



Universidad Pública de El Alto
RECTORADO - VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



REVISTA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA "JUKUMARI AMBIENTAL"

Nº 1 / 2024

REVISTA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
JUKUMARI
AMBIENTAL

VOL. 1(1), Diciembre 2024

CARRERA DE
INGENIERÍA AMBIENTAL





Universidad Pública de El Alto
RECTORADO - VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



REVISTA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
JUKUMARI
AMBIENTAL
VOL. 1(1), Diciembre 2024

El Alto - Bolivia



Autoridades Universitarias

Dr. Carlos Condori Titirico
RECTOR

Dr. Efraín Chambi Vargas Ph.D.
VICERRECTOR

Dr. Antonio López Andrade Ph.D.
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Marco Antonio Bohórquez Llave
DECANO
AREA DE INGENIERÍA “DESARROLLO TECNOLÓGICO PRODUCTIVO”

Ing. Edgar Rodrigo Morales Mamani
DIRECTOR
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

M. Sc. Sergio Pérez Limachi
COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

COMITÉ REVISOR

Comité Externo

M. Sc. Ing. Luly Gloria Tintaya Huanto
Universidad Mayor de San Andrés

Comité Interno

M. Sc. Ing. Marisol Flores Calderón
Universidad Pública de El Alto

Edición e Impresión: Imprenta Baltazar

Dir: Calle 25 de mayo N°777 entre C/ Issac Arias y C/ 10 Zn. Villa Dolores
El Alto – Bolivia
Cel.: 73263579

Depósito legal: 4 - 3 - 318 - 2024

SENAPI Nro. 1 - 4177 / 2024

Dirección:

Instituto de Investigación de la Carrera de Ingeniería Ambiental. Zona Villa Tejada Rectangular, Área de Ingeniería
“Desarrollo Tecnológico productivo” a 2 cuadras del Teleférico Morado (Faro Murillo), Calle George Squiert N° 1080, ciudad de El Alto.

Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio sin previa autorización de los autores.
La UPEA no se hace responsable, ni comparte necesariamente los contenidos y opiniones expresados por los autores.

PRESENTACIÓN

La Dirección de Investigación, Ciencia y Tecnología de la Universidad Pública de El Alto, tiene el grato honor de presentar la Revista Científica y Tecnológica "Jukumari Ambiental" N° 1/2024. En este número destacamos el esfuerzo de docentes e investigadores de la Carrera de Ingeniería Ambiental para contribuir al conocimiento científico y tecnológico medioambiental, en cuyo documento encontramos las siguientes temáticas: Briofitos y Rol Ecológico en el Bosque Nublado del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata – Bolivia; Evaluación de Desempeño de un Calibrador de Dosis en la Medición de Actividades de Cesio¹³⁷ y Tecnecio^{99 m}; Aprovechamiento Energético de Residuos Sólidos para la Reducción de Gases de Efecto Invernadero; Evaluación de la Eficiencia de una Celda de Electrocoagulación a Escala Laboratorio para el Tratamiento de Agua, Gobernanza Hídrica como Alternativa al Déficit del Agua en la Subcuenca del río Seco, Municipio de El Alto; Resiliencia de la Vicuña (*Vicugna mensalis*) Frente a Cambios Climáticos; Valoración del Estado de Conservación y Servicios Ambientales de dos Tipos de Bofedales en la Cuenca del Jach'a Mauri (Bolivia).

Cada trabajo de investigación fue sometido a un proceso de revisión por pares, asegurando que la información compartida sea confiable y de utilidad, con la finalidad de llegar al público en general, la academia e investigadores.

Por último, agradecer el compromiso de los autores y colaboradores que hicieron posible la conclusión de la presente revista, así como al equipo editorial y revisores cuyo trabajo asegura la calidad de los contenidos presentados.

Dr. Antonio López Andrade Ph.D.
DIRECTOR DICyT - UPEA

EDITORIAL

La Revista Científica y Tecnológica “Jukumari Ambiental”, es una publicación periódica anual especializada en las ciencias ambientales, que muestra el trabajo de profesionales de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Pública de El Alto, a través del Instituto de Investigación. En esta oportunidad, tenemos la grata satisfacción de presentar nuestro primer N° 1/2024, dirigido al público en general y sectores de la academia y la investigación.

Adoptamos el nombre de “Jukumari Ambiental”, pensando en esta especie emblemática de los Andes Tropicales, que habita en ecosistemas con requerimiento de bosques de altura, bosques montanos húmedos y praderas húmedas. Donde adquiere varios nombres comunes: Jukumari, Oso de Anteojos, Oso Andino, Ucumari (Tacana) y Juyu tyuñu (Tsimane). En Bolivia, se distribuye desde el departamento de la Paz hasta Tarija. De acuerdo a Goldstein et al. (2008), el Jukumari (*Tremarctos ornatus*), está en la lista del Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y en la categoría de Vulnerable de acuerdo a la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN.

En un escenario de continuo deterioro del medio ambiente, degradación de los recursos naturales, pérdida de la biodiversidad y la incertidumbre a causa del Cambio Climático, requiere generar ciencia, innovación y tecnología en una perspectiva de la transdisciplinariedad de las diversas áreas del conocimiento. En tal sentido, la Revista Científica y Tecnológica “Jukumari Ambiental”, está abierta a recibir y publicar trabajos de otras especialidades conexas a la temática ambiental.

Los contenidos de la revista, se acentúan en las líneas de Investigación que persigue la Carrera de Ingeniería Ambiental, entre ellos: la Gestión de Recursos Hídricos; Gestión de Residuos Sólidos; Cambio Climático, Ecosistemas y Sociedad; Servicios Eco sistémicos, Diversidad y Restauración; y Gestión del Riesgo, Alerta Temprana y Acción Anticipatoria.

Esperamos que la publicación de trabajos de investigación en la Revista Científica y Tecnológica “Jukumari Ambiental”, contribuya a la ciencia, la tecnología y el conocimiento, pero por sobre todo, promover el vínculo cultural y social en torno al medio ambiente.

M. Sc. Sergio Pérez Limachi

COORDINADOR

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

REVISTA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
JUKUMARI AMBIENTAL
Vol. 1(1), Diciembre 2024

ÍNDICE

Presentación	3
Editorial	5
Artículos	
BRIOFITOS Y ROL ECOLÓGICO EN EL BOSQUE NUBLADO DEL PARQUE NACIONAL Y ÁREA NATURAL DE MANEJO INTEGRADO COTAPATA - BOLIVIA.....	9
<i>Mogro Colque, Fabiana Inés</i>	
EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UN CALIBRADOR DE DOSIS EN LA MEDICIÓN DE ACTIVIDADES DE CESIO¹³⁷ Y TECNECIO^{99m}	17
<i>Gutierrez Condori, Julio Cesar</i>	
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	23
<i>Garcia Lluito, Carmen Julia</i>	
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN A ESCALA LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA.....	32
<i>Alba Huanca, Gabriela</i>	
GOBERNANZA HÍDRICA COMO ALTERNATIVA AL DÉFICIT DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SECO, MUNICIPIO DE EL ALTO.....	41
<i>Mendoza Marin, Marco Antonio</i>	
RESILENCIA DE LA VICUÑA (<i>Vicugna mensalis</i>) FRENTE A CAMBIOS CLIMATICOS.....	47
<i>Herrera López, Magín</i>	
VALORACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN Y SERVICIOS AMBIENTALES DE DOS TIPOS DE BOFEDALES EN LA CUENCA DEL JACH'A MAURI (BOLIVIA)	54
<i>Pérez Limachi, Sergio; Morales Mamani, Edgar Rodrigo</i>	

BRIOFITOS Y ROL ECOLÓGICO EN EL BOSQUE NUBLADO DEL PARQUE NACIONAL Y ÁREA NATURAL DE MANEJO INTEGRADO COTAPATA – BOLIVIA

Bryophytes and ecological role in the cloud forest of the Cotapata National Park and Natural Integrated Management Area – Bolivia.

Faviana Inés Mogro Colque

Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Pública de El Alto – Bolivia.

Email: favinesmogroc@gmail.com

Resumen

El Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata (PN-ANMI Cotapata), se ubica en el Departamento de La Paz (Bolivia). El Área Protegida es atravesada por la carretera Cotapata – Santa Bárbara, que ha influido en diferentes cambios económicos, sociales, culturales, productivos que afecten o alteren el estado de conservación de los recursos naturales en las áreas de bosque nublado. El objetivo fue de evaluar a los briófitos en el bosque nublado. La metodología de Holz, Gradstein, Heinrichs & Kappelle (2002), que consiste en un muestreo aleatorio, levantamientos sustratos disponibles. El proceso de identificación de especies fue en el Herbario Martín Cárdenas. Se tiene como resultados que las hepáticas tienen mayor riqueza de especies sobre los musgos, Las formas de crecimiento pleurocárpicas dominaron sobre las otras formas, Los sustratos dominantes en los bosques nublados del área de estudio son los troncos de árboles y madera en descomposición; la diversidad de las especies por más sustratos en musgos que en hepáticas, los briófitos se han venido adaptando a estas condiciones difíciles, Estos resultados reflejan la necesidad de continuar con los inventarios de briófitos en las zonas de bosques húmedos, contribuir con los nuevos registros del AMNI Cotapata.

Palabras clave: briófitos, área protegida, Yungas, conservación, bosque nublado.

Abstract

The Cotapata National Park and Integrated Management Natural Area (PN-ANMI Cotapata), is located in the Department of La Paz (Bolivia). The Protected Area is crossed by the Cotapata – Santa Bárbara highway, which has influenced different economic, social, cultural, and productive changes that affect or alter the state of conservation of natural resources in cloud forest areas. The objective was to evaluate bryophytes in the cloud forest. The methodology of Holz, Gradstein, Heinrichs & Kappelle (2002), which consists of random sampling, surveys of available substrates. The species identification process was at the Martin Cárdenas Herbarium. The results are that liverworts have greater species richness than mosses. Pleurocarpic growth forms dominated over the other forms. The dominant substrates in the cloud forests of the study area are tree trunks and decaying wood; the diversity of the species due to more substrates in mosses than in liverworts, bryophytes have been adapting to these difficult conditions. These results reflect the need to continue with bryophyte inventories in humid forest areas, contribute with new records of the AMNI Cotapata.

Keywords: bryophytes, protected area, Yungas, conservation, cloud forest

Introducción

Las briófitas son grupo de plantas que representan una riqueza en Bolivia, considerando a un país con la mayor biodiversidad a nivel mundial (Ibisch et al. 2003). siendo un grupo numeroso de plantas (hepáticas y musgos) las cuales son los responsables de la conservación y mantenimiento del agua y el suelo, principalmente en las zonas identificadas como la Prepuna y del bosque montano, debido a que las briófitas interceptan un buen porcentaje del agua de las lluvias, de igual manera evitan la pérdida de agua capturando en sus células poquilodricas, son pioneros de suelos vegetales o bien llamados colonizadores (Gradstein & Pócs 1989, Churchill et al. 1995).

La característica de los bosques montanos tropicales, es que son altamente sensibles a cambios del microclima relacionados con alteraciones antrópicas. Así también, tienen una alta riqueza y endemismo de briófitos.

En Bolivia se registraron a la fecha 1.391 especies, que se distribuyen en 385 géneros y 106 familias (Tabla 1). El número de especies excluidas, en base al estado taxonómico desconocido o a reportes dudosos, es de 525 (219 Hepáticas, 1 Antoceros y 325 Musgos).

Tabla 1. Diversidad de briófitas de Bolivia.

Taxón	Familias	Géneros	Especies
Hepáticas	35	110	477
Antoceros	2	3	4
Musgos	69	272	910
Total	106	385	1391

Fuente: Briofitas, Bolivia (2020).

Mediante el Decreto Supremo (DS) N^o. 23547 del 9 de julio del año 1993, se creó

el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata, bajo los siguientes objetivos: a) Proteger las zonas de alta fragilidad por pendientes pronunciadas, b) Zonas de protección de cuencas hidrográficas y c) Protección de ecosistemas prístinos y de gran biodiversidad de flora y fauna importantes para la conservación (SERNAP, 2015). El PN-ANMI Cotapata, se encuentra en el departamento de La Paz, entre las provincias Nor Yungas y Murillo e involucra a los municipios de Coroico y La Paz, respectivamente. Hacia el sur está delimitada por la carretera La Paz – Caranavi; al sureste por el río Elena hasta su confluencia con el río Huarinilla. De acuerdo al Plan de Manejo del Área Protegida (2005), la zona de manejo más importante es la Zona de Protección Estricta, que se ubica en la parte noreste del parque. Esta zona es de muy difícil acceso proporcionándole una protección natural y se encuentra en un buen estado de conservación. Protege ecosistemas del Bosque Nublado de Ceja de Monte, seguido por el Bosque Montano Húmedo y áreas menores de Páramo Yungueño.

El objetivo del presente artículo, es identificar a los briofitos y rol ecológico en el bosque nublado en el PN-ANMI Cotapata.

Métodos y materiales

Se llevó a cabo las colectas de los briófitos siguiendo la metodología propuesta por Holz, Gradstein, Heinrichs & Kappelle (2002), son muestreos en general de manera aleatoria, con levantamientos en todos los sustratos disponibles, es decir, en los sectores de la corteza, tronco en descomposición, roca, raíz aflorante, suelo y hojas de los árboles, para lo que se delimitaron ocho parcelas de 20x50 m,

establecidas en bosques nublado, entre un gradiente altitudinal de 9000 a 1800 m.s.n.m. Se establecieron las diferentes formas de crecimiento (pendular, cojines, tapetes, matas, etc.) siendo a partir de la propuesta de Calzadilla y Churchill (2014). La determinación del rol ecológico en el ecosistema para la determinación de especies, se llevó a cabo en el Herbario Martín Cárdenas, mediante el uso de equipos ópticos, como microscopios, estereoscopios y cámara digitales que están asociadas para establecer las especies, de igual manera, se procesaron con apoyo de bibliografía especializada con claves taxonómicas (Churchill & Linares, 1995; Gradstein et al., 2001, entre otros), en el caso de los musgos bajo el sistema de clasificación propuesto por Goffinet, Buck & Shaw (2009) y para hepáticas según Schuster (1984), para las colectas se elaboraron sobres doblados papel madera y bon que tienen incluidas las etiquetas bajo modelo previamente establecido, para su posible inclusión a un herbario de acuerdo a normativa botánica. (Figura 1).

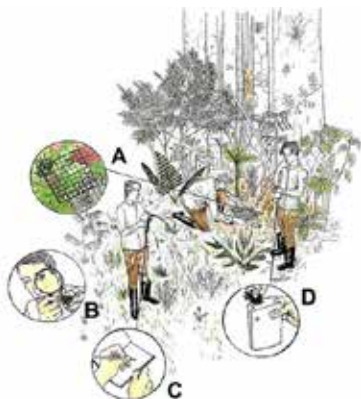


Figura 1. Muestro colecta de briofitos.

A. Toma de las muestras a partir de una plantilla cuadrícula para establecer la cobertura de la muestra; B. Observación de los briófitos a través de lupa; C. Toma de datos de campo para cada una de las muestras tomadas; D. Muestras depositadas en bolsas de papel para llevar al laboratorio

Fuente: Elaboración en base a Churchill (2004).

Resultados

El PN-ANMI Cotapata, desde el punto de vista climático altitudinal marca la existencia de diversos pisos ecológicos; el bosque húmedo montano de yungas, que cumple un rol ecológico importante por la frecuencia de nubes o neblinas, recibiendo así, adicionalmente lluvia, una cantidad de humedad por medio de captación. De esta manera se tiene como resultados que se encontraron, 393 muestras, distribuidas en 25 familias, 57 géneros y 96 especies de briófitos. Siendo las hepáticas con especies (45), con ocho familias y 24 géneros; para los musgos, 43 especies, con 17 familias y 33 géneros. Y los antoceros, no fueron encontrados, por las condiciones que no son adecuadas para que se desarrollen (Figura 2).

Las familias de briófitos más representativas son, Lejeuneaceae con 27 especies seguido por Plagiochilaceae, Sematophyllaceae e Hypnaceae cada una con seis especies.

Entre los géneros representativos, Plagiochila registró seis especies siendo el más diverso, seguido por Lejeunea y Frullania con cinco especies. Luego están géneros como Sematophyllum y Fissidens con cuatro; Metzgeria registró tres especies, mientras que los géneros Octoblepharum, Neckeropsis, Cheilolejeunea, Raiiella, Entodontopsis, Neurolejeunea, Lepidopilum, Zelometeorium, Archilejeunea, Symbiezidium, Brachiolejeunea y Drepanolejeunea, que registraron cada uno dos especies. Por último están Rhacopilopsis, Mittenothamnium, Pilotrichidium, Leucoloma, Squamidium,

Mastigolejeunea, Meteoridium,
Vesicularia, Erythrodontium
Cololejeunea, Pilosium, géneros con
solo una especie cada uno.

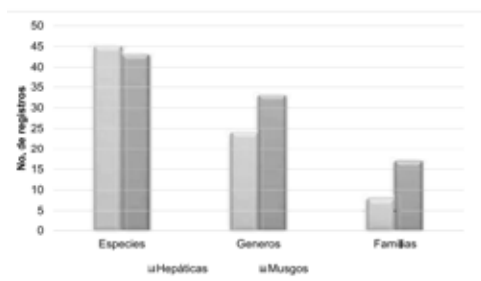


Figura 2. Musgos y hepáticas bosques nublado.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Las especies que más veces se registran son las siguientes:



Figura 3. Número de especies.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Distribución de Briófitas en los Bosques y Parcelas

De las cuatro parcelas, el mayor número de especies 33 especies; seguido con 32 taxones y tres con 31 taxones; en las parcelas del bosque nublado, la mayor diversidad de especies se registró en la parcela tres con 31 especies y en la parcela cuatro con 27 especies, mientras que la parcela dos presentó 22 especies.

Rol ecológico

De las especies encontradas en bosque nublado, tienen un rol ecológico como:

- Regular el ambiente, absorbiendo el exceso de agua de las lluvias y liberándola lentamente cuando el ambiente se hace más seco. Teniendo 11 especies, que almacenan gran cantidad de agua. el musgo Sphagnum, las comunidades de briófitas actúan como grandes esponjas y ayudan a regular el cauce de los ríos.
- Frenan la erosión de suelos, son las primeras plantas en crecer sobre los suelos tras los incendios en total de 8 especies.
- Interceptan, absorben y retienen los minerales. En total de 6 especies que disueltos en las aguas lluvias, permiten la incorporación de éstos en el ecosistema y disminuyen su lavado hacia los ríos
- Facilitan hogar y protección a numerosos animales, aproximadamente 18 especies, especialmente invertebrados como insectos, arácnidos, rotíferos, nemátodos, moluscos y anélidos. A su vez, sirven de material de construcción de nidos para varias aves y pequeños mamíferos.
- Favorecen la germinación de semillas. Aproximadamente 28 especies, son capaces de aportar la humedad suficiente para su desarrollo.
- Permiten el asentamiento de plantas, como 25 especies, donde la materia vegetal creada por el crecimiento continuo de capas de musgos y hepáticas sobre las rocas y la corteza de árboles, facilita el asentamiento y crecimiento de distintos tipos de plantas vasculares.
- Fijan en Carbono atmosférico y liberan oxígeno como 4 especies que, constituyen una parte importante de la

biomasa fotosintética activa. En el siguiente (Figura 4).

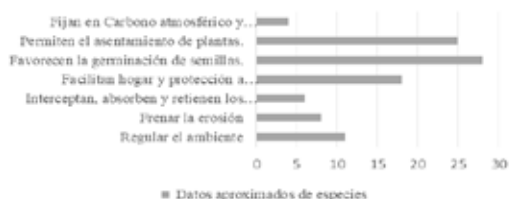


Figura 4. Rol ecológico bosques nublado.

