ISSN: 2306-8582
eISSN: 2313-2957
10.18271/ria.2025.673

Distribución y biomasa de la totora (*Shoenoplectus californicus* ssp.) en el Sitio Ramsar Uru Uru y Poopó, Bolivia

Distribution and biomass of totora (*Shoenoplectus californicus* ssp.) at the Uru Uru and Poopó Ramsar site, Bolivia

Willy Choque Marca[1,*], Zacarías Gutiérrez Choque[2] & Víctor Paco Pérez[3]

Resumen

La totora (*Schoenoplectus californicus* spp.) ofrece múltiples funciones y servicios ecosistémicos. En el Sitio Ramsar Uru Uru y Poopó, los totorales son la vegetación predominante, su biomasa anual, escasamente aprovechada, genera dos problemas: parte de ella es quemada, contribuyendo a la contaminación atmosférica, y otra parte se deposita en el lecho de los lagos, aumentando la sedimentación. A pesar de su importancia ecológica y potencial de aprovechamiento, los estudios sobre la totora en este Sitio Ramsar son limitados y desactualizados. Este estudio analizó su distribución, extensión y biomasa para favorecer su manejo y aprovechamiento. Se utilizaron imágenes satelitales Landsat 3, 5, 7 y 8 OLI para calcular la cobertura de los totorales con el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) entre 1979 y 2020, y se evaluó el rendimiento de biomasa en 50 puntos de muestreo mediante el método de corte con marcos. Los resultados del análisis multitemporal indican fluctuaciones en la distribución y extensión de los totorales en tres áreas del Sitio Ramsar: el lago Uru Uru, el norte del lago Poopó y la zona de interconexión entre ambos. En 2020, las áreas de totorales se concentran en la zona de interconexión y el lago Uru Uru, con escasa presencia en el lago Poopó. Aunque el rendimiento de biomasa por hectárea es inferior a otros humedales andinos, su biomasa total tiene alto potencial de múltiples usos, siendo el más relevante su uso como forraje para ganado, puesto que ayudaría a mitigar la escasez de forrajes en la región.

Palabras clave: servicios ambientales, hábitat, TDPS, contaminación, SIG.

Abstract

The totora (*Schoenoplectus californicus* spp. totora) offers multiple functions and ecosystem services. In the Ramsar Site–Uru Uru and Poopó, totora reed beds are the predominant vegetation, and their annual biomass, which is scarcely utilized, generates two problems: part of it is burned, contributing to air pollution, and another part accumulates on the lake beds, increasing sedimentation. Despite its ecological importance and utilization potential, studies on the totora in this Ramsar Site are limited and outdated. This study analyzed its distribution, extent and biomass to promote its management and use. Landsat 3, 5, 7, 8 OLI satellite images were used to calculate the totora reed coverage with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) between 1979 and 2020, and biomass yield was evaluated at 50 sampling points using the cutting frame method. The results of the multi-temporal analysis indicate fluctuations in the distribution and extent of the totora reed beds in three areas according to the Ramsar Site: Uru Uru Lake, northern Poopó Lake, and the interconnection zone between the two. In 2020, totora reed beds were concentrated in the interconnection zone and Uru Uru Lake, with minimal presence in Poopó Lake. Although the biomass yield per hectare is lower than other Andean wetlands, its total biomass holds significant potential for multiple uses, the most relevant being its use as livestock forage, as it could help mitigate the forage shortage in the region.

Keywords: environmental services, hábitat, TDPS, contamination, GIS.

Recibido: 11/10/2024
Aceptado: 18/03/2025
Publicado: 26/03/2025

Sección: Artículo Original

***Autor correspondiente**: willy.choque@adm.uto.edu.bo

Introducción

La *Schoenoplectus californicus* es una especie acuática, ampliamente distribuidas en el continente americano (Hidalgo & García, 2018); en Bolivia crece la subespecie *S. californicus spp. tatora* en lagos y lagunas poco profundas de los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Santa Cruz (Jorgensen et al., 2014).

Los totorales constituyen un ecosistema de gran importancia debido a las múltiples funciones y servicios ecosistémicos que brindan, estos incluyen la provisión de hábitat para diversas especies de aves acuáticas (Medrano et al., 2019; Villar et al. 2023; Favretto et al., 2024), el apoyo a la reproducción de peces nativas (Reyes & Sáez, 2003) y la mejora del paisaje. Además, se está utilizando para la descontaminación de aguas residuales domésticas (Molina et al. 2017; Blanco 2019; Puma Sarmiento et al. 2022; Harguinteguy et al., 2023), y tiene potencial para remover metales pesados

[1]Dirección de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad Técnica de Oruro, Bolivia. E-mail: willy.choque@adm.uto.edu.bo
[2]Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico TDPS, Bolivia. E-mail: zaguch@gmail.com
[3]Facultad de Ciencias Agrarias y Naturales, Universidad Técnica de Oruro, Bolivia. E-mail: vicpaco@hotmail.es

