Aplicación del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI	73

RESUMEN

Se evaluó la alteración de hábitat y disminución de biodiversidad en el lago Titicaca – Perú ocasionada por el descenso del nivel de agua a causa del trasvase a Bolivia por la compuerta del río Desaguadero. Se utilizó el Índice de Idoneidad del Hábitat (HSI), método de cuadrantes para macrófitos y transectos lineales para aves. Los resultados indican, el HSI establece dependencia entre hábitat y biodiversidad (3,810 msnm). Con lluvia >765 mm (promedio encima de normal) entre 2001 y 2019, se registró, en los últimos 11 años, una cota <3,809 msnm, esto es >1 m de diferencia, atribuyéndose al trasvase de agua a Bolivia desde el 2008. La alteración de hábitat es calificada como mala. En una escala de 0 a 100%, el totoral califica 35, el llachal – totoral 32.5 y el espejo de agua 27. Hay eutrofización del agua con niveles altos de nitratos y fósforo, aumento >10°C de temperatura ambiental en totorales y llachales desecados e impacto negativo al turismo por alteración de paisaje. El descenso de nivel de agua a 3,808.54 m, (diciembre 2019), disminuyó la diversidad de macrófitos y aves del Titicaca, el hábitat totoral, totoral llachal y espejo de agua registran calificación mala, y nulo por pérdida de totorales. Se registró 24 especies de aves en 13 familias, calificación de condición regular (UICN) en la cota 3,809.11 m (abril 2019), y condición escasa en cota 3,808.54 m (diciembre 2019). En conclusión, el trasvase de aguas por la compuerta del río Desaguadero ha causado un impacto en hábitats y biodiversidad en el lago Titicaca.

Palabras clave: Alteración de hábitat, biodiversidad, hábitat, lago Titicaca, trasvase de agua.

ABSTRACT

We evaluated the hábitat alteration and biodiversity reduction in Lake Titicaca - Peru caused by the water level drop due to the wáter transfer to Bolivia through the floodgate of the Desaguadero River. We used the Habitat Suitability Index (HSI), a quadrant method for macrophytes and linear transects for birds. The results indicate, the HSI establishes dependence between habitat and biodiversity (3,810 masl). With rainfall >765 mm (average above normal) between 2001 and 2019, in the last 11 years, a height <3,809 masl was registered, that is, >1 m of difference, attributed to the transfer of water to Bolivia since 2008. Habitat alteration is rated as bad. On a scale from 0 to 100%, the totoral rates 35, the llachal - totoral 32.5 and the water mirror 27. There is wáter eutrophication with high levels of nitrates and phosphorus, an increase of >10 °C in environmental temperature in desiccated totorales and llachales and negative impact on tourism due to landscape alteration. Drop in water level to 3,808.54 m, (December 2019), reduced the diversity of macrophytes and birds in Titicaca, the totoral and llachal habitat and water mirror registered a bad rating, and null due to the loss of totorales. We register 24 bird species in 13 families, qualification of regular condition (IUCN) at level 3,809.11 m (April 2019), and low condition at level 3,808.54 m (December 2019). In conclusion, wáter transfer through the floodgate of the Desaguadero River has caused an impact on habitats and biodiversity in Lake Titicaca.

Keywords: Biodiversity, habitat alteration, habitat, Lake Titicaca, water transfer.

INTRODUCCIÓN

El lago Titicaca es reconocido mundialmente como el lago navegable más alto del mundo, y establecido como un ecosistema natural de vital importancia para la biodiversidad que alberga en su medio, a partir del cual, brinda múltiples beneficios socioambientales y económicos a poblaciones humanas locales, regionales y a nivel nacional Reserva Nacional del Titicaca (2020); Goyzueta (2005), calificándolo para ser categorizado como sitio RAMSAR a nivel mundial por la CONVENCIÓN RAMSAR (2013). Sin embargo, la vida de las poblaciones silvestres está sujeta solo a pequeñas áreas del lago con presencia de macrófitos acuáticos que ocupan 1,080 km² Dejoux e Iltis (2015), en el cual se ubica la Reserva Nacional del Titicaca.

En la gestión de las citadas categorías de conservación y protección de recursos naturales y pese a tener una Ley de Recursos Hídricos 29338 ANA (2019), cuyo principio de sostenibilidad es de prevenir la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales del entorno de este importante cuerpo de agua. A pesar de considerar la importancia de dichas categorías de conservación como parte del ecosistema donde se encuentran, está sujeta a los cambios y alteraciones de hábitat y biodiversidad. Estos impactos son debido, entre otros al flujo y nivel del agua, que se ve amenazado por el trasvase de agua de la compuerta de regulación del río Desaguadero hacia Bolivia (Goyzueta *et al.*, 2009).

A nivel mundial los trasvases de agua de una vertiente a otra siempre llevan a conflictos entre pueblos, porque la ausencia de agua disponible es cada vez mayor, impactando la agricultura, ganadería, niveles recreativos, medio ambiente, mineras, entre otras. Además, debido a que no existe una igualdad de uso y beneficios equitativos, y porque las poblaciones no fueron consultadas, vulnerando incluso el “Convenio 169 de la OIT”. En el Perú, algunos casos son los proyectos Chavimochic y Chincas, que trasvasan aguas del Río Santa a varias cuencas deficitarias al norte y sur del Río Santa; la derivación de aguas del Río Majes a las pampas áridas de Siguan (I y II Etapa), en Cajamarca, afluentes y lagunas de la cuenca del Río Mantaro derivados al Rímac, como lo precisa (Dourojeanni, 2014).

El lago Titicaca cumple un rol importante en la conservación de la biodiversidad (macrófitos, aves silvestres, peces e integrantes de redes y cadenas alimentarias) tiene en el recurso “totora” *Schoenoplectus tatora*, y los llachos (*Miriophyllum*, *Elodea* y *Potamogeton*), la condición ideal para proveer el hábitat a través del substrato y protección a dicha biodiversidad; así como la acción termorreguladora del lago, permitiendo que aves y peces soporten condiciones ambientales críticas y estén protegidos de predadores (Reserva Nacional del Titicaca, 2020); (Goyzueta, 2005).

Los totorales en el lago Titicaca crecen óptimamente con un nivel de profundidad de agua de 2.5 metros, lo que coincide con el nivel de agua del lago por encima de la cota 3,810 msnm, alcanzando su máximo desarrollo en densidad y crecimiento; excepcionalmente se mantienen con niveles de profundidad extremos, están presentes hasta con 10 cm de espejo de agua cuando el lago llega a sus niveles mínimos por estiaje, o crecen normalmente hasta con 4.5 m. de profundidad, incluso hasta extremos de 5.5 m con caudales de agua extremos, variaciones que se presentan en forma anual o hasta por varios años (Goyzueta, 2005); (Goyzueta *et al.*, 2009).

El desarrollo de totora en la profundidad de agua de 2 m coincide con el nivel de agua del lago en la cota 3,810 msnm, cota promedio del lago Titicaca de los últimos 100 años (Goyzueta *et al.*, 2009).

Los registros antes señalados, llevan a alertar y sobre todo a corregir, el funcionamiento de la compuerta de regulación del lago Titicaca, construida en el río Desaguadero por la Autoridad Autónoma del lago Titicaca (ALT), trasvasando mínimamente en época de estiaje 10 m³/seg, SENAMHI (2020). Este volumen de agua trasvasado afecta la dinámica funcional del ecosistema del lago Titicaca, alterando su balance hídrico y el de los diferentes hábitats, a partir del cual depende la presencia de la biodiversidad desde la vida en las cadenas alimentarias hasta la existencia de la flora y fauna silvestre y otros grupos de organismos, que brinda beneficios a la población del anillo circunlacustre peruano-boliviano, contribuyendo al desarrollo local, regional y binacional.

El trabajo de investigación se encuentra dividido en los siguientes capítulos: Capítulo I. Revisión de literatura, que comprende los fundamentos sobre el marco teórico y antecedentes de trabajos referentes a alteración de hábitat, biodiversidad del lago Titicaca e impactos por trasvase de agua de una cuenca a otra. El capítulo II. Planteamiento del problema, refiere a la identificación, enunciados, justificación objetivos e hipótesis sobre



la alteración de hábitat y disminución de biodiversidad en el lago Titicaca. El capítulo III. Materiales y métodos, describe los instrumentos utilizados, así como la zona de estudio, método, diseño, tipo y nivel de investigación. El capítulo IV. Resultados y discusión presenta información de evaluaciones con el Índice de Idoneidad de Hábitat, metodologías de cuadrantes y conteos de población de la biodiversidad del lago Titicaca, culmina con las conclusiones, recomendaciones, bibliografía consultada y los anexos referidos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Traspase de agua en el Perú

Siempre en la historia de la humanidad se han realizado trasvases desde cuencas próximas con el fin de cubrir la necesidad de agua, sin embargo, pese a que todos necesitamos trasvases de agua para nuestra supervivencia desde agua potable, actividad agropecuaria, actividades energéticas, o minería, realmente en la actualidad nada genera más controversias por el agua en el Perú, que nuevos proyectos de trasvases de agua, más aún, si la propuesta implica trasvasar agua de una región política administrativa (municipio, provincia, departamento) o delimitada por razones naturales (vertiente, cuenca, lago) a otra región política o natural, los conflictos sociales aumentan exponencialmente (Dourojeanni, 2014).

a) Principio de sostenibilidad, Ley de Recursos Hídricos N°29338

El gobierno peruano promueve y controla el aprovechamiento y conservación sostenible de los recursos acuáticos previendo la alteración de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su medio ambiente, como parte del ecosistema donde se encuentran; la usanza y políticas de gestión sostenible del agua implica la participación integrada en aspectos socioculturales, ambientales y económicos en el desarrollo nacional, así como la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones (ANA, 2019); (Goyzueta *et al.*, 2009).

1.1.2 Índice de Idoneidad de Hábitat

Los Índices de Idoneidad de Hábitat (HSI por sus siglas en inglés Hábitat Suitability Index), constituye la evaluación más utilizada en la actualidad para vida silvestre, desarrollada por el U. S. Fish & Wildlife Service (1991), perfeccionada con el tiempo

por más 180 autores; el método HSI depende de la experticia del evaluador acerca del hábitat, consiste en otorgar puntuaciones o calificaciones (normalmente van de 0 a 1 ó 0 a 100) a la importancia relativa de las distintas unidades ecológicas (sus variables y atributos mínimos para una especie) para la vida silvestre y manejo (Gallina *et al.*, 2014); (Rodríguez, 1987).

El método HSI es ampliamente difundido en estudios de flora y fauna silvestre (Zhang *et al.*, 2017) en China, (Braunisch *et al.*, 2018) en Europa Central, (Na *et al.*, 2018) en Japón, (Chen *et al.*, 2018) en Xiaonam, (Jiang *et al.*, 2018) en China, (Leal *et al.*, 2019) en el Mediterráneo, (Poirazidis *et al.*, 2019) en Grecia. (Osorio *et al.*, 2016) en México. Siendo una constante la importancia relativa de distintas unidades ecológicas en vida silvestre

1.1.3 Datos de interés sobre el lago Titicaca

Bahía de Puno	:	589 km ² - Profundidad máxima 30 metros
Lago Mayor	:	6,542 km ² - Profundidad máxima 281 metros (Isla Soto)
Lago Menor	:	1,428 km ² - Profundidad máxima 45 metros
Superficie total	:	8,562 km ²
Volumen	:	903 km ³

Sub tipo climático “A” de acuerdo al sistema de clasificación de W. Thorntwaite. (SERNANP, 2015); (Goyzueta *et al.*, 2009); (Goyzueta, 2005).

1.1.4 Macrófitos acuáticos del lago Titicaca

Existe la clasificación de flora acuática del lago Titicaca con plantas que están sujetas al sustrato, siendo 13 especies y las flotantes en número de 2; caracterizando los estratos del agua se clasifican en limnófitas o sumergidas (6), las anfíbias o helófitas (7), y las anfífitas o flotantes (2) (Tabla 18 en anexo); de ellos los totorales y llachales del lago Titicaca son áreas de gran importancia como hábitat de las aves silvestres acuáticas, permitiendo que el alimento para las aves sea obtenido fácilmente, ya que existe una alta productividad de macrófitos acuáticos, peces, invertebrados, resaltando en éste último los artrópodos, moluscos, crustáceos, platelmintos, anélidos, insectos, etc. (SERNANP, 2015); (Goyzueta *et al.*, 2009); (Goyzueta, 2005).

En la Tabla 1, se presenta el nivel de importancia que la bahía de Puno tiene con presencia de vegetación emergente (totora), ocupando 350 km², representando el

62% de proporción del área de la bahía de Puno del total de área, es decir de los 602 km² estimados, además, se tiene que la extensión de totoral ocupa en el lago Titicaca Perú y Bolivia un área de 1,086 km², representando el 13.3 % del área total del lago Titicaca 8,562 km², de los cuales en el territorio peruano se encuentra la mayor extensión de totorales con un área de 768 km², representando el 9.4 % del área total del lago Titicaca (Reserva Nacional del Titicaca, 2020); (Goyzueta, 2005).

Tabla 1
Comparación del área y la proporción de las zonas del lago Titicaca con vegetación acuática emergente (totora).

Zona	Perú		Bolivia		Total	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Bahía de Puno	350	62.0	0.0	0.0	350	62.0
Lago Grande	395	6.2	91	1.4	486	7.0
Lago Pequeño	23	1.8	227	40.2	250	19.3
Lago Titicaca	768	9.4	318	3.9	1.086	13.3

Fuente: Levíel, 1991 en Goyzueta (2005).

1.1.5 Diversidad de aves silvestres

Un grupo importante de aves silvestres son las migratorias, caso especial de los chorlos y playeros (charádridos y scolopácidos), los flamencos (phoenicoptéridos) y otras aves como los cormoranes *Phalacrocorax olivaceus*, que se presentan al lago Titicaca en los periodos de estiaje (julio, agosto) y están presentes hasta el inicio de lluvias (diciembre), aprovechando las condiciones benignas del nivel hidrológico del lago en la posibilidad de alimento para ellas (SERNANP, 2015); (Goyzueta *et al.*, 2009); (Goyzueta, 2006); (Goyzueta, 2005).

La Reserva Nacional del Titicaca registra fluctuaciones en el número de individuos y de poblaciones, según temporadas de migración, en abril de 1999 se registró 21 especies en 12 familias con un total de 137,599 individuos, en noviembre se registró 23 especies en 13 familias (Tabla 19 en anexo), con una estimación poblacional de 193,147 individuos para un área de 29,150 ha, factor debido a que el periodo de migración a la reserva comprende el arribo de aves a partir de agosto, permaneciendo en estos hábitat hasta diciembre (Goyzueta *et al.*, 2009); (Goyzueta, 2005).

1.1.6 Hábitat

El hábitat es el espacio que ocupa una especie y al cual está adaptada, como tal, el hábitat posee los recursos de sitio, alimentación, agua y protección, que permiten la

sobrevivencia de la especie; así mismo, se conoce como el lugar o tipo de ambiente donde vive una población o especie; en realidad, el hábitat permite satisfacer las necesidades básicas de una población o especie; también el término hábitat potencial refiere a las condiciones ambientales similares al hábitat efectivo, sin que la especie la habite por alguna causa natural o inducida (INAB, 2014); (Otálora y Torres, 2012); (Cobo y Moravec, 2011).

1.1.7 Humedales

La concepción de humedales se da a zonas con planicies y hondonadas que permite la presencia de agua determinando la existencia de vida vegetal y animal relacionada con el medio ambiente, para esto la Convención RAMSAR caracteriza a los humedales como: “Ramificaciones de marisma, pantanos y turberas, o espacios cubiertos de agua, sean de condición natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros”, además incluye zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como, islas o extensiones de agua marina de una profundidad por encima de los seis metros en marea baja, estando al interior del humedal (CONVENCIÓN RAMSAR, 2013); (Matheus, 1993).

1.1.8 Hidrología de la cuenca del lago Titicaca

Para el lago Titicaca, definen dos sistemas hidrológicos dinámicos y aislados que se ubican en la cuenca endorreica del Altiplano: el lago Titicaca (3,809.5 m) que dispersa en el lago Poopó (3,686 m) por medio del río Desaguadero, el que a su vez desemboca en el salar de Coipasa (3,657 m) en ciclos de aguas altas, y el salar de Uyuni (3,653 m) que recibe al río Grande del Lipez, en la actualidad las posibilidades de conexión entre estos dos sistemas se presentan para niveles de agua por encima de los que fueron reportados en 1986, también se cita que el lago Titicaca es actualmente el único cuerpo de agua superficial importante perenne (Dejoux e Iltis, 2015); (Rocha, 2002).

1.1.9 Funcionamiento y balance hidrológico del lago Titicaca

La cota del nivel del lago Titicaca, además de una fluctuación anual, tiene también variaciones a la escala plurianual, desde 1914, la fluctuación de cota de 6.37 metros, el lago es alimentado por los aportes de los ríos de su cuenca y por las precipitaciones

pluviales de la región, las pérdidas se deben a la evaporación y salidas temporales del río Desaguadero, cuya longitud es de 383 km hasta su confluencia con el lago Poopó; los primeros 8 km desde la salida el lago Titicaca hasta el hito 43, son de curso contiguo con la república del Perú, así mismo, los principales afluentes a la cuenca alta del río desaguadero son 12, siendo el principal el Llinqui.

Otro régimen de evacuación lo constituyen los fondos elevados que están al principio del río Desaguadero (puente Internacional) y la parte final río abajo de la laguna Lucuchala (o Desaguadero) que corresponde al ensanchamiento de este río hasta unos 30 km del lago (Aguallamaya); en cuyo cause final se tiene una forma aproximadamente triangular de fondo a una altitud de 3,803 m, en general no constituye el paso de control hidráulico permanente para el escurrimiento río abajo, particularmente en periodo de niveles bajos (Dejoux e Iltis, 2015).

1.1.10 Balance Hidrológico

Los ingresos de lluvia y ríos hacen subir el nivel de la laguna Lucuchala más rápidamente que el nivel del lago, en este caso se suscita un escurrimiento aguas arriba hacia el lago Titicaca y por otro lado, aguas abajo del Desaguadero, este proceso de ingreso de aguas al lago se da hasta que su nivel permite el equilibrio hidráulico, a partir del cual, la corriente se invierte y el Desaguadero vuelve a su curso normal; este proceso de inversión de corriente es un suceso ocasional y corto que impacta a volúmenes de agua relativamente bajos respecto a los valores medios y a los balances del lago (Dejoux e Iltis, 2015).