Fuente: Elaboración propia (2023).

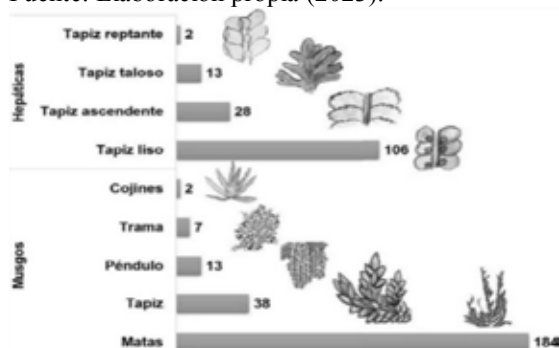


Figura 5. Formas de vida briófitos en los bosques nublado.

Fuente: Elaboración propia (2023).

De acuerdo a su forma de vida con mayor frecuencia corresponde a las matas con 184 registros (equivalente al 46.82%), seguido el tapiz con 38 (9.67%), también las formas péndulas con 13 (3.30%) y las tramas, contaron con siete registros (1.78%). Finalmente, y con solo dos registros (0.50%) están los cojines. Mientras que las hepáticas, el mayor número fueron las formas de tapiz liso con 106 registros (29.98), seguidas de tapiz ascendente con 28 (7.12%), tapiz taloso con 13 (3.30%) y, por último, la forma reptante con tan solo dos registros (0.50%) (Figura 5).

Sobre la corteza de árboles se registraron 236 muestras, haciendo de este sustrato el que alberga la mayor riqueza de briófitos con 65 especies. (33 hepáticas y 32

musgos), seguido del tronco en descomposición con 50 ejemplares, representadas por 30 especies (14 hepáticas y 16 musgos); la raíz aflorante registra 26 muestras con 25 especies, dominado por los musgos con 20 especies y tan solo cinco hepáticas. Luego, en el suelo se encontraron 26 muestras con 12 especies (tres hepáticas y nueve musgos), el sustrato folídico con 10 registros, con solo cinco especies de hepáticas y, por último, en lianas se encontraron tres muestras creciendo sobre ellas y únicamente hepáticas (Figura 6).

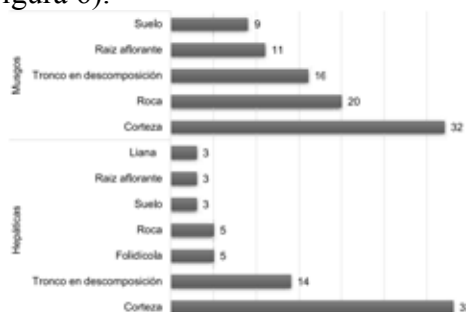


Figura 6. Registros musgos y hepáticas en los bosques nublados.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Discusión

De acuerdo con la historia de transformación del área de estudio, los bosques nublados han sido fragmentados y posteriormente abandonados, y en algunos casos, han recibido procesos de reforestación a través de programas, donde se han reincorporado especies consideradas de vocación maderera con interés comercial, mas no en un enfoque de protección de la flora nativa de la región hasta los últimos años. En estos ambientes se han desarrollado microhábitats propicios para el crecimiento de los briófitos (Glime, 2017) en diferentes sustratos, que cobijan

96 especies siendo las hepáticas las más ricas; ello indica que tales microhábitats están protegidos por follaje y que guardan humedad para el sostenimiento de las mismas, siendo más sensibles a los cambios ambientales (Wolf, 2003), como es el caso especial de la familia Lejeuneaceae, grupo diverso con caracteres morfológicos que le dan la capacidad para sobrevivir bajo estas condiciones. Así también, otros grupos de musgos de diferentes familias del orden Hypnales, tales como Hypnaceae y Sematophyllaceae que tienen estructuras morfológicas que les permiten desarrollarse en distintos sustratos y se adaptan a diversas condiciones ambientales (Camara & Kellogg, 2010).

Del mismo modo, Fissidentaceae, junto a otras familias, se asocian a diferentes sustratos y a los cuerpos de agua; no obstante, la presencia de dichas plantas está condicionada a variaciones climáticas, ya que, su mayor o menor exuberancia depende de la disponibilidad de agua en el ambiente y sus diferentes estrategias morfológicas en respuesta a tales condiciones (Cámara & Kellogg, 2010; Oliveira & Bastos, 2010). Respecto a las briófitas epífitas y no existe una diferencia significativa entre las áreas de muestreo (entre rango altitudinal) en número de especies; dichos ambientes arbolados, lentamente han propiciado en crecimiento de estas plantas; sin embargo, por las estrategias en sus formas de crecimiento, las pleurocárpicas son las dominantes sobre las acrocárpicas (43.12% vs. 13.75% respectivamente) (Cámara, & Kellogg, 2010; Gilmer 2017a); así mismo, las hepáticas, presentan un mayor dominio por los grupos foliosos que pueden soportar más

las condiciones de estrés como pérdida de agua y cambios en las condiciones ambientales debido a sus estrategias morfológicas como lo presentan muchos grupos de los registrados en el área de estudio, en sus formas de crecimiento: por ejemplo, Frullania con sus formas en tapiz liso, además de coloración parda que las protege del intenso sol y la presencia de sacos que les permite almacenar agua, así la suma de estas estrategias permiten los procesos de colonización de ambientes diversos y adversos (Gradstein, 2016; Gradstein, R. & Uribe, J., 2011; Gradstein, et al., 2001).

Los hábitos de crecimiento se relacionan con las condiciones de microhábitats, la heterogeneidad de los hábitats y la disponibilidad de sustrato (Benavides, Idárraga y Álvarez, 2004); de tal modo, que las formas de crecimiento colgantes o pendulares son predominantes en zonas nubladas, porque tienen la facilidad de captar la humedad del ambiente. Benavides et al. (2004), menciona que las formas colgantes o pendulares, predominan en los bosques nublados, puesto que, tienen la capacitada de capturar la humedad del ambiente. Las tramas, cojines y matas son más complejos, siendo grandes acumuladores de agua (Frahm et al., 2003), y los cojines y céspedes se vuelven más dominantes a mayor altura (Avendaño & Aguirre, 2007). Dentro de los sustratos de mayor preferencia están los troncos de los árboles, donde crecen tanto hepáticas como musgos, por lo que Holz (2003), establece que la arquitectura de la corteza es de vital importancia para la radicación de los diferentes briófitos, pues si la corteza es muy lisa no permite

acumulación de nutrientes, a diferencia de presentar cortezas con hendiduras permitiendo un mejor anclaje y mayor acumulación de nutrientes (Linares, 1999).

Las hepáticas dominan sobre los troncos en descomposición; no obstante, la dominancia otros sustratos es mayor por los musgos mas no por las hepáticas, ellos logran mantenerse en mayor medida sobre sustratos como rocas, donde las condiciones son mucho más agresivas y la materia orgánica es mínima o nula, y las condiciones de protección al medio ambiente o de exposición alta, encontrando especies pequeñas y de vida corta, influenciadas principalmente por la disponibilidad de agua (Hallingbäck & Hodgetts, 2000), y así también, sucede con el suelo, puesto que son sustratos con poca presencia de briófitos dado al hecho que la cantidad de luz que llega a los estratos bajos es muy poca, producto de la interferencia copas de los doseles (Frahm & Gradstein., 1991). Mientras que las hepáticas disminuyen sus procesos de colonización y por supuesto, de dominancia en los sustratos de roca, suelo, y demás, siempre su frecuencia y estabilidad se da en ambiente más protegidos y donde existen microhábitats más protegidos con disponibilidad de agua ambiental (Goffinet, Buck, & Shaw, 2009).

Conclusiones

En el PN-ANMI contempla a los bosques nublados por su composición, abundancia de briófitos. Se caracteriza por las lluvias frecuentes, nubosidad, neblina y humedad atmosférica altas durante todo el año. Estos bosques han funcionado

como refugios para especies durante los cambios climáticos de los últimos años.

Las hepáticas registran una mayor riqueza de especies sobre los musgos, debido a que se ha adaptado de una mejor manera a las condiciones ambientales propias de estos bosques. Las formas de crecimiento pleurocárpicas dominaron sobre las otras formas, puesto que presentan adaptaciones morfológicas sencillas y evolutivamente recientes. Los sustratos dominantes en los bosques del área de estudio son los troncos de árboles y madera en descomposición; no obstante, aunque se presentaron más especies de hepáticas que musgos, la diversidad de las especies por más sustratos en musgos que en hepáticas. Pese a que los bosques del área de estudio son intervenidos, los briófitos se han venido adaptando a estas condiciones difíciles, por ejemplo, escasas de humedad y exceso de luz, lo que les han permitido diversificarse. En referencia al rol ecológico de los briófitos contribuyen en los servicios ambientales al bienestar humano y, de esta manera, valorarlos más, regulan el caudal del agua y mantienen los regímenes hidrológicos naturales, que sustentan ecosistemas completos y formas de vida.

Bibliografía

- CPE (2009). Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, promulgada el 25 de enero de 2009. Artículo 385.
- Calzadilla, E. & Churchill, S.P. (2014). Glosario ilustrado para musgos neotropicales, Santa Cruz, Bolivia: Missouri Botanical

- Garden & Museo de Historia National Noel Kempff Mercado.
- Churchil, S. & Linares, E. (1995). *Prodomus Bryologiae Novo-Granatensis*. Introducción a la Flora de musgos de Colombia (Vol. I y II). Bogotá, D.C., Colombia: Guadalupe Ltda.
- Daza R. (2000). Escenarios de Conservación en Áreas Protegidas del SNAP.
- Gradstein, S.R. (2018). Key to hornworts (Anthocerotophyta) of Colombia. *Caldasia*, 40(2):262-270.
- Gradstein, S.R. (2016). The genus *Plagiochila* (Marchantiophyta) in Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 40(154): 104-136.
- Gradstein, S.R., & Uribe, J. (2011). A synopsis of the Frullaniaceae (Marchantiophyta) from Colombia. *Caldasia*, 33(2): 367-396.
- Gradstein, S.R., Churchill, S. & Salazar-Allen, S. (2001). Guide to the bryophytes of Tropical America. *Memoirs of the New York Botanical Garden*.
- Frahm, J.P., Pócs, T., O'shea, B., Koponen, T., Piippo, S., Enroth, J. & Fang, Y. (2003). Manual of tropical bryology. *Tropical Bryology*, 23: 1-196.
- Integrado Cotapata. pp. 1-84. En: C. d. Morales (ed.). *Caminos de Cotapata*. Instituto de Ecología, La Paz.
- Navarro, G. 2002. Provincia biogeográfica de los Yungas. Pp.279-350.
- Navarro, G. & Maldonado (eds.). *Geografía Ecológica de Bolivia*. Centro de Ecología Simón I. Patiño Departamento de Difusión, Cochabamba.
- Ribera, M.O. 1995. Aspectos ecológicos, del uso de la tierra y conservación en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo
- SERNAP (2005). Plan de Manejo del Parque Nacional Área Natural de Manejo Integral Cotapata. La Paz (Bolivia).
- www.sernap.gob.bo/index.php/areas-protegidas/parque-nacional-y-area-de-manejo-integrado/21-areas-protegidas/parque-nacional/56-cotapata
- UICN. (2010). Guidelines for using the UICN Red List categories and criteria, Version 8.1. Commission on Standards and Petitions - UICN, Switzerland.

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UN CALIBRADOR DE DOSIS EN LA MEDICIÓN DE ACTIVIDADES DE CESIO ¹³⁷ Y TECNECIO ^{99m}

Performance evaluation of a dose calibrator in the measurement of caesium ¹³⁷ and technetium ^{99m} activities

Julio Cesar Gutiérrez Condori

Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Pública de El Alto – Bolivia.

Email: julcesrad619@gmail.com

Resumen

El activímetro, o calibrador de dosis, es útil para medir la actividad de radiotrazadores, y su fiabilidad es fundamental para garantizar la seguridad en la administración de tratamientos. Este estudio se llevó a cabo en el laboratorio de radiofarmacia del Instituto Nacional de Medicina Nuclear en La Paz, utilizando los isótopos Cesio-¹³⁷ y Tecnecio-^{99m}. Se empleó un activímetro modelo CRC®-55tR, conocido por su precisión y velocidad. La metodología incluyó la evaluación de la precisión y exactitud del activímetro mediante mediciones repetidas de una fuente certificada de Cesio-¹³⁷ y pruebas de linealidad con Tecnecio-^{99m}. Los resultados mostraron una precisión del 1.33% y una exactitud del 1.43%, ambos por debajo del límite de aceptación de <5%, lo que indica que el activímetro proporciona mediciones consistentes y cercanas a los valores de referencia. Además, se observó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9989, lo que sugiere una excelente linealidad en la respuesta del activímetro a diferentes niveles de actividad, asegurando que las mediciones sean válidas en un amplio rango operativo. En conclusión, el activímetro modelo CRC®-55tR demostró un alto nivel de desempeño en términos de precisión, exactitud y linealidad, alineándose con las mejores prácticas de gestión de calidad recomendadas por el OIEA.

Palabras clave: Activímetro, Radiotrazadores, Precisión, Exactitud, Linealidad

Abstract

The activimeter, or dose calibrator, is useful for measuring radiotracer activity, and its reliability is essential to ensure safety in the administration of treatments. This study was carried out in the radiopharmacy laboratory of the National Institute of Nuclear Medicine in La Paz, using the isotopes Cesium-¹³⁷ and Technetium-^{99m}. A CRC®-55tR model activimeter was used, known for its precision and speed. The methodology included the evaluation of the precision and accuracy of the activimeter through repeated measurements of a certified source of Cesium-¹³⁷ and linearity tests with Technetium-^{99m}. The results showed a precision of 1.33% and an accuracy of 1.43%, both below the acceptance limit of <5%, indicating that the activimeter provides consistent measurements close to reference values. Furthermore, a coefficient of determination (R^2) of 0.9989 was observed, suggesting excellent linearity in the activimeter response to different activity levels, ensuring that measurements are valid over a wide operating range. In conclusion, the CRC®-55tR model activimeter demonstrated a high level of performance in terms of precision, accuracy and linearity, aligning with the best quality management practices recommended by the IAEA.

Keywords: Activimeter, Radiotracers, Precision, Accuracy, Linearity

Introducción

Los instrumentos en medicina nuclear permiten obtener datos sobre la distribución y función de los radiotrazadores, estudiando la morfología y funcionamiento de los órganos. En terapias, se utilizan los efectos radiobiológicos de la radiación para destruir células que captan el radiotrazado (Capintec, Inc., n.d.; Gilmore, 2008).

El activimetro, o calibrador de dosis, mide la actividad de los radiotrazadores administrados a los pacientes, asegurando la fiabilidad de sus mediciones. Los modelos más comunes usan cámaras de ionización tipo pozo, donde la fuente radiactiva se coloca a alta presión, entre 10 y 20 atmósferas, mejorando la eficiencia de la detección. La corriente iónica generada por la radiación es proporcional a la actividad de la fuente, permitiendo una calibración precisa (Huanca et al., s.f.; IAEA, 1991).

La gestión de calidad de los equipos de medición, según el OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), es indispensable garantizar la precisión y seguridad en el uso de estos dispositivos. EL OIEA establece un sistema de gestión que incluye aspectos de seguridad tecnológica, física y de calidad, asegurando decisiones informadas y equilibradas. Esto abarca la manipulación segura de fuentes radiactivas y procedimientos de control de calidad que aseguran la fiabilidad de las mediciones (IAEA, 2010; Instituto Nacional de Cancerología, 2021).

Además de la cámara de ionización, un activimetro incluye una fuente de tensión estabilizada, un electrómetro para medir corrientes de ionización y dispositivos para visualizar e imprimir resultados, todos necesarios para mediciones precisas. La gestión de calidad y la capacitación del personal, promovidas por la OIEA, optimizan el funcionamiento de las instalaciones nucleares y garantizan la seguridad radiológica (Medina, 2004; Sociedad Española de Protección Radiológica, 2020).

El objetivo de este artículo es evaluar el desempeño de activimetro modelo CRC®-55tR, asegurando que cumpla con los estándares de calidad y seguridad, contribuyendo a la mejora continua en medicina nuclear. Implementar un sistema de gestión de calidad permite mitigar riesgos y asegurar mediciones fiables, necesarias para la dosificación precisa de radiotrazadores en tratamientos (Abdullah et al., 2010; Bruel et al., 2011)

Metodología

Tipo de estudio

El tipo de estudio realizado se puede clasificar como un estudio experimental de evaluación de equipos de medición.

Lugar y equipos

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de radiofarmacia del Instituto Nacional de Medicina Nuclear en La Paz. Se utilizaron los isótopos Cesio-¹³⁷, con una vida media de 30 años, y Tecnecio-

^{99m}, que tiene una vida media de 6.02 horas. Para las mediciones, se empleó un activímetro modelo CRC®-55tR, un dispositivo reconocido por su velocidad y precisión, equipado con una cámara de ionización de pozo presurizado que utiliza Argón ultrapuro y que puede medir dosis de hasta 6 Ci (250 GBq).



Figura 1. Fuente cerrada, líquida, certificada de Cesio 137, 199 µCi al 1/12/2011.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Precisión de las Mediciones

Se llevó a cabo la medición de la fuente certificada de Cesio-¹³⁷ en 10 repeticiones. Los promedios obtenidos se compararon con el valor de la fuente certificada a la fecha de medición (11/9/2024). Para evaluar la exactitud, se aplicó la fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{1-n} * \sum_{k=1}^n (z_k - \bar{z})^2}$$

Donde n es el número de medidas realizadas, z_k es el valor obtenido en la k -ésima medida, y $\bar{z}$ es el valor medio de la serie de medidas.

Exactitud

Se realizó la medición de la fuente certificada de Cesio-¹³⁷ en 10 repeticiones y se obtuvo el promedio y se comparó con el valor de la fuente certificada a la fecha de medición (11/9/2024). Luego se aplicó la fórmula:

$$E = \frac{A - C}{C} \times 100$$

Donde C es el valor certificado de la actividad de Cesio-¹³⁷ a la fecha de medición y A es la actividad medida de la fuente.

Linealidad del activímetro

Para evaluar la fiabilidad del activímetro y establecer correcciones necesarias, se realizaron pruebas midiendo fuentes de Tecnecio-^{99m} con una actividad inicial de 10 mCi a tiempo cero. Se realizaron 8 mediciones a diferentes tiempos (horas) para observar la variación en la actividad medida, lo que permitió verificar la linealidad de las lecturas del activímetro.

Resultados

Prueba de precisión y exactitud

Tabla 1. Resultados de Precisión y Exactitud

Fuente Cesio ¹³⁷	Valor Hallado	Valor Referencia
Precisión	1.33%	<5%
Exactitud	1.43%	<5%

Fuente: Elaboración propia (2024).

Precisión (1.33% vs. <5%)

La precisión del 1.33% está muy por debajo del límite de aceptación de <5%, lo que sugiere que el activímetro proporciona mediciones consistentes y reproducibles. Esto es necesario en aplicaciones clínicas donde la exactitud en la dosificación de radiotrazadores puede impactar directamente en la seguridad y efectividad del tratamiento. La alta precisión es un indicador de que el equipo está bien calibrado y que las condiciones de medición son adecuadas, lo que se alinea con las recomendaciones del OIEA sobre la gestión de calidad en la instrumentación médica (IAEA, 1991).

Exactitud (1.43% vs. <5%)

La exactitud del 1.43% también se encuentra por debajo del umbral de <5%, lo que indica que las mediciones realizadas con el activímetro son cercanas a los valores de referencia. Esto es esencial para asegurar que las dosis administradas a los pacientes sean correctas y estén dentro de los parámetros establecidos, minimizando el riesgo de sobredosis o subdosificación. La exactitud es un componente importante en la evaluación de la calidad de los equipos de medición, tal como se establece en las directrices del OIEA (IAEA, 2010; Instituto Nacional de Cancerología, 2021).

