

Caracterización y clasificación geo ecológica y ambiental: humedales altoandinos de la provincia de Loja- Ecuador

Omar Antonio Guerrero¹, María Gabriela Camargo Mora^{2*}, Bryan Idrovo Torres³

¹Universidad de Los Andes. Departamento de Geología. Mérida, Venezuela

²Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Arquitectura y Urbanismo. Ecuador

³Departamento de Ambiente. Loja – Ecuador

*Autor para correspondencia: mgcamargo@utpl.edu.ec

Recibido: 2021/08/26

Aprobado: 2022/02/07

DOI: <https://doi.org/10.26621/ra.v1i26.742>

RESUMEN

Los humedales altoandinos de la Provincia de Loja-Ecuador se encuentran bajo presiones antropogénicas por el avance de la frontera agropecuaria y cambios de uso de suelo, que impactan sus funciones ecosistémicas. El humedal es un recurso hídrico relevante, el cual no ha sido caracterizado y clasificado para orientar estrategias de protección y mitigación de impactos. La falta de información y las intensas perturbaciones que sufre requieren de estudios que evalúen las características geo ecológicas y el potencial de acumulación de carbono para orientar estrategias de protección y mitigación. Se propone evaluar y clasificar geo ecológica y ambientalmente los humedales altoandinos de la provincia de Loja, mediante análisis de las condiciones físico naturales y evolución espacial, que permitan definir beneficios para la población, almacenamiento de carbono, regulación de ciclos hídricos, conservación de agua dulce y estabilización climática. La metodología se basó en criterios geo ecológicos (RAMSAR y otros), ajustados a regiones de páramos tropicales. La provincia cuenta con 279 humedales que se distribuyen en cuatro páramos: al sur, Saraguro y Yacuambi; al norte, Jimbura-Amaluza y Loja-Vilcabamba. Los humedales se clasifican en: 163 semi colmatados (mixtos II-III), en proceso de pérdida de lámina de agua por avance de la colmatación de sedimentos; 52 espejos de agua (I) y 64 colmatados de tipo césped o turberas (IV), abundantes en los páramos de Saraguro y Yacuambi. Estos últimos presentan las condiciones de sostenibilidad geo ecológica más crítica.

Palabras clave: geomorfología peri glacial, inventario, montaña tropical, páramo, humedal alto andino

ABSTRACT

The high Andean wetlands of the Province of Loja-Ecuador are under anthropogenic pressures due to the advance of the agricultural frontier and changes in land use, which impact their ecosystem functions. It is a relevant water resource, which has not been characterized and classified to guide strategies for the protection and mitigation of impacts. The lack of information and the intense disturbances they suffer require studies that evaluate the geo-ecological characteristics and the potential for carbon accumulation to guide protection and mitigation strategies. It is proposed to evaluate and geo-ecologically and environmentally classify the high Andean wetlands of the province of Loja, through analysis of the natural physical conditions and spatial evolution, which allow defining benefits for the population, carbon storage, regulation of water cycles, conservation of fresh water and climate stabilization. The methodology was based on geo ecological criteria (RAMSAR and others), adjusted to tropical paramos regions. The province has 279 wetlands that are distributed in four paramos: to the south Saraguro and Yacuambi, to the north Jimbura-Amaluza and Loja-Vilcabamba. The wetlands are classified: 163 semi-colmated (mixed II-III), in the process of loss of water sheet due to the advance of sediments; 52 water mirrors (I) and 64 turf or peat-type colmated (IV), abundant in the Saraguro and Yacuambi paramos. The latter have more critical geo ecological sustainability conditions.