1.1.11 Clima de la cuenca del lago Titicaca

El clima del altiplano es frío y seco, siendo una condición directa de su nivel de altitud sobre mar, esta altitud determina en las condiciones atmosféricas propiciando la insolación e irradiación muy amplia debido al aire enrarecido y diáfano, con poca humedad, no promoviendo propagación de calor, lo que refleja que al sol la temperatura es alta y a la sombra es baja.

Según la clasificación climática para la zona del altiplano, considerando los parámetros de temperatura y humedad, la cuenca del Titicaca se clasifica como mesotérmico con invierno seco y frío, con efecto termorregulador por la presencia del lago Titicaca; en altitudes inferiores a 4,000 msnm, el promedio de temperatura

media anual registra entre 7 y 10°C; en inmediaciones del lago, las temperaturas son superiores a 8°C; en general en toda la cuenca, las temperaturas medias más bajas se dan en julio, en invierno, mientras que las más altas se dan en diciembre a marzo, generalmente en febrero (Dejoux e Iltis, 2015).

Sobre la clasificación climática mundial de Köppen, que usa la vegetación nativa para denominar los tipos de climas, con la intensidad de la evaporación en la vegetación local, Puno está nominado como un tipo de clima del tipo E, de nieve o polares, indica que la temperatura media del mes más cálido es menor a 10°C. así mismo la subclasificación considera si la temperatura media del mes más cálido es mayor a 0°C: tipo ET (T: tundra), además se basa en la temperatura y precipitación media mensual y anual de 696 mm (Köppen, 2012).

1.1.12 Precipitaciones

Se tiene valores nivelados para un periodo de años entre 1968 a 1987, según las estaciones meteorológicas del Perú y Bolivia, en las cuales las isohietas son globalmente concéntricas al lago, al centro del cual se observan lluvias superiores a 1,000 mm, y las precipitaciones tienden a disminuir conforme la distancia al lago aumenta, hasta mínimos de 600 a 500 mm (Dejoux e Iltis, 2015).

El registro de las descargas medias diarias de los principales ríos de la región hidrográfica del Titicaca lado Peruano, el comportamiento propio de la temporada estacional, los registros de caudales variable año a año, se traduce en anomalías hídricas negativas o positivas durante todos los meses, que permite previsión hidrológica para cada año, indican precipitaciones y caudales de los ríos Ramis, Huancané, Ilave, Coata y el nivel del lago Titicaca, con registros de las tendencia anuales y su promedio histórico (SENAMHI, 2020).

1.1.13 Niveles del lago Titicaca

Se establece los niveles de referencia del lago Titicaca, considerando como parámetro la Cota Absoluta o Nivel de Referencia del lago Titicaca, Nivel “0” en 3809.92, con relación al nivel medio del mar (NMM) (Marina de Guerra del Perú, 1986).

La cota del nivel del lago Titicaca registran un promedio de altitud del cero de la escala limnigráfica de 3,809.93 m para los años 1914 a 1989, la variación anual es determinada por el juego de los ingresos y las salidas en agua; el máximo anual de altura está generalmente centrado en abril, al final del período de precipitaciones y del ingreso de los ríos tributario, el nivel mínimo se da generalmente en diciembre, justo antes de las lluvias importantes del año; para este mismo periodo, la amplitud interanual de variación del nivel fue de 6.37 m, con un mínimo minimorum de -3.72 m en diciembre de 1943 y un máximo maximorum de 2.65 m en abril de 1986, con relación al cero de la escala limnimétrica; el nivel máximo fue 3,812.54 m en abril de 1986, y el nivel mínimo fue en diciembre de 1943 con un valor de 3,806.23 (Dejoux e Iltis, 2015).

1.1.14 Evapotranspiración de las cuencas y la evaporación del lago Titicaca

Los registros de evapotranspiración y la evaporación reales son generalmente los términos del ciclo del agua más difíciles de medir, caso del lago Titicaca y su cuenca, para los cuales hay una incertidumbre sobre sus valores, valores de aproximación nos indican que las precipitaciones representan el 46.8% de aporte, y los caudales fluviales el 53.2% de los cuales la pérdida por evaporación representa el 91.1% y la pérdida por el efluente río Desaguadero representa el 8.9% (Dejoux e Iltis, 2015).

1.1.15 Población, tamaño y criterios de evaluación

Para los criterios de la Lista Roja el término ‘población’ se usa en un sentido específico, el cual es diferente del sentido biológico comúnmente empleado; aquí, la población se define aquí como el número total de individuos del taxón, y por razones funcionales, principalmente debido a las diferencias entre formas de vida, el tamaño de la población se mide sólo como el número de individuos maduros. (UICN, 2012); (Matheus, 1993).

Ausente	Sin presencia
Escaso	de 0 a 100 individuos
Regular	de 101 a 1,000 individuos
Abundante	de 1,001 a 10,000 individuos
Muy abundante	de 10,001 a más

1.1.16 Compuerta de regulación del lago Titicaca

La compuerta de regulación del lago Titicaca es una obra de ingeniería, construida en el río Desaguadero concluida en el año 1998 a través del Plan Director Global Binacional de Protección-Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los Recursos del Sistema Hídrico T.D.P.S., en la administración de la Autoridad Autónoma Lago Titicaca ALT (SERNANP, 2015); (Goyzueta *et al.*, 2009).

1.2 Antecedentes

Reserva Nacional del Titicaca (2020), en su informe de monitoreo biológico en el área protegida para el año 2019, en totorales y aves silvestres, reporta que para los años 2015 al 2019, hay una disminución del 42.9% en biomasa total de totorales, e incremento de biomasa seca entre los años 2014 y 2016 del 23.4%, que se debe a la disminución en el nivel de lago que se ha producido en los últimos años, lo cual tiene relación también con el incremento de quemadas de totorales e ingreso de ganado al ANP, para el 2019 registran 66 especies de aves silvestres en los ecosistemas totoral, orilla inundable y espejo de agua, con una abundancia total de 19,995 individuos, agrupadas en 13 órdenes y 28 familias.

Gao *et al.* (2019), revelan la presencia de trazas de metales en la Reserva de las Tres Gargantas; acumulación en la fase de construcción y embalse, con disminución en etapa de operación; un nivel por encima de lo normal de Hg y Cd, también Hu *et al.* (2018) indicaron que los embalses afectan significativamente el régimen hidrológico y el ecosistema del río aguas abajo y del lago en conexión, caso del lago Dongting en China.

Becker *et al.* (2018), citan registros de niveles medios mensuales del lago Titicaca desde el año 2001 al 2018, en la Estación Hidrométrica de Desaguadero (ORLT) para la ALT, con datos de los niveles medios mensuales, teniendo datos de un nivel máximo entre los meses de abril o mayo y un nivel mínimo en los meses de diciembre o enero, en cotas referenciales para Bolivia, se obtiene que el 36.4% registra por encima de la media y 63.6% registra por debajo del valor promedio, concluyendo que el comportamiento de los niveles del lago Titicaca, registrados en la ORLT Desaguadero, presenta una tendencia descendente.

Xiao *et al.* (2018), indican que los lagos pierden grandes beneficios económicos, recreativos y estéticos afectados por el cambio climático, en Twin Cities (Minnesota, EE.UU.) las altas evaporaciones bajan históricamente el nivel de agua, White Bear Lake descendió 1.5 m (2003 al 2013), así mismo McDermid y Winter (2017) indican que el

mar de Aral perdió condiciones de pesca, navegación, servicios ecosistémicos, agricultura, por la interferencia del flujo de ríos para fines agrícolas intensivos, llevando rápidamente a la desecación del mar de Aral, quedando a partir del 2014 solo el 10% de su extensión total, produciendo altas temperaturas, reducciones en evapotranspiración, contribuyendo al calentamiento global.

Klump *et al.* (2018), sobre el lago Michigan, “estuario”, indicaron que en su cuenca hidrográfica se dio una agricultura intensiva brindando un tercio del fósforo total del lago, por el río Fox como afluente principal, afectado por la industrialización de Norte América, ocasionando un extremo deterioro de calidad de agua, igualmente Howard y Gerber (2018) indican que sobre las cuencas de grandes lagos de África y Norteamérica tienen grandes reservas de agua subterránea, resultando contaminadas por todo tipo de actividad urbana, lo que debe merecer una atención por los gestores ambientales.

Wu *et al.* (2018), manifestaron impactos en China en el lago Dianchi, sobre el 19.5 % de su balance hídrico, (1999 – 2011) por agua extraída no autorizada (36 extracciones), ocasionando disminución sustancial del nivel y caudal del agua, aumento de la contaminación con tendencia a eutrofización, se dieron floraciones tóxicas de cianobacterias, reportes similares registran Kolding y Zwieten (2012) en Asia y África, manifestando que la disminución de agua en lagos poco profundos, impacta al ingreso y movilización de nutrientes, afectando la productividad de comunidades biológicas, pero también tienen más alto rendimiento de peces por unidad de área.

Yao *et al.* (2018), en estudios para el lago aluvial Poyang, indican que en los últimos años disminuyó drásticamente el nivel del agua, coincidiendo con la erosión del lecho, la influencia batimétrica se extendió a todo el lago debido al efecto de vaciado, alterando la distribución del nivel del agua en aproximadamente 14.4 % al nivel más bajo en otoño del 2006, de forma similar Lei *et al.* (2018) revelaron que a final de la década de 1990 en el Tibet el lago Paiku Co tuvo una disminución hídrica drástica atribuido a la tendencia de condiciones más secas en la región del Himalaya, registró un nivel medio y máximo de 41.1 m y 72.8 m, variable en el periodo estacional anual, en una escala de varios años disminuyó 3.7 + - 0.3 m.

Xie *et al.* (2018), para el río Shenzhen y la cuenca profunda de China tuvieron calidad de agua superficial fuertemente correlacionada con la composición del paisaje y la

fragmentación del hábitat, según anchos de zonas ribereñas, se mostró que la composición del paisaje es más contribuyente a la variación en la calidad del agua.

Liao *et al.* (2018), utilizaron estrategias de restauración y mitigación, caso West Virginia, sobre corrientes impactadas por extracción de energía y desarrollo residencial que juntas causan más impacto, también Zhao *et al.* (2015) manifestaron que en Jinan – China, el carbonato es el factor de hábitat más pobre y tiene la más alta prioridad para rehabilitación ecológica, asimismo Cook *et al.* (2015) indican que en la frontera Kentucky y Virginia realizaron mitigación ecológica sobre la región de Apalaches considerando calidad de agua y factor geomorfológico en la restauración de la corriente/hábitat, perturbadas por actividades antropogénicas.

Zhang *et al.* (2017), realizan estudios aplicando el Índice de Idoneidad de Hábitat HIS con pepino de mar *Apostichopus japonicus* en China, estudios similares realizan Braunisch *et al.* (2018) con trabajos de vida silvestre y recreación humana en Europa Central, igualmente Na *et al.* (2018) lo usan para estudios de grulla de corona roja en Japón, asimismo Chen *et al.* (2018) aplican el HIS en introducción de peces exóticos en el río Xiaonam, también Jiang *et al.* (2018) investigan aves migratorias en el lago Poyang China, Leal *et al.* (2019) aplican el mismo índice en pastizales y pastoreo en el Mediterraneo, también Poirazidis *et al.* (2019) usan HIS para estudios de urogallo en Grecia, siendo una constante en las investigaciones la determinación de importancia relativa de las distintas unidades ecológicas para la vida silvestre.

Osorio *et al.* (2016), realizando estudios de Índice de Idoneidad de Hábitat HIS en México, manifiestan que a medida que se incrementa la proporción de individuos que se dispersan bajo diferentes escenarios, la correlación entre abundancia e idoneidad del hábitat disminuye.

Rafikov y Gulnora (2014), determinaron cambios en las condiciones hidrológicas e hidroquímicas en el mar de Aral, que la regulación del flujo del río Amu Darya y las cuencas del río Syr Darya con fines agrícolas desde 1961 son las grandes causas de alteración del mar de Aral, así mismo White (2013) indicó que la expansión zarista rusa en Asia Central, seguida por la expansión soviética de la industria algodonera y prácticas de irrigación insostenibles, afectaron la economía regional y salud humana.



Baidya *et al.* (2014), determinaron el impacto de desecación del mar de Aral en temperaturas del aire superficial en verano produciendo cambios drásticos en los últimos 50 años a través de imágenes satelitales LANDSAT, que muestran 80 % de reducción de superficie del lago, sugirieron variabilidad climática a gran escala y el cambio de uso de tierra en cuencas de Amu Darya y Syr Darya contribuyendo al calentamiento regional, así mismo Cretaux *et al.* (2013) con similar metodología explicaron la influencia del agua subterránea en la hidrología actual del agua del mar de Aral y balance hídrico.

Goyzueta (2006), sobre Macrófitos del lago Titicaca (sitio Ramsar), condición de hábitat para la presencia de aves silvestres acuáticas neotropicales, determina por el Índice de Idoneidad de Hábitat, que el área de totorales y llachall totoral califica 59 y 63, siendo un hábitat bueno para el desarrollo de aves silvestres acuáticas, contrario al área de espejo de agua calificado con 37 siendo un hábitat malo, establece 37 especies en 16 familias para las tres áreas evaluadas; el Índice de diversidad de Simpson registra en el área de llachal -totoral 94 %; área de totoral 93%; área de espejo de agua 41%, concluyó que del área total del lago Titicaca, 8,562 km², 1,086 km² de área de macrófitos son determinantes para la existencia de aves silvestres.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

El trasvase o movimiento de agua de una cuenca a otra siempre trae alteraciones ambientales considerándolo una aberración ecológica, practicado por intereses socioeconómicos de grupos de poder, con impactos ambientales y en desmedro de una población mayoritaria sobre la calidad de vida a largo plazo; el trasvase impacta sobre volúmenes de agua no solo en una cuenca, sino en ambas, se registra anomalías en la calidad fisicoquímica, biológica de las aguas, alterando al desarrolla de vida de comunidades animales y vegetales del ecosistema, por citar casos de España: Doñana, Tablas de Daimiel, Riaño o Albufera de Valencia, deterioro del Mar de Castilla y aguas debajo de Bolarque Universidad Politécnica de Madrid (2013); los trasvases de Tajo-Segura, el de Ebro son casos catastróficos (Universidad Ceu San Pablo de Madrid, España, 2013).

El lago Titicaca con 8,562 km² constituye un ecosistema muy singular, permiten el desarrollo de múltiples formas de vida, tiene en el recurso "Totora" *Schoenoplectus tatora*, el más importante para ser conservado y manejado, y tal vez el recurso natural más útil debido a sus múltiples usos, tales como; posibilitar la existencia de pobladores en las islas Uros (quillis flotantes), viviendas (casas), embarcaciones (balsas), esteras (quesanas), materia prima para artesanía, como alimento humano y con fines medicinales; asimismo, la totora junto con los llachos (*Miriophyllum*, *Elodea*, *Potamogeton*) sirven como forraje de ganado y también constituyen un hábitat y una protección del clima o la predación para aves y peces juveniles (SERNANP, 2015).

La importancia del lago Titicaca permite la categorización como Sitio Ramsar a nivel mundial CONVENCIÓN RAMSAR (2013), sin embargo, está sujeta a los cambios y alteraciones de hábitat, determinados por el flujo y nivel del agua, trasvase de 10 m³/seg

mínimamente en época de estiaje SENAMHI (2011), amenaza que presenta la compuerta de regulación del río Desaguadero hacia Bolivia Goyzueta (2005), lo que se pretende responder con el presente trabajo de investigación.

2.2 Enunciados del problema

a) Enunciado general

¿Cuáles son las alteraciones de hábitat y disminución de biodiversidad (macrófitos y aves) en el lago Titicaca – Perú ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero?

b) Enunciados específicos

- ¿Cuál es la alteración de hábitat en el lago Titicaca – Perú ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero?
- ¿Cuál es la magnitud de disminución de biodiversidad (macrófitos y aves) en el lago Titicaca – Perú por alteración de su hábitat ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero?

2.3 Justificación

El lago Titicaca trasciende en importancia a nivel mundial, tiene en sus recursos naturales un valioso aporte al desarrollo de las comunidades circunlacustres, los macrófitos constituye un recurso que crece en forma natural en la zona continental y ribera del lago Titicaca, este recurso contribuye a la productividad del lago, al proveer biótopos o hábitats, donde se pueden reproducir una gran biodiversidad en flora y fauna silvestre.

El ecosistema lago Titicaca es el resultado funcional de cientos de años con condiciones eminentemente naturales, con años lluviosos o secos, con crecidas y descensos de niveles de aguas, estableciendo un balance hídrico que juega un rol preponderante en el manejo del ecosistema y los recursos naturales del lago, cualquier alteración en sus volúmenes o comportamiento hídrico altera severamente el normal funcionamiento del lago con consecuencias para la vida.

El lago Titicaca no sólo depende de los factores que se desarrollan en forma natural dentro del ecosistema, es también consecuencia de los factores externos y más aún del resultado de las grandes obras de ingeniería que contemplan un desarrollo local y regional, sin tener en cuenta un nivel de cuenca global, caso de la cuenca del Titicaca, la que constituye un sistema endorreico o cerrado, en la que cualquier modificación dentro de ella altera el desarrollo de función del lago con efectos en el ecosistema, pudiendo convertirse en uno de los mayores riesgos para la humanidad, está sujeta a los cambios y alteraciones de hábitat y biodiversidad, determinados por el flujo y nivel de las aguas, que se ve amenazado por el trasvase de aguas por la compuerta de regulación del río Desaguadero hacia Bolivia.

Justifica el interés en investigar un aspecto actual y fundamental del ecosistema del lago Titicaca, como es la derivación de aguas fuera de su cubeta y que impacta su estructura y funcionamiento, por esta razón, se responde con el presente trabajo de investigación con los objetivos planteados.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Evaluar las alteraciones de hábitat y disminución de biodiversidad (macrófitos y aves) en el lago Titicaca – Perú ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero.

2.4.2 Objetivos específicos

- a) Determinar las alteraciones de hábitat en el lago Titicaca – Perú ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero.
- b) Evaluar la disminución de biodiversidad (macrófitos y aves) en el lago Titicaca – Perú por alteración de su hábitat ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Se tienen alteraciones de hábitat y disminución de biodiversidad (macrófitos y aves) en el lago Titicaca – Perú ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero.