Linealidad

Un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9989 indica una excelente linealidad en la respuesta del activímetro a diferentes niveles de actividad de la fuente. Esto significa que el activímetro mantiene una relación proporcional entre la actividad radiactiva y la lectura obtenida, lo que es

fundamental para la calibración y para asegurar que las mediciones sean válidas en un rango amplio de actividades.

Tabla 2. Resultados de Precisión y Exactitud.

h	Actividad Medida de Tc ^{99m} en mCi	ln	Actividad teórica mCi
0	10,01	2,30	10,01
3	7,6	2,03	7,08
6	5,08	1,63	5,01
8	4,05	1,40	3,98
24	0,64	-0,45	0,63
27	0,51	-0,67	0,44
30	0,41	-0,89	0,31
48	0,05	-3,00	0,04

Fuente: Elaboración propia (2024).

La linealidad es un aspecto crítico en la evaluación de la fiabilidad de los dispositivos de medición, ya que asegura que el equipo funcione correctamente a través de su rango operativo (Capintec, Inc., n.d.; IAEA, 2010).

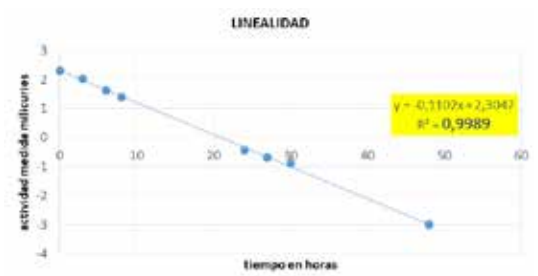


Figura 2. Grafico de linealidad encontrando un coeficiente de 0.9989.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Discusión

El estudio demuestra que el activímetro modelo CRC®-55tR cumple con los estándares de precisión y exactitud necesarios en el ámbito nuclear,

alineándose con las recomendaciones del OIEA. Comparado con estudios similares, como el de Huanca et al. (s.f.), los resultados son consistentes con los estándares internacionales.

El alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9989$) destaca la importancia de la linealidad en la fiabilidad de los dispositivos de medición. La capacidad del activímetro para mantener una relación proporcional entre la actividad radiactiva y la lectura obtenida es crucial para la calibración y la validez de las mediciones.

Basado en los hallazgos, el activímetro CRC®-55tR se confirma como un dispositivo confiable para medir actividades de radiotrazadores, garantizando tanto la seguridad como la eficacia en la dosificación de tratamientos.

Conclusiones

El activímetro modelo CRC®-55tR para el Cesio-¹³⁷ muestra alta precisión, exactitud y linealidad. Estos resultados están alineados con las mejores prácticas de gestión de calidad de la OIEA, fundamentales para la seguridad y eficacia en la administración de radiotrazadores en medicina nuclear. Un control de calidad riguroso y la capacitación del personal son esenciales para mantener estos estándares en la práctica clínica.

Bibliografía

Abdullah, N., Ramli, A. A. M., Md Isa, M. J., Deraman, S. S., Azizan, S. A., Azraai, N. A., & Md Zin, M. K.

(2010). Programa de intercomparación de calibración de dosis utilizado en un centro de medicina nuclear de Malasia. *Sistema Internacional de Información Nuclear (INIS)*.

Bruel, D., Duez, C., Ebel-Lao, S., Garrigue, H., & Le Meur, C. (2011). Modelo de calidad ambiental en unidades de radiofarmacia centralizada: directrices de la Sociedad Francesa de Radiofarmacia. *Sistema Internacional de Información Nuclear (INIS)*.

Capintec, Inc. (s.f.). CRC-55tR-PET chamber manual. <https://anyflip.com/gpad/jjti/basic/301-350>

Gilmore, G. R. (2008). *Espectrometría práctica de rayos gamma* (2ª ed.). John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-470-86196-7.

<https://books.google.com.cy/books?id=phIIEAAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

Huanca Sardinias, E., Castro Sacci, O., Torrez Cabero, M., Vásquez Ibáñez, M. R., & Zambrana Zelada, A. J. (s.f.). *Control de precisión y exactitud del calibrador de dosis: Capintec CRC 12 del laboratorio de radiofarmacia del Instituto de Medicina Nuclear Sucre*. Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Radiofarmacia - Instituto de Medicina Nuclear de Sucre, Hospital Santa Bárbara

IAEA. (1991). *Control de la calidad de los instrumentos de medicina nuclear* (IAEA-TECDOC-602/S). Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA).

IAEA. (2010). *Safety of radiation sources and security of radioactive materials*.

International Atomic Energy Agency.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1392_S_web.pdf

Instituto Nacional de Cancerología. (2021). *Instructivo para calibración y control de calidad de activímetros*.
https://siapinc4.cancer.gov.co/FSSIAPINC/D/OCS/2021/12/Tipo%20documento%20no%20definido/DP-21-000061_inc-cd-21-01617_12272021103904%20amtmp.pdf

Medina, A. (2004). Programa de control de calidad en calibradores de dosis. *Radiobiología: Revista Electrónica*, 4(1), 74-77.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1064082>.

Sociedad Española de Protección Radiológica. (2020). Protocolo para la calibración y el uso de activímetros.
https://www.sepr.es/images/DESCARGABLES/Protocolo_CC_Medicina_Nuclear_2020_c.pdf.

Taylor, J. R., & Smith, D. (2018). Calibration protocols for radiological instruments and safety guidelines. *Health Physics*, 114(3), 292-299.
<https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000947>

Tsoufanidis, N., & Landberger, M. (2015). *Measurement and detection of radiation*. CRC Press.
 Universidad de Costa Rica. (n.d.). *Datación por plomo-210 y cesio-137 en suelos*

sedimentarios.

<https://kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/84237/Dataaci%C3%B3n%20por%20plomo-210%20y%20cesio-137%20en%20suelos%20sedimentarios.pdf>

US Department of Energy. (2016). *Calibration and Control of Radiation Measurement Instruments (DOE Handbook)*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Energy use of solid waste for the reduction of greenhouse gases

Carmen Julia Garcia Lluito

Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Pública de El Alto – Bolivia.

E mail: 11carmengarcia11@gmail.com

Resumen

El presente documento tiene por objetivo exponer la valorización energética a partir de la descomposición de residuos sólidos dispuestos en el Relleno Sanitario de Villa Ingenio, sitio de disposición del municipio de El Alto, teniendo en cuenta que en la actualidad se tiene un ingreso de 700 toneladas diarias de residuos sólidos, que según el diagnóstico de Composición media de los residuos sólidos en Bolivia el 55,2% son de clase residuos orgánicos. También se describe la situación actual de los captadores de biogás y se plantea la implementación de Motores de combustión interna como propuesta para la generación térmica aprovechable y la energía eléctrica a partir de la captación de biogás. El modelo presentado además de calcular el potencial energético del relleno sanitario de las gestiones (2007-2017), permite también evaluar, el impacto ambiental del biogás debido a que juega un papel fundamental en la reducción de las emisiones de CO₂ y la mitigación del cambio climático. Al aprovechar los residuos orgánicos para producir energía renovable, ofreciendo una solución sostenible para reducir la huella de carbono y promover la transición hacia una economía baja en carbono.

Palabras clave: biogás, combustión interna, dióxido de carbono, energía, Relleno sanitario.

Abstract

The objective of this document is to present the energy recovery from the decomposition of solid waste disposed of in the Villa Ingenio Sanitary Landfill, a disposal site in the municipality of El Alto, taking into account that currently there is an input of 700 tons daily solid waste, which according to the diagnosis of average composition of solid waste in Bolivia, 55.2% are organic waste class. The current situation of biogas collectors is also described and the implementation of internal combustion engines is proposed as a proposal for usable thermal generation and electrical energy from biogas collection. The model presented, in addition to calculating the energy potential of the landfill of the administrations (2007-2017), also allows evaluating the environmental impact of biogas because it plays a fundamental role in the reduction of CO₂ emissions and the mitigation of the climate change. By harnessing organic waste to produce renewable energy, offering a sustainable solution to reduce the carbon footprint and promote the transition to a low-carbon economy.

Key words: biogas, landfill, carbon dioxide, energy, internal combustion, Sanitary landfill.

Introducción

Disposición de residuos sólidos en el relleno sanitario de villa ingenio

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE) en su boletín informativo “El Alto en cifras” la ciudad de El Alto tiene una población de 1.089.100 (un millón ochenta y nueve mil cien) habitantes (I.N.E., 2021).

En la actualidad los residuos sólidos que genera el Municipio de El Alto se disponen en el Relleno Sanitario ubicado en el Distrito 13, en la comunidad de “El Ingenio”, incumpliendo con la Normativa Ambiental vigente, debido a asentamientos urbanos, se evidencia que existen viviendas unifamiliares ubicadas a menos de 100 metros del ingreso principal. Por lo tanto, el riesgo en la salud para estas familias es mayor, por la exposición constante a gases de efecto invernadero: (metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), encontrándose también trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV)), en el aire, resultado del proceso de descomposición biológica de residuos sólidos de origen orgánico. (urgente.bo, 2019)

En el año 2011 el Ministerio de Medio Ambiente y Aguas realizó el “Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia”, donde se ha estimado el valor de Producción Per-Cápita de residuos municipales en la ciudad de El Alto, igual a 0,38 [kg/hab-día]. (MMAyA, 2011), además de reportar la composición media de los residuos sólidos en Figura N°1.

En el Municipio de El Alto se registra el ingreso de 700 [Toneladas/día] de

residuos sólidos, de los cuales el 55,2 % son residuos orgánicos es decir 386,4 [Toneladas/día] son de residuos orgánicos, que son dispuestos en el Relleno Sanitario de Villa Ingenio, sin ningún tratamiento, ni aprovechamiento. (urgente.bo, 2019).



Figura 1. Composición media de los residuos sólidos en Bolivia.

Fuente: MMAyA (2011).

Biogás generado en sitios de disposición final de residuos sólidos

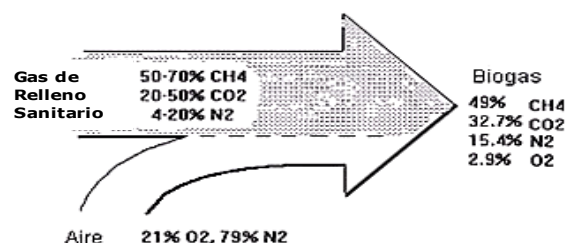


Figura 2. Obtención del biogás a partir de gases generados en un relleno sanitario.

Fuente: Asturias (2020).

El “gas proveniente de sitios de disposición final” ha sido utilizado principalmente como combustible para la generación de electricidad, ya sea para dotar de energía a localidades que se encuentran muy alejadas o de difícil acceso, o sea simplemente como contribución al desarrollo sustentable.

Por otro lado, esta energía también puede ser ofertada en el mercado energético, generando ingresos que reduzcan los costos de operación del mismo relleno sanitario. Estos ingresos también compensan los costos de instalación del sistema de aprovechamiento de biogás (Varnero, 2011).

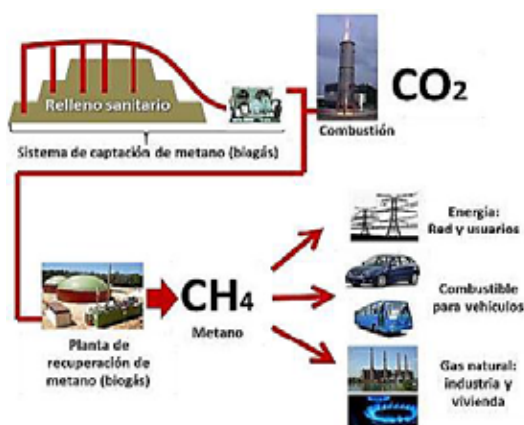


Figura 3. Captación y aprovechamiento de metano.

Fuente: Varnero (2011).

Dependiendo del tipo de pretratamiento que se aplique al biogás, pueden obtenerse distintos tipos de biocombustible: (Camargo, 2009).

- Combustible de grado bajo: Se obtiene mediante un procesamiento mínimo que básicamente consiste en una cámara de remoción de condensados como parte del sistema de recolección y estanques de eliminación de humedad para reducir su nivel en el flujo de gas.
- Combustible de grado medio: Se obtiene mediante la implementación de equipos adicionales que extraen humedad, contaminantes y material particulado. Para el proceso se requieren equipos de compresión y refrigeración del gas y/o un

tratamiento químico.

- Combustible de grado alto: Se obtiene a partir de un pretratamiento complejo que separa el dióxido de carbono y otros constituyentes mayores del gas metano, además de remover impurezas como los compuestos de azufre, COV's, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos.

De acuerdo a lo descrito y la situación actual en la que se encuentra el Relleno Sanitario de Villa Ingenio se estima la generación de combustibles de grado bajo (APG, 2020)

El combustible de grado bajo y medio tiene un valor calorífico de $16,8 \cdot 10^6$ [J/m³] aproximadamente, mientras que el combustible de grado alto alcanza un valor calorífico de $37,3 \cdot 10^6$ [J/m³]. En este sentido, también varían las posibles aplicaciones que se pueda otorgar a los combustibles obtenidos

Entre las posibles aplicaciones para combustibles de grado bajo, se encuentran: (Camargo, 2009).

- Calefacción: Puede usarse como combustible en hornos, secadores o calderas.
- Caldera – Turbina de Vapor: El vapor producido por la caldera puede ser usado para generar electricidad por medio de turbinas de vapor, para lo cual sólo se requiere un tratamiento mínimo del biogás. La tecnología de la turbina de vapor necesita además condensadores, torres de enfriamiento, tratamiento de las aguas de recirculación y bombas de alimentación para la caldera. Esta tecnología puede ser utilizada en

rellenos sanitarios grandes cuyo potencial de generación de electricidad sea superior a 10 [MW].

- Microturbinas: Las microturbinas pueden utilizar el biogás de bajo grado con una capacidad de calentamiento tan baja como 350 [Btu/scfm]. Normalmente pueden proporcionar hasta 75 [kW] de energía eléctrica y 85 [kW] de calor en aplicaciones de energía y calentamiento.

Captación de biogás actual en el relleno sanitario de Villa Ingenio

En la actualidad se tiene la instalación de colectores (chimeneas) verticales para la extracción de biogás, construido desde el Nivel de desplante empleadas para la colección y conducción de Biogás, los mismos están conformados por malla olímpica, de un diámetro aproximado de 0.6 [m], en su interior se dispone una tubería de 10,16[cm] perforado a tres bolillo el cual será rodeado de materia granular o piedra manzana para de esta manera facilitar la circulación de los gases generados por la descomposición de los residuos sólidos.

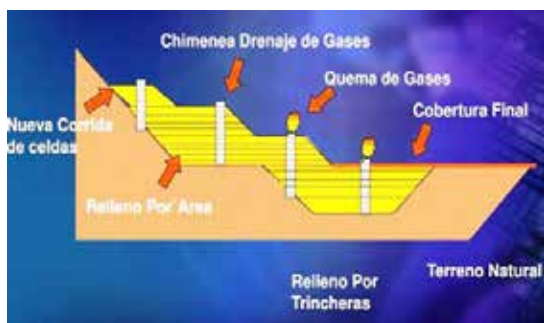


Figura 4. Esquema de sistema captación de biogás en celda de residuos sólidos.

Fuente: GAMEA (2017).

Además, las macro celdas de disposición final cuentan con la impermeabilización correspondiente para evitar infiltraciones en el suelo por los lixiviados

Relleno Sanitario de Villa Ingenio ubicado en la ciudad de El Alto, distrito 14 de la zona de Villa Ingenio, sitio de disposición final de los residuos generados en el municipio.

Métodos

En el presente trabajo de investigación se aplicara el método deductivo. A continuación se describen las técnicas investigativas:

- a) Recopilación de información: Considerando libros relacionados al tema, artículos científicos, artículos de páginas web, artículos de prensa, informes técnicos, tanto para el desarrollo del marco teórico y el marco práctico del proyecto.
- b) Análisis documental: Esta técnica se aplicó para organizar la información de la bibliográfica recopilada.

Debido a que se realizara la revisión bibliográfica de estudios previos concernientes al tema, como ser:

- La Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos de 28 de octubre de 2015 (Ley de Gestion Integral de Residuos, 2015)
- “Diagnóstico de la gestión de los residuos sólidos en Bolivia”, elaborado por el MMAyA.
- Especificaciones técnicas del contrato 016/18 para “El tratamiento y disposición final de residuos” en el Municipio de El Alto (GAMEA,

2017)

- Modelo establecido por la Agencia de Protección Ambiental “US EPA” (entidad que protege la salud de los seres humanos, el medio ambiente y los recursos naturales), que evalúa el potencial de biogás en rellenos sanitarios.

Para posteriormente proceder a deducir un estimado de la generación de biogás a partir de la degradación de los residuos sólidos que ingresan al Relleno Sanitario de Villa Ingenio (gestionopolis, 2020).

Resultados

Para el cálculo de la emisión de metano, se sigue la metodología de cálculo de la US EPA, en el que se consideraran los siguientes parámetros de entrada:

- Masa de residuos que ingresa al relleno sanitario anualmente.
- Tiempo de actividad del relleno o tiempo después de cerrado.
- Tasa de generación de metano (k).
- Potencial de generación de metano (L_0).

Para las estimativas de la población, de la generación de residuos y de la producción de biogás, se consideran los siguientes períodos:

- Período estimado para estimativa del crecimiento poblacional y de la generación de RSU: 2007 a 2017.
- Las estimativas de las producciones potenciales de biogás y metano son hechas teniendo como año cero el año de 2007, y teniendo como año de cierre del relleno sanitario el año de 2017.

- Período considerado para el cálculo del biogás: 2007 a 2017.
- La literatura internacional suministra los valores de k y L_0 (tabla 1).
- El municipio objeto de estudio es: El Alto.

Tabla 1. Valores de k y L_0 propuestos por la US EPA.

		Valores sugeridos		
		Clima Húmedo	Clima con humedad Media	Clima seco
L_0	0-	0,14-	0,14-0,18	0,14-
$[m^3$	0132	0,18		0,18
$CH_4/$				
Kg				
$RSU]$				
k	0,003-	0,10-	0,05-0,15	0,02-
$[año^{-1}]$	04	0,35		0,10

Fuente: Gato-Clavell, González-Díaz, Guillot, & Pires-Araújo (2015).

$$Q_X = k * R_X * L_0 * e^{-k(x-T)} \quad \text{EC. (1)}$$

Donde:

Q_X : Flujo de metano generado en el año x por el RSU depositado en el año T [$m^3 CH_4/año$]

R_X : Flujo de residuos en el año x [kg RSU]

T: año de deposición del residuo en el relleno sanitario [año].

x: año actual [año].

La evaluación de R_X se realizó en base a las Especificaciones técnicas del contrato 016/18 para “El tratamiento y disposición final de residuos en el Municipio de El Alto” (GAMEA, 2017)



Figura 5. Toneladas de residuos sólidos generados por año en el Municipio de El Alto gestiones: (2007-2017).

Fuente: GAMEA (2017).

La estimativa de suma de los flujos de metano ($\sum Q_x$) es dada por la ecuación siguiente, que representa la suma de los flujos de metano correspondientes a las cantidades de residuos orgánicos depositados en el relleno cada año desde la gestión 2007 hasta la gestión 2017.

$$\sum Q_x = 13315894,4 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4\text{]}$$

Para la estimación de la generación de biogás generado en el relleno sanitario, es necesario adecuar los siguientes datos del relleno sanitario según la Tabla 2.

Tabla 2. Datos del relleno sanitario.