Como citar: Choque Marca, W., Gutiérrez Choque, Z., & Paco Pérez, V. (2025). Distribución y biomasa de la totora (*Shoenoplectus californicus* ssp.) en el Sitio Ramsar Uru Uru y Poopó, Bolivia. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 27, e27673. https://doi.org/10.18271/ria.2025.673

Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

de efluentes de drenaje ácidos de mina (Romero et al., 2023). También contribuye a la captura de dióxido de carbono (Ericsson, 2019) (Pelinco & Quispe, 2023), fortaleciendo su rol como un recurso importante para la mitigación ambiental.

La biomasa de la totora tiene diversos usos, se utiliza como forraje en la ganadería (Madariaga 2018; Loza Del Carpio & Huanca, 2022), en la elaboración de esteras y otras artesanías (MacÍa & Balslev, 2000; Jiménez et al., 2024), presenta potencial como material de construcción (Aza et al. 2017; Hidalgo-Cordero et al., 2020; Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023), elaboración de papel en mezcla con otras fibras (Wille et al., 2023), además pueden ser aprovechadas para la alimentación humana (Banack et al. 2004; Alvarez & Polo 2021).

Los lagos Uru Uru y Poopó, que forman parte del sistema hídrico transfronterizo peruano-boliviano conocido como Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salar de Coipasa – TDPS (Canedo et al. 2016), se ubican a una altitud promedio de 3686 m sobre el nivel del mar y son poco profundos (Zamora & Blanco, 2021). Debido a su relevancia ecológica por albergar a tres de las seis especies migratorias de flamencos a nivel mundial, junto con otras 72 especies de aves endémicas, peces nativos y la flora asociada como los totorales y otros, ambos lagos fueron declarados Sitio Ramsar en 2002 por su valor como humedales de importancia internacional (Coca Ignacio et al., 2024).

En este humedal predomina la vegetación de totora, que anualmente produce una importante cantidad de biomasa, sin embargo, su aprovechamiento por parte de los pobladores locales es limitado. La biomasa no utilizada genera dos problemas: contaminación atmosférica por la quema de la totora seca y acumulación de biomasa seca que causa sedimentación y aumento del nivel del suelo en los lagos donde no se quema.

A pesar de la relevancia ecológica y socioeconómica, los estudios sobre los totorales en el Sitio Ramsar Uru Uru y Poopó son limitados. Según la Asociación Boliviana de Teledetección para el Medio Ambiente y Unidad Operativa Boliviana (2000), en ese año la superficie de totora se estimaba en 2017 hectáreas entre el río Desaguadero y el lago Uru Uru, sin reportarse presencia de totorales en el lago Poopó.

Dadas las condiciones climáticas del altiplano de Oruro, caracterizadas por bajas temperaturas, precipitaciones escasas, alta radiación solar y suelos pobres, que limitan el desarrollo vegetativo y la generación de biomasa, los totorales de este humedal se presentan como un recurso valioso con alto potencial de aprovechamiento. Para maximizar este potencial, es importante estimar su cobertura y la biomasa que producen, siendo este el objetivo principal del presente estudio. Esta información será clave para apoyar la toma de decisiones por parte de la población local y las autoridades regionales, facilitando la implementación de acciones orientadas al manejo y aprovechamiento sostenible de este recurso natural.

Materiales y métodos

Ubicación

Los lagos Poopó y Uru Uro, ubicados en el departamento de Oruro, Bolivia, forman parte del sistema hídrico transfronterizo peruano-boliviano conocido como Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salar de Coipasa – TDPS. El Poopó se encuentra a 3698 msnm, en las coordenadas 18°40’6.71” S y 67°10’53.69” O, mientras que el Uru Uru a 3712 msnm, está situado en las coordenadas de 18° 6’47.48” S y 67° 7’39.46” O. Según Zamora y Blanco (2021), el lago Uru Uru presenta temperaturas medias anuales entre 7.6 a 10.7 °C con precipitaciones de 272 a 450 mm, mientras, el Lago Poopó la temperatura varía de 7.5 a 11 °C y la precipitación oscila entre 270 y 420 mm (Pillco & Bengtsson, 2006).