2.5.2 Hipótesis específicas

- a) Se tiene alteraciones en más del 50 % de hábitat en el lago Titicaca – Perú ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero.
- b) Se tiene influencia en la magnitud de disminución de más del 50 % de biodiversidad (macrófitos y aves) en el lago Titicaca – Perú por alteración de su hábitat ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

El área de estudio está establecida en el lago Titicaca, que se encuentra en el extremo norte de la meseta del Collao, entre los territorios del Perú y Bolivia. Su ubicación geográfica está localizada a $15^{\circ}13'19''$ – $16^{\circ}35'37''$ de latitud sur y $68^{\circ}33'36''$ – $70^{\circ}02'13''$ de longitud oeste. Es el lago navegable más alto del mundo, se encuentra a 3,810 msnm; en territorio peruano se extiende por las provincias de Puno, San Román, Azángaro, Huancané, Chucuito y Yunguyo, todas ellas ubicadas en el departamento de Puno.

3.2 Población

Alteración de hábitat: Macrófitos (totoral y llachal), influenciado por espejo de agua, sequía, inundación, transporte, nidificación, presencia ganado, quema totora, compuerta río Desaguadero. Biodiversidad de aves silvestres del lago Titicaca.

3.3 Muestra

Estudio realizado el año 2019, con trabajo de campo y gabinete mensual, con información tendencial meteorológica del SENAMHI y Reserva Nacional del Titicaca desde el año 1920 hasta el 2019.

Para el primer objetivo se consideró un muestreo de hábitat en 768 km².

Para el segundo objetivo en la misma área de estudio, se evaluó 25 muestreos por 6 hábitats para estudio de macrófitos acuáticos en el lago Titicaca.

Se evaluó aves silvestres acuáticas en 6 hábitats en el lago Titicaca.

3.4 Métodos de la investigación

La investigación realizada corresponde al tipo descriptivo, de desarrollo longitudinal de tipo tendencial.

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1 Variables analizadas

Alteración de hábitat: Macrófitos (totoral y llachal), influenciado por espejo de agua, sequía, inundación, transporte, nidificación, presencia ganado, quema totora, compuerta rio Desaguadero. Biodiversidad de aves silvestres del lago Titicaca, sector peruano 768 km².

Nivel lago Titicaca: Registro de datos SENAMHI con relación a la cota del lago de los meses de marzo a diciembre 2019.

3.5.2 Materiales y equipos

- Embarcación acuática
- Vehículo terrestre
- Binocular Busshnell Falcon 7 x 35
- Cámara fotográfica Canon EOS 90D EF-S 18-55 mm
- GPS Garmin Etrex 22x
- Estación meteorológica portátil
- Termómetro anemómetro digital Gm816-30 m/s
- Carta nacional Google maps
- Cuadrante 1 m²
- Balanza 10 kg.

3.5.3 Metodología por objetivo 1: Determinar el impacto ambiental en el hábitat del lago Titicaca a efecto de disminución del nivel de cota de agua del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero

La metodología se efectuó a través del enfoque de sistemas con el Índice de Idoneidad del Hábitat HSI Gallina *et al.* (2014); Rodriguez (1987), que en el presente estudio se expresa en la escala de 0 a 100 %, sobre el cual se analizó los siguientes parámetros:

a) Centrar los objetivos y alcances

Propósitos de la evaluación, tiene en cuenta la dependencia entre hábitat (total, llachal y espejo de agua) e impacto ambiental por trasvase de aguas.

Aplicabilidad geográfica, sujeta a amplios ámbitos de estudio en el lago Titicaca con presencia de macrófitos y áreas sin presencia de ellos, según indica el ítem sobre ámbito de estudio.

Aplicabilidad temporal, considera un análisis diacrónico sobre datos registrados en años con alteración ambiental y factores antrópicos resaltantes, así como datos del estado actual en el área de estudio.

b) Selección de componentes

Tipos de hábitat involucrados, el análisis se efectuó en los diferentes tipos de hábitat en estudio; total, llachal y espejo de agua.

Requerimientos vitales de las especies, considera un análisis sobre impactos ambientales por trasvase de aguas sobre la biodiversidad del lago Titicaca.

Variables estructurales, considera el análisis de áreas definidas como hábitat y zonas de ecotono.

Variables poblacionales, se tomó la presencia de individuos por especie en cada tipo de hábitat.

c) Estructuración

Analizó los parámetros anteriormente definidos, a fin de darle una ponderación cuantitativa para el Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, tiene en cuenta:

Relaciones entre variables seleccionadas

Cálculo del Índice de Idoneidad del Hábitat (HSI).

d) Documentación

Parámetro que considera los datos obtenidos para la fase de planificación y los datos que se obtuvieron en el periodo de estudio para el cumplimiento de objetivos de la tesis, se tuvo en cuenta:

Información sobre el hábitat

Consulta a especialistas

Definición de supuestos y limitaciones

e) Verificación y prueba

Permitió llegar a las conclusiones del trabajo de investigación en base a:

Datos reales

Evaluación y corrección.

f) Procedimiento de evaluación de hábitat:

Con las premisas mencionadas en adelante, se caracterizó a partir de un conjunto de estrategias, formatos y técnicas, la evaluación de la condición del hábitat presente ante el impacto socio ambiental sobre la biodiversidad del ecosistema lago Titicaca ocasionado del trasvase de sus aguas por el río Desaguadero, esto consideró evaluar la calidad, cantidad y disponibilidad de las áreas de totorales, llachales, fundamentando el carácter de investigación en el tiempo o diacrónico.

El hábitat en estudio para determinar las comparaciones caracterizó tres zonas de estudio:

Bahía de Puno 350 km², incluye Reserva Nacional del Titicaca.

Lago Grande 395 km², incluye Reserva Nacional del Titicaca.

Lago Pequeño 23 km²

Total Perú 768 km²

Área de espejo de agua 2,000 km

g) Condición y tendencia:

Considerando el Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, se tuvo en cuenta un análisis de la condición o del estado del hábitat en un momento, en comparación, implícita o explícita, con un estado primario, anterior, promedio o deseable, el cual reveló las respuestas del hábitat a su utilización por parte del hombre y los animales silvestres y domésticos, así la condición del hábitat es consecuencia del manejo anterior, converge con las alteraciones del hábitat y repercute profundamente sobre el ecosistema lago Titicaca.

h) Utilización y selección:

Considerando el Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, se efectuó un análisis sobre el listado de ambientes donde las especies están presentes, ofreciendo la primera aproximación de la utilización de hábitat y de las especies genéricas y específicas, para ello se consideró los siguientes tipos de hábitat en análisis:

Total

Llacha - total

Espejos de agua sin cobertura vegetal (macrófitos).

i) Consideraciones específicas para la aplicación del índice:

Establecidas según Gallina *et al.* (2014); Rodríguez (1987). Se consideró que algunos atributos del índice son más importantes que otros. Por esto, se le ha dado un valor a cada uno para ponderarlos V_{pj} (Tabla 22 en Anexo); adicionalmente, se consideró la experiencia técnica en vida silvestre para validar los ponderados del índice que aplicamos en la evaluación de hábitat y el impacto sobre la biodiversidad en el lago Titicaca.

Como cada uno de los atributos (X_j) del índice tiene peso diferente, resultado de los valores de ponderación (V_{pj}), se normalizó al cien por ciento ($A_j = V_{pj}/100$) (Tabla 22, en anexo), con los valores A_j y V_i se construyó una matriz donde $X_{ji} = A_j \times V_i$ (Tabla 21 en anexo).

Entonces cada X_{ji} representa el valor que adquiere el atributo A_j respecto al valor de ponderación normalizado V_i , de esta manera, si de la presencia de totorales (X_1) obtuvo un valor entre 5.1 y 25 %, se le asignó un valor X_{ji} de 0.025 (Tabla 21 en anexo), el cual es el resultado de multiplicar el valor $V_i = 0.25$ correspondiente de la Tabla 1 por el valor normalizado de la ponderación $A_1 = 0.10$ (Tabla 20 en anexo).

Una vez establecido los puntajes para cada uno de los atributos del índice (V_i) (Tabla 18 en anexo) y obtener su valor X_{ji} correspondiente (Tabla 22 en anexo), se obtuvo el valor del índice.

De la manera indicada se encuentra el valor $A_t = 1$ que representa el hábitat teórico óptimo ideal para las aves silvestres acuáticas y el valor $A_t = 0$ representa un hábitat teórico pésimo para las especies. Además, al valor A_t obtenido para cada hábitat o para

cada sub unidad de hábitat se le asignó una ponderación de calidad de hábitat: óptimo, regular, malo, o nulo, con la siguiente escala:

0.01 - 0.25	=	Nulo
0.26- 0.50	=	Malo
0.51- 0.75	=	Regular
0.76- 1.00	=	Optimo

3.5.4 Metodología por objetivo 2: Evaluar la pérdida de la biodiversidad del lago Titicaca ante la alteración de su hábitat a efecto del trasvase de agua a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero.

a) Metodología de cuadrantes para evaluación de macrófitos acuáticos:

Además del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, para la evaluación de status de macrófitos como tipos de hábitat en el ecosistema lago Titicaca (totoral, llachal - totoral y espejos de agua), considera la metodología por cuadrantes MDGEVFPN (2015), con el uso de cartas nacionales y con desplazamientos en lanchas o a pie por todo el ámbito de estudio.

Los valores establecidos para los macrófitos acuáticos (totora y llacho) por método de cuadrantes son:

Ausente	Sin presencia
Ralo	de 0 a 5 kg / m ²
Semi ralo	de 6 a 10 kg / m ²
Semi denso	de 11 a 15 kg / m ²
Denso	de 16 kg a más / m ²

b) Aplicación de prueba estadística inferencial

Con el fin de determinar si existen diferencias significativas según condición (entre 4 zonas de hábitat de macrófitos y 1 periodo de evaluación), el estudio estadístico de datos se realizó mediante el software SPSS 22.0. con análisis ANOVA, diseño bloque completo al azar (DBCA).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + E_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} es la observación j-ésima del nivel i
- α_i es el efecto del i-esimo nivel del factor
- μ es la media general
- E_{ij} es el error aleatorio independiente $N(0, \sigma^2)$

La prueba Kolmogorov-Smirnov (con la corrección Lilliefors) se utilizó para contrastar que el conjunto de datos se ajusta a una distribución normal, asumiendo que la media y varianza son desconocidas, recomendable además en uso con más de 50 observaciones, así mismo, se realizó la prueba de homocedasticidad.

c) Metodología para evaluación de poblaciones de aves acuáticas por transectos lineales.

La población de aves del lago Titicaca se determinó a través de metodología de conteo por transectos lineales Acosta *et al.* (2013); las variables de análisis consideran poblaciones de aves por tipos de hábitat, cuya observación se efectuó a través de transectos lineales de 10 km de longitud, con bandas de ancho de 100 a 200 metros en zonas de macrófitos y de 200 a 300 m en espejos de agua, con uso de binoculares 7 x 35 mm; los valores para calificar aves acuáticas a través de evaluaciones poblacionales, considerando transectos lineales de 10 km de longitud, registran parámetros adaptados de las categorías y criterios de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2012):

Ausente	sin presencia
Escaso	de 0 a 100 individuos
Regular	de 101 a 1,000 individuos
Abundante	de 1,001 a 10,000 individuos
Muy abundante	de 10,001 a más

d) Aplicación de prueba estadística inferencial

Para comparar las poblaciones estimadas entre 4 zonas de hábitats de aves acuáticas del lago Titicaca y 1 periodo de evaluación, se aplicó software SPSS 22.0. Los datos recolectados se aplicaron a la prueba bioestadística no paramétrica de Kruskal Wallis cuya fórmula se denota de la siguiente manera:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^K \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

Dónde:

- H es el valor estadístico de la prueba de Kruskal-Wallis.
- N es el tamaño total de la muestra.
- R_c^2 es la sumatoria de los rangos elevados al cuadrado.
- N_i es el tamaño de la muestra de cada grupo.
- L es el ajuste dado por el ajuste de ligas o empates de los rangos.

A fin de caracterizar la diversidad de aves acuáticas en los diferentes tipos de hábitat se aplicó el Índice de Simpson (He *et al.*, 2012):

$$IS = 1 - \frac{\sum n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

Donde:

- IS es el número de especies
- N es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas)
- n es el número de ejemplares por especie

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Alteraciones de hábitat en el lago Titicaca – Perú, ocasionadas por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero

4.1.1 Relación hábitat y biodiversidad en el lago Titicaca

La salud ambiental del lago Titicaca está relacionada al equilibrio entre redes y cadenas alimentarias, en la presencia de fitoplanctón y zooplanctón, los macrófitos (totora y llacho), los que permiten la reproducción y vida de poblaciones de peces y aves, y en suma, atender necesidades humanas, estableciendo el principio de hábitat. Esto es observado en un equilibrio ideal de espejo de agua en la cota 3,810 msnm, nivel que brinda elementos esenciales para la supervivencia de poblaciones, como lo refrenda Cobo y Moravec (2011) que indican que la presencia de una población se debe a que el hábitat satisface sus requerimientos básicos, como recursos de espacio, alimento, agua y refugio, condiciones que se establecen plenamente en el lago Titicaca.

En la actualidad es notoria la alteración de hábitat, manifiesta en la disminución de macrófitos acuáticos y avifauna silvestre en el lago Titicaca, reflejando pérdida de la biodiversidad, ya que se registra escasas áreas de totoral y llachal, sobre el cual, se tiene poblaciones con especies de aves acuáticas e individuos con muy bajos números, por la disminución del nivel de cota de agua, pese a la regularidad de precipitaciones pluviales que se registran en el altiplano peruano, fenómeno ambiental, que es notorio desde el trasvase de agua en $10 \text{ m}^3/\text{seg}$ mínimamente en época de estiaje SENAMHI (2011) del lago Titicaca hacia Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero, desde el año 2,008.

La CONVENCIÓN RAMSAR (2013) indica que los humedales son zonas en las que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con él, lo que se evidencia en la actualidad con la disminución del nivel de cota del lago Titicaca, y en ausencia de cuerpo de agua, se pone en riesgo categorías de conservación y protección ambiental reconocidas en el lago Titicaca, caso de la nominación de sitio Ramsar a nivel mundial, y la existencia de la Reserva Nacional del Titicaca a nivel del Perú.

4.1.2 Relación hábitat y precipitación pluvial en el lago Titicaca

Para la presente investigación se analizan datos de las precipitaciones pluviales anuales y mensuales, en torno al Titicaca, datos que presentamos en la Tabla 2 y 3.

Tabla 2
Precipitación promedio total anual en mm en torno al lago Titicaca - Perú, año 2001 al 2019.

Años	Puno	Huancané	Juli	Desaguadero	Capachica	Prom.
2001	1,006.8	851.1	1,142.8	983.7	980.9	993.0
2002	908.8	955.7	1001.9	944.3	1045.7	971.2
2003	714.1	756.7	940.8	611.3	878.4	780.2
2004	678.4	697.2	847.0	636.3	760.5	723.8
2005	674.5	606.1	743.1	725.2	740.9	697.9
2006	775.0	620.7	1040.3	814.4	707.3	791.5
2007	814.3	698.4	849.6	540.1	587.8	698.0
2008	661.3	585.4	778.2	536.7	644.2	641.1
2009	748.5	433.8	968.3	704.0	588.3	688.5
2010	581.9	520.7	789.4	590.6	672.9	631.1
2011	768.1	569.6	1,249.2	770.6	766.1	824.7
2012	950.1	652.7	1,184.5	798.2	837.4	884.5
2013	707.0	752.6	892.5	764.6	656.9	754.7
2014	617.7	685.8	785.9	619.2	677.8	677.2
2015	702.1	617.2	1,007.4	879.9	795.1	800.3
2016	524.5	651.8	705.5	540.5	594.7	603.4
2017	868.9	603.7	1,020.6	852.1	743.9	817.8
2018	684.9	543.0	989.7	775.8	793.1	757.3
2019	588.1	671.0	1,044.0	1,015.5	662.4	796.2
Prom.	735.5	656.4	946.3	742.2	743.9	765.0

Fuente: SENAMHI, procesado por Goyzueta (2020).

Es importante considerar que la relación hábitat y presencia de la biodiversidad en el lago Titicaca, está estrechamente ligado al nivel de agua en la cota óptima 3,810 msnm.

El registro de datos de precipitación mensual, anual de los años 2001 al 2019, según reporte del SENAMHI del 2020, con referencia a estaciones meteorológicas de las localidades del entorno del lago Titicaca - Perú (Puno, Huancané, Juli, Desaguadero y Capachica) SENAMHI (2020), se presenta en la Tabla 2, cuyos datos, evidencian claramente que en los últimos 19 años de precipitación el promedio está por encima del promedio normal 765.0 mm, se tiene que 15 años tiene valores por encima del promedio normal de Köppen, y tan solo 4 años registran valores por debajo, caso del año 2008, 2010, 2014 y 2016.

Los datos registrados contrastan con lo indicado en el sistema de clasificación climática de Köppen – Geiger, que caracterizan a Puno como clima de tundra Et, con una precipitación promedio de 696 mm anuales Köppen (2012), en general, el nivel de agua del lago Titicaca debería mantener su cota en relación al nivel de precipitaciones, lo que no está ocurriendo al momento actual, registrándose disminución de agua en el periodo de estudio.

Además del análisis de precipitación anual en los años 2001 al 2019 en torno al lago Titicaca, se considera la variación pluvial mensual, que determina flujos del nivel del agua en forma estacional, de este modo también condiciona el estatus de hábitat, lo cual se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3

Precipitación promedio total mensual, anual en mm en torno al lago Titicaca - Perú, año 2001 - 2019.

Distritos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
Puno	161.9	152.4	128.5	50.8	9.6	3.2	4.9	7.8	26.3	45.7	45.6	98.9	735.6
Huancané	134.3	129.0	88.6	36.3	11.5	3.4	5.8	6.0	25.9	58.8	44.6	112.2	656.4
Juli	235.2	198.5	157.5	62.2	11.4	5.8	12.1	11.9	26.4	44.1	48.5	133.5	947.1
Desaguadero	188.0	162.0	119.2	40.5	8.2	7.8	11.2	9.6	21.8	38.5	39.8	95.8	742.4
Capachica	161.3	144.1	127.2	45.0	7.6	3.1	7.2	8.5	31.1	49.5	44.8	114.5	743.9
Promedio	176.14	157.2	124.2	46.96	9.66	4.66	8.24	8.76	26.3	47.32	44.66	110.98	765.0

Fuente: SENAMHI, procesado por Goyzueta (2020).

Los datos desde el año 2001 al 2019, presenta el promedio mensual de precipitaciones por año, observando que las lluvias esporádicas se dan en el mes de octubre y noviembre con 47.32 y 44.66 mm de registro respectivamente y una intensidad mayor de lluvias en los meses de diciembre a marzo con 110.98 hasta

176.14 mm, registrando un periodo de escasa precipitación en los meses de mayo a setiembre, con registros desde 4.66 hasta 26.3 mm.