Keywords: periglacial geomorphology, inventory, tropical mountain, paramo, high Andean wetland

Omar Antonio Guerrero  orcid.org/0000-0002-8859-2906

María Gabriela Camargo Mora  orcid.org/0000-0003-2984-5675

Bryan Idrovo Torres  orcid.org/0000-0002-1946-1857



INTRODUCCIÓN

Los humedales se cuentan entre los ecosistemas más productivos y de mayor valor económico de todo el mundo (Buytaert et al. 2011). Proporcionan beneficios y servicios esenciales. Extraen una parte del dióxido de carbono que emitimos a la atmósfera, contribuyen a la biodiversidad del planeta, depuran el agua contaminada que fluye por ellos y reducen el riesgo de inundaciones y erosión. Además, constituyen zonas de indudable interés para la recreación y el ecoturismo. Sin embargo, debido a las actividades humanas, aproximadamente el 50% de los humedales del mundo han desaparecido solo en el pasado siglo (Breuer et al. 2013). En países como España, Francia o China, la pérdida ha alcanzado alrededor del 60%, mientras que, en otras zonas, como Nueva Zelanda o California, ha llegado al 90 % (Moreno, 2015).

En Ecuador, la gestión del recurso hídrico es una tarea prioritaria y permanente que debe realizarse en todo el territorio con miras a conservar y fomentar un mejor aprovechamiento del recurso agua. Los humedales altoandinos son muy importantes desde el punto de vista de servicios ambientales porque benefician directa o indirectamente a una gran parte de la población, mediante almacenamiento de carbono, regulación de ciclos hídricos, conservación de agua dulce, depuración de contaminantes y estabilización climática (Squeo et al. 2006, Buytaert et al. 2011). Las geoformas, topografías glaciares y el clima predominantemente frío del páramo reducen las tasas de descomposición de materia orgánica y contribuyen a su acumulación en el suelo, generando una alta capacidad de retención de agua, especialmente en sitios con poco drenaje en los que se forman diferentes tipos de humedales (Hofstede et al. 2003; Buytaert et al. 2008).

Debido a que los ecosistemas de páramo son bastante frágiles, las perturbaciones antropogénicas provocan un desequilibrio en su funcionamiento y afectan la retención de agua en el suelo, aumento de la erosión, cambios estructurales de la vegetación e incremento en las tasas de descomposición de materia orgánica (Llambi et al. 2012). Por otra parte, estudios elaborados por el IPCC (2019) sugieren que el cambio climático afectará a todos los ecosistemas, los de altura poseen vulnerabilidad intrínseca a cambios externos, por lo que posiblemente el área total se vea reducida en el futuro debido a los cambios en las barreras de los ecosistemas (Buytaert et al. 2011).

Los cambios señalados disminuyen los servicios ecosistémicos esenciales para poblaciones locales, arriesgando además la estabilidad de carbono en las turberas (Squeo et al. 2006, Buytaert et al. 2008). Ello implica una reducción en la diversidad de especies y la cantidad y calidad de servicios ambientales. Estos impactos, sumados a las actividades antropogénicas directas como la quema y la ganadería, necesitan ser evaluados, pues representan amenazas a la estabilidad de las turberas (Buytaert et al. 2008, Llambi et al. 2012).

La falta de información sobre los humedales altoandinos, así como las intensas modificaciones del paisaje natural del páramo, requiere todo ello de estudios que evalúen las características geo ecológicas y el potencial de acumulación de carbono en estos ecosistemas altoandinos. Se plantea caracterizar y clasificar los humedales alto andinos de la provincia de Loja, mediante análisis geo ecológico y ambiental adaptado a los humedales de páramos tropicales como base para orientar estrategias de protección.

Zona de estudio

Los humedales altoandinos de la provincia de Loja se localizan al sur de Ecuador, en las Cordilleras de Guagrahuma-Acacaina, Cajanuma y Sabanillas, distribuidos en cuatro pisos bioclimáticos de páramo (≥ 3000 msnm), que limitan con las provincias de Zamora-Chinchiipe, Azuay y El Oro (Figura 1).