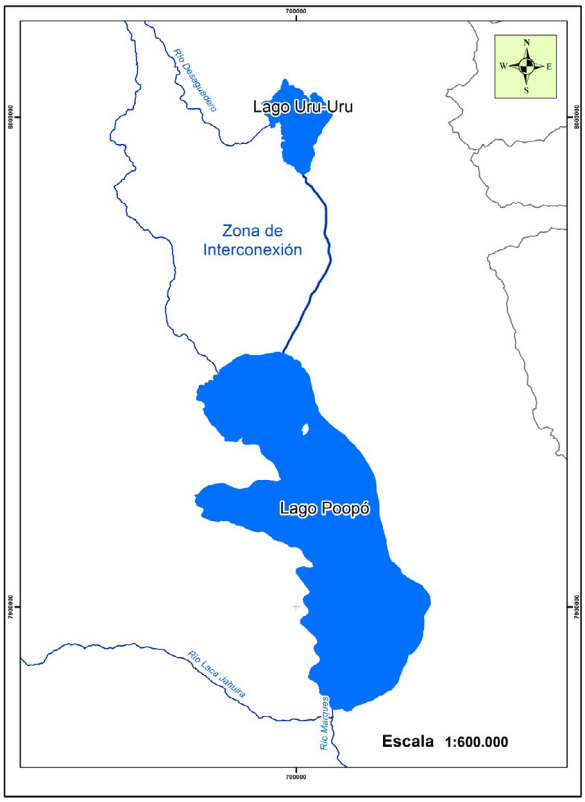


Figura 1. Ubicación de los lagos Uru Uru y Poopó en el sistema hídrico TDPS

Estimación del rendimiento

En el mes de diciembre 2021, se recolectaron 50 muestras de cobertura de *S. californicus* ssp. totora (Figura 1) distribuidas en tres zonas representativas: lago Uru Uru, lago Poopó y la zona de interconexión entre ambos. Se contó el número de tallos y se midieron la altura planta y grosor de tallos utilizando el método de evaluación por corte usando marcos (Hepp et al., 2017). La biomasa aérea en materia seca se determinó por diferencia de peso, tras secar 200 g de muestra (peso húmedo) a 60 °C durante 72 horas.

Estimación multitemporal de la superficie de totorales

Se obtuvieron imágenes satelitales de los productos de los satélites Landsat 3, 5, 7 y 8 (Tabla 1). Estas imágenes fueron sometidas a correcciones atmosféricas, geométricas y radiométricas, lo que permitió obtener datos de reflectividad de la superficie terrestre. Estos datos son adecuados para correlacionar la reflectividad con la cobertura vegetal y utilizar índices para delimitar áreas con cobertura de totora y su entorno. Se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI (Pettorelli et al., 2005), cuya clasificación permitió identificar con precisión las áreas de vegetación y los cuerpos de agua.

Tabla 1. Imágenes satelitales para el análisis multitemporal de superficie de cobertura de totora

Año	Imagen	R.E.
1979	LANDSAT_3_MSS_19791117_250_073	80X80
1989	LANDSAT_5_TM_19891222_233_073	30X30
2000	LANDSAT_5_TM_20000408_233_073	30X30
2002	LANDSAT_7_ETMPAN_20020812_233	30X30
2005	LANDSAT_5_TM_20050321_233_073	30X30
2010	LANDSAT_5_TM_20100607_233_073	30X30
2015	LC08_L1TP_233073_20151128	30X30
2020	LC08_L1TP_233073_20200415	30X30

Estimación de la generación de biomasa total

El proceso consistió en la segmentación de imágenes satelitales, lo que permitió identificar unidades con respuestas espectrales similares y, por lo tanto, condiciones de rendimiento homogéneas. Estas unidades fueron vinculadas con datos de campo, como el número de tallos por metro cuadrado, la altura y el grosor de los tallos, para modelar el rendimiento por hectárea. Esta relación entre los segmentos y las características productivas permitió estimar con mayor precisión la productividad en cada unidad. A partir de este análisis, se calculó la productividad de biomasa en todo el ecosistema. Para la segmentación, se utilizó un algoritmo de agrupamiento basado en lógica difusa, que consiste en la corrección de imagen para obtener reflectancia a partir del reescalamiento de valores de píxeles calibrados, la delimitación del área de estudio en los alrededores de los lagos Poopó y Uru Uru, y la clasificación por segmentación utilizando ArcGIS y GEOBIA con un umbral de borde de 15 para diferenciar totorales y cuerpos de agua, y el cálculo del rendimiento y la biomasa a partir de datos de campo, modelando la producción y asociándola a los segmentos definidos. Las características de cada píxel pueden pertenecer a varios grupos simultáneamente con diferentes grados de pertenencia. El objetivo de la segmentación fue dividir la imagen en regiones homogéneas según un conjunto de características definidas (Scarpa et al., 2003; López, 2009).

Resultados

Distribución y superficie multitemporal de los totorales

Durante las últimas cuatro décadas, los totorales han tenido fluctuaciones en su distribución en tres zonas principales del Sitio Ramsar: gran parte del lago Uru Uru, el sector norte del lago Poopó y la zona de interconexión entre ambos lagos (Figura 2).