Datos del relleno sanitario	
Tasa de quema [%]	20
Emisión de gas de efecto estufa evitada	0,2
por la sustitución de energía eléctrica generada por fuentes no renovables[TCO ₂ /MW]	782
Eficiencia de colecta de biogás [%]	75
Eficiencia de quema de biogás [%]	95

Fuente: Gato-Clavell, González-Díaz, Guillot, & Pires-Araújo (2015).

La ecuación siguiente es utilizada para convertir el flujo de metano en los diferentes años (Q_x) en potencia disponible (P_x). Esa información es útil

para tener una idea de los equipos de generación de energía eléctrica que podrán ser empleados.

$$P_x = \frac{Q_x * P_{C(\text{metano})}}{31536000} E_c \frac{k}{1000}$$

Donde

P_x : Potencia disponible en cada año [kW].

$P_{C(\text{metano})}$: Poder calorífico del metano igual a $16,8 * 10^6$ [J/m³ CH₄].

E_c : Eficiencia de colecta de gases [%]

Reemplazando datos la potencia instalada para cada año será:



Figura 6. Estimación de generación de energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos en el municipio de El Alto gestiones: (2007-2017).

Fuente: Gato-Clavell, González-Díaz, Guillot, & Pires-Araújo (2015).

Como se observa en el anterior gráfico se evidencia que la energía generada tiende a crecer proporcionalmente a la deposición de los RSU en el relleno sanitario de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto.

Se halla dificultad en la recuperación total del biogás generado en un relleno sanitario, debido a que su cobertura no es impermeable, por lo que el gas tiende a tener fugas por la base y /o lados de la

Macroelda de disposición final. Para estimar la cantidad de gas metano que puede ser recuperada, se multiplica un valor supuesto de “eficiencia de captación” por la cantidad de gas metano generado.

Los valores mostrados en el presente documento permiten no solo evaluar el potencial energético del relleno, sino también evaluar, de cierta forma, el impacto ambiental causado, en el periodo de tiempo que se menciona. Tomando en cuenta que el dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero (GEI), que absorbe y emite radiación infrarroja en sus dos frecuencias de vibración activas, dando lugar al proceso en el que el dióxido de carbono calienta la superficie y la atmósfera inferior y enfría la atmósfera superior dando lugar al calentamiento global. El modelo no presenta resultados sobre la emisión del CO₂, sin embargo, conociendo la composición del biogás, puede calcularse el volumen de dióxido de carbono generado por año:



Figura 7. Estimación de generación de CO₂ por la descomposición de Residuos Sólidos Urbanos en el municipio de El Alto gestiones: (2007-2017)

Fuente: Gato-Clavell, González-Díaz, Guillot, & Pires-Araújo (2015).

Generación de electricidad en un vertedero controlado

A partir de los datos generados anteriormente se plantea un modelo de propuesta para el aprovechamiento de residuos sólidos en un relleno sanitario.

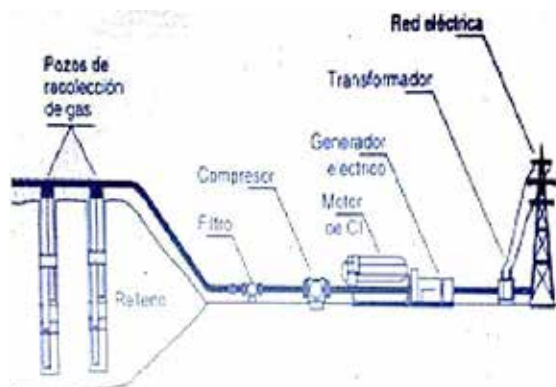


Figura 8. Esquema de generación de electricidad en un vertedero controlado.

Fuente: Gato-Clavell, González-Díaz, Guillot, & Pires-Araújo (2015).

Para este aprovechamiento es necesario disponer de pozos de captación, perforaciones realizadas mediante sondas de material calibrado, tubería perforada de polietileno y material impermeabilizante, para conseguir un radio de influencia máximo, de forma que se consiga captar la mayor cantidad de biogás, sin provocar la entrada de aire en el depósito

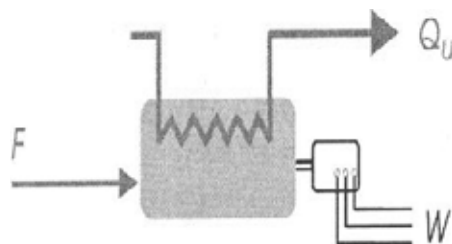


Figura 9: Motor de combustión interna (CI).

Fuente: Gato-Clavell, González-Díaz, Guillot, & Pires-Araújo (2015).

Donde:

F: flujo de biogás

Q_u : Energía térmica aprovechable

W: Energía eléctrica

Como se observa en la ilustración la energía consumida por el motor, combustible, aproximadamente el 30% se convierte en energía eléctrica, alrededor del 60% es energía térmica útil aprovechable y el resto es energía que se pierde en forma de radiación y gases de escape calientes.

Esta energía térmica se puede aprovechar en forma de recuperación de calor con una consideración especial en el diseño de una planta de producción de electricidad por biogás.

Discusión

Es necesario la realización de un análisis técnico económico-económico que permita evaluar si el costo del aprovechamiento del gas metano generado en el Relleno Sanitario de Villa Ingenio, es autosustentable, debido a la inversión que se necesita para la recuperación del mismo.

Por lo que es necesario llevar a cabo este proyecto contando con un equipo multidisciplinario que coadyuve a cumplir objetivos y proponga un proyecto aplicable para el beneficio del municipio siendo una respuesta para la problemática del relleno sanitario que se encuentra ubicado cerca de la expansión urbana del distrito 13.

Conclusiones

Del estudio desarrollado sobre la Potencialidad energética de los Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio de El Alto puede concluirse que:

El Municipio de El Alto presenta alta generación de residuos sólidos que son proporcionales al incremento de población en el Municipio y actualmente no se aplica ningún tipo de aprovechamiento de los mismos.

La generación energética a partir de residuos sólidos urbanos es directamente proporcional al incremento en la generación de residuos sólidos en el municipio.

El modelo aplicado para la estimación de la generación energética contribuye a la deducción de la generación de dióxido de carbono, identificando el grado del impacto negativo que genera la disposición final de residuos sólidos con la generación de gases de efecto invernadero.

Se plantea la implementación de Motores de combustión interna como propuesta para la generación térmica aprovechable y la energía eléctrica a partir de la captación de biogás, así reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan en el relleno sanitario de Villa Ingenio.

Parámetros para evaluar la generación de biogás y metano en el relleno sanitario.

Bibliografía

- Agencia de Noticias Fides (APG). (2020, 27 de julio).
*<https://www.paginasiete.bo/sociedad/2020/7/27/villa-ingenio-24-anos-de-gente-que-vive-entre-basura-conflictos-262543.html#!>
- Asturias, G. d. (2020, 28 de Noviembre).
*<https://www.cogersa.es/metaspaces/portal/14498/19174>
- Camargo, Y. &. (2009). Emisiones de Biogás producidas en Rellenos Sanitarios. En Y. &. Camargo, *Emisiones de Biogás producidas en Rellenos Sanitarios*. Barranquillas- Colombia: Universidad del Norte.
- Gobierno Autonomo Municipal de El Alto (GAMEA). (2017, 15 de Noviembre).
*<https://www.infosicoes.com/tratamiento-y-disposicion-final-de-residuos-solidos-localizacion-distrital-lct323595.html>
- Gato-Clavell, T., González-Díaz, Y., Guillot, R., & Pires-Araújo, L. (2015). Determinación del potencial energético de los Residuos Sólidos Urbanos en tres municipios de la provincia de Luanda, Angola. *Tecnología Química*, 35-44.
- Gestionopolis. (2020, 23 de Noviembre).
*<https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2021, 1 de Agosto).
*<https://siip.produccion.gob.bo/noticias/files/2021-e59dd-3Elalto.pdf>
- Ley de Gestión Integral de Residuos, 755 (2015, 28 de Octubre).
- Ministerio de Medio Ambiente y Aguas (MMAyA), (2011). Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia. En M. d. MMAyA, *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia*. La Paz.
- Urgentebo. (2019, 20 de Abril).
urgente.bo.
*<https://urgente.bo/noticia/el-botadero-villa-ingenio-est%C3%A1-casi-al-margen-de-la-ley>
- Varnero, M. T. (2011). Manual del Biogas. En M. T. Varnero, *Manual del Biogas*. Chile: F.A.O.

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN A ESCALA LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA

Efficiency's evaluation of an electrocoagulation cell at scale laboratory for water treatment

Gabriela Alba Huanca

Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Pública de El Alto – Bolivia.

E mail: gabrielaalbah@gmail.com

Resumen

La contaminación causada por el uso del agua en muchas de las actividades del ser humano nos lleva a la necesidad de utilizar nuevas tecnologías para remoción de contaminantes de las aguas residuales; una de ellas es la electrocoagulación. En este estudio se planteó construir un reactor de electrocoagulación para evaluar la eficiencia en la remoción de la DQO (demanda química de oxígeno), SS (Sólidos Suspendidos) de aguas residuales provenientes del matadero, así como determinar las mejores condiciones de pH, conductividad, intensidad de corriente y tiempo de tratamiento. En base a los resultados obtenidos al realizar el tratamiento del efluente con electrocoagulación, se determinó una eficiencia promedio del 89 % en la remoción de la DQO y una eficiencia promedio del 97.99% en la remoción de SS. Estos valores óptimos de operación se obtuvieron con una intensidad de corriente $I = 2$ amperios, con el pH natural del efluente de 7,53 y un tiempo de tratamiento de 30 minutos, con lo cual se cumple la normativa ambiental vigente en el país. Otro aspecto importante observado en este estudio fue la calidad del lodo producido en el tratamiento, de aspecto mucho más compacto que un lodo fisicoquímico o biológico.

Palabras clave: Demanda Química de Oxígeno, Efluente, electrodos y Sólidos Suspendidos.

Abstract

The pollution caused by the use of water in many human activities leads us to the need to use new technologies to remove contaminants from wastewater; one of them is electrocoagulation. In this study, it was proposed to build an electrocoagulation reactor to evaluate the efficiency in removing COD (chemical oxygen demand), SS (Suspended Solids) from wastewater from the slaughterhouse, as well as determine the best conditions of pH, conductivity, current intensity and treatment time. Based on the results obtained when treating the effluent with electrocoagulation, an average efficiency of 89% in the removal of COD and an average efficiency of 97.99% in the removal of SS was determined. These optimal operating values were obtained with a current intensity $I = 2$ amperes, with the natural pH of the effluent of 7.53 and a treatment time of 30 minutes, which complies with the environmental regulations in force in the country. Another important aspect observed in this study was the quality of the sludge produced in the treatment, which is much more compact in appearance than a physicochemical or biological sludge.

Keywords: Chemical Oxygen Demand, Effluent, electrodes and Suspended Solids.

Introducción

El manejo sustentable de los recursos naturales, en especial el manejo de los recursos hídricos, es considerado un eje fundamental, ante la crisis ambiental contemporánea, caracterizada por altos niveles de contaminación y degradación del ambiente, crisis de los recursos ambientales, energéticos y de alimentos, crisis civilizatoria y el cuestionamiento de la racionalidad económica y tecnológica dominante (Leff, 1994).

El tema de la contaminación ambiental, ha sido abordado por diferentes teóricos, como un área de la que se le debe prestar especial atención, (Tagliavini & Ignacio, 2011), sobre este aspecto comentan que forma parte de las preocupaciones de Marx y Engels, indican que Engels criticaba las condiciones pobres de salubridad que las personas padecían producto de la descarga de desechos domésticos e industriales como otra forma de contribuir al deterioro del ambiente, también denotaba las emisiones gaseosas contaminantes como el dióxido de carbono, en contraposición a estas críticas, en sus escritos, Marx toma con mayor claridad el tema, expresando que debe ser una condición inalienable el trato a la tierra de la manera más racional y consciente posible, como un patrimonio común y algo que puedan heredar las generaciones futuras.

En este sentido, el agua como elemento fundamental en la vida de todos los seres vivos, está directamente relacionada a la energía, tecnología y a la economía del planeta. De allí que el agua ha condicionado y condiciona la vida de los

pueblos. El agua de ríos y quebradas, entre otros, es un recurso cada vez más escaso debido a la contaminación a la que se enfrenta diariamente por las industrias aledañas, que no cumplen con las normas exigidas por la autoridad ambiental competente. (Sierra & Vivas, 2005).

Las principales fuentes de contaminación hídrica en las ciudades de Bolivia, son las aguas servidas, los efluentes industriales y los residuos sólidos que se acumulan en vertederos o de forma abierta en las periferias urbanas. Los mataderos se constituyen como uno de los sectores de la industria alimenticia que aportan mayor carga contaminante a los cuerpos de agua y en general al medio ambiente.

Realizar el tratamiento a las aguas residuales provenientes de mataderos, es una necesidad de higiene pública y de cumplimiento de la normativa medioambiental vigente en lo referido a descargas hídricas. La normativa de higiene en mataderos, obliga a que en este tipo de actividad se utilicen cantidades considerables de agua, por lo que en general se producen cantidades similares de efluentes.

Ante la necesidad de realizar el tratamiento de aguas residuales de industrias, es necesario investigar con nuevas tecnologías que permitan la conservación y recuperación del agua utilizada en los procesos industriales, ya sea para su reuso o para su descarga sin ocasionar daños al medio ambiente.

Una de estas tecnologías es la electrocoagulación, que es un proceso electroquímico donde se utiliza la corriente eléctrica para eliminar

contaminantes que se encuentran suspendidos, disueltos o emulsificados en un medio acuoso. La corriente eléctrica se hace pasar a través de electrodos generalmente de aluminio y fierro, los cuales pueden trabajar como ánodo o cátodo respectivamente, generando coagulantes por la disolución de iones en los electrodos.

En el ánodo es donde se generan los iones metálicos, el cual es conocido como electrodo de sacrificio, ya que la placa se disuelve progresivamente. En cambio, en el cátodo hay una liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso que permiten la flotación de las partículas coaguladas (Arango, 2005). Existen muchos factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación, entre los más importantes podemos indicar: pH, intensidad de corriente, conductividad y temperatura, de los cuales depende en mucha medida la eficiencia del tratamiento (Restrepo, Arango y Garcés, 2006).

Métodos

En este sentido, para el desarrollo de esta investigación, se hace necesario considerar diferentes momentos que permitan recabar, procesar y analizar la información que se presenta en este trabajo.

La celda de electrocoagulación se diseña y se construye con la finalidad de tratar el agua residual proveniente del matadero. Su diseño es fundamentado en investigaciones anteriores que se han realizado en el ámbito de la electrocoagulación, de allí, que se trabaja mediante la tecnología del sistema que

funciona como reactor tipo Batch, por ser un sistema de fácil operación y muy efectiva en el tratamiento de aguas residuales de diferentes características, además, los materiales para su construcción están al alcance en el mercado local, ver tabla 1.

Tabla 1. Materiales para la construcción de la celda de electrocoagulación.

Nombre		Material utilizado	Cantidad
Electrodo ánodo	de	Acero galvanizado	5
Electrodo cátodo	de	Aluminio	5
Reactor (Celda)		Vidrio	1
Pinzas cocodrilo	tipo	Metal	10
Barras dentadas		Plástico	2

Fuente: Elaboración propia (2024).

Para las pruebas de laboratorio se fabricó el reactor Batch, en material de vidrio transparente para una mejor visualización de las reacciones que se producen en el tratamiento, la forma de la celda es rectangular con una pequeña inclinación de 3% para facilitar la sedimentación y su descarga. Las dimensiones del reactor fueron 20 cm de largo, 16 cm de ancho y 20 cm de profundidad, entre otros aspectos cuenta con sus tres zonas como son: la zona de lodos, la zona de reacción y la zona de flotación con una capacidad de volumen de 4,5l de agua residual.

Además, esta cuenta con dos orificios de salida, una en la zona de reacción para recolectar la muestra una altura prudente que nos permita sacar el efluente tratado y realizar los análisis respectivos, y otra en la zona de lodos y un orificio de entrada para el efluente a tratar.

Para la construcción de los electrodos, se utilizó aluminio y acero galvanizado, como estaba previsto, ver ilustración 2. Se usaron 10 electrodos de 11 cm de alto y 16 cm de largo y 2 mm de espesor (5 de acero galvanizado y 5 de aluminio) ver ilustración 2. La celda se construyó con el criterio de fabricarla totalmente desarmable, para eso se utilizaron varios soportes de acrílico para los electrodos, de tal manera que se pudiera variar los espaciamientos entre las placas y realizar una mejor limpieza de la celda después de cada prueba como se aprecia en la Ilustración 3.



Ilustración 1. Celda de electrocoagulación.

Fuente: Elaboración propia (2024).

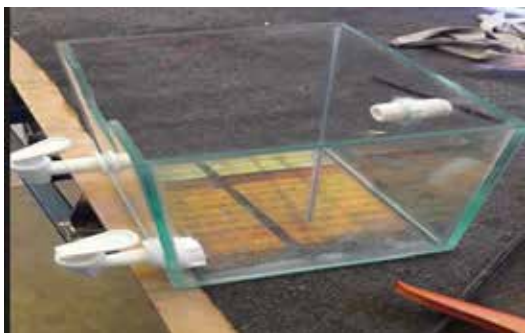


Ilustración 2. Electrodos de aluminio y acero galvanizado

Fuente: Elaboración propia (2024).



Ilustración 3. Barras dentadas.

Fuente: Elaboración propia (2024).

La fuente de poder utilizada para las pruebas definitivas nos permitió regular la cantidad de corriente suministrada a la celda para el proceso de electrocoagulación. Esta tenía una capacidad de suministrar hasta 3 amperios y un voltaje de 0 a 24 V.

En una primera etapa se realizaron pruebas preliminares con agua residual sintética preparada en laboratorio utilizando arcilla roja, yogurt, con una turbiedad de 700 NTU. Esto permitió obtener las mejores condiciones de operación, evaluar el espaciamiento entre las placas y la transferencia de corriente de la fuente de poder a la celda. Para las pruebas definitivas de laboratorio se utilizó agua residual del matadero, realizando los análisis de sus parámetros fisicoquímico y biológico.

El matadero genera aguas residuales que contienen carga orgánica, sólidos gruesos del proceso de evisceración y sangre del degollado del ganado. Esto se debe a sus diferentes procesos de faeneo, provocando altas concentraciones de DQO y sólidos suspendidos. Estos parámetros deben ser removidos para no superar la normativa ambiental vigente y no ocasionar problemas en el alcantarillado y en las plantas de

tratamiento convencionales que en la mayoría de los casos son de tipo pretamamiento, generando problemas en su operación y eficiencia. Entre los principales parámetros evaluados fue la DQO, con un valor inicial de 5700 mg/l, Solidos Suspendidos con un valor inicial de 2295 mg/l, donde se evidencia un alto grado de contaminación. Además se midieron los valores iniciales de pH y conductividad, los cuales se aprecian en la Tabla 2.

Luego de esto se procedió con la realización de las pruebas definitivas con el efluente del matadero, se trabajó con un diseño experimental de forma creciente, de allí que el orden en la aplicación de la intensidad de corriente es de 1 A, 1,5 A y 2 A respectivamente, con muestreos en tres tiempos de funcionamiento 5 min, 15 min y 30 min, analizándose distintos parámetros, tales como: DQO, Sólidos Suspendidos. Todo esto con la finalidad de determinar la eficiencia tanto de la técnica de electrocoagulación como de la celda. También se evaluó el porcentaje de remoción de los parámetros anteriormente mencionados. Esto se determinó midiendo antes y después de cada tratamiento, las muestras obtenidas después del tratamiento se llevaron a un laboratorio para su respectivo análisis.