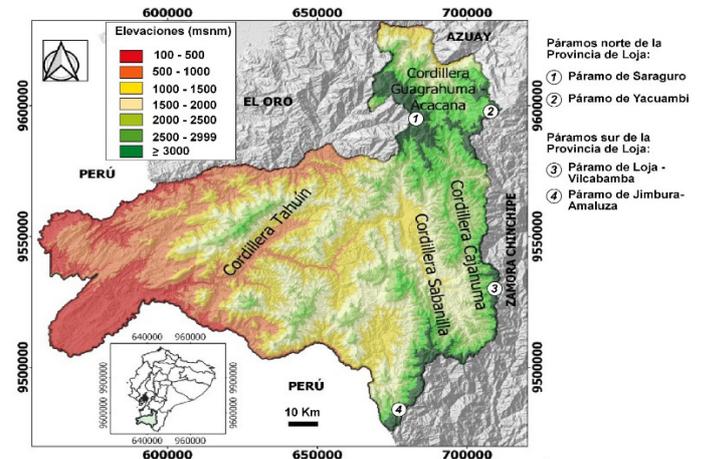


Figura 1. Distribución de los páramos y sistemas de humedales altoandinos. Provincia de Loja: (1) Páramo de Saraguro, (2) Páramo de Yacuambi, (3) Páramo de Loja-Vilcabamba y (4) Páramo de Jimbura-Amaluza

METODOLOGÍA

Se realizó el inventario y clasificación de los humedales a partir de criterios geológicos y ecológicos de clasificación de Shaffer (1966); RAMSAR (1971); Brodzikowski y Van Loon (1991); adaptaciones a regiones tropicales de Fonseca et al (2011) y Guerrero et al (2013), empleando la herramienta libre de QGIS, para facilitar la delimitación, clasificación y mediciones de las unidades de humedales altoandinos. Se aplicaron los siguientes criterios:

- Tipo I:** Humedal espejo de agua en medio sedimentario lacustre. Se forma de una depresión producto de la erosión glaciar diferencial o tectónica local (fallamiento geológico), acumula agua producto de la fusión del hielo y agua de escorrentía - pluvial.
- Tipo II:** Humedal espejo de agua palustre/lacustre semi colmatado (mixto) ocurre por sedimentación y colmatación del humedal, con disminución tanto del espejo de agua como de la profundidad promedio de la lámina de agua, pasando de batimetrías lacustres (≥ 10 m) a palustres (≤ 10 m) (Miall 1986; Viñals 1998; González y Bezada 2006).
- Tipo III:** Humedal palustre semi colmatado (mixto) debido a profundidad promedio de lámina ≤ 5 m con espejo de agua discontinua, puede ser semi colmatado – césped, si el contenido de sedimentos clásticos domina al contenido de materia orgánica o un humedal semi colmatado – turba, si, por el contrario, domina el contenido de materia orgánica a la sedimentación de clásticos.
- Tipo IV:** Humedal en estadio colmatado de materia orgánica (turba) o sedimentos clásticos (césped) con profundidad de agua ≤ 1 m en promedio.

Se realizó un análisis de la calidad ambiental y ecológica de los sistemas de humedales mediante la aplicación de plantillas de la metodología VDG (2004). Se analizaron secciones de ingreso y egreso de caudal para cada humedal; se determinó el nivel de transformación ecológica en la estructura morfológica y de afluentes al humedal; de las riberas; de la vega fluvial y análisis de la calidad de las aguas (Mejía y Camargo 2020) (Figura 2).

Para la validación de la información; medición de los parámetros: batimetría mediante sondas serie StrikerTM Plus®, procesadas con software libre surfer 7 y GPS Garmin etrex 30®. Las propiedades físico-químicas del agua se obtuvieron con el analizador multiparamétrico portátil HANNA® modelo HI98194.

La toma de muestras de sedimentos se realizó con la obtención de núcleos (3cm. de diámetro x 1m. de profundidad), dentro y fuera del sistema de humedal se realizó un análisis en laboratorio para determinar tipo y peso de las granulometrías de los sedimentos con un equipo mecánico de tamices de la serie ASTM E-11® vía seca. Los resultados fueron procesados con software libre Gradstatv.7 (Batzter et al. 2012; Guerrero et al. 2013). Por otra parte, el análisis climatológico se realizó con datos hidrometeorológicos INAMHI (2017), procesados a través de ecuaciones Thornthwaite (1948), para obtener coeficientes de humedad y evapotranspiración potencial estimada de las zonas de páramo.



Figura 2. Principales elementos y criterios de evaluación Metodología del VDG (2004)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución y clasificación general de los humedales

Los páramos de la provincia de Loja cuentan con 279 humedales, con una superficie de 534,76 ha. (50,82%). Se diferencian humedales del norte representados por Saraguro y Yacuambi y, por otro lado, humedales del sur, Loja – Vilcabamba y Jimbura – Amaluza (Tabla 1). Las provincias de Zamora Chinchipe, El Oro y Azuay cuentan con 360 humedales, 517,83 ha. (49,18%) de superficie.