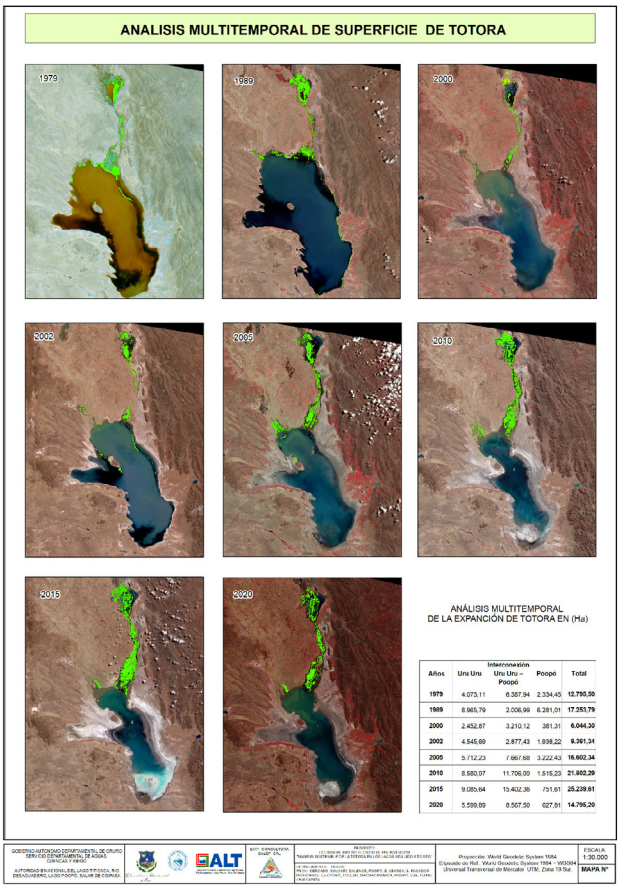


Figura 2. Vista satelital de la distribución de totorales en 8 momentos entre 1979 a 2020

El área total de los totorales aumentó un 35% entre 1979 y 1989, pero posteriormente disminuyó un 65% entre 1989 y 2000; a partir de este año, la superficie de los totorales fue incrementando gradualmente en los años 2002, 2005, 2010 y 2015, con aumentos del 55%, 77%, 31% y 16% respectivamente. Sin embargo, en 2020, la superficie disminuyó un 41% en comparación con 2015 (Tabla 2).

Tabla 2. Variación de superficie de totorales en tres zonas y ocho momentos en un período de 41 años entre 1979 a 2020

Zonas	Años							
	1979	**1989**	**2000**	**2002**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
Lago Uru Uru (ha)	4073.11	8965.79	2452.87	4545.69	5712.23	8580.97	9085.64	5599.89
Interconexión Uru Uru – Poopó (ha)	6387.94	2006.99	3210.12	2877.43	7667.68	11706.09	15402.36	8567.50
Norte lago Poopó (ha)	2334.45	6281.01	381.31	1938.22	3222.43	1515.23	751.61	627.81
Total (ha)	**12795.50**	**17253.79**	**6044.40**	**9361.34**	**16602.34**	**21802.29**	**25239.61**	**14795.20**

Nota: Elaboración propia a partir del análisis multitemporal de imágenes satelitales mediante el método NDVI

A nivel zonal, también se observan variaciones en la superficie de los totorales durante el período de estudio. En el lago Uru Uru, las máximas extensiones se alcanzaron en 1989, 2010 y 2015, superando las 8.500 hectáreas, mientras que la menor superficie se registró en el año 2000. En la parte norte del lago Poopó, los totorales presentaron su mayor extensión en 1989 y la menor en 2000. En la zona de interconexión entre ambos lagos, las superficies más amplias se observaron en los años 1979, 2005 y 2020, con picos máximos en 2010 y 2015.