4.1.3 Hábitat y nivel del lago Titicaca

El análisis de estas variables, nos permite indicar que el nivel de agua del lago Titicaca, debería mantener el promedio histórico en su cota 3,810 msnm, como se observa en la Figura 1, a partir del cual se valida esta cota con una evaluación de 85 años, desde 1920 hasta el año 2005.

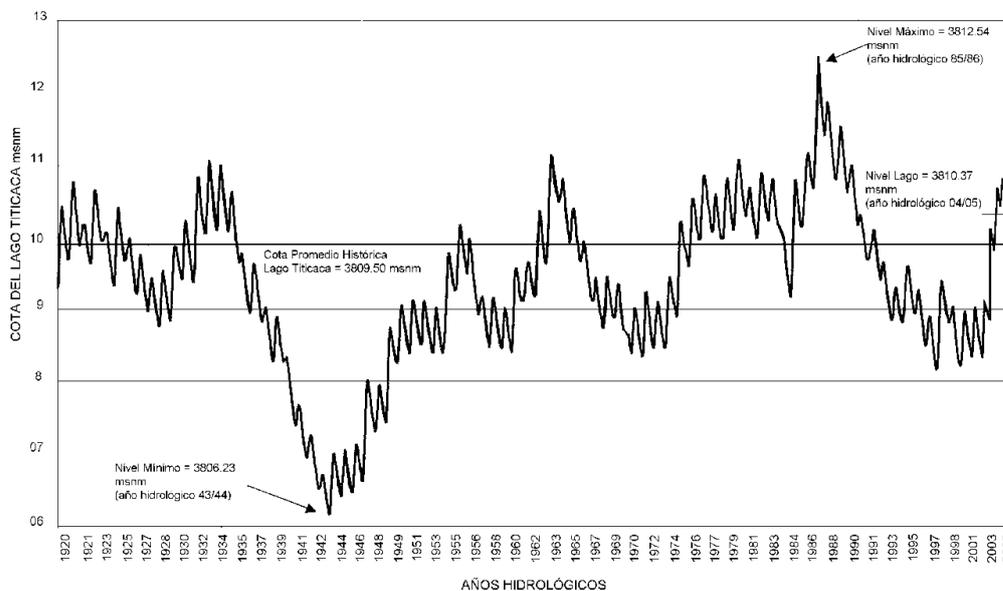


Figura 1. Niveles de agua promedio en el lago Titicaca (msnm) del periodo entre 1920 y 2005.
Fuente: SENAMHI.

Sin embargo, el nivel de agua del lago Titicaca en los últimos 11 años, desde el 2008 hasta el 2019, registra un promedio de cota por debajo de los 3,809 msnm, alcanzando incluso la cota 3,808.42 el 22 de diciembre del 2017 SENAMHI (2020), nivel del lago que altera las condiciones de hábitat y presencia de biodiversidad, impactando principalmente en áreas de totorales y a la avifauna silvestre acuática, cabe indicar, que se establece niveles de referencia del lago Titicaca, considerando como parámetro la cota absoluta o nivel de referencia del lago Titicaca, Nivel “0” en 3809.92, con relación al nivel medio del mar (Marina de Guerra del Perú, 1986).

Pese a las precipitaciones regulares presentadas en los años 2001 al 2019, según las Tablas 2 y 3, se observa que el nivel de agua del lago Titicaca va en una tendencia a la disminución como se registra en la Tabla 4, se observa datos del mes de abril,

como el periodo que registra el mayor incremento del nivel del lago, el cual, disminuye secuencialmente hasta alcanzar el registro de nivel agua más bajo en el mes de diciembre.

Tabla 4
Tendencia de disminución del nivel de agua del lago Titicaca – Perú, en base a registros promedio mensual anual, años 2001 al 2019.

Nivel medio de cota (msnm) máxima y mínima del lago Titicaca, años 2001 al 2019			
Años	Abril	Diciembre	Promedio
2001	3,810.22	3,809.59	3,809.90
2003	3,810.85	3,810.10	3,810.47
2004	3,810.90	3,810.05	3,810.47
2005	3,810.37	3,809.58	3,809.97
2006	3,810.34	3,809.59	3,809.96
2007	3,810.12	3,809.42	3,809.77
2008	3,809.95	3,809.01	3,809.48
2009	3,809.36	3,808.54	3,808.95
2010	3,809.34	3,808.46	3,808.90
2011	3,809.26	3,808.57	3,808.91
2012	3,809.94	3,809.16	3,809.55
2013	3,809.13	3,809.34	3,809.23
2015	3,808.93	3,808.57	3,808.75
2016	3,808.86	3,808.50	3,808.68
2017	3,808.91	3,808.42	3,808.66
2018	3,809.16	3,808.55	3,808.85
2019	3,809.11	3,808.54	3,808.82
Promedio	3,809.69	3,809.05	3,809.37

Fuente: SENAMHI, procesado por Goyzueta (2020).

En la Tabla 4, resalta datos por encima de la cota 3,810 m en los años 2001 al 2007, y una tendencia de disminución del nivel del agua del lago desde el año 2008 hacia adelante 2019, con niveles por debajo de la cota 3,809 m SENAMHI (2020), asimismo, nos permite indicar el nivel de agua del lago Titicaca con la mayor cota registrada al año 2004 con 3,810.90 en abril, siendo el nivel de agua más bajo de los últimos 19 años, en diciembre del año 2017 con 3,808.42 m, observando 2.48 m de fluctuación en el periodo de registro.

Dejoux e Iltis (2015), indican que la pérdida de agua por evaporación alcanza el 91.1 %, la pérdida por el río Desaguadero el 8.9 %, y manifiesta que el río Desaguadero, no constituye el paso de control hidráulico del escurrimiento que puede situarse río abajo, particularmente en periodo de niveles bajos, siendo el flujo hídrico pluvial

determinante en el nivel de agua del lago Titicaca, sin embargo, el nivel de cota registrado para este año no responde a la regularidad de precipitaciones pluviales de los últimos 19 años, Tabla 4, por lo que, el desfase del nivel del lago y la alteración del hábitat y biodiversidad está promovido por el trasvase de agua a Bolivia desde la compuerta de regulación del río Desaguadero, como lo corroboran (SERNANP, 2015); (Goyzueta *et al.*, 2009).

Los datos en análisis sobre precipitación pluvial y nivel de cota en el lago Titicaca, evidencian que el trasvase de agua del lago hacia Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero, realmente están promoviendo la disminución del nivel de agua, así lo refrenda Becker *et al.* (2018), al citar los registros de niveles medios mensuales del lago Titicaca del 2001 al 2018, por la Estación Hidrométrica de Desaguadero (ORLT), en gestión de la Autoridad Autónoma Lago Titicaca, obtienen el 36.4% por encima de la media y 63.6% por debajo del valor promedio, indicando que el comportamiento de los niveles del lago Titicaca, presenta una tendencia descendente (Figura 2).

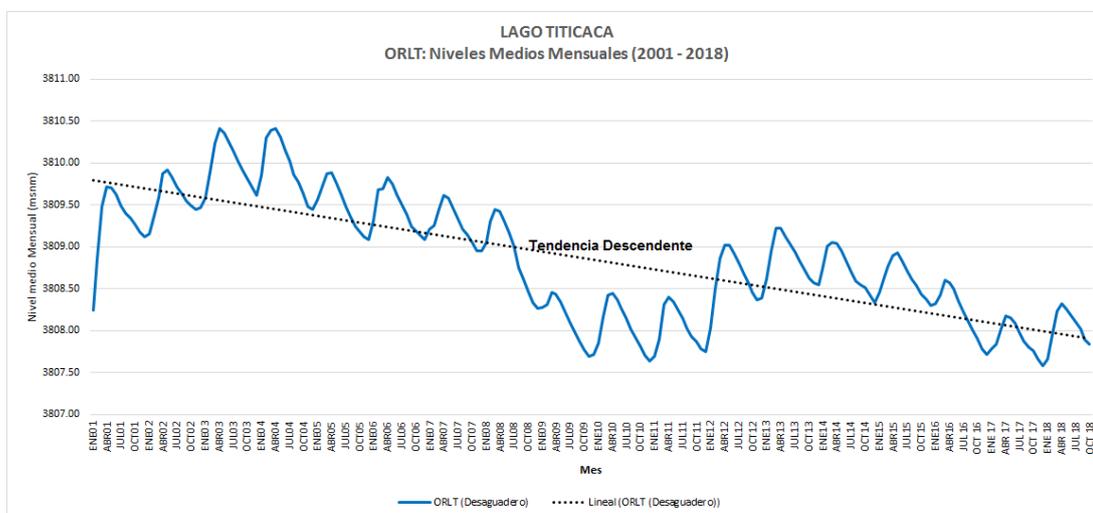


Figura 2. Tendencia descendente del nivel del lago Titicaca años 2001 al 2018, registrado por la Estación Hidrométrica de Desaguadero (ORLT). Fuente, ALT (2018).

El trasvase altera inevitablemente el hábitat y aumenta los conflictos ambientales en la región altiplánica, coincidentemente Dourojeanni (2014) indica que al trasvasar agua delimitada por razones político administrativas o por razones naturales a otra región política u otra cuenca, los conflictos aumentan exponencialmente.

Un análisis de la fluctuación interanual del nivel de agua del lago Titicaca de los últimos 100 años, como se observa en la Figura 01, permite comprender la condición del hábitat y sus impactos sobre la biodiversidad en el presente estudio, llamando la atención, cuando en los últimos 70 años se presentó cambios extremos en periodos muy cortos, establecidos por precipitaciones pluviales excesivas o escasas.

Un registro realmente crítico se dio en el año 1943, cuando el nivel de agua del lago descendió a lo más bajo de los últimos 100 años, 3,806.23 msnm, periodo que no hubo presencia de totorales en todo el lago Titicaca, quedando como terrenos emergentes, sin presencia de agua. El año 1983 se tuvo un nivel de agua del lago con la cota 3,809 msnm, y apenas 3 años después 1986, el nivel de agua del lago subió a la cota más alta alcanzando 3,812.54 msnm, registrando una fluctuación de 3.54 m en relación a los 3 años y de 6.31 m en relación a los 43 años desde 1943.

El año 1997 el nivel de agua del lago Titicaca registro la cota 3,808.12 msnm, siendo el más bajo después de 54 años desde 1943, año que no hubo presencia de totorales en el lago Titicaca, quedando el área como terrenos emergentes, y desde ya perdida de la biodiversidad en general, macrófitos y aves silvestres acuáticas.

Este descenso del nivel agua del lago, evidencio la realidad de un nuevo sustrato de crecimiento de totorales, piso sobre el cual, a partir de ese año, se considera el nivel de agua para el desarrollo de los macrófitos en el lago Titicaca, proceso natural que resultó de la colmatación del lecho acuático por descomposición de material vegetal y erosión de suelos de zonas de laderas en toda el área de totorales del lago Titicaca 1,080 km², como lo refrenda Goyzueta (2006), que indica que el sustrato en el año 1943 se registraba en la cota 3,806 msnm, teniendo al momento actual más de 2 m de levantamiento en solo 77 años.

El año 1998 con precipitaciones pluviales por encima de 1,400 mm y lluvias de mayor intensidad en los años siguientes hasta el 2004, se alcanzó un incremento en el nivel de agua del lago registrando la cota de 3,810.90 msnm, favoreciendo niveles de hábitat que permitieron un desarrollo óptimo de la biodiversidad del lago Titicaca, registrando cobertura vegetal con extensas áreas de totoral y llachal, y presencia de grandes poblaciones de aves silvestres acuáticas.

Todas estas ocurrencias de fluctuación en el descenso e incremento del nivel agua del lago Titicaca estuvieron determinadas por procesos naturales determinados por los factores ambientales tales como precipitaciones pluviales altas o bajas, temperaturas alteradas por el cambio climático, marcando la diferencia con el descenso del nivel de agua de los últimos 12 años, como lo refrenda Goyzueta *et al.* (2009) indicando que estas alteraciones tienen como causa el factor antropogénico, coincidente con el análisis que se realiza en la presente investigación.

4.1.4 Índice de Idoneidad del Hábitat HSI para evaluar alteraciones de hábitat del lago Titicaca

La investigación para establecer las alteraciones de hábitat del lago Titicaca se realizó a través del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, que permite establecer el estatus actual del ecosistema ante condiciones ambientales adversas como es la disminución de agua del lago, además de contrastar datos de diferentes periodos con la misma metodología, debido a que este índice ya se utilizó con la misma magnitud de estudio por Goyzueta (2006), diferenciando el estatus de un periodo no impactado por factores antropogénicos.

Este índice es de amplia aplicación a nivel mundial, desde que se desarrollara por el U. S. Fish & Wildlife Service (1991) Gallina *et al.* (2014), perfeccionada con el tiempo por más de 180 autores, depende de la experticia del evaluador acerca del hábitat. Investigaciones con HSI registran Zhang *et al.* (2017), Braunisch *et al.* (2018), Na *et al.* (2018), Chen *et al.* (2018), Jiang *et al.* (2018), Leal *et al.* (2019), Poirazidis *et al.* (2019), cuyos resultados fundamentan el estudio de evaluación de hábitat considerando totoral, llachal – totoral y espejo de agua, cuyos datos se presentan en las Tablas 5, 6 y 7.

Las tablas indicadas constituyen síntesis del resultado de análisis de las tablas 20 al 28 de anexo, que, con detalle de paso a paso, amplía el procedimiento y aclara los datos obtenidos en el presente acápite.

Los resultados de la Tabla 5 y 6, se presentan a través del Índice de Idoneidad de Hábitat HSI, cuya calificación total indica un valor ponderado (V_{pj}), como condición real de 35 y 32.5 % sobre el área de totoral y llachal - totoral del lago Titicaca respectivamente, valor referencial en la escala 0 a 100 % de calidad total, los datos

muestran el estatus al año 2019 de alteración del hábitat, por cuanto, la condición de totorales y llachales, se encuentra disminuidos en su desarrollo vegetativo en zonas con bajo nivel de agua y en amplios sectores incluso desaparecidos.

Tabla 5
Índice de Idoneidad del Hábitat aplicado al hábitat de totorales, lago Titicaca Perú, 2019.

ATRIBUTO (X_j)	V_i				
	$V_1 = 0$	$V_2 = 0.25$	$V_3 = 0.5$	$V_4 = 0.75$	$V_5 = 1$
Total	Ausente	Ralo	Semi ralo	Semi denso	Denso
Llalach	Ausente	Ralo	Semi ralo	Semi denso	Denso
Espejo de Agua	Profundos	Medianamente profundo	Poco profundo	Litorales	Ribereños
Sequía	Presente	Baja	Semi moderada	Moderada	Ausente
Inundación	Presente	Baja	Semi moderada	Moderada	Ausente
Presencia de ganado	Abundante	Moderado	Bajo	Escaso	Ausente
Medios transporte	Alto	Semi alto	Semi bajo	Bajo	Ausente
Quema de totorales	Muy frecuente	Frecuente	Poco frecuente	Escaso	No se practica
Vida silvestre aves	Espejos de agua 0% cobertura vegetal	1 a 25 % cobertura vegetal	26 a 50 % cobertura vegetal	51 a 75 % cobertura vegetal	76 a 100 % cobertura vegetal
Compuerta de regulación del lago Titicaca	Con función	Moderado	Bajo	Escaso	Sin función

Tabla 6
Índice de Idoneidad del Hábitat aplicado al hábitat de llalach - totoral en el lago Titicaca Perú, 2019.

ATRIBUTO (X_j)	V_i				
	$V_1 = 0$	$V_2 = 0.25$	$V_3 = 0.5$	$V_4 = 0.75$	$V_5 = 1$
Total	Ausente	Ralo	Semi ralo	Semi denso	Denso
Llalach	Ausente	Ralo	Semi ralo	Semi denso	Denso
Espejo de Agua	Profundos	Medianamente profundo	Poco profundo	Litorales	Ribereños
Sequía	Presente	Baja	Semi moderada	Moderada	Ausente
Inundación	Presente	Baja	Semi moderada	Moderada	Ausente
Presencia de ganado	Abundante	Moderado	Bajo	Escaso	Ausente
Medios transporte	Alto	Semi alto	Semi bajo	Bajo	Ausente
Quema de totorales	Muy frecuente	Frecuente	Poco frecuente	Escaso	No se practica
Vida silvestre aves	Espejos de agua 0% cobertura vegetal	1 a 25 % cobertura vegetal	26 a 50 % cobertura vegetal	51 a 75 % cobertura vegetal	76 a 100 % cobertura vegetal
Compuerta de regulación del lago Titicaca	Con función	Moderado	Bajo	Escaso	Sin función

En general se establece una relación proporcional entre hábitat (totoral, llalach) con la presencia de la biodiversidad (aves silvestres acuáticas), cuyas poblaciones son escasas en especies y número de individuos, debido a la disminución del espejo de agua, que por varios

años consecutivos se viene presentando en el lago, alcanzando en el periodo de estudio 2019, la cota 3,808. 54 msnm al mes de diciembre.

Los resultados de la Tabla 7, se presentan a través del Índice de Idoneidad de Hábitat HSI, cuya calificación total indica un valor ponderado (V_{pj}), como condición real de 27 % sobre el área de espejo de agua del lago Titicaca, manifiesta también el estatus actual de alteración del hábitat, por cuanto, la condición de profundidad del nivel de agua por más de 5 metros, no permite el crecimiento de totorales y llachales, que alberguen presencia de biodiversidad.

Tabla 7
Índice de Idoneidad del Hábitat aplicado al hábitat de espejo de agua en el lago Titicaca Perú, 2019.

ATRIBUTO (X_j)	V_i				
	$V_1 = 0$	$V_2 = 0.25$	$V_3 = 0.5$	$V_4 = 0.75$	$V_5 = 1$
Total	Ausente	Ralo	Semi ralo	Semi denso	Denso
Llalach	Ausente	Ralo	Semi ralo	Semi denso	Denso
Espejo de Agua	Profundos	Medianamente profundo	Poco profundo	Litorales	Ribereños
Sequía	Presente	Baja	Semi moderada	Moderada	Ausente
Inundación	Presente	Baja	Semi moderada	Moderada	Ausente
Presencia de ganado	Abundante	Moderado	Bajo	Escaso	Ausente
Medios transporte	Alto	Semi alto	Semi bajo	Bajo	Ausente
Quema de totorales	Muy frecuente	Frecuente	Poco frecuente	Escaso	No se practica
Vida silvestre aves	Espejos de agua 0% cobertura vegetal	1 a 25 % cobertura vegetal	26 a 50 % cobertura vegetal	51 a 75 % cobertura vegetal	76 a 100 % cobertura vegetal
Compuerta de regulación del lago Titicaca	Con función	Moderado	Bajo	Escaso	Sin función

4.1.5 Comparación de la condición de estatus de hábitat del lago Titicaca

Cabe indicar, que el lago Titicaca teniendo un área de 8,552 km², todo este espacio no permite las condiciones óptimas de hábitat para la existencia de la biodiversidad, estando limitado a tan solo 1,082 km² (Dejoux e Ittis, 2015). En esta área se establece la presencia de totorales y llachales, sobre los cuales se establecen poblaciones de vida silvestre acuática. Sin embargo, existe algunos organismos como sambullidores y anátidos entre otros, que se movilizan por tránsito de un espacio a otro temporalmente por espejos de agua y a profundidades mayores a 5 m.