Tabla 1. Distribución de humedales altoandinos. Provincia de Loja y provincia Zamora Chinchipe

Páramos	Provincia de Loja				Provincia Zamora Chinchipe, El Oro – Azuay			
	Cantidad de humedales	(%)	Área (ha)	(%)	Cantidad de humedales	(%)	Área (ha)	(%)
Jimbura – Amaluza (sur)	105	37,63	289,83	54,20	100	27,78	152,67	29,48
Loja – Vilcabamba (sur)	58	20,79	7,73	13,79	131	36,39	195,44	37,74
Saraguro (norte)	94	33,69	161,73	30,24	0	0,00	0,00	0,00
Yacuambi (norte)	22	7,89	9,47	1,77	129	35,83	169,72	32,78
Total	279	100,00	534,76	100,00	360	100,00	517,83	100,00

Al norte de la provincia de Loja, el páramo Saraguro es el sistema de humedales más representativo; se localiza en el alto de Chinchilla, coordenadas 678077E/960112 S, con una superficie de 28.852,8 ha. Asimismo, el páramo de Yacuambi forma parte de la reserva de Biosfera de Yacuambi, coordenadas 714280E/9603737S, superficie de 11.387,59 ha (Figura 3).

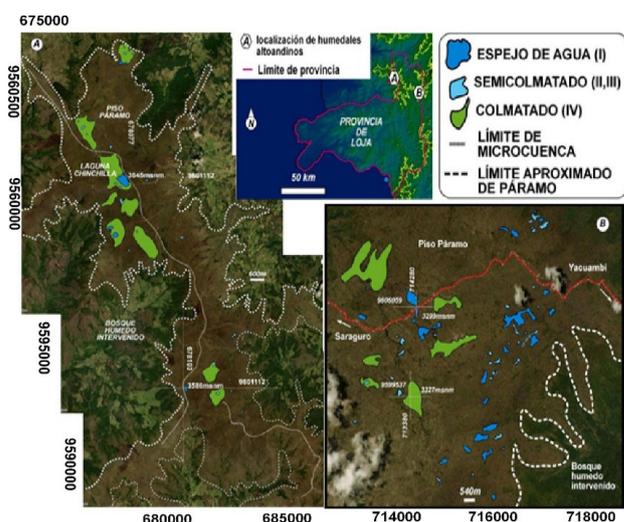


Figura 3. Sistema de humedales altoandinos norte de la provincia de Loja: (A) Páramo de Saraguro y (B) Páramo de Yacuambi

Al sur de la Provincia de Loja, el páramo de Loja – Vilcabamba se localiza en el Parque Nacional Podocarpus, coordenadas 709 572E/ 953 8141S, con una extensión de 6.413,52 ha. del total del área de terrenos altoandinos. También se reseña el páramo de Jimbura – Amaluza con una extensión de 16.426,39 ha., localizado en el Parque Nacional Yacurí (Figuras 4).