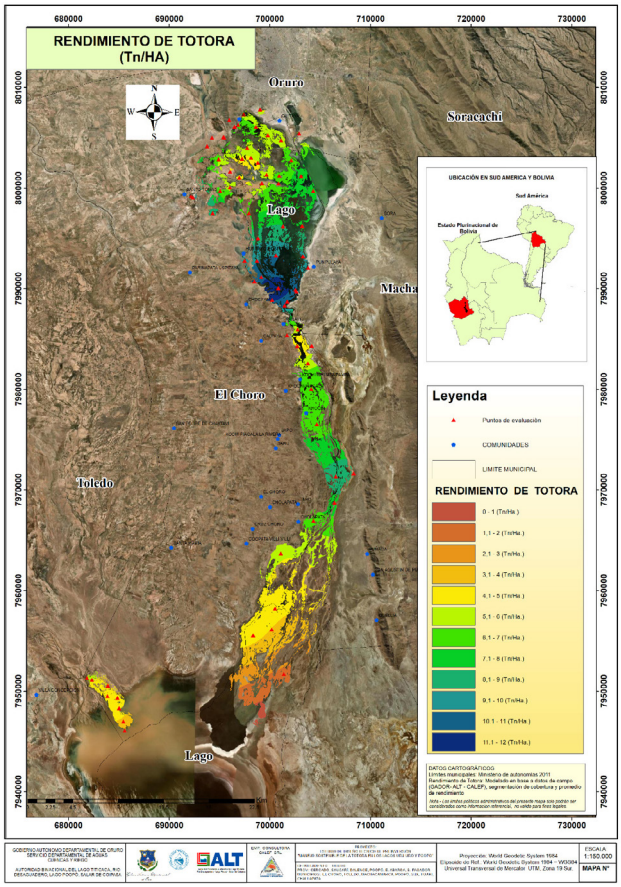


Figura 3. Rendimiento de biomasa aérea de totora (t MS ha^{-1}) en el área de estudio para el año 2020.

Para la gestión 2020, la superficie de los totorales se distribuye de la siguiente manera: un 38% en el lago Uru Uru, un 4% en la parte norte del lago Poopó y un 58% en la zona de interconexión entre ambos lagos.

Rendimientos de biomasa aérea

Los rendimientos de biomasa aérea de *Schoenoplectus californicus* ssp. *totora* varían entre 1 y 12 toneladas de materia seca por hectárea (t MS ha^{-1}). Los mayores rendimientos se registran en la zona sur del lago Uru Uru, cercana a áreas con agua permanente, mientras que los rendimientos más bajos se encuentran en zonas de inundación temporal, donde la evaporación del agua superficial ocurre entre mayo y junio, principalmente en las zonas norte de los lagos Uru Uru y Poopó (Figura 3). La mayor parte de los totorales tienen rendimientos por debajo de las 6 t MS ha^{-1}.

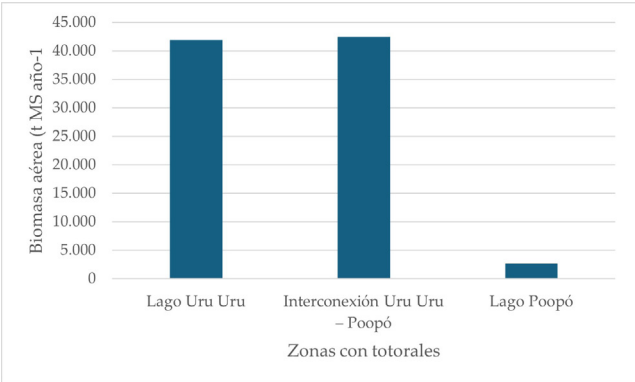


Figura 4. Distribución zonal de producción de biomasa aérea total de S. californicus ssp. Totora (t MS) en el Sitio Ramsar Uru Uru y Poopó para el año 2020.

Biomasa aérea generada

Para el año 2020, se estimó que la biomasa aérea total producida en los totorales del Sitio Ramsar Uru Uru y Poopó fue de 87062 toneladas de materia seca al año (t MS año^{-1}). Esta producción se distribuyó de la siguiente manera: un 48% provienen del lago Uru Uru. el 3% del

lago Poopó y el 49% de la zona de interconexión entre ambos lagos (Figura 4).

Discusión

El análisis multitemporal de imágenes satelitales evidencia variaciones que la distribución y extensión de los totorales durante el período de estudio. Estos cambios en la superficie y disposición también inciden en la biomasa de los totorales y están estrechamente vinculados con las variaciones en el nivel de agua y la humedad edáfica de los lagos Uru Uru y Poopó, los cuales responden a factores de origen tanto natural como antrópico.

En el contexto natural, esta región se ve afectada por la variabilidad y el cambio climático, con reducción del período de lluvia y erráticos, el incremento de las temperaturas y la evaporación de los cuerpos de agua en ambos lagos (Zubieta et al., 2021), así como el aumento en la recurrencia de sequías (Gobierno Autónomo Departamental de Oruro, 2022). Adicionalmente, la acumulación de sedimentos ha ido en aumento debido al arrastre de materiales provenientes de las cuencas tributarias (Vallejos et al., 2018), lo que contribuye al deterioro de los ecosistemas acuáticos, entre ellos la totora.

En el contexto antrópico, la desviación de aguas en las zonas media y baja del río Desaguadero para actividades agrícolas e industriales (Perreault, 2020) (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2022) ha disminuido significativamente el caudal que alimenta a los lagos. Asimismo, la contaminación generada por aguas residuales de origen minero y urbano está deteriorando este ecosistema a pesar de ser Sitio Ramsar, principalmente con residuos de metales pesados y el incremento de la salinidad edáfica (Zamora & Blanco, 2021), limitando el desarrollo de los totorales.