La alteración de hábitat del lago Titicaca se muestra comparativamente como valores ponderados para cada uno de los atributos medibles en el Índice de Idoneidad de Hábitat HSI, Tabla 8, en el cual, se observa que el valor ponderado (V_{pj}) de la condición real total califica en total con 35, la condición real llalach – total con 32.5 y la

condición real espejo de agua con 27, sobre una condición ideal total de valor ponderado para el hábitat lago Titicaca de 81, en la escala de 0 a 100 %.

Tabla 8

Valores ponderados de cada uno de los atributos del Índice de Idoneidad del Hábitat para hábitats de totoral, llachal - totoral y espejo de agua en el lago Titicaca Perú, 2019

Atributo (X _j)	Valor ponderado (V _{pj}) Cond. Ideal	Valor ponderado (V _{pj}) Cond. Real Totoral	Valor ponderado (V _{pj}) Cond. Real Llachal-totoral	Valor ponderado (V _{pj}) Cond. Real Espejo de Agua
1. Totoral	10	2.5	2.5	0
2. Llachal	10	2.5	2.5	0
3. Espejo de Agua	6	6	6.0	0
4. Sequía	6	6	6.0	6.0
5. Inundaciones	6	6	6.0	6.0
6. Presencia de Ganado	7	3.5	3.5	7.0
7. Medios de Transporte	8	6	6.0	0
8. Quema de Totorales	8	0	0	8.0
9. Vida silvestre aves	10	2.5	0	0
10. Compuerta regulación lago Titicaca	10	0	0	0
Calificación Total	81	35	32.5	27

Los valores ponderados son menores al registrado en Goyzueta (2006), para el lago Titicaca, con el mismo Índice HSI, en totorales 59, llachal – totoral 63, y espejo de agua con 37, condiciones favorables, debido a que la cota del lago del año 2006 en promedio registro 3,809.96 m, cota óptima para la vida silvestre, y contraria al año 2019, cuyo nivel de agua disminuido es 3,808.82 m, atribuido a que desde el 2008 se trasvasa agua del lago a Bolivia, por la compuerta de regulación del río Desaguadero.

En suma, el Índice de Idoneidad de Hábitat HSI en la evaluación sobre un valor de calidad del 100 %, presenta calificaciones para el año 2019 relativamente bajas con 35 y 32.5 % en totorales y llachales respectivamente, esto implica, que el hábitat actual se encuentra deteriorado y muy disminuido en perjuicio de la biodiversidad de aves silvestres acuáticas en general.

Atributo totoral y llachal - totoral

El atributo (X_j) medible totoral y llachal – totoral califica con valores ponderados (V_{pj}) de 2.5 como bajo, respectivamente, y de 0 como ausente sobre una condición ideal de 10, macrófitos que constituyen el hábitat y valoración primordial del estudio, viéndose muy disminuido en la calificación actual, debido al estrés hídrico que sufren los totorales y llachales en el proceso fisiológico. Además, hay una sustitución de la

vegetación emergente sobre el agua, en zonas donde se tiene nivel de agua, y con profundidades mayores a 5 metros, la ausencia de macrófitos es evidente.

Esta realidad se percibe en toda el área de estudio, por citar, el sector Aziruni y bahía de Puno (Figura 3 y 4), la pérdida de vegetación se da en zonas ribereñas, donde totorales y llachales quedaron como terrenos baldíos al no tener presencia de agua, por citar, sector Huerta Huaraya y Chinchero (Figura 5 y 6).



Figura 3. Aziruni, presencia de totorales en deterioro en nivel de 20 a 30 centímetros de profundidad de agua.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 4. Bahía de Puno, pequeñas muestras de totoral verde en nivel de profundidad de más de 50 centímetros.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 5. Huerta Huaraya, totorales emergentes desecados por descenso del nivel de agua, terrenos baldíos.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 6. Chinchero, totorales emergentes como terrenos eriazos, por descenso del nivel de agua.
Fuente: Goyzueta (2019).

Atributo espejo de agua

El atributo (X_j) medible espejo de agua, califica con valores ponderados (V_{pj}) de 6 como ribereño para el hábitat totoral y llachal – totoral respectivamente, sobre una condición ideal de 6. Esto es debido a que el nivel de agua por encima de algunos centímetros, promueve el crecimiento de vegetación acuática, la presencia de detritos y el desarrollo

de nutrientes, constituyendo un lago mesotrófico, que permite la presencia de peces y aves, por citar, sector Cotos y Capano (Figura 7 y 8).



Figura 7. Cotos, presencia de totoral – llachal en zonas con algunos centímetros de nivel agua.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 8. Capano, canales con nivel de agua de más de 1 metro permiten en el borde crecimiento de totorales y presencia de aves.
Fuente: Goyzueta (2019).

La condición real de espejo de agua (V_{pi}) califica 0/6 como profundo, debido a que en este espacio no crece totora y llacho, constituyen áreas con niveles de profundidad mayor a 5 metros. alcanzado hasta los 281 m. Estas zonas caracterizan como lago oligotrófico, es decir libres de nutrientes y sin detritos, por lo cual, no dispone de alimento para aves, y la presencia de ellos solo es temporal o por tránsito, por citar, la isla de Amantani, isla de Taquile (Figura 9 y 10).



Figura 9. Isla Amantani, espejo de agua con profundidades de zonas litorales de más de 5 metros, no permiten crecimiento de macrófitos.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 10. Isla Taquile, espejo de agua con profundidades de más de 100 metros, no permiten crecimiento de totoral – llachal tampoco presencia de biodiversidad.
Fuente: Goyzueta (2019).

Atributo sequía

Este atributo (X_j) sequía, califica con valores ponderados (V_{pj}) de 6 como ausente, para los tres hábitats totoral, llachal – totoral y espejo de agua, sobre una condición ideal de 6. Esto es debido a la disminución del nivel de agua en toda el área de totorales y llachales presentes en el lago Titicaca. La profundidad de agua sobre la que está

desarrollando la vegetación acuática es de apenas 20 a 30 cm, nivel de agua que no está asociado a periodos de baja precipitación, por cuanto, los registros de lluvias son regulares.

En la Tabla 2 y 3, se observa que el trasvase aguas del lago Titicaca a Bolivia causa la disminución del nivel de agua, produciendo en el entorno ambiental cambios tendientes a procesos de sequía en la región, impactando aún más en la alteración de hábitat, como lo manifiesta Lei *et al.* (2018) que la disminución hídrica del Paiku Co se atribuyó a la tendencia de condiciones más secas en la región del Himalaya. Los sectores Isla Foroba y Uros Chulluni (Figura 11 y 12), representan la condición actual de toda la zona de estudio.



Figura 11. Isla Foroba, descenso del nivel de agua ocasiona pérdida de totoral – llachal, queda 20 a 30 centímetros de profundidad de agua, sin periodo de secas.

Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 12. Chulluni, sector lago por descenso de nivel de agua, se tiene pérdida de totorales, no siendo años de escasa precipitación en la región.

Fuente: Goyzueta (2019).

Atributo inundación

Este atributo (X_j) inundación, califica con valores ponderados (V_{p_j}) de 6 como ausente, para los tres hábitats totoral, llachal – totoral y espejo de agua, sobre una condición ideal de 6. Esto es debido a que pese a tener registros de precipitación pluvial que pueden ser vistos en la Tabla 2 y 3, en mayoría por encima del promedio normal para la región, el nivel del lago se encuentra en un proceso de disminución continuo, afectando a la biodiversidad de macrófitos y aves silvestres del ecosistema, por citar, sector Titino y Llachón (Figura 13 y 14).



Figura 13. Titino, presencia de totorales emergentes desecados por descenso del nivel de agua, siendo años lluviosos en la Región.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 14. Llachón, descenso continuo del nivel agua del lago Titicaca provoca la pérdida de zonas de totoral en toda el área de macrófitos del lago.
Fuente: Goyzueta (2019).

Atributo presencia de ganado

Este atributo (X_j) presencia de ganado, califica con valores ponderados (V_{pj}) de 3.5 como bajo, para los hábitats totoral y llachal – totoral, y de 7 como ausente en el espejo de agua, sobre una condición ideal de 7. Esta calificación considera que el ganado no es parte de un hábitat o ecosistema acuático, sin embargo, por la necesidad de alimentación termina pastoreando sobre estos recursos naturales, causando impacto ambiental sobre el hábitat. Sin embargo, la presencia de animales en la temporada de estudio se ve disminuido por la condición actual, debido a la pérdida de totorales y llachales, caso, sector Millojachi y Paucarcolla – Chinchero (Figura 15 y 16).



Figura 15. Millojachi, escaso ganado pastorea áreas de totora emergente desecada por el descenso del nivel de agua.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 16. Paucarcolla - Chinchero, sobrevivencia de ganado en zonas de totorales emergentes desecados en riberas del lago Titicaca.
Fuente: Goyzueta (2019).

Atributo medio de transporte

Los resultados nos indican que este atributo (X_j) medio de transporte, califica con valores ponderados (V_{pj}) de 6 como bajo, para los hábitats totoral y llachal – totoral, y

de 0 como alto en el espejo de agua, sobre una condición ideal de 8. Esta calificación considera al transporte acuático como factor de impacto ambiental al hábitat y biodiversidad del lago. Sin embargo, algunos medios de transporte acuático solo fueron percibidos en pocos canales de agua, y en la mayoría de casos no hubo presencia. Esto fue debido a la disminución del espejo de agua que alcanzaba a solo algunos centímetros de profundidad, que no permitía el flujo de embarcaciones, en contraste con espejos de agua con niveles de profundidad mayores a 5 metros, por citar, sector muelle Puno y Chulluni (Figura 17 y 18).



Figura 17. Muelle Puno, solo embarcaciones de tránsito a Islas del lago Titicaca, navegan en zonas de profundidad.

Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 18. Chulluni, embarcaciones navegan en algunos canales del lago que quedan por descenso del nivel de agua.

Fuente: Goyzueta (2019).

Atributo quema de totorales

Este atributo (X_j) quema de totorales, califica con valores ponderados (V_{p_j}) de 0 como muy frecuente para los hábitats totoral y el llachal – totoral y 8 por que no se práctica en el espejo de agua, sobre una condición ideal de 8. Valoración que se considera en el estudio como impacto ambiental al hábitat, percibiendo en el periodo de investigación una quema extensiva por toda la zona de estudio. Esto es debido a que la ausencia de espejo de agua, provocó el deterioro de la vegetación con el desecamiento de totorales y llachales, y como una forma de eliminar maleza la práctica fue muy difundida por toda la zona de estudio, por citar, sector Capucra y Jirata Vizcachuni (Figura 19 y 20).



Figura 19. Capucra, quema de totorales desecados en zona lago, pérdida de espejo de agua.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 20. Jirata Vizcachuni, extensas áreas de totorales quemados a causa del descenso del nivel de agua del lago Titicaca.
Fuente: Goyzueta (2019).

Atributo vida silvestre aves

Este atributo (X_j) vida silvestre aves, califica con valores ponderados (V_{pj}) de 2.5 por albergar 1 a 25 % de cobertura vegetal, para el hábitat totoral, y 0 por no tener cobertura vegetal para llachal – totoral y en el espejo de agua, sobre una condición ideal de 10. Se considera que la vida silvestre de las aves se sustenta sobre el hábitat establecido por totorales y llachales, los cuales, en el periodo de estudio presentan escasa cobertura vegetal. Esto es debido a la disminución del nivel agua en toda el área de estudio, e incluso los resultados también indican que a pesar de no existir cobertura vegetal en cuerpos de agua a profundidades mayores de 5 m, resultan espacios temporales de sobrevivencia para algunas especies silvestres acuáticas.



Figura 21. Bahía interior de Puno, presencia de aves sobre zonas húmedas, ante la pérdida de hábitat en el lago Titicaca.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 22. Queñola, zambullidor visto en Kapi Cruz, presencia en espejos de agua distante de su hábitat, por pérdida de totorales y llachales en el lago Titicaca.
Fuente: Goyzueta (2019).

La alteración de hábitat del lago Titicaca se debe al trasvase de agua a Bolivia por funcionamiento de la compuerta de regulación del río Desaguadero, lo que contribuye

a que el valor de ponderación (V_{p_i}) del lago sea tan bajo, por citar, sectores bahía interior de Puno y Kapi Cruz (Figura 21 y 22).

Atributo compuerta de regulación del lago Titicaca

Este atributo (X_j) compuerta de regulación del lago Titicaca, califica con valores ponderados (V_{p_j}) de 0, para los tres hábitats totoral, llachal – totoral y espejo de agua, sobre una base de 10. Se considera que la alteración de hábitat y la biodiversidad se debe al funcionamiento de la compuerta de regulación del río Desaguadero (Figura 23 y 24), que desde el año 2008 a la fecha actual trasvasa agua del lago hacia Bolivia en $10 \text{ m}^3/\text{seg}$ SENAMHI (2011) mínimamente en época de estiaje, constituyendo un proyecto mal concebido, al considerar fundamentos en hidrología e hidráulica y no al ecosistema lago Titicaca.



Figura 23. Compuerta de regulación río Desaguadero, abierta permanentemente desde 2008, produce el descenso del nivel de agua del lago Titicaca, alterando hábitats y la biodiversidad.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 24. Río Desaguadero, trasvasa agua del lago Titicaca hacia Bolivia, alterando el nivel de agua.
Fuente: Goyzueta (2019).

Goyzueta *et al.* (2009), manifiestan que en 1997, en la cota 3,808.12, se evidenció el nivel de substrato de los macrófitos del lago, por procesos erosivos y colmatación del lecho, y debido a la disminución del nivel de agua del lago queden los totorales emergentes por cambios los cambios batimétricos del medio, como lo manifiesta Yao *et al.* (2018) que cuantificaron el impacto de cambios batimétricos en el régimen hidrológico de un lago aluvial, Poyang, por disminución drástica del nivel del agua sumado a la erosión.

Al bajar el nivel del lago entre los años 2015 al 2019 a cotas próximas a 3,808.50 m, este nivel impacta plenamente el desarrollo vegetativo de los totorales y biodiversidad de aves silvestres del lago. Esta información es coincidente con lo planteado en Reserva Nacional del Titicaca (2020), que para en los años en mención, indica que hay una

disminución del 42.9% en biomasa total de totorales, e incremento de biomasa seca entre los años 2014 y 2016 del 23.4%. Lo que se debe a la disminución en el nivel de lago que se ha producido en los últimos años, situación que tiene relación también con el incremento de quemas de totorales e ingreso de ganado al área natural protegida.

Para el presente estudio la alteración de hábitat es una constante en todo el ámbito de macrófitos del lago Titicaca, como evidencias los sectores bahía interior de Puno y Chimu (Figura 25 y 26).



Figura 25. Bahía interior de Puno, descenso inusual del nivel del lago Titicaca, altera el hábitat del medio.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 26. Chimu, lago, descenso del nivel de agua deja zonas emergentes de totorales, como terrenos baldíos.
Fuente: Goyzueta (2019).

4.1.6 Impactos colaterales a la alteración del hábitat en torno al lago Titicaca

a) Hábitat y eutrofización del medio

La alteración del hábitat por la disminución del nivel de cota del lago, promueve el proceso trófico en el lago Titicaca, debido a que, al tener menos espejo de agua, se tiene mayor concentración de nutrientes, se registra nitratos de 21 ug atomos/l, el fósforo reactivo soluble excede en 0.3 ug atomos/l Dejoux e Iltis (2015). Esto satura el medio hasta promover condiciones anóxicas con la consecuente predisposición a la eutrofización, perdiendo condiciones de hábitat que impacta sobre la biodiversidad de macrófitos y aves silvestres. Escenarios similares registraron Wu *et al.* (2018) cuya investigación para el lago Dianchi, indica que la extracción de agua ocasionó la disminución sustancial del nivel y caudal del agua, aumentando la contaminación con tendencia a la eutrofización.

Kolding y Zwieten (2012), de lagos de Asia y África, manifestaron que fluctuaciones del nivel de agua causan influencia en el régimen hidrodinámico, ingreso y movilización de nutrientes, afectando la productividad de comunidades biológicas. Así mismo, Howard y Gerber (2018), refieren que cuencas de lagos de África y Norteamérica resultan contaminadas por toda actividad urbana (químicos, combustibles, desagües), alterando la calidad de agua de los lagos. Estas investigaciones también se reflejan en condiciones similares en torno al lago Titicaca, como se puede ver en sectores como la bahía de Puno y Chulluni (Figura 27 y 28).



Figura 27. Bahía interior de Puno, tendencia a eutrofización del lago por el descenso del nivel de agua, afecta hábitat y la biodiversidad de zonas de totoral – llachal.

Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 28. Chulluni, descenso del nivel de agua del lago, promueve concentración de nutrientes y tendencia a la eutrofización.

Fuente: Goyzueta (2019).

b) Hábitat y temperatura ambiental

La disminución del nivel de agua del lago Titicaca de los últimos años en el promedio de 3,808.54 msnm al dejar áreas baldías y espejos de agua de 20 a 30 cm de profundidad, permite una mayor absorción de radiación solar en su entorno, lo que contribuye a mayores temperaturas en la región circunlacustre 18 a 22°C y al calentamiento global. Patrones similares mencionan McDermid y Winter (2017), que indican sobre la influencia en el clima del mar de Aral, al interferir el flujo de ríos aportantes para favorecer la agricultura intensiva, provocaron la desecación del mar de Aral, aumentando la temperatura superficial, reducciones en evapotranspiración, alteración de la relación humedad del suelo regional, contribuyendo al cambio climático global.