Resultados

En la Tabla 2 se aprecian los valores de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual antes de ser tratada con la celda de electrocoagulación, observándose que los valores de pH y conductividad tienen

valores aceptables, ya que influyen en el proceso de electrocoagulación.

Tabla 2. Resultados del análisis físico-químico de agua residual matadero.

Nº	Parámetro analizado	Resultado	Unidades	Método
1	Temperatura	15,40°	°C	-----
2	Potencial de Hidrogeno	7,53	-----	Potenciometría
3	Conductividad	1.404	u.S	Conductancia
6	Sólidos Suspendidos	2.295	mg/L	Gravimetría
7	Demanda Química de Oxígeno	5.700	mg/L	Reflujo cerrado
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno	3.500	mg/L	Incubación de 5 días

Fuente: Elaboración propia (2024).

Parámetros Analizados

Temperatura (°C), la temperatura es una variable termodinámica del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía. La temperatura medida estuvo en el orden de 15,40°C, lo que indica que está por encima del valor límite establecido por el RASIM que es de aproximadamente +- 5°C.

Potencial de Hidrogeno (pH), el Potencial de Hidrogeno conocido como el pH del agua, es un término sumamente usado para determinar si el agua es ácida o básica. El pH óptimo de las aguas residuales según el RASIM debe estar entre 6 y 9, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, ya que al estar por debajo de ese rango son corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución.

En el lugar donde se tomó las muestras para esta prueba, "in situ", el resultado obtenido es de 7,53, es decir, está dentro

de los límites permisibles según el reglamento.

Conductividad, para la medición de la conductividad se tomó una parte de la muestra de agua en un envase, donde se introdujo la celda del conductímetro, de esta forma se obtuvo la lectura de 1.404 μ S.



Ilustración 4. Medición de pH y conductividad en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Demanda Química de Oxígeno (DQO), es una de las variables a tomar en cuenta a la hora de caracterizar la contaminación del agua por materia orgánica, pues indica la cantidad de oxígeno disuelto necesario para la degradación química de los contaminantes orgánicos contenidos.

En cuanto al resultado obtenidos para la DQO de la muestra analizada es de 5.700 mg/L, resultado sumamente superior al valor máximo permitido según el RASIM que está en el orden de 250 mg/L, lo que señala que existe una gran cantidad de oxígeno en el agua para la actividad microbiana.

Sólidos Suspendidos (SS) Según el RASIM el valor óptimo de esta variable está en torno a 60 mg/L y el resultado obtenido al analizar la muestra fue de 2.295 mg/L, valor muy superior al

permitido, de allí el color presente en el efluente.

Se trataron varias muestras de agua residual obtenida del afluente del matadero aplicándoles distintos niveles de corriente de 1 A, 1,5 A y 2 A, durante el tratamiento aplicado en la celda de electrocoagulación se tomaron muestras por tratamiento a los 5 min, 15 min y 30 min, es decir, las únicas variables modificadas fue la intensidad de corriente y el tiempo de operación.

En la tabla 3 se muestra los resultados obtenidos en laboratorio del agua tratada en la celda de electrocoagulación en cuanto a la remoción de sólidos Suspendidos en función de la variación de corriente y tiempo de tratamiento.

Una vez tabulado y graficados dichos resultados se obtiene la siguiente grafica que permite visualizar el comportamiento de la celda y técnica de tratamiento en cuanto al parámetro analizado, infiriéndose que se genera resultados excelentes en cuanto a este parámetro como sistema de tratamiento para este tipo de agua residual.

Tabla 3. Remoción de Sólidos Suspendidos (SS).

Variables			SS a 1 A	SS a 1,5 A
Tratamiento minutos	a	5	1.975	1.291
Tratamiento minutos	a	15	1.848	1.013
Tratamiento minutos	a	30	1.797	861

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 1. Remoción de Sólidos Suspendedos.

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la tabla 4 se muestra los resultados obtenidos en laboratorio del agua tratada en la celda de electrocoagulación en cuanto a la reducción de la Demanda Química de Oxígeno DQO en función de la variación de corriente y tiempo de tratamiento.

Tabla 4. Reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Variables	DQO a 1 A	DQO a 1,5 A	DQO a 2 A
Tratamiento a 5 minutos	7.327	7.072	6.901
Tratamiento a 15 minutos	4.345	4.089	3.408
Tratamiento a 30 minutos	1.789	1.363	937

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 2. Reducción de la Demanda Química de Oxígeno DQO.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Una vez tabulado y graficados dichos resultados se obtiene la siguiente grafica que permite visualizar el comportamiento

de la celda y técnica de tratamiento en cuanto al parámetro analizado, infiriéndose que se genera resultados óptimos como sistema de tratamiento para este tipo de agua residual, pues se logra reducir dichos valores en un gran porcentaje.

Discusión

En la tabla 3 y 4, se indican los resultados generales obtenidos de los dos parámetros evaluados del tratamiento realizado mediante el proceso de electrocoagulación, estos fueron analizados en el Laboratorio, todo ello con la finalidad de determinar la eficiencia del proceso seguido. En tal sentido las tablas muestran los valores resultantes que permiten inferir la eficiencia remoción de la carga contaminante según la Corriente Aplicada (I) a diferentes intensidades, el Tiempo de Exposición (t), de los Sólidos Suspendedos (SS), la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Se calcularon y tabularon mediante la correlación porcentual entre la concentración inicial y final de los parámetros evaluados dichos resultados en forma porcentual, de manera que permita ver a simple vista en qué medida una vez aplicado el tratamiento de electrocoagulación se reduce la carga contaminante según los parámetros estudiados (Ver tabla 5).

Tabla 5. Reducción % de la carga contaminante.

Código de muestra	Intensidad (A)	Tiempo (min)	% Reducción DQO	% Reducción en SS
M 2	1	5	14,00	22,00
M 3	1	15	49,00	49,01
M 4	1	30	79,00	80,96
M 5	1.5	5	17,00	27,01
M 6	1.5	15	52,01	59,99
M 7	1.5	30	84,00	85,98
C2-1	2	5	19,00	29,03
C2-2	2	15	60,00	66,00
C2-3	2	30	89,00	97,99

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la Tabla 5 se muestra el porcentaje de remoción de DQO para las diferentes combinaciones de tratamientos considerados en la metodología experimental, es decir con pruebas a diferentes intensidades de corriente. Se puede apreciar que el mejor rendimiento se obtuvo con una intensidad de corriente de 2 A, obteniéndose en promedio una eficiencia del 89 %. En las gráficas se observa que la eficiencia aumenta con el incremento de la intensidad de corriente.

Conclusiones

Se logró construir el prototipo basado en la electrocoagulación ya que en su esencia es similar a un proceso fisicoquímico de coagulación y floculación en el que es necesario añadir productos químicos, solo que en esta técnica el tratamiento de las aguas residuales se realiza aplicando corriente eléctrica directa de bajo voltaje.

Al analizar el agua tratada mediante la celda de electrocoagulación construida, se evidencia una reducción de parámetros como la DQO y Sólidos suspendidos, a mayor tiempo de tratamiento, es decir 30

minutos y corriente aplicada, en este caso 2 Amperios se obtienen mejores resultados.

La técnica de electrocoagulación muestra mejores resultados con la intensidad de corriente a 2A con un tiempo de tratamiento de 30min en todos los parámetros evaluados se muestra una remoción comprometedoras 89% en DQO, 97,99% en Sólidos Suspendidos.

Bibliografía

- Arango, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 49-56.
- Arango y Garces. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de una industria láctea. Colombia: <https://www.redalyc.org/pdf/215/21514706.pdf>.
- Leff, E. (1994). *Ecología y Capital. Racionalidad Ambiental, Democracia Participativa y Desarrollo Sustentable*. México: Siglo XXI Editores.
- Restrepo, Arango y Garcés. (2006). *La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas*. Colombia.
- Sierra, D., & Vivas, C. (2005). *Diseño e Implementación de una unidad piloto de tratamiento Biológico no convencional para los vertimientos generados en el matadero de Macanal (Corpochivor)*. Bogotá.
- Tagliavini & Ignacio. (2011). *Marxismo ecológico: elementos fundamentales para la crítica de la economía-política-ecológica*. Argentina: Biodiversidad LA.

GOBERNANZA HÍDRICA COMO ALTERNATIVA AL DÉFICIT DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SECO, MUNICIPIO DE EL ALTO

Water governance as an alternative to the water deficit in the río Seco basin,
municipality of El Alto

Marco Antonio Mendoza Marin

Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Pública de El Alto – Bolivia.

E mail: marcoantoniomendozamarin@hotmail.com

Resumen

La subcuenca del río Seco cubre una superficie aproximada de 77% del Municipio de El Alto y forma parte de la cuenca del río Katari.

La ciudad El Alto, tiene un crecimiento poblacional constante, lo cual, significa que la demanda de agua también se incrementa proporcionalmente. Por otro lado, la oferta de agua, tanto para consumo humano y para la producción, está decreciendo de manera constante.

Los principios de la gobernanza del agua son adaptables al sistema integral de las políticas de agua a nivel municipal de El Alto. La puesta en marcha de estos principios contribuirá a la mejora a la gestión de los recursos hídricos y posterior gobernanza hídrica bajo una incertidumbre de efectos del cambio climático.

El objetivo del presente artículo, es proponer un modelo de gobernanza del agua que interrelacione y armonice los factores biofísicos, socioeconómicos e institucionales en la subcuenca del río Seco, para mantener una oferta hídrica en cantidad y calidad que cubra la demanda del agua.

La gobernanza hídrica consta de cuatro dimensional. La dimensión social, es importante para contar con la activa participación de la sociedad en su conjunto. La dimensión económica, está basada en la eficiencia de la gestión de financiamiento, implementación de un sistema de información y monitoreo. La dimensión ambiental tiene que desarrollar e implementar un marco normativo de hídrico ambiental. La dimensión política, se enfoca en la efectividad que considera su coherencia, desarrollo de capacidades de actores públicos, privados y actores locales.

Palabras clave: Recursos hídricos, balance hídrico, escurrimiento, dimensión ambiental, dimensión social.

Abstract

The Seco River subbasin covers an approximate area of 77% of the Municipality of El Alto and is part of the Katari River basin.

The city of El Alto has a constant population growth, which means that the demand for water also increases proportionally. On the other hand, the supply of water, both for human consumption and production, is constantly decreasing.

The principles of water governance are adaptable to the comprehensive system of water policies at the municipal level of El Alto. The implementation of these principles will contribute to improving the management of water resources and subsequent water governance under uncertainty about the effects of climate change.

The objective of this article is to propose a water governance model that interrelates and harmonizes the biophysical, socioeconomic and institutional factors in the Seco River sub-basin, to maintain a water supply in quantity and quality that covers the demand for water.

Water governance consists of four dimensions. The social dimension is important to have the active participation of society as a whole. The economic dimension is based on the efficiency of financing management, implementation of an information and monitoring system. The environmental dimension has to develop and implement an environmental water regulatory framework. The political dimension focuses on effectiveness that considers its coherence, development of capacities of public, private and local actors.

Keywords: Water resources, water balance, runoff, environmental dimension, social dimension.

Introducción

El constante crecimiento poblacional de la ciudad de El Alto, ubicada en la subcuenca del río Seco y ésta forma parte de la cuenca del río Katari, hace que la demanda de agua se incremente al mismo ritmo. Otro de los rubros que demandan cantidades apreciables de agua es la industria y la construcción. Por otro lado, la oferta de agua, tanto para consumo humano y para la producción, está decreciendo de manera constante en cantidad y calidad, afectada por el cambio climático y la correspondiente variabilidad de la precipitación por efectos del cambio climático.

La guerra del agua en la ciudad de Cochabamba

Sin lugar a duda, uno de los hitos que marco la historia de Bolivia en relación al agua, fue la “Guerra del Agua” sucedido en la ciudad de Cochabamba entre enero y abril del 2000, caracterizada por protestas populares cuyo detonante fue la privatización del abastecimiento de agua

potable a nivel municipal. Este es el evento social en defensa del agua más importante y estudiado en los últimos años, tanto a nivel nacional como internacional.

La relación entre oferta y demanda del agua en cantidad y calidad, está originando un incremento de riesgo de conflictos sociales y ambientales, en el afán de cubrir los requerimientos del agua para consumo humano y productivo. Las poblaciones más vulnerables son las que tienen menor capacidad de respuesta a esta amenaza (sequía hidrológica, meteorológica y/o agrícola), como son los sectores más empobrecidos y con pocas fuentes de agua. Esta situación, es corroborada por (OECD - Organization for Economic Cooperation and Development, 2018), quien señala que los países pobres a menudo sufren más el problema de la gobernanza del agua, con frecuentes inundaciones y sequías. La disminución de la calidad de los cuerpos de agua se debe a diferentes factores como la disposición de aguas residuales

domésticas, industriales e institucionales no tratadas directamente al río Seco. De acuerdo a Molina (2017), el impacto de los residuos y pasivos ambientales mineros de la Mina Milluni en la calidad del agua, es un serio problema en la cuenca del río Seco y Katari. Así también, en el margen de las nacientes de este río se extrae turba, grava y arena, que generan contaminación.

El presente artículo científico responderá a la siguiente pregunta ¿De qué manera deben interrelacionarse y armonizarse los factores biofisicos, socioeconómicos e institucionales para conservar la cantidad y calidad hídrica que cubra su demanda en la subcuenca del río Seco?

La OCDE (2018), define la gobernanza del agua como el “abanico de reglas, prácticas y procesos (formales e informales) políticos, institucionales y administrativos a través de los cuales se toman e implementan decisiones, los actores pueden articular sus intereses y que sus inquietudes sean tomadas en consideración, y los tomadores de decisiones rinden cuentas por su gestión del agua”. Es decir, tiene que ver con el papel de las instituciones y las relaciones entre las organizaciones y los grupos sociales implicados en la toma de decisiones, tanto de forma transversal entre sectores y entre zonas urbanas y rurales, como de forma vertical desde el nivel local al nivel internacional.

El objetivo del artículo es proponer un modelo de gobernanza del agua que interrelacione y armonice los factores biofisicos, socioeconómicos e institucionales en la subcuenca del río Seco, para mantener una oferta hídrica en

cantidad y calidad que cubra la demanda del agua.

Métodos

Para el presente artículo, se utilizó el diseño de investigación transversal, que recolecta datos de un solo momento, en un tiempo único. Su propósito, es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado, como área geográfica se contempla a la cuenca del Lago Titicaca.



Figura 1. Ubicación de la subcuenca alta del Río Seco, Municipio de El Alto.

Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth (2024).

La subcuenca del río Seco cubre aproximadamente el 77% de la superficie del Municipio de El Alto, ubicado en el departamento de La Paz, tal como se muestra en la siguiente figura:

Resultados

En la siguiente figura, se detalla el balance hídrico anual de la subcuenca del río Seco:



Figura 2. Balance hídrico anual.

Fuente: MMAyA (2017).

Tabla 1. Balance Hídrico de la cuenca del río Seco.

Variable	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Precipitación (mm)	15,2	38,1	41,9	76,3	116,8	79,9	74,4	41,4	9,9	5,5	1,6	6,2
ETR (mm)	10,8	26,9	36,4	52,8	72,9	69,3	67,6	50,8	32,2	13,7	6,5	5,8
Escurrimiento (mm)	1,8	2,1	2,5	4,3	14,9	13,7	10,9	5,7	2,7	2	1,8	1,8

Fuente: MMAyA (2017).

Entre los meses de abril a julio la ETR (Evapotranspiración real), es mayor a la precipitación; sin embargo, la escurrentía es mayor entre los meses de enero a marzo, tal como se muestra en la tabla anterior.

El municipio de El Alto, está en un proceso de urbanización, por lo que, las necesidades de agua para consumo humano se incrementarán de manera gradual en función al crecimiento poblacional

Crisis del agua sucedida en la ciudad de El Alto

En junio del 2010, los pobladores de Milluni cortaron el suministro de agua potable de la laguna Milluni como protesta por la nominación de autoridades

municipales. Ellos protagonizaron literalmente un inédito “bloqueo de agua”, medida de protesta pocas veces vista en el planeta, pero que, en Milluni ya se tenía antecedentes con lo acaecido en el año 2005 (El Diario, 24-6-2010, mencionado por (Perales Miranda, 2018). Asimismo, en diciembre del 2012, cerca de 40 barrios de El Alto sufrieron simultáneamente cortes de agua; al parecer se trató de desperfectos operativos y técnicos, derivadas del raudo crecimiento urbano en esa ciudad (Rivas, 2012).

Las crisis de agua se generan por diferentes factores, desde los técnicos, sociales, económicos, políticos y ambientales, en algunos casos se dan por la acción de un solo factor o la combinación de ellos. De acuerdo a

Moncada Mau (2015), la gobernanza del agua se funda en cuatro pilares fundamentales:

1. La dimensión social, que se centra en la equidad al acceso y uso de los recursos hídricos. Esto incluye cuestiones como la distribución equitativa de los recursos y servicios de agua entre los diversos grupos
4. La dimensión ambiental, que hace hincapié en el uso sostenible del agua y los servicios de los ecosistemas relacionados.

En función a las anteriores dimensiones y a los principios de la gobernanza hídrica

sociales y económicos y sus efectos en la sociedad.

2. La dimensión económica, que pone de relieve la eficiencia en la asignación y uso del agua.
3. La dimensión política, que se centra en la prestación de los interesados, con la igualdad de derechos y oportunidades, para participar en los diversos procesos de toma de decisiones.

de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OCDE, (Zarza, s.f.), se proponen los siguientes principios de la gobernanza hídrica en la subcuenca del río Seco, Municipio de El Alto:

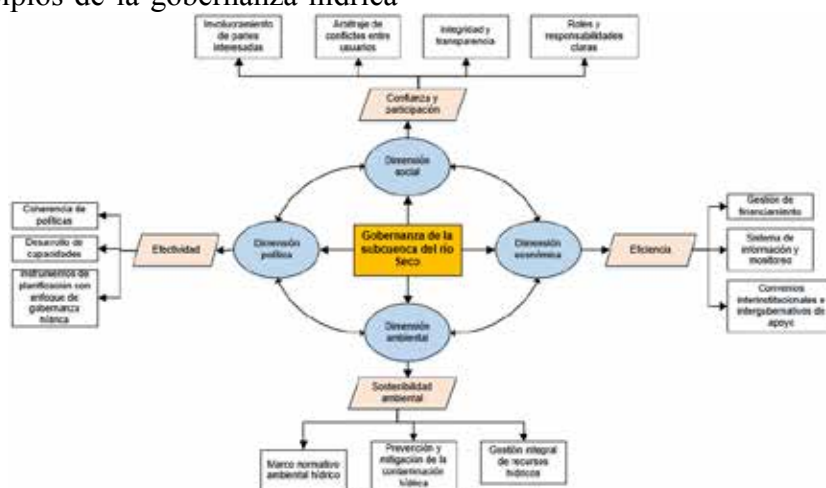


Figura 3. Principios de la Gobernanza Hídrica en la Subcuenca del Río Seco.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Los principios de la gobernanza del agua son adaptables al sistema integral de las políticas de agua a nivel municipal de El Alto. La puesta en marcha de estos principios contribuirá a la mejora a la gestión de los recursos hídricos y posterior gobernanza hídrica, cuya meta es contribuir a la implementación de políticas públicas tangibles y orientadas a la obtención de resultados para garantizar

el acceso al agua bajo una incertidumbre de efectos del cambio climático.

Los Principios de la Gobernanza del Agua son aplicables al ciclo general de políticas de agua. Se espera que contribuyan a la mejora del manejo y gestión de los recursos hídricos y su intención es contribuir a la creación de políticas públicas tangibles y orientadas a

la obtención de resultados, en base a tres dimensiones: efectividad, eficiencia y confianza y participación.