En cuanto a los rendimientos de biomasa aérea por hectárea, los resultados del estudio revelan que estos son inferiores en comparación con otros contextos. Esta diferencia se atribuye a la naturaleza temporal del espejo de agua de los lagos Uru Uru y Poopó, los cuales experimental una significativa evaporación en el periodo seco (Perreault, 2020). Para el lago Titicaca Pelinco y Quispe (2023) reportan rendimientos por encima de las 10 t MS ha^{-1}, donde los totorales se encuentran con agua permanente.

La biomasa generada por los totorales tiene importantes funciones ecosistémicas para el Sitio Ramsar, asimismo, tiene un amplio potencial de uso: desde la alimentación de ganado y la elaboración de artesanías, hasta su aplicación en la construcción, fabricación de papel, tratamiento de aguas residuales y otros productos (Loza del Carpio & Huanca, 2022; Jiménez et al., 2024; Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023; Wille et al., 2023; Alvarez & Polo 2021). Sin embargo, su uso como forraje o alimento para animales adquiere especial relevancia, ya que ayudaría a mitigar uno de los problemas recurrentes del altiplano orureño: la escasez de forrajes, exacerbada por las sequías frecuentes asociadas al cambio climático (Camacho & Vigabriel, 2023). En este contexto, la biomasa total de los totorales de los lagos Uru Uru y Poopó, estimada para la gestión 2020, representa el 70% de la producción total de forrajes cultivados reportado por el (Instituto Nacional de Estadística, 2024) para el departamento de Oruro en el mismo año.

Para una mejor comprensión de la dinámica de los totorales y su potencial de aprovechamiento sostenible, es necesario realizar estudios adicionales no abordados en el presente trabajo, tales como: (i) la evaluación de la incidencia de factores naturales y antrópicos en la distribución y biomasa de los totorales, (ii) el análisis de la contaminación de suelos y aguas de los lagos y su impacto en la calidad de la biomasa, y (iii) el establecimiento de áreas de aprovechamiento de los totorales bajo criterios técnicos, sociales, ambientales y económicos.

Conclusiones

El Sitio Ramsar cuenta con una significativa cobertura de totorales, cuya distribución, extensión y volumen de biomasa han experimentado variaciones a lo largo del tiempo. Estos cambios están estrechamente relacionados con los niveles de agua en los lagos, los cuales son influenciados por una combinación de factores naturales y antrópicos.

El manejo y aprovechamiento sostenible de estos totorales tiene un gran potencial para fortalecer integralmente los sistemas de vida a nivel local y regional, en aspectos ecológicos, ambientales, económicos, productivos y sociales. Para ello, es fundamental complementar con estudios adicionales que profundicen el conocimiento de este importante ecosistema.

Agradecimientos

Agradecemos al Gobierno Autónomo Departamental de Oruro (GADOR) y al Servicio Departamental de Aguas, Cuencas y Riego (SEDACyR) por autorizar la publicación de este artículo, cuyos resultados forman parte del Estudio de Diseño Técnico de Preinversión del Proyecto “Manejo sostenible de totorales en los lagos Uru Uru y Poopó”, financiado por la GADOR, en el cual los autores participaron como parte del equipo técnico. También expresamos nuestro

agradecimiento a la Facultad de Ciencias Agrarias y Naturales de la Universidad Técnica de Oruro por su apoyo en el procesamiento de muestras para determinar los rendimientos de biomasa, especialmente al ingeniero Ermindo Barrientos.

Referencias

Alvarez, I. M. G.-, & Polo, S. M. Z.-. (2021). Divulgación de la Obtención y Uso de Harina de Totora Schoenoplectus Californicus, Producto no Maderable por sus Características Físico Químicas. *Dominio de las Ciencias*, *7*(4), Article 4. https://doi.org/10.23857/dc.v7i4.2202

Asociación Boliviana de Teledetección para el Medio Ambiente, & Unidad Operativa Boliviana. (2000). *Estudio y evaluación de totorales en las cuencas del lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y salar de Coipasa (Sistema TDPS)* (p. 116). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo–Autoridad Binacional del lago Titicaca.

Aza, L., Palumbo, M., & Lacasta, A. (2017). Totora used as thermal insulation: Properties and potential. *Academic Journal of Civil Engineering*, *35*(2), Article 2. https://doi.org/10.26168/icbbm2017.63

Banack, S. A., Rondón, X. J., & Diaz-Huamanchumo, W. (2004). Indigenous cultivation and conservation of Totora (Schoenoplectus Californicus, cyperaceae) in Peru. *Economic Botany*, *58*(1), 11-20. https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0011:ICACOT]2.0.CO;2

Blanco, J. A. (2019). Suitability of Totora (Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Soják) for Its Use in Constructed Wetlands in Areas Polluted with Heavy Metals. *Sustainability*, *11*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/su11010019