Rafikov y Gulnora (2014), White (2013), Cretaux *et al.* (2013), Baidya *et al.* (2014), sugirieron variabilidad climática a gran escala y el cambio de uso de tierra en cuencas de Amu Darya y Syr Darya contribuyendo al calentamiento regional. Condiciones

similares se percibe en torno al lago Titicaca, observado en sectores como Isla Allan y Chulluni, donde se tomó temperaturas de 32 a 34°C en áreas de totorales y llachales desecados, 10°C por encima de áreas con vegetación en estado verde. Este tipo de temperaturas constituye espacios sofocantes que ahuyentan la presencia de aves silvestres, no se registra pastoreo de ganado vacuno u ovino como en periodos anteriores, en suma, áreas de totorales se encuentran emergentes y desecados (Figura 29 y 30) como terrenos eriazos.



Figura 29. Isla Allan Ribera, zonas de totorales desecados emergentes, concentran altas temperaturas y ausencia de biodiversidad.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 30. Chulluni lago, zonas de totorales emergentes desecados no permiten presencia de aves por altas temperaturas del medio.
Fuente: Goyzueta (2019).

c) Hábitat y turismo

La actividad turística en el lago Titicaca resulta muy afectada por la alteración de hábitat, ante la disminución del nivel de agua del lago a la cota 3,808.54 m, que provoca la alteración de la calidad de agua y fragmentación de hábitat. En el caso del lago, influye a que las islas flotantes de los Uros, y su entorno natural, como el principal atractivo, pierden la condición estética y de recreación ambiental, sus asentamientos insulares se encuentran en un estado de colapso como terrenos eriazos, situación que afecta a los habitantes de las islas y a su economía con un impacto local y regional.

Xiao *et al.* (2018), refiere que los lagos brindan grandes beneficios económicos, recreativos y estéticos a la población humana, en condiciones ambientales favorables y es contraria cuando los niveles de aguas están por debajo de lo histórico, como es el caso de Twin Cities (Minnesota, EE.UU). Así mismo Xie *et al.* (2018), reportaron que el río Shenzhen y la cuenca profunda de China tuvieron calidad de agua superficial fuertemente correlacionada con la composición del paisaje y la

fragmentación del hábitat, condiciones que caracterizan también en el área de turismo del lago Titicaca, según las observaciones durante la investigación realizada.

Las islas flotantes requieren ser renovadas con pichus de totora, extraídos de zonas distantes para brindar una imagen turística aparente, mientras que a al interior de ellas tienen espacios emergentes, deteriorados, baldíos, llegando incluso a cambiar la condición estética de las viviendas y escuelas con material prefabricado en vez de totorales (Figuras 31, 32, 33 y 34).



Figura 31. Islas Uros, mantenimiento de islas con totorales traídos de zonas distantes para sostener el turismo y calidad estética.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 32. Islas Uros, imagen frontal aparente para el turismo nacional e internacional.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 33. Islas Uros, Colegio Adventista los Uros, ausencia de totora en confección de ambientes, se reemplaza con material prefabricado.
Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 34. Islas Uros Colegio Estatal, quedan en terrenos emergentes por disminución del nivel de agua y con material prefabricado, antes como isla y totora.
Fuente: Goyzueta (2019).

4.2 Disminución de biodiversidad (macrófitos y aves) en el lago Titicaca – Perú por alteración de su hábitat ocasionado por el descenso del nivel de agua a consecuencia del trasvase a Bolivia por la compuerta de regulación del río Desaguadero

4.2.1 Disminución de abundancia de macrófitos del lago Titicaca - Perú

El estudio consideró la evaluación de hábitat en totorales, llachal - totoral y espejos de agua en áreas con disposición de estos recursos naturales, ver Tabla 9.

Tabla 9

Calificación de calidad de hábitat en totorales, llachal - totoral y espejo de agua en el lago Titicaca – Perú, ocasionado por el trasvase de agua a Bolivia, 2019.

Hábitat Evaluado	Calificación Nulo	Calificación Malo	Calificación Regular	Calificación Óptimo
Chulluni, ribera	X			
Jirata, ribera	X			
Vizcachune, ribera	X			
Capucra ribera	X			
Millojachi, ribera	X			
Huerta Huaraya ribera	X			
Chincheru, ribera	X			
Paucarcolla, ribera	X			
Locajache, ribera	X			
Isla Pocsellin	X			
Isla Allan	X			
Moro, ribera	X			
Yasín, ribera	X			
Faón, ribera	X			
Carata, ribera	X			
Capano, ribera	X			
Yapura, ribera	X			
Llachón, ribera	X			
Chimu, ribera	X			
Chimu, lago		X		
Chulluni, lago		X		
Islas Uros, lago		X		
Kapi Cruz, lago		X		
Negrone, lago		X		
Titino, lago		X		
Carajachi, lago		X		
Balseromayo		X		
Ranjamayo		X		
Chajaña lago		X		
Queti, lago		X		
Wacawacani, lago		X		
Titino canal, lago		X		
Amantani, ribera	X			
Amantani, lago	X			
Taquile, ribera	X			
Taquile, lago	X			
Cotos, ribera		X		
Cotos, lago	X			
Luquina Chico, ribera		X		
Luquina Chico, lago	X			
Tacasaya, ribera		X		
Tacasaya, lago	X			
Punta Carana, ribera		X		
Punta Carana, lago	X			

Fuente: Goyzueta (2019).

El registro de datos que se presentan establece el estado ambiental del hábitat y la biodiversidad del lago Titicaca, en general se encontró un periodo con un nivel de agua muy bajo, alcanzando incluso hasta la cota 3,808.54 m a diciembre del año 2019, que propició la ausencia de totorales y llachales, así como de la abundancia de

aves silvestres de todas las zonas próximas a la ribera circunlacustre, dejando espacios baldíos por varios cientos de metros hacia el lago.

El hábitat evaluado en el lago Titicaca, considerando la metodología por cuadrantes DGEVFPN (2015), en su mayoría registra el estatus de calificación Nulo, por citar, sector Huerta Huaraya y Balseromayo (Figura 35 y 36). Así mismo, en zonas donde se tiene un nivel de agua de aproximadamente 20 a 30 cm la condición de hábitat, biodiversidad y abundancia califica como malo, por citar, sector Chimu y Chulluni (Figura 37 y 38), que muestra el deterioro de la vegetación y la escasa presencia de avifauna silvestre acuática.



Figura 35. Huerta Huaraya, hábitat calificado nulo por pérdida de espejo de agua y biodiversidad, antes zona lago.

Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 36. Balseromayo, zona de titoral lago emergente desecado como hábitat nulo para la biodiversidad, antes con profundidad de agua de más de 1 metro.

Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 37. Chimu ribera, alguna presencia de totora en zonas con nivel de agua de 20 a 30 cm, atrás presencia de ganado por totorales emergentes.

Fuente: Goyzueta (2019).



Figura 38. Chulluni, zona lago con totorales emergentes deteriorados sin presencia de biodiversidad, calificación de hábitat malo.

Fuente: Goyzueta (2019).

Cabe indicar, que la calificación de titoral y llachal nulo en zona ribereña, implica la pérdida del recurso por la pérdida total del nivel agua, quedando como terrenos eriazos; para zona lago, implica profundidades mayores a 5 m, que no permiten

crecimiento de macrófitos. Para la calificación de totoral y llachal malo, en deterioro, implica el crecimiento por metro cuadrado de 1 a 5 kg de totora, condición que lo permite el espejo de agua de apenas 20 a 30 cm. Es conveniente indicar, que en el periodo de estudio 2019 no se tuvo una calificación regular y mucho menos óptima.

La calificación nulo y malo se sustenta en la biomasa de totorales que se registró a partir de evaluaciones de la densidad por metro cuadrado, cuyos resultados se tiene en la Tabla 10, que indica que en el periodo de estudio en promedio se registró de 2.70 a 3.90 kg/m², valores que se encuentran entre la calificación de malo con valores de 1 a 5 kg/m².

Estos datos son contrarios al registrado por Goyzueta (2006) en la investigación realizada el año 2006, ya que, en la misma zona de estudio obtuvo entre 11 a 15 kg/m² en zonas de totoral semidenso, calificado como óptimo. Esto es resaltando el hecho que, el registro del nivel agua del lago en ese año estuvo por encima de 1 m del año actual, suficiente para permitir procesos fisiológicos de macrófitos acuáticos.

Cabe indicar, que la densidad se estableció con totorales de estado vegetativo predominantemente maduro y verde con inflorescencia no predominante, longitudes de corte de tallo de 2 a 2.5 m, cobertura vegetal del orden de 30 %, grosor de tallo en la base o ápice de 1 a 2.5 cm, y un total de 90 a 200 tallos por m².

Estos datos al análisis con la Reserva Nacional del Titicaca (2020), reporta información similar, ya que para el año 2019 en promedio anual registraron 4.41kg/m² para el área natural protegida en materia verde, siendo un valor bajo en relación a décadas anteriores.

Las zonas de muestreo 1 y 5 corresponde a área riverseña totoral – llachal 20 km; la zona 2 esta sobre el río Huile totoral 12 km; la zona 3 al río Coata totoral 20 km; la zona 4 al transecto Puno a Península Capachica totoral 13 km; y la zona 6 corresponde a espejo de agua con un transecto de 70 km.

La Tabla 10, además, nos permite indicar que siendo la calificación malo en hábitat de totorales, totoral llachal y espejo de agua para el periodo de estudio 2019, dicha calificación se da para la época de lluvias, que permite alcanzar un nivel de cota máximo en el mes de abril con 3,809.11 m, mientras que al descenso del nivel de agua que alcanza la cota 3,808.54 en diciembre, se alcanza una calificación de hábitat

nulo, al tener el desecamiento de los macrófitos, que repercute en la pérdida de la biodiversidad de aves silvestres acuáticas.

Tabla 10

Biomasa de totorales en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, 2019.

Zona de Muestreo	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Espejo de	
	Llalachal	2	3	4	llalachal	
	1				6	
Nro Muestra	18-Abr	19-Abr	20-Abr	21-Abr	27-Set	17-Oct
Densidad	Kg/m ²					
1	2	3.4	4.2	2.8	0	0
2	2.5	4.2	3.8	2.2	0	0
3	2.8	3.4	3.3	3	0	0
4	2.5	2.8	3.9	3.2	0	0
5	1.7	3.8	2.9	2.9	0	0
6	2.5	3.5	3	4.2	0	0
7	2.3	4.7	4	4.5	0	0
8	3.4	3.7	4.8	3.9	0	0
9	2.6	4.3	5.2	3.6	0	0
10	3.2	3.8	3.6	3.2	0	0
11	4	4.5	4.4	4.8	0	0
12	3.8	4.6	4.6	5.6	0	0
13	3.2	3.2	3.8	2.4	0	0
14	3.5	3.5	3.3	1.9	0	0
15	2.4	4.8	3.9	3.6	0	0
16	2.2	4.5	3	3.5	0	0
17	1.8	4.4	2.9	4.5	0	0
18	2.1	4.6	2	3.2	0	0
19	2.9	3.8	5.9	2.8	0	0
20	3.2	4	4.8	2.2	0	0
21	2.8	4.2	4.2	3.8	0	0
22	3	4	4.5	3.5	0	0
23	2.4	3.5	3.5	4	0	0
24	1.9	3.2	5.5	3.4	0	0
25	2.5	3.9	2.8	3.8	0	0
PROMEDIO	2.70	3.90	3.90	3.50	0	0
Calificación de hábitat	Malo	Malo	Malo	Malo	Nulo	Nulo

Fuente: Goyzueta (2019).

En general se percibe que el estatus de la vegetación acuática está determinado por la fluctuación del nivel del lago, que está definido por el ingreso de precipitaciones, cuyo máximo alcanza en abril y las pérdidas de agua, cuyo mínimo alcanza en diciembre condición similar a lo reportado por Dejoux e Iltis (2015) que indica que

el flujo de ascenso y descenso del nivel del lago es sostenible para los años 1914 a 1989.

Se realizó un ANOVA Tabla 13, para datos entre 4 zonas de hábitat de totorales y 1 periodo de evaluación, los resultados nos indican que no existe diferencia en la biomasa de los totorales, debido a lo homogéneo de todas las zonas como vegetación deteriorada en el lago Titicaca, lo que implica que el trasvase de agua por la compuerta de regulación del río Desaguadero altera a todas las zonas de macrófitos (totorales y llachales).

Para la realización del ANOVA, se consideró validar los supuestos a través de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov Tabla 11, aceptando la H_0 , que los datos tienen distribución normal; Prueba de homocedasticidad Tabla 12, aceptando H_0 , que indica existe homogeneidad de varianzas.

Tabla 11
Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov

Macrófitos	Zona de Estudio	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro- Wilk		
		Estadístico	GL	Sig.	Estadístico	GL	Sig.
Densidad Totorales	Total Llachal 1	.141	25	.200*	.971	25	.660
	Total 2	.109	25	.200*	.967	25	.562
	Total 3	.078	25	.200*	.986	25	.974
	Total 4	.076	25	.200*	.982	25	.919

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Significancia mayor a 0,05. Se acepta H_0 , los datos tienen distribución normal.

Tabla 12
Prueba de homocedasticidad / homogeneidad de varianzas.

Densidad de totorales			
Estadístico	df	df	Sig.
Levene	1	2	
2,167	3	96	.097

Significancia mayor a 0,05. Se acepta H_0 , existe homogeneidad de varianzas.

Tabla 13
Análisis de Varianza para biomasa de totorales en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, en 4 zonas de hábitats de totoral y totoral llachal y 1 periodo de estudio, 2019.

ANOVA					
Densidad de totorales					
FV	SC	GL	CM	Fc	Sig.
Entre hábitat	25.432	3	8.477	14.871	.000
Dentro hábitats	54.727	96	.570		
Total	80.160	99			

Significancia mayor a 0,05. Se acepta H_0 , no existe diferencia estadística significativa en ninguna de las zonas.

4.2.2 Disminución de la biodiversidad de aves silvestres del lago Titicaca – Perú

Se realiza un análisis de las poblaciones de aves silvestres del lago Titicaca – Perú, considerando espacios de totoral, totoral – llachal y espejo de agua, para caracterizar la condición de hábitat que permite la presencia de individuos sobre este humedal.

Se ha considerado para el análisis un periodo de precipitación pluvial que permite un incremento del nivel de agua del lago alcanzado su cota máxima en el mes de abril con 3,809.11 m y un periodo con ausencia de precipitaciones pluviales que permite el descenso del nivel de agua alcanzando su cota mínima en el mes de diciembre con 3,808.54 m para el año 2019 Tabla 4, siendo este margen de fluctuación de cota, determinante para establecer la presencia o ausencia de poblaciones de aves en el hábitat lago Titicaca.

Según la preferencia de hábitat de las especies de aves silvestres sobre el totoral, totoral - llachal y espejo de agua, se tiene un análisis en la Tabla 14, que nos indica, que las especies buscan las condiciones de hábitat óptimo en el totoral y totoral – llachal, y solo algunas especies son registradas en el espejo de agua en condición temporal o de tránsito.

Tabla 14

Preferencia de hábitat de especies de aves silvestres acuáticas en áreas de totoral, totoral – llachal y espejo de agua en el lago Titicaca, 2019.

Área de Estudio	Total	Llachal – totoral	Espejo de agua
Fecha de Muestreo	Abril, setiembre	Abril, setiembre	Octubre
<i>Anas puna</i>	X	X	X
<i>Anas geórgica</i>	X	X	
<i>Anas flavirostris</i>	X	X	X
<i>Anas cyanoptera</i>	X	X	
<i>Oxyura ferrugínea</i>	X	X	
<i>Chloephaga melanoptera</i>	X	X	
<i>Podiceps occipitales</i>	X	X	X
<i>Rollandia microptera</i>	X	X	X
<i>Rollandia rolland</i>	X	X	X
<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	X	X	
<i>Gallinula chloropus</i>	X	X	X
<i>Fulica ardesiaca</i>	X	X	X
<i>Nycticorax nycticorax</i>	X	X	
<i>Theristicus melanopsis</i>	X	X	
<i>Plegadis ridgwayi</i>	X	X	
<i>Vanellus resplendens</i>	X	X	
<i>Tringa flavipes</i>	X	X	
<i>Himantopus mexicanus</i>	X	X	
<i>Larus serranus</i>	X	X	X
<i>Tachuris rubrigastra</i>	X	X	
<i>Lessonia oreas</i>	X	X	
<i>Pheolocryptes melanops</i>	X	X	
<i>Petrochelidon andecola</i>	X		
<i>Zonotrichia capensis</i>	X	X	

Fuente: Goyzueta (2019).

En el periodo de estudio actual 2019, se observa el descenso significativo de la avifauna silvestre del hábitat lago Titicaca – Perú, como se registra en la Tabla 15, considerando la metodología de conteo por transectos lineales Acosta *et al.* (2013), se tiene 24 especies en 13 familias.

Este registro es menor al evaluado por Goyzueta (2006), para el lago Titicaca, con el mismo Índice HSI, que registra 37 especies en 16 familias, resaltando las condiciones ambientales favorables. Esto es debido a que la cota del lago del año 2006 registró 3,809.96 m en promedio mensual / anual, teniendo más de 1 metro por encima del nivel de agua actual 2019, que registró 3,808.82 m. en promedio mensual/anual.

Tabla 15

Biodiversidad de aves silvestres en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, 2019.

Zona de Muestreo	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Espejo
	Llalach 1	2	3	4	llalach 5	de Agua 6
Fecha de Muestreo	18-Abr	19-Abr	20-Abr	21-Abr	27-Set	17-Oct
<i>Anas puna</i>	107	32	47	16	0	8
<i>Anas geórgica</i>	18	3	6	12	0	6
<i>Anas flavirostris</i>	48	17	3	20	0	12
<i>Anas cyanoptera</i>	0	17	13	10	0	4
<i>Oxyura ferrugínea</i>	0	27	68	19	0	0
<i>Chloephaga melanoptera</i>	8	0	0	0	0	0
<i>Podiceps occipitales</i>	20	26	42	28	0	38
<i>Rollandia microptera</i>	0	11	38	19	0	8
<i>Rollandia rolland</i>	0	4	3	4	0	2
<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	4	5	6	3	0	0
<i>Gallinula chloropus</i>	41	38	22	24	0	0
<i>Fulica ardesiaca</i>	35	11	22	17	0	0
<i>Nycticorax nycticorax</i>	3	8	4	3	0	0
<i>Theristicus melanopsis</i>	3	0	4	0	2	0
<i>Plegadis ridgwayi</i>	2	3	0	5	4	0
<i>Vanellus resplendens</i>	12	2	8	0	8	0
<i>Tringa flavipes</i>	25	8	16	27	0	0
<i>Himantopus mexicanus</i>	68	0	0	0	0	0
<i>Larus serranus</i>	36	28	36	31	12	18
<i>Tachuris rubrigastra</i>	0	13	0	2	0	0
<i>Lessonia oreas</i>	16	12	0	0	0	0
<i>Pheolocryptes melanops</i>	4	0	0	9	0	0
<i>Petrochelidon andecola</i>	0	18	0	0	0	0
<i>Zonotrichia capensis</i>	14	13	0	0	12	0
TOTAL	357	283	334	221	32	96
Índice de Simpson %	80	92	88	90	66	78
Calificación de hábitat	Ralo	Ralo	Ralo	Ralo	Ausente	Ausente
Calificación de aves	Regular	Regular	Regular	Regular	Escaso	Escaso

Fuente: Goyzueta (2019).