Discusión

Para efectivizar la dimensión social, es importante contar con la activa participación de la sociedad en su conjunto, con el involucramiento de las partes interesadas, gestión transparente bajo condiciones de arbitraje de conflictos entre usuarios.

La dimensión económica, está basada en la eficiencia de la gestión de financiamiento, implementación de un sistema de información y monitoreo y todas estas acciones respaldadas a través de convenios interinstitucionales.

La dimensión ambiental tiene un enfoque sostenible, que debe actualizar e implementar un marco normativo de hídrico ambiental, para consolidar la gestión integral de recursos hídricos y prevenir y mitigar la contaminación de los recursos hídricos.

La dimensión política, se enfoca en la efectividad que considera su coherencia, desarrollo de capacidades de actores públicos, privados y actores locales. Para su implementación, también, es importante contar con la incorporación de acciones para el logro de la gobernanza hídrica en los instrumentos públicos de planificación,

Conclusiones

El desarrollo e implementación de la gobernanza en la subcuenca del río Seco, es fundamental para hacer frente a los

desafíos por conflictos y acceso al agua en base a una voluntad política pública efectiva en torno al agua.

Para cumplir con las metas de la gobernanza hídrica, es importante contar con políticas claras, consistentes y coherentes, con una amplia participación de los diferentes niveles de gobierno, respaldados con normativas hídrico-ambientales bien diseñadas y con capacidad de las instituciones desarrolladas.

Para consolidar la gobernanza hídrica se requieren de instituciones públicas y privadas sólidas y ágiles que puedan adaptarse a las nuevas condiciones que produce el cambio climático.

Bibliografía

- Briscoe, J. (2009). Water security: why it matters and what to do about it. *Innovations*, 4 (3), 3 - 28. doi:10.1162/itgg.2009.4.3.3
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua - MMAyA. (2017). *Balance hídrico de la cuenca del río Katari*. La Paz.
- Molina, C. (2017). Contaminación de la Bahía de Cohana, Lago Titicaca (Bolivia): Desafíos y oportunidades para promover su recuperación. *Ecología en Bolivia*, 52(2), 65 -76. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v52n2/v52n2_a02.pdf
- Moncada Mau, E. (2015). La gobernanza del agua. *Agua y mas*, 16-19. Obtenido de <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/2334/>

ANA0001084.pdf?sequence=1&isAllowed=y

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development. (2018). *Implementación de los principios de la OCDE sobre gobernanza del agua*. Obtenido de

<https://www.sanitationandwaterforall.org/es/tools-portal/tool/evolving-water-governance-practices>

Perales Miranda, V. H. (2018). La crisis del agua en La Paz: Cambios y racionamiento de agua. *Temas Sociales*(43). Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0040-29152018000200005

Rivas, M. (3 de Diciembre de 2012). Otros nueve barrios también sufren cortes de agua potable. *La Razón*. Obtenido de http://www.la-razon.com/ciudades/barrios-sufren-cortes-agua-potable_0_1735026496.html

Zarza, L. F. (s.f.). *¿Que es la gobernanza del agua?* (O. p. (OCDE), Editor) Recuperado el 9 de Septiembre de 2024, de iagua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-gobernanza-agua>

RESILIENCIA DE LA VICUÑA (*Vicugna mensalis*) FRENTE A CAMBIOS CLIMÁTICOS

Resilience of the vicuña (*Vicugna mensalis*) facing climate changes

Magín Herrera López

Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Pública de El Alto – Bolivia.

E mail: magín1magín@gmail.com

Resumen

La investigación técnica especializada y organizada en trabajo de campo, dio resultado al presente producto que demuestra la alta vulnerabilidad al que está expuesto la especie vicuña que es una especie de camélidos sudamericanos en estado silvestre con hábitat en distintos ecosistemas del altiplano boliviano; en cuyos ecosistemas, la cobertura vegetal alimentario tiene muchas limitaciones climatológicas. El altiplano no es la excepción del crecimiento demográfico con intensas actividades agro productivas que invaden espacios del hábitat de la vida silvestre. La vicuña para su sobrevivencia ha localizado ecosistemas en las alturas o montañas donde las familias campesinas no podrían afectar esos espacios por sus adversidades climáticas y condiciones desérticas de suelos que limita emprendimientos de actividades agrícolas o ganaderas. A pesar de estas múltiples limitaciones, la población de vicuñas tiende a incrementarse en 58% en la última década y aporta en la generación de ingresos económicos adicionales a través de la comercialización de la fibra de vicuña que beneficia a muchas familias que se constituyen en guardianes de la conservación de la vida silvestre y otras familias implementan actividades turísticas.

Palabras clave

Adversidades climáticas, biodiversidad, bofedales, ecosistema, fauna silvestre, vicuña.

Abstract

The specialized and organized technical intervention in field work resulted in the present product that explains and demonstrates the high vulnerability of the vicuña species, which is a species of South American camelids in the wild with habitat in different ecosystems of the highlands, whose Plant cover as a food source for herbivores has many limitations and adversities. The highlands are not the exception to demographic growth with intense agro-productive activities in new territorial spaces invading wildlife habitat. For its survival, the vicuña has located higher ecosystems where peasant families could not affect those spaces due to their climatic adversities and desert-like condition of soils for undertaking agricultural or livestock activities. Despite these multiple limitations, the vicuña population tends to increase and contribute to the generation of additional economic income for many families who become guardians of wildlife conservation and another familys implemented tourism activites.

Keywords

Climatic adversities, biodiversity, wetlands, ecosystem, wildlife, vicuña

Introducción

El Estado Plurinacional de Bolivia, implementa políticas de medio ambiente a través de programas y normativa reflejadas en la Agenda Patriótica del Bicentenario 2025 que tiene base en 13 pilares para la atención y respuesta a diversos sectores sociales del País; de las que 2 pilares (el pilar 7 y el 9) señala respectivamente *“Soberanía sobre nuestros recursos naturales con nacionalización, industrialización y comercialización en armonía y equilibrio con la Madre Tierra”* y *“Soberanía ambiental con desarrollo integral, respetando los derechos de la Madre Tierra”* (Ley N° 650, 2015)

En los últimos años las adversidades climatológicas especialmente en el territorio nacional, han tenido impactos muy negativos en la actividad agro productiva y en la biodiversidad que comprende flora y fauna silvestre especialmente en el altiplano boliviano donde se encuentra el hábitat natural de la vicuña (*vicugna mensalis* y *vicugna vicugna*) siendo una de las especies de camélidos sudamericanos en estado silvestre.

El comportamiento anormal de la agro climatología caracterizada por presencia del fenómeno de El Niño, ha ocasionado distribuciones anormales de precipitaciones pluviales; prolongados periodos de sequía, escases de agua y alimentos para todos los sistemas de vidas, especialmente para la fauna silvestre de la especie vicuña. En este contexto el Programa Nacional para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vicuña consolida un

estudio de diagnóstico de la afectación del hábitat de la vicuña por efectos del cambio climático y análisis de otros factores que inciden en la migración y conservación de la especie silvestre. El autor del presente trabajo de investigación, está ligado a estudios y trabajos en el sector camélidos hace más de dos décadas, la cual ha permitido el presente producto.

Métodos

El estudio se ha efectuado en zonas de hábitat de la vicuña situadas en alturas o puna del altiplano que comprende entre 3.600 a 5.000 msnm en los departamentos de La paz, Oruro, Potosí, Cochabamba y Tarija; cuyos territorios aun cuentan con espacios para el poblamiento natural de la vicuña a pesar que la misma humanidad ha invadido los espacios naturales del hábitat de diversas especies de la fauna silvestre.

El censo de población de vicuña realizada en 2009, ha establecido un total de 112.249 unidades animales de vicuña en todas sus clase animal (MMAyA, 2010) habitadas en 69 municipios del territorio nacional. Luego de este trabajo técnico tan importante, no se había realizado otro censo para determinar la población de vicuñas hasta el año 2023.

El estudio para determinar los efectos del cambio climático en la disponibilidad de alimentos, agua y estado de convivencia de la vicuña con otras especies silvestres y domesticas; ha requerido efectuar visitas a las propias regiones altiplánicas del hábitat de la vicuña, donde se efectuaron

descripciones y valiosos hallazgos de información y datos para proceder a su análisis y estudio correspondiente. Se ha efectuado intensas coordinaciones con comunidades campesinas que están organizadas en 98 Comunidades Manejadoras de Vicuña (CMV) de las cuales se aplicó entrevistas y diagnósticos a 24 CMV que representa el 25% con alcance a 69 municipios del País.

Resultados

Población y hábitat

En el marco de la política nacional de medio ambiente; corresponde la promoción de la conservación de la biodiversidad biológica garantizando el mantenimiento y la permanencia de los diversos ecosistemas (Ley N° 1333, 1992). El órgano rector siendo el Ministerio de Medio Ambiente y Agua teniendo a su responsabilidad la

implementación y cumplimiento para la protección de la vida silvestre a través de la implementación de programas y proyectos de conservación de las especies silvestres.

Consecuencia de las fuertes adversidades climatológicas que pone en riesgo la vida silvestre, en 2023 se organizó un esfuerzo conjunto entre el Programa Nacional para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vicuña dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, más la Asociación Nacional de Manejadoras de Vicuña (ANMV) más la Asociación de Comunidades para la Comercialización de la Fibra de Vicuña de Bolivia (ACOFIV-B) que se constituye en la organización matriz de las CMV, para llevar adelante un diagnóstico sobre la afectación del hábitat y ecosistemas de la vicuña por adversidades climatológicas; a su vez se implementó un nuevo censo del cual se tiene el siguiente resultado.

Tabla 1. Composición de clase animal en rebaños de vicuña.

Departamento	Municipio	Machos	Hembras	Crías	Machos en tropilla	Solitarios	No diferenciados	Total
La Paz	25	5678	30550	7612	18070	523	1530	63955
Oruro	25	3175	15554	5759	17787	490	7110	49877
Potosí	14	5445	20771	8137	35055	976	6086	76470
Tarija	4	167	568	282	278	33	1059	2389
Cochabamba	1	159	747	106	420	26	42	1500
Total	69	14624	68190	21896	71610	2048	15827	194191
Porcentaje		7,5%	35,1%	11,3%	36,9%	1,1%	8,2%	100,0%

Fuente: Elaboración propia (2024).

El año 2023, se registra un total de 194.191 vicuñas respecto a 112.249 unidades vicuña registrada el 2009 la cual significa crecimiento poblacional del 58%; de la misma manera las comunidades campesinas de manejadoras de vicuñas, son cada vez más numerosos con el propósito de efectuar la cosecha y aprovechamiento de fibra de vicuña que es comercializado a buenos

precios por su alta calidad y muy útil en la industria de la textilería de alta gama.

Disponibilidad de alimentos

La capacidad de sostenimiento o soportabilidad forrajera de una pradera natural de pastoreo (pastizal o bofedal) es

refugiar con fines de oferta alimentaria a un número determinado de unidades animales en una dicha superficie o ecosistema. En zonas de hábitat de En sitios con bofedales nativos, se ha determinado una producción promedio de 1.768,22 kg de forraje en materia seca por hectárea al año. Considerando que el consumo diario de las vicuñas oscila entre 2,6 % a 2,8% respecto a su propio peso vivo; por lo que la capacidad de carga animal en praderas nativas bofedales es de 4.61 unidades de vicuñas por hectárea al año (UVI/ha/año).

En puna seca montano, también llamada zona secano, la producción de forrajes o pastizales en promedio es de 66,10 kg de forraje en materia seca por hectárea al año; cuya oferta o capacidad de carga animal es de 0,17 unidades de vicuña por hectárea por año.

En puna seca o altiplano central, en promedio produce 296.97 kg de forraje en materia seca por hectárea al año; la capacidad de carga animal es 0,77 unidades de vicuña por hectárea al año.

En puna desértica, árida o altiplano sur, en promedio produce 41.62 kg de forraje en materia seca por hectárea por año; la capacidad de carga animal promedio calculada es de 0,11 unidades vicuña por hectárea por año.

La composición forrajera varía entre una y otra eco región, tanto en su composición, densidad; variabilidad de especies vegetales; la misma tendrá efectos en la palatabilidad del herbívoro debido al valor nutricional y ciclos fenológicos agrostológicos que determinan la carga animal o hábitat de la propia vicuña en un ecosistema. A pesar de estas adversidades estudiadas, la vicuña aún no han emigrado

vicuña, la producción de forrajes se caracteriza por bofedales; puna seca; puna desértica y otros ecosistemas.

definitivamente de su sitio original; así mismo es importante destacar que la disponibilidad de las pasturas o forrajes de la temporada, incide definitivamente en la salud de las vicuña, en el performance, en el crecimiento de la fibra (lana) de vicuña que es lo más esperado para las comunidades campesinas dedicadas al manejo sostenible de la vicuña; así mismo la disponibilidad de las pasturas inciden en el sistema del repoblamiento de dicha especie herbívora del altiplano.

Disponibilidad de agua

En las zonas de estudio, la disponibilidad de agua en abrevaderos para la fauna silvestre está supeditada a la frecuencia de precipitaciones pluviales que se presentan entre enero a abril del año. Los meses de mayo a diciembre generalmente es periodo sin lluvias, salvo algunas regiones montañosas de las cordilleras Real y Occidental.

La zona altiplánica de hábitat de las vicuñas se caracterizan también por la recubierta de vegetación predominada por especies de gramíneas, pastizales, arbustos que vegetan en suelos de poca fertilidad agrícola; con precipitación pluvial que oscila entre 250 mm/m² hasta 350 mm/m² por año. Estos datos se constituyen en un indicador referencial que la recarga hídrica es bastante leve debido a la poca precipitación pluvial y su distribución de lluvias no es homogénea en todo los ecosistemas del altiplano.

Las recargas hídricas que desembocan desde los glaciares o deshielo de nevados, dan origen a la formación de humedales y

bofedales que constituyen fuente primordial de suministro de agua y fuentes alimentarios para la fauna silvestre. Por tal razón en estos ecosistemas es mayor la concentración de unidades animales.

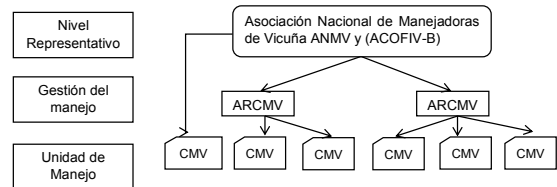
Las zonas más bajas de la cordillera, son tierras mucho más agro productivas, pero no constituye hábitat, ni fuente de alimentación, ni fuente de agua para la vicuña; en razón que estas zonas están pobladas por familias campesinas con frecuentes actividades agrícolas y ganadería doméstica que aísla a toda vida silvestre.

Comunidades manejadoras de vicuña

Las Comunidades Manejadoras de Vicuña CMV, es una organización legalmente constituida y están asociadas a asociaciones regionales y éstas a una organización matriz de nivel nacional que en la asociación nacional de manejadoras de vicuña (ANMV) y junto a la Asociación Accidental de Comercialización de Fibra de Vicuña Bolivia (ACOFIV-B) se constituyen en organizaciones de

campesinos indígena originaria protectores del cuidado de la vicuña y de la vida silvestre y se activan para la gestión operativa y comercialización legal de la fibra de vicuña.

Figura 1. Organigrama de comunidades manejadoras de vicuña



Fuente: Elaboración propia (2024).

Las CMV fueron dotándose de capacitaciones y destrezas técnicas para implementar y desarrollar el manejo y aprovechamiento sostenible de la vicuña a partir de la captura de vicuñas para la cosecha de la fibra, luego la vicuña es nuevamente liberada a su ecosistema con la supervisión permanente de las autoridades competentes nacionales y proseguirá la convivencia armónica entre las personas de las comunidades en la vida silvestre.

Tabla 2. Rol de actores en la conservación de la vicuña.

Involucrados	Interés	Rol que desempeña
➤ ANMV: Asociación Nacional de Manejadoras de Vicuña.	➤ Obtener beneficios económicos para sus afiliados.	➤ Dirección y Coordinación general y nacional.
➤ ACOFIV-B: Asociación Accidental de Comercialización de Fibra de Vicuña Bolivia	➤ Gestión para la comercialización de fibra cosechada de vicuñas.	➤ Coordinación con CMV y entidades y autoridades nacionales
➤ ARCMV: Asociación Regional de Comunidades Manejadoras de Vicuña	➤ Manejo y organiza campañas y técnicas de captura de vicuña.	➤ Operadores principales del manejo de vicuñas
➤ CMV: Comunidades Manejadoras de Vicuña.	➤ Campañas de captura para cosecha de fibra vicuña.	➤ Operadores del manejo y captura para esquila.
➤ Gobierno Autónomo Municipal, mas Gobierno Departamental	➤ Poco visibilizado	➤ Coordinaciones eventuales.
➤ Dirección General de Biodiversidad y Áreas Protegidas.	➤ Implementación de la política nacional, para la conservación de la fauna silvestre.	➤ Coordinación con sistema ANMV – ACOFIV-B

Fuente: Elaboración propia (2024).

El comportamiento de las comunidades manejadoras de vicuña, están reguladas por normativas actualizadas que emite el Ministerio de Medio Ambiente en su calidad de órgano Rector de la conservación de la biodiversidad.

Discusión

El estudio refleja que el hábitat de la vicuña está localizada en zonas inhóspitas del altiplano, donde la disponibilidad alimentaria es definitivamente muy escasa por tal razón

son territorios inhabitables para las familias campesinas. En estos ecosistemas, los principales factores que influyen a la emigración temporal incluso a la migración definitiva de la fauna silvestre en especial de la vicuña, son las altas adversidades climatológicas que se caracterizan por la sequía; escasa disponibilidad de agua y alimento. Así mismo la invasión humana a través de la proliferación de la ganadería doméstica en espacios del hábitat de la vicuña, es otro factor que influye en la emigración que pone en riesgo a la biodiversidad.

Tabla 3. Imponderables en la migración de vicuñas.

Escala de riesgo	Disponibilidad de agua	Disponibilidad de forraje	Invasión de otras especies domesticas	Actividades antrópicas	Crecimiento demográfico	Depredación por felinos	Depredación por perros asilvestrados
Muy alto	70,8						
Alto	29,2	58,3		41,7		29,2	29,2
Medio		29,2	70,8	58,3	58,3		
Bajo		12,5	29,2		41,7	70,8	70,8
Total	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia (2024).

El crecimiento demográfico humano es un factor que impulsa muchas actividades antrópicas adversas al hábitat de la vicuña; por la implementación de proyectos de ampliación de fronteras agrícolas; construcción de cercos para ganadería domestica; construcción de carreteras; actividades mineras con múltiples tecnologías; caza furtiva, desatención del Estado sin gestión de proyectos y otros factores.

A pesar de las limitaciones en la disponibilidad de forrajes para la alimentación de la vicuña, y escasa disponibilidad del agua para abrevaderos de la vicuña; éste animal de la fauna silvestre es capaz de sobre vivir en condiciones totalmente adversas para otras especies domésticas y silvestres.

Las zonas de estudio, están situadas en algunas áreas protegidas de carácter nacional, sin embargo la creciente población de vicuñas, requiere de la protección y cuidado para su sobrevivencia; carece de número adecuado de guarda faunas en áreas protegidas o se nota severa ausencia de programas de protección a la fauna silvestre. Únicamente las personas capacitadas de las CMV coadyuvan en calidad de guardianes a cambio de aprovechamiento y cosecha de la fibra de vicuña, que es un ingreso adicional para las familias campesinas organizadas.

Conclusiones

El presente trabajo identifica que el comportamiento climatológico es cada

vez más adverso y pone en riesgo el hábitat de la vicuña y la de otros sistemas de la biodiversidad. A pesar de las innumerables adversidades y limitaciones climatológicas y antrópicas, la vicuña muestra un incremento y repoblamiento muy significativo.