Camacho, S., & Vigabriel. (2023). *Explorando el impacto de la sequía en la economía agrícola familiar del Altiplano de Bolivia* (1/2023; Serie Ideas y Reflexiones IISE-UCB, p. 11). Instituto de Investigaciones Socioeconómicas–Universidad Católica Boliviana. https://iisec.ucb.edu.bo/assets_iisec/publicacion/1_17112023_HSS_SILVANA-LUZ_12.pdf

Canedo, C., Pillco Zolá, R., & Berndtsson, R. (2016). Role of Hydrological Studies for the Development of the TDPS System. *Water*, *8*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/w8040144

Coca Ignacio, F. E., Gutiérrez Miranda, A. J., & Choque Escobar, K. F. (2024). La Legislación Boliviana ante la Contaminación del Lago Uru Uru. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, *8*(4), 10521-10537. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13191

Ericsson, O. (2019). *Estimación de la captura de CO2 en el humedal Caucato del Área de Conservación Regional Ica* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional San Luis Gónzaga]. https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ef2491ed-2ec9-461b-b650-71973ae98175/content

Favretto, M. A., Machado-de-Souza, T., Golec, C., Reinert, B. L., & Bornschein, M. R. (2024). Habitat selection in Many-colored Rush Tyrant (Tachuris rubrigastra) and Wren-like Rushbird (Phleocryptes melanops) in the subtropical salt marshes of Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, *59*(2), 276-288. https://doi.org/10.1080/01650521.2022.2101351

Gobierno Autónomo Departamental de Oruro. (2022). *Base de datos de reportes municipales de eventos climáticos adversos, período 2014—2022* (Unidad de Gestión de Riesgos) [Dataset].

Harguinteguy, C. A., Arán, D. S., Gudiño, G. L., & Peñaflor, M. (2023). Capacity of *Schoenoplectus californicus* to Remove and Tolerate Copper, Lead, and Zinc in Constructed Wetland Systems Using Simulated Wastewater. *Journal of Environmental Engineering*, *149*(10), 04023069. https://doi.org/10.1061/JOEEDU.EEENG-7334

Hepp, C., Reyes, C., Soto, R., Cáceres, E., Barattini, P., & Juárez, D. (2017). *Determinación de la disponibilidad de materia seca en praderas a pastoreo en la Patagonia Húmeda (Región de Aysén)* (Instituto de Investigación Agropecuarias Boletín Técnico No 351; p. 44). https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/93098a74-a9c6-4533-a2bb-1a3087b33e7a/content

Hidalgo, J. F., & García, J. (2018). Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material. *Industrial Crops and Products*, *112*, 467-480. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029

Hidalgo-Cordero, J. F., & Aza-Medina, L. C. (2023). Analysis of the thermal performance of elements made with totora using different production processes. *Journal of Building Engineering*, *65*, 105777. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105777

Hidalgo-Cordero, J. F., García-Ortuño, T., & García-Navarro, J. (2020). Comparación de tableros sin aglutinante producidos con diferentes tejidos de tallos de totora (*Schoenoplectus californicus* (CA Mey) Soják). *Journal of Building Engineering*, *27*, 100961. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100961

Instituto Nacional de Estadísticas. (2024). *Estadísticas económicas: Sector agropecuario* [Dataset]. https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/agropecuaria/agricultura-introduccion/

Jiménez, G. C., Montoya, T. del P., & Loayza, S. (2024). De la «Quesana» tradicional a un sistema modular de paneles aislantes de Totora. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, *26*(1), 125-146. https://doi.org/10.14718/revarq.2024.26.4578

Jorgensen, P. M., Nee, M., & Beck, S. (2014). *Catálogo de las Plantas Vasculares de Bolivia* [Base de datos Sociedad Boliviana de Botánica]. http://legacy.tropicos.org/projectwebportal.aspx?pagename=Home&projectid=13&langid=66

López, E. (2009). *Segmentación de Coberturas de la Tierra Espectralmente Similares Empleando Campos Aleatorios de Markov y Características de Textura Estructural y Estocástica* [Tesis de Doctorado, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica]. https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/399/1/LopezEsED.pdf

Loza Del Carpio, A., & Huanca, B. R. (2022). Efecto de la quema prescrita en el valor nutricional de tallos aéreos de schoenoplectus tatora (kunth) palla, lago titicaca, perú. *Bioagro*, *34*(3), 253-264. http://www.doi.org/10.51372/bioagro343.5

MacÍa, M. J., & Balslev, H. (2000). Use and management of Totora (Schoenoplectus Californicus, Cyperaceae) in Ecuador. *Economic Botany*, *54*(1), 82-89. https://doi.org/10.1007/BF02866602

Madariaga, M. (2018). Contaminación minera en macrófita acuáticas en vacunos lácteos en la comunidad campesina de Titihue Huacané—Puno. *Revista de Invetigaciones de Escuela de Postgrado–Universidad Nacional del Altiplano*, *7*(2), 513-525. http://dx.doi.org/10.26788/riepg.2018.2.76