Las zonas de muestreo 1 y 5 corresponde a área riverañá totoral – llalach 20 km; la zona 2 esta sobre el río Huile totoral 12 km; la zona 3 al río Coata totoral 20 km; la zona 4 al transecto Puno a Península Capachica totoral 13 km; y la zona 6 corresponde a espejo de agua con un transecto de 70 km.

Otra discusión importante a considerar es que con el número de especies y familias registradas en el presente estudio, se tiene datos contrarios a lo registrado para el mismo año 2019 por Reserva Nacional del Titicaca (2020), aparentemente con mayor diversidad, ya que reportan 66 especies en los ecosistemas totoral, orilla inundable y espejo de agua, agrupadas en 28 familias.

Este registro considera aproximadamente 30 especies de hábitat terrestre que corresponde a 12 familias como; Cathartidae, Accipitridae, Columbidae, Falconidae, Icteridae, Motacillidae, Hirundinidae, Thraupidae, Fringilidae, Troglodytidae, Turdidae, y Tytonidae, que no son consideradas en censos de aves silvestres acuáticas. En el caso de nuestra investigación, se ratifica la condición de hábitat acuático alterado, desecado como terrenos eriazos, permitiendo presencia de especies terrestres altiplánicas sobre este espacio.

La calificación de estatus de población de aves silvestres acuáticas para el hábitat lago Titicaca, según parámetros adaptados de las categorías y criterios de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN (2012), registra la condición regular para el periodo de mayor nivel de cota del lago en abril con 3,809.11 m, que considera poblaciones de 101 a 1,000 individuos. Se registra la condición escasa para el periodo de bajo nivel de agua del lago que para diciembre alcanza 3,808.54 m, que considera poblaciones de 0 a 100 individuos, indicando la disminución de poblaciones para el periodo de estudio 2019, con relación a periodos de evaluación anteriores.

Es resaltante, la variación de registro de población para el mismo hábitat como totoral – llachal y en los dos periodos de mayor y menor cota del lago para el mismo año 2019, con 357 individuos en abril y 32 individuos en setiembre, en suma, 0.57 m menos en el nivel de profundidad de cuerpo de agua es determinante para promover la presencia y/o ausencia de poblaciones de aves silvestres acuáticas en el lago Titicaca.

De hecho, la disminución del nivel de agua del lago promueve la disminución de la abundancia, la migración o dispersión de aves silvestres acuáticas a otros lagos o lagunas altoandinas en el altiplano peruano o a otros medios, alterando la evaluación por el índice de idoneidad de hábitat aplicado al lago Titicaca, coincidente con lo planteado por Osorio *et al.* (2016) que refieren que a medida que se incrementa la

proporción de individuos que se dispersan, la correlación entre abundancia e idoneidad del hábitat disminuye.

El Índice de Diversidad de Simpson, presenta resultados de 80 a 92 % para zona total – llachal y total en el periodo abril, con presencia de espejo de agua, que indica dominancia o diversidad de especies. Sin embargo, tendría la limitación de ser temporal y sujeta a un escaso registro de aves en relación a años con muestra significativa como lo evaluado en Goyzueta (2006), para el año 2006 que presenta valores ponderados de 93 a 94 %, con poblaciones calificadas de regular y abundante, de 100 a 1,000 individuos y 1,001 a 10,000 individuos respectivamente, que no se registraron en el presente estudio.

Incluso se alcanzó a registrar en el mes de setiembre sobre la misma zona de total llachal un valor ponderado de 66 %, por la disminución del espejo de agua que determina la ausencia de diversidad y abundancia de aves silvestres acuáticas.

Para el caso de zona de espejo de agua, el Índice de Diversidad de Simpson registra para el mes de octubre un valor ponderado de 78 %, que igualmente, muestra dominancia y diversidad de aves silvestres acuáticas, siendo una población de algunas especies de aves fluctuante en tránsito y temporal.

Esto es debido a la necesidad de sobrevivencia en la relación al medio acuático y la fragmentación de su hábitat por la disminución del nivel de agua en zona de total y llachal, en realidad no es un hábitat en que permanezcan permanentemente en el medio, porque no se tiene condiciones de alimentación, abrigo, u otras.

Se realizó la Prueba de Kruskal Wallis (Estadístico H) Tabla 16, para datos entre 4 zonas de hábitats de aves acuáticas del lago Titicaca (1,2,3,4) y 1 periodo de evaluación, resultando que no existen diferencias significativas entre las poblaciones para cada uno de los hábitats: total -llachal y total.

Es decir, no existe una preferencia o no mantienen una mayor abundancia en alguno de ellos, las zonas están igual de deterioradas, por lo cual, las aves no tienen oportunidad de selección de hábitat ante el trasvase de agua por la compuerta de regulación del río Desaguadero, siendo la dispersión de aves un factor determinante.

Prueba de Kruskal Wallis (Estadístico H)

Tabla 16

Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para la biodiversidad de aves silvestres en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, en 4 zonas de hábitat en totoral – llachal y totoral, y 1 periodo de evaluación, 2019.

	Zona	N	Rango promedio
Población	Totoral llachal 1	24	51.69
	Totoral 2	24	50.71
	Totoral 3	24	46.29
	Totoral 4	24	45.31
	Total	96	

Estadístico de Contraste ^{ab}	
	Población
Chi-cuadrado	.948
GL	3
Sig. asintótica	.814

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: zonas

Significancia Asintótica es mayor a 0.05, se acepta Ho, no existe diferencia estadística significativa en ninguna de las zonas.

Se realizó la Prueba de Kruskal Wallis (Estadístico H) Tabla 17, para datos entre 3 diferentes hábitats de aves acuáticas del lago Titicaca (1,2,3) y varios periodos de evaluación, resultando que si existen diferencias significativas entre las poblaciones para cada uno de los hábitats: totoral -llachal, totoral y espejo de agua, es decir prefieren o mantienen una mayor abundancia en alguno de ellos, por lo cual, las aves se ven afectadas por el trasvase de agua por la compuerta de regulación del río Desaguadero, siendo la dispersión de aves un factor determinante.

Tabla 17

Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para la biodiversidad de aves silvestres en el lago Titicaca – Perú, en hábitat alterados por el trasvase de agua a Bolivia, en 3 zona de hábitat de aves acuáticas; totoral – llachal, totoral y espejo de agua en diferentes periodos. 2019.

	Zona	N	Rango promedio
Población Promedio	1	24	54.69
	2	24	24.81
	3	24	30.00
	Total	72	

Estadístico de Contraste ^{ab}	
	Población
Chi-cuadrado	31.567
GL	2
Sig. Asintótica	.000

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: zonas

Significancia asintótica es menor a 0,05, se rechaza H_0 y se acepta H_a , existe diferencia estadística significativa en las zonas.

CONCLUSIONES

1. El Índice de Idoneidad del Hábitat (HSI) aplicado al lago Titicaca indica la alteración de su hábitat, promovido y causado por el trasvase de agua a Bolivia a través de la compuerta de regulación del río Desaguadero. Se han determinado valores ponderados para la condición real del totoral de 35, del llachal-total de 32.5 y del espejo de agua de 27, contrastando con la condición ideal determinada para el hábitat del lago Titicaca de 81. Así mismo, caracteriza condiciones que expresan disminución del espejo de agua en su cota normal, a pesar de la ausencia de sequías sequías e inundaciones, niveles de agua en proceso de disminución continuo, escasa presencia de ganado por disminución de recurso alimenticio, disminución de medios de transporte por ausencia de medio acuático, masificación de quema de totorales por deterioro y desecamiento.

La alteración del hábitat por la disminución del nivel del lago, promueve además impactos ambientales de eutrofización que impacta a la biodiversidad, al aumento de temperatura ambiental regional y a la actividad turística regional.

2. El descenso del nivel agua del lago (cota 3,808.54 msnm, diciembre 2019), impactó en la biodiversidad; disminución de biomasa de macrófitos y ausencia de aves silvestres acuáticas. Se califican a los hábitats totoral, totoral-llachal y espejo de agua como malos, con valores promedio de biomasa de totorales entre 2.70 y 3.90 kg/m² e incluso ausencia o pérdida de totorales.

La biodiversidad de aves silvestres del lago Titicaca se aprecia disminuida con un registró de 24 especies en 13 familias en los hábitats totoral, totoral-llachal y espejo de agua. Así, el estatus de población de aves del lago Titicaca, de acuerdo a la Lista Roja de la UICN, varía de “regular” en el periodo de mayor nivel de cota del lago (abril 2019, 3,809.11 m), a “escaso” en el periodo de bajo nivel de cota (diciembre 2019, 3,808.54 m), con un registro de 357 individuos en abril y 32 individuos en setiembre en el hábitat totoral-llachal.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un monitoreo con el Índice de Idoneidad del Hábitat HSI en el lago Titicaca, en años posteriores, para reafirmar las alteraciones ambientales de hábitat y sugerir medidas de contingencia.
2. Realizar estudios de biodiversidad del lago Titicaca, que brinden información del estatus actual en condiciones ambientales en periodo pluvial y de estiaje.
3. Instituciones involucradas como el Ministerio del Ambiente, Reserva Nacional del Titicaca, a través del resultado de la presente investigación, consideren los riesgos de impacto ambiental que representa el trasvase de aguas del lago Titicaca a otras cuencas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, C. M., Mugica, V. L., Aguilar, M. L. (2013). Protocolo para el monitoreo de aves acuáticas y marinas. Proyecto GEF/PNUD. La Habana Cuba.
- ANA (2019). Ministerio de Agricultura y Riego, Autoridad Nacional del Agua. Ley De Recursos Hídricos del Perú N° 29338. Perú. Primera edición. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/228>
- Baidya Roy, S., Smith, M., Morris, L., Orlovsky, N., y Khalilov, A. (2014). Impact of the desiccation of the Aral sea on summertime surface air temperatures. *Journal of Arid Environments*, 110, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.06.008>
- Becker, F. G., Kilic, I., Aydin, G., Puarungroj, W., Boonsirisumpun, N., Gerrikagoitia, J. K., Ying, C. (2018). Nivel lago Titicaca ALT 2001 al 2018. Title. *Procedia Computer Science*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.15439/2019F121>
- Braunisch, V., Coppes, J., Storch, I., Suchant, R., Nopp-Mayr, U., y Grünschachner-Berger, V. (2018). Habitat suitability modulates the response of wildlife to human recreation. *Biological Conservation*, 227(May), 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.08.018>
- Chen, Y., Yu, G., Zhao, T., Xiao, M., y Yao, W. (2018). Assessing the river habitat suitability and effects of introduction of exotic fish species based on aneco-hydraulic model system. *Ecological Informatics*, 45(2017), 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.04.001>
- Cobo, B. a L., y Moravec, J. W. (2011). Aprendizaje invisible. In *Book* (Vol. 43). Retrieved from http://conservancy.umn.edu/handle/11299/144375%5Cnhttp://www.publicacions.ub.edu/ver_indice.asp?archivo=07458.pdf
- CONVENCIÓN RAMSAR (2013). Secretaría de la Convención de RAMSAR. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6a. edición. Gland (Suiza). [http://www.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/63CDE791FF2EB4CD05257C630051708F/\\$FILE/1_pdfsam_Manual_convenci%C3%B3n_de_Ramsar_2013.pdf](http://www.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/63CDE791FF2EB4CD05257C630051708F/$FILE/1_pdfsam_Manual_convenci%C3%B3n_de_Ramsar_2013.pdf)
- Cook, N. A., Sarver, E. A., Krometis, L. H., y Huang, J. (2015). Habitat and water quality as drivers of ecological system health in Central Appalachia. *Ecological Engineering*, 84, 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.006>
- Cretaux, J. F., Letolle, R., y Bergé-NGUYEN, M. (2013). History of aral sea level variability and current scientific debates. *Global and Planetary Change*, 110, 99–113. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.05.006>
- Chen, Y., Yu, G., Zhao, T., Xiao, M. y Yao, W. (2018). Assessing the river habitat suitability and effects of introduction of exotic fish species based on aneco-hydraulic model system. *Ecological Informatics*, 45(2017), 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.04.001>

j.ecoinf.2018.04.001

- Dejoux, C. e Iltis, A. (2015). El Lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual, Hisbol, Editorial Orstom, La Paz - Bolivia. Universidad Nacional del Altiplano.
- DGEVFPN (2015). Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural DGEVFPN. Guía de inventario de la flora y vegetación. Lima Perú.
- Dourojeanni, A.C. (2014). Trasvases de agua en el Perú: No solo un proyecto de ingeniería hidráulica c. *Debate Agrario*; Lima N.º 46, (jun 2014): 17-27. <https://search.proquest.com/docview/1548388459?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>
- Estep, L. R. y Reavie, E. D. (2015). The ecological history of lake Ontario according to phytoplankton. *Journal of Great Lakes Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.06.005>
- Gallina, S., S. Mandujano y O. A. Villarreal Espino-Barros. 2014. Monitoreo y manejo del venado cola blanca: Conceptos y métodos. Instituto de Ecología, A. C. y Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Xalapa, Ver. México. 220 pp. https://www.researchgate.net/publication/278157785_Ecoregiones_y_manejo_de_subespecies_del_venado_cola_blanca
- Gao, L., Gao, B., Xu, D., Peng, W., y Lu, J. (2019). Multiple assessments of trace metals in sediments and their response to the water level fluctuation in the Three Gorges Reservoir, China. *Science of the Total Environment*, 648, 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.112>
- Gorguner, M., Kavvas, M. L. e Ishida, K. (2019). Assessing the impacts of future climate change on the hydroclimatology of the Gediz Basin in Turkey by using dynamically downscaled CMIP5 projections. *Science of The Total Environment*, 648, 481–499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.167>
- Goyzueta, G., Alfaro, R. y Aparicio, M. (2009). Totorales del lago Titicaca, importancia, conservación y gestión ambiental. Perú; Editorial MERU, Diseño y Publicidad. Puno Perú.
- Goyzueta, G. (2006). Macrófitos del lago Titicaca (sitio Ramsar), condición de habitat para la presencia de aves silvestres acuáticas neotropicales. Universidad Nacional del Altiplano. Puno Perú. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/551>
- Goyzueta, G. (2005). Majestuoso lago Titicaca fuente de vida. Ed. FIMART SAC. Lima Perú. http://www.sangaban.com.pe/pgw_externos/pgw_memoriaanual/2004pdfSE.pdf
- He, F. y Hu, X. S. (2005). Hubbell's fundamental biodiversity parameter and the Simpson diversity index. *Ecology Letters*, 8(4), 386–390 <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00729.x>
- Howard, K., y Gerber, R. (2018). Impacts of urban areas and urban growth on

- groundwater in the great lakes Basin of north America. *Journal of Great Lakes Research*, 44(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2017.11.012>
- Hu, T., Mao, J., Pan, S., Dai, L., Zhang, P., Xu, D., y Dai, H. (2018). Water level management of lakes connected to regulated rivers: An integrated modeling and analytical methodology. *Journal of Hydrology*, 562, 796–808. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.05.038>
- Huang, J., Yan, R., Gao, J., Zhang, Z. y Qi, L. (2016). Modeling the impacts of water transfer on water transport pattern in Lake Chao, China. *Ecological Engineering*, 95, 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.074>
- INAB (2014). Instituto Nacional de Bosques INAB. Lineamientos técnicos de manejo forestal. *Dt-000(2015)*, 62 Guatemala. http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2972/Technical/Lineamientos%20Tecnicos%20de%20Manejo%20Forestal.pdf
- Jiang, Z., Zhao, H., Xu, B., Wang, Y., y Chen, X. (2018). Exploring an efficient habitat index for predicting population and abundance of migratory birds in Poyang Lake Wetland, South China. *Acta Ecologica Sinica*, 38(6), 381–390. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.04.004>
- Kamar, G. (2018). Palynology of lake Arin (Eastern Anatolia, Turkey) deposits and its relation with water level change of Lake Van: Preliminary findings. *Quaternary International*, 486, 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.05.020>
- Klump, J. V., Bratton, J., Fermanich, K., Forsythe, P., Harris, H. J., Howe, R. W., y Kaster, J. L. (2018). Green bay, lake Michigan: A proving ground for great lakes restoration. *Journal of Great Lakes Research*, 8–11. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.08.002>
- Kolding, J., y Zwieten, P. A. M. Van. (2012). Relative lake level fluctuations and their influence on productivity and resilience in tropical lakes and reservoirs. *Fisheries Research*, 115–116, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.11.008>
- Köppen, W. (2012). *Clasificación climática de Köppen 1936*. Climatología práctica. <http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico%20climatologia%202012/Practico%207/Clasificacion%20Koppen.pdf>.
- Leal, A. I., Acácio, M., Meyer, C. F. J., Rainho, A., y Palmeirim, J. M. (2019). Grazing improves habitat suitability for many ground foraging birds in Mediterranean wooded grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 270–271(October 2018), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.10.012>
- Lei, Y., Yao, T., Yang, K., Bird, B. W., Tian, L., Zhang, X., y Wang, L. (2018). An integrated investigation of lake storage and water level changes in the Paiku Co basin, central Himalayas. *Journal of Hydrology*, 562, 599–608. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.05.040>
- Liao, H., Sarver, E., y Krometis, L. A. H. (2018). Interactive effects of water quality, physical habitat, and watershed anthropogenic activities on stream ecosystem health. *Water Research*, 130, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.065>

- Longyang, Q. (2019). Assessing the effects of climate change on water quality of plateau deep-water lake - A study case of Hongfeng lake. *Science of The Total Environment*, 647, 1518–1530. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.08.031>
- Matheus, G. V. T. (1993). The Ramsar Convention on Wetlands: its History and Development Ramsar Convention. In *The Ramsar Convention on Wetlands: history and development*. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/Matthews-history.pdf>
- Marina de Guerra del Perú (1986). Cota absoluta o nivel de referencia del lago Titicaca, nivel “0”. https://www.dhn.mil.pe/Archivos/servicio_puno/NivelLagoTiticaca.pdf
- McDermid, S. S., y Winter, J. (2017). Anthropogenic forcings on the climate of the Aral sea: A regional modeling perspective. *Anthropocene*, 20, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2017.03.003>
- Na, X., Zhou, H., Zang, S., Wu, C., Li, W., y Li, M. (2018). Maximum entropy modeling for habitat suitability assessment of Red-crowned crane. *Ecological Indicators*, 91(December 2017), 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.013>
- Osorio, L. A., Falconi, M., y Soberón, J. (2016). Sobre la relación entre idoneidad del hábitat y la abundancia poblacional bajo diferentes escenarios de dispersión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1080–1088. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.001>
- Otálora, M. P. y Torres, E. T. (2012). Glosario de términos para la formulación de proyectos ambientales. <https://www.yumpu.com/es/document/read/34180908/glosario-de-terminos-para-la-formulacion-de-proyectos-cdam>
- Poirazidis, K., Bontzorlos, V., Xofis, P., Zakkak, S., Xirouchakis, S., Grigoriadou, E. y Panagiotopoulou, M. (2019). Bioclimatic and environmental suitability models for capercaillie (*Tetrao urogallus*) conservation: Identification of optimal and marginal areas in Rodopi Mountain-Range National Park (Northern Greece). *Global Ecology and Conservation*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00526>
- Rafikov, V., y Gulnora, M. (2014). Forecasting changes of hydrological and hydrochemical conditions in the Aral Sea. *Geodesy and Geodynamics*, 5(3), 55–58. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1246.2014.03055>
- Reheis, M. C., Adams, K. D., Oviatt, C. G. y Bacon, S. N. (2014). Pluvial lakes in the Great Basin of the western United States da view from the outcrop. *Quaternary Science Reviews*, 97, 33–57. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.04.012>
- Reist, J. D., Sawatzky, C. D. y Johnson, L. (2016). The Arctic “Great” lakes of Canada and their fish faunas - An overview in the context of Arctic change. *Journal of Great Lakes Research*, 42(2), 173–192. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.10.008>
- Reserva Nacional del Titicaca (2020). Informe de monitoreo biológico en la Reserva Nacional del Titicaca – 2019. Ministerio del Ambiente.
- Rocha, O. (2002). Diagnóstico de los recursos naturales y culturales de los lagos Poopo y Uro Uro, Oruro - Bolivia (para su nominación como sitio Ramsar). Convención

Ramsar, WCS/Bolivia. La Paz Bolivia.