La vicuña es un herbívoro altamente dotado de cualidades resilientes para hacer frente a adversidades climáticas y está plenamente adaptado para consolidar su hábitat en ecosistemas donde otros herbívoros no podrían sobrevivir en zonas desérticas del altiplano con baja calidad de alimentos forrajero disponibles; por lo que corresponde implementar proyectos reales de manejo y conservación de la vida silvestre y la biodiversidad, considerando al ecoturismo como una de las alternativas. La vicuña es un potencial material en vivo para fomentar las actividades turísticas de toda índole.

Bibliografía

- Ley N° 1333. (1992). Ley de Medio Ambiente. La Paz: Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia.
- Ley N° 650, A. (2015). Agenda Patriótica del Bicentenario 2025. La Paz: Gaceta Oficial de Bolivia.
- MMAyA. (2010). Estado Poblacional de la Vicuña en Bolivia - 2009. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Viceministerio de Medio Ambiente Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal. La Paz, Bolivia, 80pp. La Paz: SIRENA SRL.

VALORACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN Y SERVICIOS AMBIENTALES DE DOS TIPOS DE BOFEDALES EN LA CUENCA DEL JACH'A MAURI (BOLIVIA)

Assessment of the state of conservation and environmental services of two types of wetlands in the Jach'a Mauri basin (Bolivia)

Sergio Pérez Limachi

Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Pública de El Alto – Bolivia.

E-mail: pereznpt@gmail.com

Edgar Rodrigo Morales Mamani

Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Pública de El Alto – Bolivia.

E-mail: 5477364erm@gmail.com

Resumen

Los bofedales altoandinos son ecosistemas que contribuyen en los servicios ambientales en las cuencas. Evaluamos dos tipos de bofedales: hidromórfico - natural y mesico - artificial, en la parte alta de la cuenca Jach'a Mauri, mediante la metodología del Índice de Integridad Biológica para valorar el estado de conservación y servicios ambientales de dichos ecosistemas, evaluando los atributos ecológicos: agua, suelo, biota y alteración del paisaje. El estudio se realizó en periodo seco en un rango altitudinal de 3.900 a 4.250 metros sobre el mar, encontrándose valores de napa freática < 60 cm, pH ácido y alcalino, CE menor a < 602 $\mu\text{S}/\text{cm}$; suelo, profundidad de turba < 81 cm, MO < 63%, Da < 0,4 g/cm^3 , signos de erosión laminar; biota, riqueza de 11 especies y diversidad de 780 apariciones, agrupados en 8 familias Cyperaceae, Rosaceae, Gentianaceae, Compositae, Asteraceae, Campanulaceae y Juncaceae. La CA varía de 25 a 100%, biomasa de 2.453,33 a 18.906,67 kg MS/ha; paisaje con alteración hidrológica y ganadería; cuyo estado de conservación de bueno y regular. Los servicios ambientales son la regulación hídrica en la cuenca, retención y remoción de sedimentos, retención de nutrientes disueltos, producción de biomasa, regulación del microclima y almacenamiento de carbono.

Palabras claves: atributos ecológicos, bofedales, ecosistemas, cuenca, servicios ambientales.

Abstract

The high Andean wetlands are ecosystems that contribute to environmental services in the basins. We evaluated two types of wetlands: hydromorphic - natural and mesic - artificial, in the upper part of the Jach'a Mauri basin, using the Biological Integrity Index methodology to assess the state of conservation and environmental services of said ecosystems, evaluating the attributes ecological: water, soil, biota and landscape alteration. The study was carried out in the dry period in an altitudinal range of 3,900 to 4,250 meters above the sea, finding values of water table < 60 cm, acidic and alkaline pH, EC less than < 602 $\mu\text{S}/\text{cm}$; soil, peat depth < 81 cm, MO < 63%, Da < 0.4 g/cm^3 , signs of sheet erosion; biota, richness of 11 species and diversity of 780 occurrences, grouped in 8 families Cyperaceae, Rosaceae, Gentianaceae, Compositae, Asteraceae, Campanulaceae and Juncaceae. The AC varies from 25 to 100%, biomass from 2,453.33 to 18,906.67 kg MS/ha; landscape with hydrological alteration and livestock; whose state of conservation is good and fair. Environmental services are water regulation in the basin,

sediment retention and removal, dissolved nutrient retention, biomass production, microclimate regulation and carbon storage.

Keywords: ecological attributes, wetlands, ecosystems, basin, environmental services

Introducción

El Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales de Ramsar, clasifica a los bofedales como humedales continentales, que incluye turberas arbustivas o abiertas, turberas de gramíneas o carrizo y turberas bajas (Ramsar 2006). El término bodedal se usa para describir varios tipos de unidades vegetales de humedal, donde caracteriza la humedad edáfica que pueden ser estacionales o permanentes, naturales o artificiales, suelo orgánico o turba y color verdosos (Maldonado 2014). Son esenciales para la supervivencia humana y brindan numerosos servicios más productivos con innumerables beneficios (Ramsar 2018). Claves en la dinámica del ciclo del carbono a nivel global, son sumideros de carbono, aunque con altas tasas de emisión de metano (CH_4) y un alto potencial de secuestro de CO_2 mediante las turberas, deposición de sedimentos y la producción de biomasa de las plantas (Sequeiros & Cazorla 2020).

En la Cordillera de Los Andes, los bofedales se encuentran en países como Perú, Bolivia y Chile (Meneses 2012, Hoffmann et al. 2014, Baldoceda et al. 2021), con plantas hidrófilas en arroyos y manantiales, húmedos durante casi todo el año, razón por que la regulación hídrica es uno de los servicios más importantes (Cervantes et al. 2021). Son un recurso crucial para los habitantes de estas regiones, pues son proveedoras de agua, forraje para el ganado, almacenamiento de carbono y concentran

alta biodiversidad en comparación a ecosistemas de alrededores (Hoffman et al. 2014); por tanto, son esenciales para la adaptación de las comunidades humanas al cambio climático y muy sensibles a este fenómeno (Sequeiros & Cazorla 2020). Pese a ser entidades únicas, también son extremadamente frágiles por su dependencia del agua, sensibles a los cambios climáticos y vulnerables a la alteración humana tal como la actividad minera (Squeo 2006). Están amenazados por el calentamiento global, la ganadería, cambios en la provisión y cantidad de agua, cosecha de turba, cambios en la calidad de agua, quemas y residuos sólidos (Loza et al. 2015), pero también expuesto a las acciones humanas que aceleran los procesos naturales y se han destruido los componentes y atributos de los ecosistemas, llegando a afectar su capacidad de respuesta ante las perturbaciones (Caro 2014).

La cuenca del Jach'a Mauri, forma parte del Altiplano Central de Bolivia y es compartida por Bolivia, Perú y Chile. Situada sobre los 3.600 msnm, de clima extremo y seguirán en aumento, debido a la variación e imprevisibilidad climática (Molina et al. 2012, Alvizuri & Pacheco 2015). El artículo evalúa el estado de conservación y servicios ambientales de dos tipos de bofedales, mediante el Índice de Integridad Biológica (IBI) para medir la capacidad de un ambiente de soportar y mantener una capacidad adaptativa, balanceada e integrada de organismos que tiene una composición específica,

diversidad y organización funcional comparable con la de un hábitat natural de la misma región geográfica (Ramírez et al. 2012), analizar la actividad humana y atributos biológicos de un sitio (Bolívar et al. 2017), y valorar los servicios ambientales, la resiliencia y resistencia del ecosistema a las adversidades.

Métodos

El estudio se realizó en la cuenca Jach'a Mauri - Bolivia, municipio de Santiago de Machaca, bofedales de las comunidades de Llallagua, Hichucata y San Juan de Rosa Pata, ubicados en la parte alta y media, sobre un rango altitudinal de 3.900 a 4.250 msnm. Evaluamos dos tipos de bofedales: el de Llallagua del tipo natural o hidromórfico y dos bofedales, en las comunidades de Hichucata y San Juan de Rosa Pata, del tipo artificial o méxico.

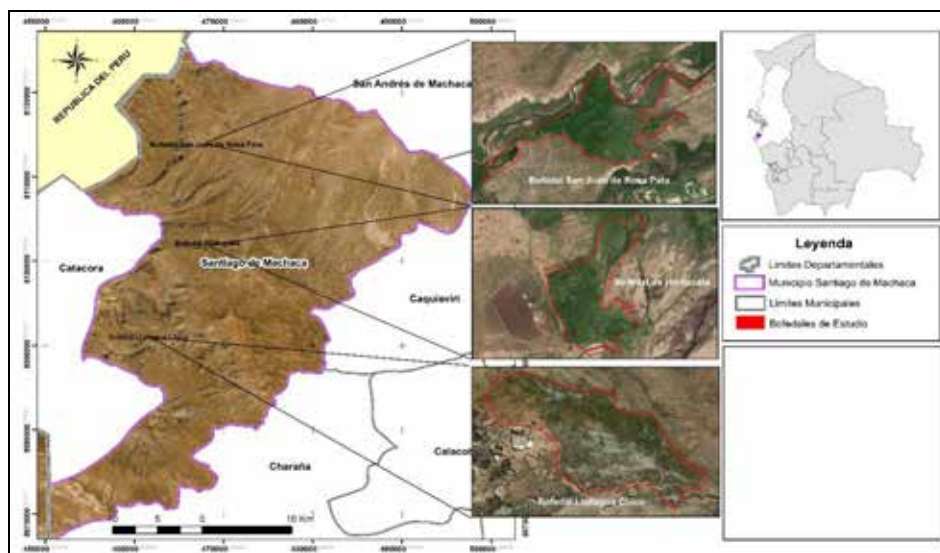


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio en el municipio de Santiago de Machaca.

Fuente: Elaborado en base a imagen Google Earth y datos de campo (2021).

Tabla 4. Valores relativos de los atributos e indicadores ecológicos evaluados.

Atributos	Indicador	Unidad	Valor relativo
Condición del agua (39,6%)	Napa freática en época seca	Cm	30,8
	Conductividad eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	8,8
Condición del suelo (24,5%)	Profundidad de turba	Cm	9,2
	Materia orgánica	%	8,9
	Densidad aparente	g/cm^3	3,5
	Signos de erosión	Cualitativo	2,9
Condición de la biota (19,9%)	Especies nativas	%	8,7
	Riqueza de especies	Nº especies/área transecto	3,1
	Cobertura vegetal viva	%	3
	Biomasa aérea	$\text{kg MS}/\text{ha}$	5,1
Alteración del paisaje (16,0%)	Presencia de factores de degradación	Cualitativo	8
	Conectividad hidrológica del bofedal	Cualitativo	8

Fuente: Elaborado en base a Ministerio de Medio Ambiente Perú (2019).

Se aplicó el IBI, para evaluar la conservación e identificar los servicios ambientales de los bofedales. Este índice, permite estimar de manera holística, los efectos del impacto de actividades humanas y es de amplio uso en el manejo de recursos en varias partes del mundo; además de ser de bajo costo y fácil aplicación. Su objetivo es cuantificar que tanto un sitio se ha alejado de la integridad ecológica ideal; de soportar y mantener una comunidad adaptada, balanceada e integrada de organismos, que tiene una composición específica, diversidad y organización funcional comparable con la de un hábitat natural de la misma región geográfica. Además, destaca la capacidad de resiliencia y resistencia a las adversidades (Ramírez et al. 2012; Barrios et al. 2015; Bolívar et al. 2017; Ministerio de Medio Ambiente Perú 2019). Adopta valores relativos (Tabla 1), la sumatoria de los cuatro atributos tiene un total del 100%, donde cada atributo y en función a los rangos asignados, establece puntajes para el cálculo final.

Condición del agua, con un barreno muestreador de 4" de diámetro, se apertura hoyos para medir la napa freática, conductividad eléctrica (CE) y el potencial de hidrogeniones (pH), temperatura con un equipo multiparámetro EXTECH INSTRUMENTS A FLIR COMPANY, proporcionado por PRACTICAL ACTION.

Condición del suelo, en los hoyos medimos la profundidad de la turba, en los primeros 10 cm de turba, y muestras de las ocho unidades para llevar a laboratorio. Para la densidad aparente (Da) se usó un cilindro de PVC de volumen conocido, despejando la vegetación superior para el muestreo y análisis en laboratorio. En signos de erosión se describió: 1) <10% del área

presenta signos de erosión laminar superficial y movimiento de mantillo, 2) signos de erosión laminar en <25% del área y poca evidencia de alteración (vegetación seca, removida y/o pudriéndose) en los cojines, 3) presencia de erosión laminar profunda, formación de surcos y zanjas en al menos el 15% del área y/o se presentan cojines fraccionados: presencia de vegetación seca, removido o podrido en la superficie de la vegetación de cojín, en al menos 20% del área, y 4) presencia de una severa erosión en la superficie de la vegetación en al menos el 25% del área; se han formado parches y el nivel del agua está 10 cm o más de profundidad, en relación a la superficie del suelo con vegetación de cojín 0 a 25% del área presenta la formación de surcos y depresiones profundas.

Condición de la biota, por el método de intercepción se evaluó 100 puntos en un transecto de 50 m, extendiendo una wincha de 50 m, cada 50 cm se registró la especie encontrada. Se calculó la cantidad de puntos en los que apareció y se estimó el porcentaje de vegetación nativa. La riqueza, incluyó todas las especies cada 50 cm e identificadas con ayuda de manuales. La cobertura vegetal viva, se midió en el mismo transecto a distancias de 12,5 m, 25 m y 37,5 estimando la cobertura vegetal absoluta (CA), en un cuadrante de 1 x 1 m dividido en 4, promediándose los valores obtenidos. Para la biomasa aérea, se usó los cuadrantes de cobertura viva, en cuadrados de 25 x 25 cm extrayendo la vegetación para cálculo de materia seca (MS) en laboratorio.

Alteración del paisaje, se registró: 1) presencia de uno o ningún factor de degradación, en baja abundancia e intensidad, 2) presencia de dos factores de

degradación en baja abundancia e intensidad, o un factor con abundancia baja e intensidad alta, o viceversa, alta abundancia y baja intensidad, 3) presencia de dos factores de degradación con alta intensidad o alta abundancia, 4) presencia de tres o más factores de degradación en cualquier grado, o se presenta un factor de degradación con alta abundancia y alta intensidad. Conectividad hidrológica, en unos 500 m alrededor del bofedal se registró infraestructura o alteraciones que modifiquen el curso natural del agua hacia el bofedal, criterios: 1) no se detectó ningún problema o alteración en las fuentes de agua, 2) presencia de carreteras o infraestructura, 3) se encuentran tomas de agua o canales temporales, 4) se encuentran carreteras y tomas de agua o canales permanentes.

Servicios ambientales, registramos servicios de regulación hídrica, retención y

remoción de sedimentos, retención de nutrientes, biomasa, regulación del microclima y almacenamiento de carbono en el área de cada bofedal.

Resultados

Instalamos ocho unidades de muestreo, en tres bofedales en temporada seca (septiembre): un bofedal hidromórfico - natural y dos bofedales tipo mésico - artificial en la cuenca del Jach’a Mauri, que forma parte del sistema Titicaca – Desaguadero - Popó - Salar de Coipasa (TDPS). El nivel del agua en relación a la napa freática, fue más superficial en el bofedal de San Juan de Rosa Pata (11,00 cm) y Llallagua (13,33 cm), y más profundo en Hichucata (51 cm). El agua próxima a la superficie, refleja buena estructura y cojines consistentes en el bofedal.

Tabla 5. Condición del agua de los bofedales.

Bofedal	Napa freática en época seca (cm)	pH	CE (μS/cm)	Temperatura (°C)
Llallagua	13,33	5,17	413,17 +/- 163,99	9,3 – 9,6
Hichucata	51,00	8,69	146,23 +/- 42,68	23,1 – 27,7
San Juan de Rosa Pata	11,00	6,65	233,50 +/- 13,44	12,0 – 12,2

Fuente: Elaboración propia (2023).

El pH en el bofedal hidromórfico de Llallagua fue ácido (pH = 5,17) y en el mésico de San Juan de Rosa Pata (pH = 6,65) y alcalino (pH = 8,69) en Hichucata. La CE promedio varía entre 145 a 414 μS/cm a un rango de temperatura (9 a 23°C), que tiene relación con iones disueltos SDT, mineralización y la época de medición (septiembre).

La profundidad promedio de la turba presento un máximo en el bofedal de

Llallagua (68,33 cm) y menores en San Juan de Rosa Pata (22,50 cm) e Hichucata (6,18 cm). El contenido de materia orgánica (MO) por el método de Walkley & Black, también resalta para Llallagua (51,10%) y menor a (15,00%) en San Juan de Rosa Pata e Hichucata. La menor densidad aparente (Da), es para el bofedal de Llallagua (0,15 g/cm³), Hichucata (0,27 g/cm³) y San Juan de Rosa Pata (0,95 g/cm³). En los tres bofedales existen signos de erosión laminar.

Tabla 6. Condición del suelo de los bofedales.

Bofedal	Profundidad de la turba (cm)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Signos de erosión
Llallagua	68,33 +/- 10,41	51,10 +/- 17,23	0,15 +/- 0,12	Erosión laminar
Hichucata	6,18 +/- 1,05	6,24 +/- 5,30	0,27 +/- 0,28	Erosión laminar
San Juan de Rosa Pata	22,50 +/- 3,54	14,34 +/- 12,96	0,95 +/- 0,01	Erosión laminar

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 7. Condición de la biota de los bofedales.

Bofedal	Especies nativas (%)	Riqueza de especies (Nº especies/área transecto)	Cobertura vegetal (%)	Biomasa aérea (kg MS/ha)
Llallagua	100	280	75,56	17.764,52 +/- 1401,73
Hichucata	96,33	300	93,59	4.408,44 +/- 1.705,03
San Juan de Rosa Pata	96,50	200	98,00	6.260,38 +/- 813,24

Fuente: Elaboración propia (2023).

En 8 transectos, la riqueza es de 11 especies agrupadas en 8 familias: Cyperaceae (*Phylloscirus* spp. y *Phylloscirus deserticola*), Poaceae (*Deyeuxia curvula*, *Deyeuxia* sp. *Stipa ichu*), Rosaceae (*Lachemilla diplophylla*), Gentianaceae (*Gentiana prostrata*), Compositae (*Werneria pygmaea*), Asteraceae (*Leucheria* sp.), Campanulaceae (*Lobelia oligophylla*) y

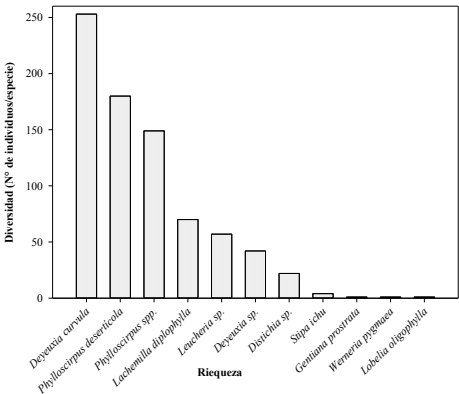


Figura 3. Riqueza y diversidad de especies en los tres bofedales evaluados.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Juncaceae (*Distichia* sp.). La diversidad con 780 individuos registrados, siendo las especies más abundantes: *Deyeuxia curvula* (253 individuos) en los tres bofedales, *Phylloscirus deserticola* (180 individuos) y *Phylloscirus* spp. (149 individuos) en los transectos implementados; el resto de las especies tiene abundancia menor a (71 individuos).