Medrano, E., Miranda, E., & Soria, M. (2019). *Acciones para la conservación de especies indicadoras: Rollandia microptera "El Zambullidor del Titicaca", en el Sistema TDPS que abarca los lagos Titicaca, Poopó y Uru Uru* (p. 60) [Diagnóstico]. Grupo Zpacio. https://www.oportunidades.onu.org.bo/docs/206452-4049-20220120103610.pdf

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2022). *Estudio de Estimación de Demanda Hídrica Multisectorial del Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS)* (Proyecto Gestión Integral de Recursos Hídricos del Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (GRIH – TDPS), p. 151). Ministerio de Relaciones Exteriores. https://alt-perubolivia.org/wp-content/uploads/2023/09/9_Demanda_Hidrica_Bolivia.pdf

Molina, C., Lazzaro, X., Guédron, S., & Achá, D. (2017). *Contaminación de la Bahía de Cohana, Lago Titicaca (Bolivia): Desafíos y oportunidades para promover su recuperación*. Editorial Revista Ecología en Bolivia 52(2).

Pelinco, E., & Quispe, G. (2023). Valor económico por captura de dióxido de carbono en totorales de la Reserva Nacional del Titicaca año 2021. *Ñawparisun–Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, *4*(2), Article 2. https://doi.org/10.47190/nric.v4i2.234

Perreault, T. (2020). Climate Change and Climate Politics: Parsing the Causes and Effects of the Drying of Lake Poopó, Bolivia. *Journal of Latin American Geography*, *19*(3), 26-46. https://doi.org/10.1353/lag.2020.0070

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. Chr. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, *20*(9), 503-510. https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011

Pillco, R., & Bengtsson, L. (2006). Long-term and extreme water level variations of the shallow Lake Poopó, Bolivia. *Hydrological Sciences Journal*, *51*(1), 98-114. https://doi.org/10.1623/hysj.51.1.98

Puma Sarmiento, A., Gonzales Huamán, T. J., Yaulilahua Huacho, R., & Salas, W. (2022). Eficiencia de Schoenoplectus Californicus y Nasturtion Officinale como Purificadores de Agua en el Efluente Residual de la Granja Experimental de Porcinos. *Polo del Conocimiento: Revista científico–profesional*, *7*(3 (MARZO 2022)), 11.

Reyes, J., & Sáez, C. (2003). La totora: Un recurso de uso múltiple de los humedales altoandinos. En *Uso pastoril en humedales altoandinos* (pp. 103-122). Plural Editores.

Romero, M., Flores, M., Bravo-Thais, S., & Guzman, M. (2023). Schoenoplectus californicus as Potential Remover of Metal Elements from Mine Effluents: A Laboratory Assessment. *CLEAN – Soil, Air, Water*, *51*(2), 2200029. https://doi.org/10.1002/clen.202200029

Scarpa, G., Poggi, G., & Zerubia, J. (2003). *A binary tree-structured MRF model for multispectral satellite image segmentation* (inria-00071522 N° 5062; p. 54). https://hal.inria.fr/inria-00071522

Vallejos, P., Gerardo, Z., & Jorge, J. (2018). Estimación de la tasa sedimentos en la cuenca minera del lago Poopo mediante el modelo potencial de erosión de suelos (EPM) y tendencias ante variaciones climáticas—Uso de herramientas SIG y teledetección. *Revista de Medio Ambiente y Mineria*, *4*, 50-67.

Villar, D. A., Long, P. R., Tito, E. R. G., Terrazas, E. G. M., & Gosler, A. G. (2023). Trends in the area of suitable breeding habitat for the Endangered Lake Titicaca Grebe Rollandia microptera, 2001–2020. *Bird Conservation International*, *33*, e52. https://doi.org/10.1017/S0959270923000011

Wille, V. K. D., Gentil, M., Nunes, G. R. S., da Rosa, R. C., Jardim, J. M., Berger, C., Costa, H. W. D., Gatto, D. A., & Pedrazzi, C. (2023). Totora fibers as a new source for papermaking. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *13*(6), 5235-5241. https://doi.org/10.1007/s13399-021-01547-1

Zamora, G., & Blanco, J. (2021). Propuesta de rehabilitación ambiental del lago Uru Uru. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, *6*(1), 37-57.

Zubieta, R., Molina, J., Laqui, W., Sulca, J., & Ilbay, M. (2021). *Impactos del cambio climático en diferentes tipos de sequías en la cuenca del lago Titicaca* (Vol. 8 7; Boletín científico El Niño, pp. 5-14). Instituto Geofísico del Perú. https://repositorio.igp.gob.pe/server/api/core/bitstreams/347f2996-9ca9-4d84-97e2-d6b979b4df43/content