- Rodriguez, R. (1987). Manual de técnicas de gestión de vida silvestre, Wildlife Society, EEUU. <https://www.worldcat.org/title/manual-de-tecnicas-de-gestion-de-vida-silvestre/oclc/803168271>
- Salguero, M. E., Arias, B. E. y González, B. V. (2015). Lineamientos técnicos de manejo forestal. Guatemala.
- SENAMHI (2011). Boletín regional del SENAMHI Puno. Año XII, Número 04, Abril, 2011 <http://www.senamhi.gob.pe>
- SENAMHI (2020). Reporte institucional SENAMHI Puno. *Ministerio Del Ambiente*, 10. Retrieved from [http://www.senamhi.gob.pe/rcapacoila@senamhi.gob.pe/datos meteorológicos](http://www.senamhi.gob.pe/rcapacoila@senamhi.gob.pe/datos%20meteorol%C3%B3gicos)
- SERNANP. Ministerio del Ambiente, SERNANP (2015). Plan Maestro de la Reserva Nacional del Titicaca 2014 – 2019. Lima Perú. http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/biblioteca/planes_maestros_2015/titicaca/Plan%20Maestro%202014%20-%202019%20RN%20Titicaca%20ver%20aprob.pdf
- UICN (2012). Categorías y criterios de la lista roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: 34pp.
- Universidad Politécnica de Madrid (2013). Domingo Gómez Orea. Impacto ambiental de los trasvases. España. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_1994_740_178_181.pdf
- Universidad San Pablo de Madrid, España (2013). Sebastián Félix Utrera-Caro. Agua, trasvases y medio ambiente. Los aspectos ambientales de los trasvases. España. DOI: <https://doi.org/10.16925/di.v15i17.636>
- Wang, Y., Sun, Z. y Sun, Y. (2018). Effects of a thaw slump on active layer in permafrost regions with the comparison of effects of thermokarst lakes on the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Geoderma*, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.046>
- White, K. D. (2013). Nature-society linkages in the Aral sea region. *Journal of Eurasian Studies*, 4(1), 18–33. <https://doi.org/10.1016/j.euras.2012.10.003>
- Wu, Y., Bo, Y., Zhou, F., Tang, Q., Guimberteau, M., Ciais, P. y Dai, C. (2018). Quantifying the unauthorized lake water withdrawals and their impacts on the water budget of eutrophic lake Dianchi, China. *Journal of Hydrology*, 565, 39–48. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2018.08.017>
- Xiao, K., Griffis, T. J., Baker, J. M., Bolstad, P. V., Erickson, M. D., Lee, X. y Nieber, J. L. (2018). Evaporation from a temperate closed Basin lake and its impact on present, past, and future water level. *Journal of Hydrology*, 561, 59–75. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.059>
- Xie, Y., Yu, X., Ng, N. C., Li, K., y Fang, L. (2018). Exploring the dynamic correlation of landscape composition and habitat fragmentation with surface water quality in the Shenzhen river and deep bay cross-border watershed, China. *Ecological Indicators*,



90(July 2017), 231–246. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.051>

Yao, J., Zhang, Q., Ye, X., Zhang, D. y Bai, P. (2018). Quantifying the impact of bathymetric changes on the hydrological regimes in a large floodplain lake: Poyang Lake. *Journal of Hydrology*, 561, 711–723. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.035>

Zhang, Z., Zhou, J., Song, J., Wang, Q., Liu, H. y Tang, X. (2017). Habitat suitability index model of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka): A case study of Shandong Peninsula, China. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.001>

Zhao, C. S., Yang, S. T., Xiang, H., Liu, C. M., Zhang, H. T., Yang, Z. L. y Lim, R. P. (2015). Hydrologic and water-quality rehabilitation of environments for suitable fish habitat. *Journal of Hydrology*, 530, 799–814. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.031>



ANEXOS

Anexo 1. Tablas referenciales de uso al análisis de datos de la investigación.

Tabla 18

Flora en el ecosistema totoral llachal del lago Titicaca.

Condición	Familia	Nombre científico	Nombre común
Helófitas o anfibias	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus tatora</i>	“totora”
		<i>Scirpus rígido</i>	“totorilla”
		<i>Heleocharis albitractiata</i>	“quinillo”
		<i>Ranunculus trichophyla</i>	“botón de otro”
		<i>Juncus articus</i>	“junco”
		<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	“matejlo”
Limnófitas o sumergidas	Haloraguidaceae	<i>Myriophyllum quitense</i>	“hinojo llacho”
	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton strictus</i>	“sigi llacho”
		<i>Ruppia maritime</i>	“rupia”
	Hydrochariceae	<i>Elodea potamogeton</i>	“yana llacho”
	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	“sigi llacho”
	Characeae	<i>Chara fragilis</i>	“purina”
Anffitas o flotantes	Lemnaceae	<i>Lemna spp</i>	“lenteja de agua”
	Azolaceae	<i>Azolla filiculoides</i>	“helecho de agua”

Fuente: Goyzueta *et al.*, (2009)

Tabla 19
Aves en el ecosistema totoral y llachal del lago Titicaca.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábitat/condición
Anatidae	<i>Anas versicolor</i> <i>Anas geórgica</i> <i>Anas flavirostris</i> <i>Anas cyanoptera</i> <i>Oxiura ferruginea</i> <i>Chloephaga melanoptera</i> <i>Lophonetta specularioides</i>	“pato puna” “pato jerga” “pato sutro” “pato colorado” “pato pana” “huallata” “pato cordillerano”	acuático – residente acuático – migratorio acuático – migratorio acuático – migratorio acuático – residente acuático - migratorio acuático - migratorio
Podicipedidae	<i>Centropelma micropterus</i> <i>Podiceps occipitalis</i> <i>Rollandia rollan</i>	“kele” “queñola” “pkoko”	acuático - residente acuático – residente acuático – residente
Rallidae	<i>Rallus sanguinolentus</i> <i>Gallinula chloropus</i> <i>Fulica americana</i> <i>Fulica gigantea</i> <i>Fulica ardesiaca</i>	“mototo” “tiquicho” “choca” “ajoya” “gallareta”	acuático - residente acuático – residente acuático – residente acuático – residente acuático – residente
Fenicopteridae	<i>Phoenicopterus chilensis</i> <i>Phoenicoparrus andinus</i> <i>Phoenicoparrus jamesi</i>	“flamenco chileno” “flamenco andino” “flamenco de james”	acuático - migratorio acuático - migratorio acuático - migratorio
Ardeidae	<i>Egretta alba</i> <i>Egretta thula</i> <i>Nycticorax nycticorax</i>	“garza blanca grande” “garza blanca pequeña” “huacsallo”	terrestre - migratorio terrestre – migratorio terrestre – residente
Threskiornitidae	<i>Theristicus melanopsis</i> <i>Plegadis ridgwayi</i>	“bandurria” “yanavico”	terrestre – residente terrestre – residente
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax bouganville</i>	“pato chancho”	acuático - migratorio
Charadriidae	<i>Vanellus resplendens</i> <i>Pluvialis dominica</i> <i>Charadrius alticola</i>	“lequecho” “chorlo” “chorlo de puna”	terrestre – residente terrestre – residente terrestre- residente
Scolopácidae	<i>Tringa flavipes</i> <i>Tringa melanoleuca</i> <i>Calidris bairdii</i> <i>Clidris alba</i> <i>Calidris minutilla</i>	“tiuntinco chico” “tiuntinco grande” “playero de baird” “playero” “playero”	terrestre - migratorio terrestre – migratorio terrestre - migratorio terrestre – migratorio terrestre - migratorio
Recurvirostridae	<i>Himantopus mexicanus</i> <i>Recurvirostra andina</i>	“perrito de agua” “avoceta andina”	terrestre - migratorio terrestre - migratorio
Graunidae	<i>Tachuris rubrigastra</i> <i>Lessonia oreas</i> <i>Tyrannus melancholicus</i> <i>Muscisaxicola rufivertex</i> <i>Muscisaxicola juninensis</i>	“siete colores” “negrito” “pepite” “laica” “dormilona”	acuática - residente terrestre – residente terrestre – residente terrestre – residente terrestre – residente
Furnaridae	<i>Phleocryptes melanops</i> <i>Geositta tenuirostris</i> <i>Geositta cunicularia</i> <i>Cinclopes fuscus</i> <i>Synallaxis sp</i>	“totorero” “pampero” “kiti kiti” “churrete” “recolector de leña”	acuático – residente terrestre – residente terrestre – residente terrestre – residente terrestre – residente
	<i>Petrochelidon andécola</i> <i>Colaptes rupícola</i> <i>Oreotrochilus melanogaster</i> <i>Phalaropus tricolor</i> <i>Phalcabaenus megalopterus</i> <i>Rychops Níger</i> <i>Troglodytes aedon</i> <i>Turdus chiguanco</i> <i>Zonotrichia capensis</i>	“golondrina” “pito” “colibrí” “falaropo de Wilson” “alcamari” “rayador” “cucarachero” “chiguanco” “gorrión americano”	terrestre – residente terrestre – residente terrestre – residente acuático - migratorio terrestre – residente terrestre – residente terrestre – residente terrestre – residente terrestre – residente

Fuente: Goyzueta *et al.*, (2009)

Anexo 2. Aplicación del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI

Adaptado de Rodríguez, 1987 se aplicó el Índice de Idoneidad del Hábitat HSI (Gallina *et al.*, 2015); (Rodríguez, 1987).

Tabla 20
Para Índice de Idoneidad del Hábitat HSI

ATRIBUTO (X_j)	V_i				
	$V_1 = 0$	$V_2 = 0.25$	$V_3 = 0.5$	$V_4 = 0.75$	$V_5 = 1$
Totoral	Ausente	Ralo	Semi ralo	Semi denso	Denso
Llalach	Ausente	Ralo	Semi ralo	Semi denso	Denso
Espejos de Agua	Profundos	Medianamente profundo	Poco profundo	Litorales	Ribereños
Sequía	Presente	Baja	Semi moderada	Moderada	Ausente
Inundación	Presente	Baja	Semi moderada	Moderada	Ausente
Presencia ganado	Abundante	Moderado	Bajo	Escaso	Ausente
Medios transporte	Alto	Semi alto	Semi bajo	Bajo	Ausente
Quema totorales	Muy frecuente	Frecuente	Poco frecuente	Escaso	No se practica
Vida silvestre aves	Espejos de agua 0% cobertura vegetal	1 a 25 % cobertura vegetal	26 a 50 % cobertura vegetal	51 a 75 % cobertura vegetal	76 a 100 % cobertura vegetal
Compuerta Lago Titicaca	Con función	Moderado	Bajo	Escaso	Sin función

Tabla 21
Valores X_{ji} del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI.

A_j	V_i				
	$V_1 = 0$	$V_2 = 0.25$	$V_3 = 0.5$	$V_4 = 0.75$	$V_5 = 1$
$A_1 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_2 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_3 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_4 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_5 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_6 = 0.07$	0	0.0175	0.035	0.0525	0.07
$A_7 = 0.08$	0	0.0200	0.040	0.0600	0.08
$A_8 = 0.08$	0	0.0200	0.040	0.0600	0.08
$A_9 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_{10} = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10

Tabla 22
Valores de Ponderación para cada uno de los atributos del índice.

Atributo (X_j)	Valor de ponderación (V_{pj})	A_j
1. Totoral	10	0.10
2. Llachal	10	0.10
3. Espejos de Agua	6	0.06
4. Sequía	6	0.06
5. Inundaciones	6	0.06
6. Presencia de Ganado	7	0.07
7. Medios de Transporte	8	0.08
8. Quema de Totorales	8	0.08
9. Vida silvestre aves	10	0.10
10. Compuerta de Regulación del Lago Titicaca	10	0.10

Tabla 23
Valores X_{ji} del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, total.

A_j	V_i				
	$V_1 = 0$	$V_2 = 0.25$	$V_3 = 0.5$	$V_4 = 0.75$	$V_5 = 1$
$A_1 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_2 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_3 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_4 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_5 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_6 = 0.07$	0	0.0175	0.035	0.0525	0.07
$A_7 = 0.08$	0	0.0200	0.040	0.0600	0.08
$A_8 = 0.08$	0	0.0200	0.040	0.0600	0.08
$A_9 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_{10} = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10

Tabla 24
Valores ponderados para cada uno de los atributos del Índice de Idoneidad del Hábitat para áreas de totorales en el lago Titicaca Perú, 2019.

Atributo (X_j)	Valor	A_j	Valor	A_j
	ponderado (V_{pj}) Cond. Ideal		ponderado (V_{pj}) Cond. Real	
1. Totoral	10	0.10	2.5	0.025
2. Llachal	10	0.10	2.5	0.025
3. Espejos de agua	6	0.06	6.0	0.06
4. Sequía	6	0.06	6.0	0.06
5. Inundaciones	6	0.06	6.0	0.06
6. Presencia de ganado	7	0.07	3.5	0.035
7. Medios de transporte	8	0.08	6.0	0.06
8. Quema de totorales	8	0.08	0	0.02
9. Vida silvestre aves	10	0.10	2.5	0.025
10. Compuerta regulación lago Titicaca	10	0.10	0	0
Calificación Total	81	0.81	35	0.35

Tabla 25
Valores X_{ji} del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, llachal – totoral.

A_j	V_i				
	$V_1 = 0$	$V_2 = 0.25$	$V_3 = 0.5$	$V_4 = 0.75$	$V_5 = 1$
$A_1 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_2 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_3 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_4 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_5 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_6 = 0.07$	0	0.0175	0.035	0.0525	0.07
$A_7 = 0.08$	0	0.0200	0.040	0.0600	0.08
$A_8 = 0.08$	0	0.0200	0.040	0.0600	0.08
$A_9 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_{10} = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10

Tabla 26
Valores ponderados para cada uno de los atributos del Índice de Idoneidad del Hábitat para áreas de llachal - totoral en el lago Titicaca, 2019

Atributo (X_j)	Valor ponderado (V_{pj}) Cond. Ideal	A_j	Valor ponderado (V_{pj}) Cond. Real	A_j
1. Totoral	10	0.10	2.5	0.025
2. Llachal	10	0.10	2.5	0.025
3. Espejos de agua	6	0.06	6.0	0.06
4. Sequía	6	0.06	6.0	0.06
5. Inundaciones	6	0.06	6.0	0.06
6. Presencia de ganado	7	0.07	3.5	0.035
7. Medios de transporte	8	0.08	6.0	0.06
8. Quema de totorales	8	0.08	0	0
9. Vida silvestre aves	10	0.10	0	0
10. Compuerta regulación lago Titicaca	10	0.10	0	0
Calificación Total	81	0.81	32.5	0.325

Tabla 27
Valores X_{ji} del Índice de Idoneidad del Hábitat HSI, espejo de agua.

A_j	V_i				
	$V_1 = 0$	$V_2 = 0.25$	$V_3 = 0.5$	$V_4 = 0.75$	$V_5 = 1$
$A_1 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_2 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_3 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_4 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_5 = 0.06$	0	0.0150	0.030	0.0450	0.06
$A_6 = 0.07$	0	0.0175	0.035	0.0525	0.07
$A_7 = 0.08$	0	0.0200	0.040	0.0600	0.08
$A_8 = 0.08$	0	0.0200	0.040	0.0600	0.08
$A_9 = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0.10
$A_{10} = 0.10$	0	0.0250	0.050	0.0750	0

Tabla 28
Valores ponderados para cada uno de los atributos del Índice de Idoneidad del Hábitat para áreas de espejo de agua en el lago Titicaca Perú, 2019.

Atributo (X_j)	Valor ponderado (V_{pj}) Cond. Ideal	A_j	Valor ponderado (V_{pj}) Cond. Real	A_j
1. Ttotal	10	0.10	0	0
2. Llachal	10	0.10	0	0
3. Espejos de agua	6	0.06	0	0
4. Sequía	6	0.06	6.0	0.06
5. Inundaciones	6	0.06	6.0	0.06
6. Presencia de ganado	7	0.07	7.0	0.07
7. Medios de transporte	8	0.08	0	0
8. Quema de totorales	8	0.08	8.0	0.08
9. Vida silvestre aves	10	0.10	0	0
10. Compuerta regulación lago Titicaca	10	0.10	0	0
Calificación Total	81	0.81	27	0.27