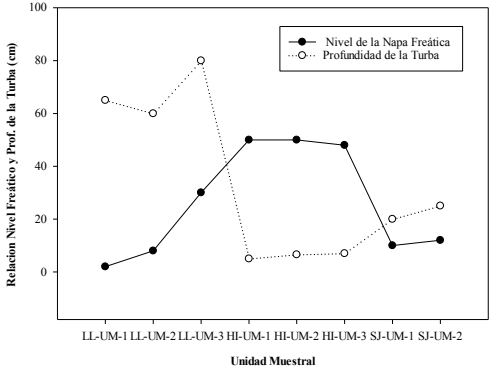


Figura 4. Relación entre napa freática y profundidad de la turba por unidad muestral-bofedal.

Fuente: Elaboración propia (2023).

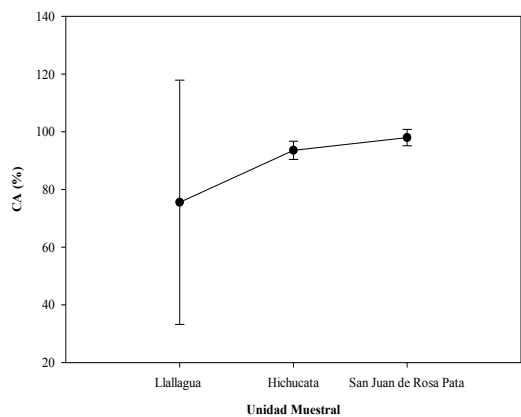


Figura 5. Cobertura vegetal absoluta por bofedal.

Fuente: Elaboración propia (2023).

En transectos y puntos de intercepción, se encontró una cobertura absoluta (CA) de (98,00%) en San Juan de Rosa Pata, Hichucata (93,60%) y Llalagua (75,56%), valores que reflejan baja alteración en la biodiversidad nativa, y pocas especies exóticas introducidas. La biomasa fue mayor en el bofedal de Llalagua (17.764,52 +/-

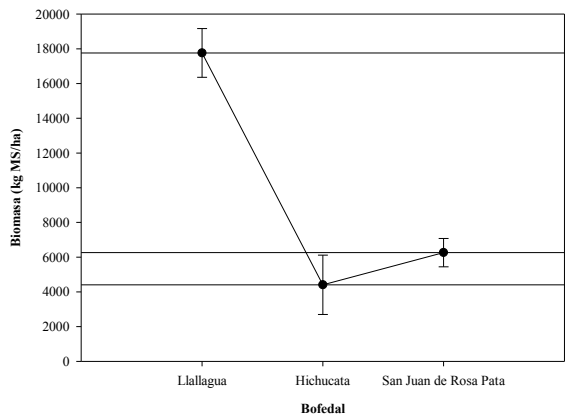


Figura 6. Biomasa aérea vegetal por bofedal.

Fuente: Elaboración propia (2023).

1401,73 kg MS/ha), y menores en San Juan de Rosa Pata (6.260,38 +/- 813,24 kg MS/ha) e Hichucata (4.408,44 +/- 1.705,03) kg MS/ha). La alteración del paisaje está relacionada a las actividades humanas: desvió del agua, ganadería, quemas y presencia de residuos sólidos y no se encontró cosecha de turba.

Tabla 8. Evaluación de los factores de degradación de los bofedales.

Bofedal	Alteración hidrológica	Ganadería	Cosecha de turba	Quemas	Residuos sólidos
Llalagua	Alta, derivación de agua mediante canales de tierra (chakas e irpas) (30%)	Baja, presencia de ganado camélido (al menos 3 UA/ha) (unidad animal por hectárea).	No se evidencia extracción de turba	Baja, cabecera del bofedal fue sometido a quema.	Alta, presencia de residuos plásticos y quema de residuos en el bofedal.
Hichucata	Alta, presencia de obras derivadoras de agua (30%).	Alta, presencia mayor a 3 UA/ha de ganado camélido y ovino.	No existe.	Baja, no se evidencia.	Baja, presencia de residuos sólidos.
San Juan de Rosa Pata	Alta, obras rusticas de derivación (30%).	Baja, menor a 3 UA/ha	No existe.	Baja, al menos 25% de la cabecera del bofedal.	Baja, presencia de residuos sólidos.

Fuente: Elaboración propia (2023).

En transectos y puntos de intercepción, se encontró una cobertura absoluta (CA) de (98,00%) en San Juan de Rosa Pata, Hichucata (93,60%) y Llalagua

(75,56%), valores que reflejan baja alteración en la biodiversidad nativa, y pocas especies exóticas introducidas. La biomasa fue mayor en el bofedal de

Llallagua (17.764,52 +/- 1401,73 kg MS/ha), y menores en San Juan de Rosa Pata (6.260,38 +/- 813,24 kg MS/ha) e Hichucata (4.408,44 +/- 1.705,03) kg MS/ha). La alteración del paisaje está relacionada a las actividades humanas: desvió del agua, ganadería, quemas y

presencia de residuos sólidos y no se encontró cosecha de turba.

El valor relativo (VR) del estado de conservación, muestra un estado bueno para el bofedal de Llallagua, regular San Juan de Rosa Pata y pobre de Hichucata.

Tabla 9. Valoración del estado de conservación de los bofedales.

Indicadores	Promedio Llallagua	Promedio Hichucata	Promedio San Juan de Rosa Pata
Napa freática en época seca (cm)	20,53	10,30	20,50
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0,00	2,90	0,00
Profundidad de turba (cm)	3,10	0,00	0,00
Materia orgánica (%)	4,97	0,00	0,00
Densidad aparente (g/cm^3)	3,10	0,40	0,00
Signos de erosión	2,90	2,23	2,90
Especies nativas (%)	8,70	7,73	8,70
Riqueza de especies (n.º especies/área transecto)	2,10	0,00	0,00
Cobertura vegetal viva (%)	2,00	2,00	2,50
Biomasa aérea (kg MS/ha)	4,53	2,27	3,40
Presencia de factores de degradación (cualitativo)	5,30	5,30	5,30
Conectividad hidrológica del bofedal (cualitativo)	5,30	5,30	5,30
VALOR RELATIVO	61,53	38,43	48,60
ESCALA 1 – 10	7	4	5
ESTADO DEL ECOSITEMA	Bueno	Pobre	Regular

Fuente: Elaboración propia (2023).

Aplicando la prueba de Mann Whitney U a un intervalo de confianza del 95% para datos no paramétricos y muestras no pareadas, destaca que no existen diferencias significativas en el estado de los tres ecosistemas entre bofedal hidromórfico y mésico, tampoco entre bofedales artificiales: Llallagua e Hichucata ($P - \text{valor} = 0,32 > 0,05$); Llallagua y San Juan de Rosa Pata ($P - \text{valor} = 0,41 > 0,05$); Hichucata y San Juan de Rosa Pata ($P - \text{valor} = 0,72 > 0,05$).

Los servicios ambientales de los bofedales de Llallagua, San Juan de Rosa

Pata al interior de la cuenca Jachá Mauri, son múltiples: retención y remoción de sedimentos por los bofedales, combinándolos con los nutrientes propios.

Discusión

Los bofedales evaluados son del tipo natural o hidromórfico y artificial o mésico, que aportan a la cuenca Jachá Mauri del sistema TDPS, con superficies menor a 5 ha. Estudios realizados por Prieto et al. (2001), destacan este tipo de bofedales hidromórficos o hídricos (de régimen hídrico continuo) y los mésicos

o ústicos (de régimen hídrico temporal) en el sistema TDPS, departamentos de La Paz y Oruro.

El pH del agua en el bofedal hidromórfico de Llallagua, fue ácido y en los del tipo méxico San Juan de Rosa Pata e Hichucata, ácido y básico, con variaciones en el valor de la CE a temperaturas de 9 a 13°C. Estas variaciones, obedecen a la dinámica del régimen hídrico en la cuenca, rocas calizas, material vegetal del mismo bofedal en forma de MO y las temporadas (seca y lluviosa). Estudios hidroquímicos por Choy y Anaya (2018), en bofedales de Perú, encontraron pH = 6,6 que asumen a la presencia de calizas en agua bicarbonatada cálcica ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2}$) y bicarbonatada magnésica ($\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{+2}$), con incremento en la CE a medida que transcurre la temporada seca y temperatura promedio de 8,1°C. La descomposición al interior de la turba (catotelmo) saturada de agua a diferencia de la parte superior (acrotelmo), hace que el agua adquiera un pH ácido; donde también influye el material geológico en la composición química de las aguas. Quicaña et al. (2018), indican que existe una asociación mayor al 69% entre la cobertura vegetal y la salinidad total, pH y CE del suelo y agua, produciendo mayor pérdida de cobertura vegetal, observándose similar situación en el bofedal hidromórfico de Llallagua, donde la cabecera del bofedal se encuentra seco, y evidencias de afloramiento salino. A la presencia de especies poco palatables como el pacu pacu (*Phylloscirpus desertícola*), los comunarios dejan de aplicar riego al bofedal, induciendo a la desertificación paulatina y procesos de erosión laminar.

En la condición de suelo, existe mayor profundidad de turba en el bofedal hidromórfico de Llallagua y méxico de San Juan de Rosa Pata. Una mayor profundidad de la turba, tiene que ver con la antigüedad del bofedal, buen estado y consigo sinónimo de buen contenido de MO; y variaciones en la Da y por ende el almacenamiento de C. Palabral (2013), resalta que mientras mayor es el contenido de MO, menor es la Da. De acuerdo al Ministerio del Ambiente Perú (2019), esto se refleja en la capacidad de almacenamiento de C. Alvis et al. (2021), el almacenamiento de C, es resultado de la baja tasa de descomposición en suelos inundados y las bajas temperaturas, donde el C se almacena en la biomasa aérea (hojas y tallos), biomasa bajo el suelo (raíces) y suelo orgánico.

El método de transectos, permitió medir la condición de la biota, mediante el cálculo de la riqueza y diversidad de especies. La composición y distribución florística de las comunidades vegetales, es producto de respuestas específicas de la especie a las condiciones ambientales siguiendo gradientes ambientales (Domic et al. 2021), son espacios verdes dentro de una matriz árida que albergan rica biodiversidad y un conjunto de beneficios ecosistémicos dominadas espacialmente por pocas especies de plantas que forman cojines y donde estas especies, determinan el funcionamiento y resiliencia frente al cambio climático (Muñoz et al. 2014). En el área de estudio, en el bofedal natural destacan las comunidades de *Phylloscirpus desertícola* y *Distichia* sp., en forma de cojines siempre verdes; en el artificial, las comunidades vegetacionales de *Deyeuxia* sp., *Deyeuxia curvula* y

Phylloscirpus spp., con escasa formación de cojines.

La alteración del paisaje, es por actividades humanas como la crianza de ganado, construcción de infraestructura ganadera (corrales), caminos carreteros, canales de riego y quemas. A esto se suma, el cambio climático acelerando la degradación de estos ecosistemas en la cuenca. Valencia y Figueroa (2013), afirman que las acciones antrópicas y el cambio climático, producirán “modificaciones hidro - geomorfológicas a través del clima, las condiciones del terreno, y las actividades antrópicas (drenajes, infraestructuras); donde la hidrología del humedal cambia las propiedades químicas y físicas del sistema natural (pH, oxígeno, nutrientes, contaminantes); esta condición altera significativamente su biota”. Puesto que la organización y la productividad de estas comunidades vegetales dependen de las interacciones entre componentes bióticos, como la flora y la fauna y los componentes abióticos, con el suelo, agua, clima y otros (Squeo et al. 2006).

Pese a estas amenazas, los bofedales sujetos de estudio, cumplen varios servicios ambientales, sean hidromórficos o mésicos. Contribuyen en el almacenamiento de C, regulación hídrica en la cuenca, retención y remoción de sedimentos, retención de nutrientes disueltos, producción de biomasa y regulación del microclima. Estudios por Alvis et al. (2021), destaca que estos ecosistemas pueden llegar a almacenar hasta 218,3 TC/ha, además de almacenar en la biomasa aérea y biomasa bajo el suelo. De otra parte, la relación de Da y profundidad de la turba, es un

indicador que demuestra los servicios ecosistémicos en un bofedal. Mientras más alto el contenido de MO, menor será la Da (Palabral 2013). Además, se constituyen en almacenes de sedimentos y nutrientes disueltos y absorbibles para las plantas; además contribuyen en una alta productividad de biomasa y aprovechan la fijación de nutrientes de los sedimentos (Ramsar 2018). Donde la presencia de turba, es importante en la dinámica hidrológica; las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; la cobertura vegetal y por ende, los servicios ecosistémicos. Ramsar (2018), en la regulación del clima, la sola presencia de turba en 15 cm de espesor, contiene más C que un bosque que ha almacenado gran cantidad de C en varios años. Pero también brindan servicios de provisión, regulación, soporte y culturales (Ministerio del Ambiente Perú 2019).

Conclusiones

Se aplicó la metodología del IBI para evaluar la integridad ecológica de bofedales hidromórficos (Llallagua) y mésicos (San Juan de Rosa Pata e Hichucata) ubicados en la parte alta de la cuenca Jach'a Mauri que forma parte del sistema TDPS, considerando distintos atributos ecológicos.

En la condición del agua, los bofedales de Llallagua y San Juan de Rosa Pata presentaron napa freática superficial y buena profundidad de la turba favoreciendo la saturación del agua y no así en el bofedal de Hichucata, que depende de la antigüedad de la esponja verde, la cobertura vegetal (cojines), la acumulación de MO (turba) y el

relieve del paisaje. El pH fue ácido y alcalino, la CE alcanzo mayores valores en el bofedal de Llallagua (medido en época seca). Existe efecto de sales provenientes del material parental en cabeceras de los bofedales, los cuales aportarían con iones de Ca, Mg y Na, incrementando su presencia en épocas secas y reducción en lluviosas, generando variaciones también en los valores del pH y CE.

Los bofedales hidromórfico de Llallagua y méxico de San Juan de Rosa Pata, tienen mayores promedios de profundidad de turba, aunque en el contenido de MO, Llallagua presentó mayor % y menor Da, y contrariamente en Hichuaca con menor contenido de MO y mayor Da. Los tres bofedales presentan signos de erosión laminar.

Con el método de transectos en la medición de la biota, se registró la riqueza y diversidad, resaltando el hallazgo de 11 especies distintas, agrupadas en 8 familias. Y la cobertura viva en forma de MS/ha fue mayor en el bofedal de Llallagua y menores en San Juan de Rosa Pata e Hichucata.

La alteración del paisaje depende de las actividades humanas, aunque fuertes procesos de erosión en la parte alta de la cuenca y el cambio climático, amenazan el retroceso de estos bofedales. Son varios los servicios ambientales que brindan, entre ellos la regulación hídrica, almacenamiento de C, retención y remoción de sedimentos, retención de nutrientes, producción de biomasa y regulación del microclima. No se encontraron diferencias significativas en el VR de los tres bofedales, aunque son

mejores las condiciones de un bofedal hidromórfico en comparación al méxico.

Bibliografía

- Alvizuri, P. & P. Pacheco. 2015. El impacto del cambio climático en la salud humana en la Cuenca de los ríos Mauri y Desaguadero (Altiplano central boliviano). *Ciencia y Cultura*: 59-80
- Alvis, T., J. Villasante, G. Pauca, J. Quispe & C. Luque. 2021. Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Calhuanca, Arequipa (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research* 23(3): 139-148
- Baldoceda, A., M. Maldonado & F. Alcántara. 2021. Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales. *Ciencia y Desarrollo* 2(20): 17-29
- Barrios, M., Rodríguez, D. & E. García. 2015. Índice de integridad de los ecosistemas fluviales con base a las comunidades de insectos acuáticos en el río Misoa de la cuenca del lago de Maracaibo, Venezuela *Entomotrópica* 30: 69-83.
- Bolívar, W., Giraldo, A. & A. Gonzales. 2017. La integridad biológica como herramienta de valoración cuantitativa del estado de conservación del bosque seco en Colombia. *Biota Colombiana* 18: 352-390
- Cervantes, R., J. Sánchez, J. Alegre, E. Rendón., J. Baiker, B. Locatelli & V. Bonnesoeur. 2021.

- Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. *Ecología Aplicada* 20(2): 137-146
- Caro, C., E. Sánchez, Z. Quinteros & L. Castañeda. 2014. Respuesta de los pastizales altoandinos a la perturbación generada por extracción mediante la actividad de "champeo" en los terrenos de la comunidad campesina Villa de Junín, Perú. *Ecología Aplicada* 13(2): 85-95
- Choy, A. & M. Anaya. 2018. Hidroquímica y su variabilidad espacio temporal en un bofedal altoandino de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, Perú. *IDESIA* 36(4): 87-97
- Dangles, O., Meneses, R. & F. Anthelme. 2014. BIOTHAW: Un proyecto multidisciplinario que propone un marco metodológico para el estudio de los bofedales altoandinos en un contexto de cambio climático. *Ecología en Bolivia*. 49: 6-13
- Domic, A., Capriles, J., Meneses, R. & P. Pacheco. 2021. Plant community assembly is predicted by an environmental gradient in high-altitude wetlands in the semiarid western Bolivian Andes. *Mires and Peat* 27: 01-12
- Hoffmann, D., R. Tarquino, J. Corro & L. Lavadenz. 2014. Métodos para caracterizar la dinámica de los sistemas socio-ecológicos asociados a los bofedales altoandinos (Cordillera Real, Bolivia). *Ecología en Bolivia* 49(3): 132-140
- Maldonado, M. 2014. Introducción a los bofedales de la región Altoandino Peruana. Grupo Internacional de Conservación de Turbales, Lima, Perú. 5: 1-13
- Ministerio del Ambiente Perú. 2019. Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal. Lima Perú. 59 p.
- Molina, J., Cruz, R. & J. Alurralde. 2012. IMPACTOS TRANSFRONTERIZOS DE PROYECTOS DE TRASVASE: EL CASO DE LA CUENCA DEL RÍO MAURI.
- Muñoz, F., Athelme, F. & V. Raevel. 2014. Procesos ecológicos a múltiples escalas que afectan a las dinámicas de comunidades de plantas en los humedales altoandinos de Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 49(3): 104-119
- Palabral, A. 2013. Relación de la composición florística y su biomasa subterránea con las variables hidrológicas en bofedales de Sajama, Bolivia. Agua Sustentable, NDF, diakonia, cristian AID. La Paz, Bolivia. 27 p.
- Quicaña, E., C. Carrasco & E. Avalos. 2018. Incidencia de las características químicas del suelo y agua en la pérdida de la cobertura vegetal en bofedales altoandinos. Microcuenca Apacheta. Ayacucho 2017. *Rev. Inv. UNSCH* 26(1): 73-82
- Ramsar. 2006. Manual de la Convención de Ramsar, 4ta edición. Secretaria de la Convención de Ramsar, Gland Suiza. 116 p.
- Ramsar. 2018. Perspectiva mundial sobre los humedales. Estado de los

humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas. Secretaria de la Convención de Ramsar, Gland Suiza. 76 p.

- Ramírez, J., Mercado, N., Medina, M. & O. Domínguez. 2012. Validación de dos índices de integridad (IBI) en la subcuenca del río Angulo en el centro de México. *Revista Biología Tropical*. 60: 1669-1685.
- Sequeiros, D. & J. Cazorla. 2020. Servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del centro poblado Alto Perú, Tacna. *Ingeniería Investiga* 2(2): 357-375
- Squeo, F., B. Warner, R. Aravena & D. Espinoza. 2006. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 245-255
- Loza, S., R. Meneses & F. Anthelme. 2015. Comunidades vegetales de los bofedales de la Cordillera Real (Bolivia) bajo el calentamiento global. *Ecología en Bolivia* 50(1): 39-5



DICyT - UPEA

Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

AV. SUCRE A S/N, ZONA VILLA ESPERANZA, EL ALTO
EDIFICIO TECNOLÓGICO, BLOQUE B, PISO 1 Y 2

<https://dicyt.upea.bo>