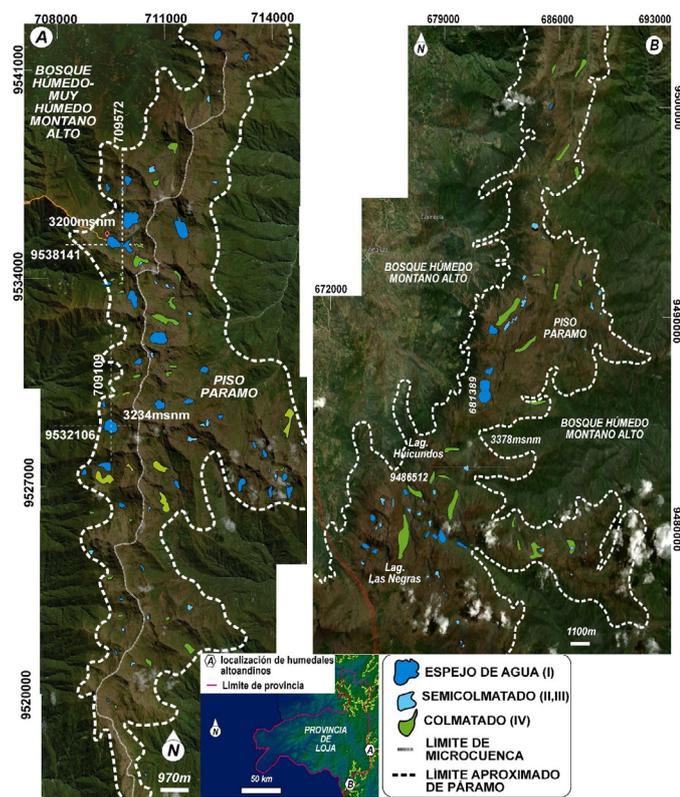


Figura 4. Sistema de humedales altoandinos sur de la provincia de Loja: (A) Páramo de Loja-Vilcabamba y (B) Páramo de Jimbura – Amaluz

El páramo de Jimbura – Amaluz posee la mayor superficie de humedales, seguido por los páramos de Saraguro, Loja – Vilcabamba y Yacuambi (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Humedales altoandinos en la Provincia de Loja, según clasificación por tipos y localidad de páramo.

Piso Páramo (Humedales altoandinos)	Tipos y cantidad de humedales altoandinos			Total	(%)
	Espejo de agua (I)	Semi colmatados Mixtos (II,III)	Colmatados (IV)		
Jimbura – Amaluz (sur)	21	70	14	105	37,63
Loja – Vilcabamba (sur)	14	35	9	58	20,79
Saraguro (norte)	17	52	25	94	3,69
Yacuambi (norte)	0	6	16	22	7,89
Total provincial (ha.)	52	163	64	279	100,00

Tabla 3. Superficie (ha) de los Humedales altoandinos de la Provincia de Loja según tipos y localidad de páramo

Piso Páramo (Humedales altoandinos)	Tipo de humedales – Área (ha)			Área Total (ha)	(%)
	Espejo de agua (I)	Semi colmatados Mixtos (II,III)	Colmatados (IV)		
Jimbura-Amaluz (sur)	150,8	36,39	102,64	289,83	54,20
Loja – Vilcabamba (sur)	53,21	1,41	19,11	73,73	13,79
Saraguro (norte)	22,06	4,17	135,50	161,73	30,24
Yacuambi (norte)	0	0,08	9,39	9,47	1,77
Total provincial (ha.)	226,07	42,05	266,64	534,76	100,00

Caracterización y funcionalidad de los humedales

El 5,7% de la superficie total de la provincia de Loja está sobre los ≥ 3.000 msnm., que representan 63.155,25 ha., de las cuales 74,95 ha. se localizan en sistemas montañosos con páramos dispersos y 63.080,30 ha. en sistemas de páramo continuos, donde se asientan los principales humedales altoandinos. Hacia el norte de la provincia, se registran 40.240,39 ha. (63,79%) de humedales, mientras que hacia la región sur se contabilizan 22.839,91 ha. (36,21%).

1. Humedales en páramos del norte

La geología dominante del piso páramo del norte de la Provincia de Loja (Figura 5) son rocas esencialmente metamórficas y meta volcánicas afectadas por fallamiento geológico local y regional, con presencia de escasas unidades sedimentarias cuaternarias, debido a intensos procesos erosivos, que han modelado las geofomas glaciares originales y expuesto las rocas in situ, esencialmente las unidades geológicas meta volcánicas de edad Triásico-Jurásico (INIGEMM, 2017). Localmente, en el páramo de Saraguro, se reconocen rocas volcánicas de tobas, tobas riolíticas e ignimbritas. Existe un patrón de fallamiento local que tiene direcciones preferenciales NE-SW y NW-SE, lo cual permite la orientación y control de los sistemas de humedales. Los rasgos geológicos estructurales están ocultos, debido a la importante erosión, que ocupa una extensión de al menos 80 km²., y que afecta, además, las estructuras geomorfológicas glaciáricas originarias (Figura 5(A)). Mientras que, hacia el Páramo de Yacuambi, dominan rocas de tipo granitos y metamórficas afectadas por fallamiento geológico local que controlan parcialmente los sistemas de humedales (Figura 5(B)).

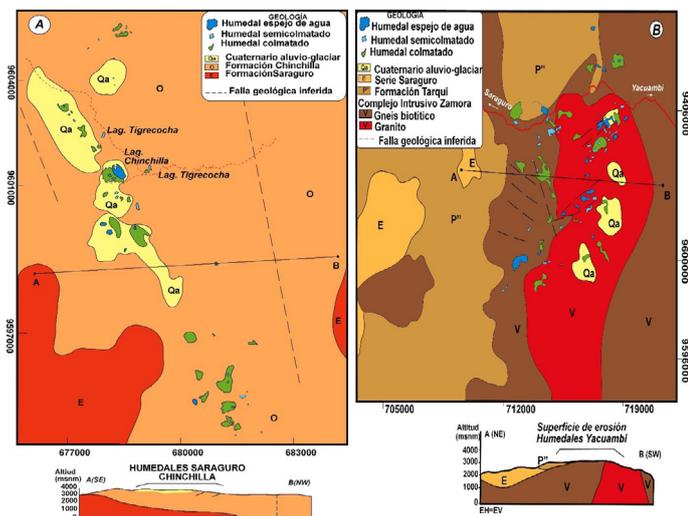


Figura 5. Geología de los páramos del norte de la Provincia de Loja: (A) Páramo y humedales de Saraguro; (B) Yacuambi (INAGEMM 2017)

Los rasgos geomorfológicos dominantes de los humedales de Saraguro se caracterizan por cimas alargadas sometidas a procesos de erosión pluvial y eólica, todo lo cual produce pérdida progresiva de las geoformas glaciares originales, pues solo quedan relictos de los circos glaciares y depósitos del till morrénico. El sistema de humedales está en proceso acelerado de sedimentación y colmatación, dominando los humedales semi colmatados (mixtos II, III) y colmatados (IV) (Figura 6).

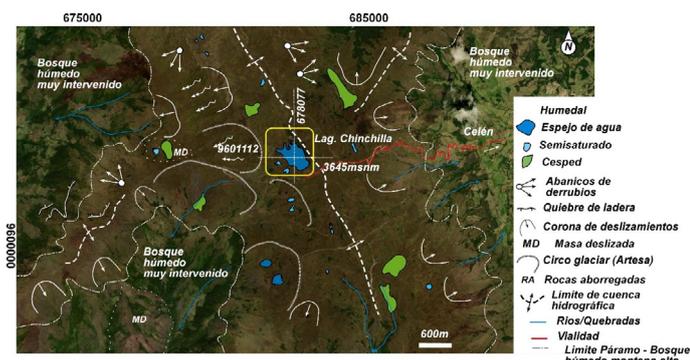


Figura 6. Descripción de las geoformas glaciares dominantes de los humedales Chinchilla, páramo de Saraguro

El páramo de Yacuambi tiene un sistema de humedales sometidos a procesos de erosión pluvial y eólica, que afectan las estructuras glaciares originales y producen un proceso acelerado de sedimentación y colmatación de los humedales espejo de agua y semi colmatados (mixtos III) formando turberas y céspedes (IV). Se reconocen coronas de deslizamientos, depósitos de abanicos de gelifractos y un patrón de drenaje desordenado con geometrías meandriformes.

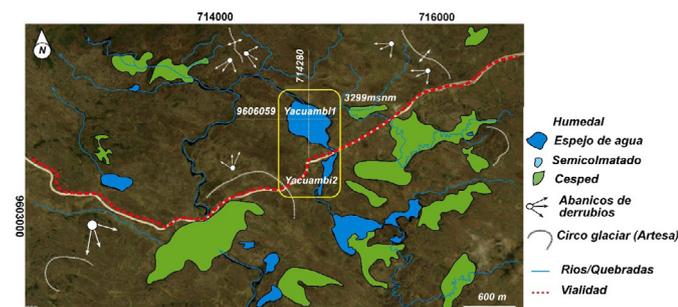


Figura 7. Descripción de las geoformas glaciares de los humedales del páramo de Yacuambi. (Línea punteada rojo-amarillo es vialidad lastrada)

En cuanto a las condiciones climáticas, el páramo de Saraguro tiene una buena distribución espacial de la temperatura, debido a una topografía plana en la zona de divisoria de cuenca hidrográfica, en la cota 3.400 m, que corresponde con la temperatura media anual de punto de rocío (10,2 °C); al localizarse en una zona extendida de la parte media de páramo, por lo tanto, la acumulación de agua pluvial y de rocío puede ser preservada y conservada en los sistemas de humedales. Se reconocen elevaciones máximas de 3.800 m, en varias localidades dispersas del páramo, lo cual produce un incremento de la condensación de las masas de aire y eventuales precipitaciones sobre estos espacios. Por el contrario, el páramo Yacuambi se caracteriza por presentar altitudes máximas de 3 300 m. con rangos de temperaturas medias anuales entre 12,2°C – 10,2°C. Tanto este páramo como el de Saraguro están cubiertos esencialmente de pajonal paramero, que posee baja capacidad de interceptación de humedad (Valencia-Leguizamón y Tobón 2017).

2. Humedales en los páramos del sur

El páramo de Loja – Vilcabamba presenta un patrón de fallamiento geológico con dirección preferencial N-S. Destacan las fallas inversas (corrimientos) regionales denominadas Banderillas y Tres Torres. Hacia el este de la zona, se encuentra, con dirección N-S, la falla inversa de Numbala, que pone en contacto el complejo granítico de Zamora (Jurásico) con las secuencias metavolcánicas del triásico-jurásico y conforma el denominado contrafuerte de Paredones. Por otra parte, el páramo de Jimbura – Amaluza se distribuye esencialmente sobre granitoides de la unidad Portachuelo. Según INAGEMM (2017) la zona de páramo está controlada por plegamientos con fuertes buzamientos y abundante fallamiento geológico vertical, que forman estructuras geológicas con elevadas pendientes, las cuales provocan deslizamientos y derrumbes (Figura 8).

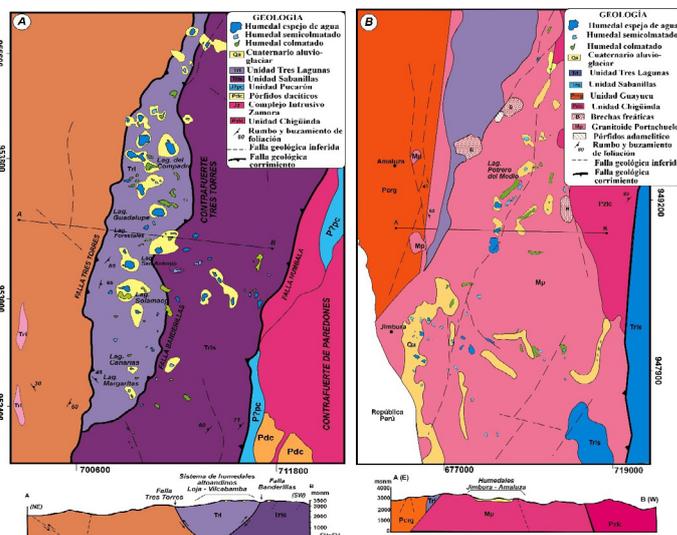


Figura 8. Geología páramos del sur. Provincia de Loja: (A) Páramo de Loja – Vilcabamba, (B) Páramo de Jimbura - Amaluza (INAGEMM 2017)

La geomorfología dominante en los humedales Loja – Vilcabamba presenta una geometría muy estrecha y se reconocen circos glaciares coalescentes muy restringidos con sistemas de lagunas individuales o dobles; cabe indicar que los depósitos de morrenas son escasos. El área de páramo está afectada por fallamiento geológico local con dirección NW-SE, que modifica la topografía de la zona. Sin embargo, los sistemas de lagunas glaciares siguen el patrón de la dirección de la foliación de la roca (NE-SW) y agrietamiento local. No existe un patrón de lagunas glaciares alineado estructuralmente, sino que obedece a rasgos litológicos y geométricos de los afloramientos rocosos (Figura 9).

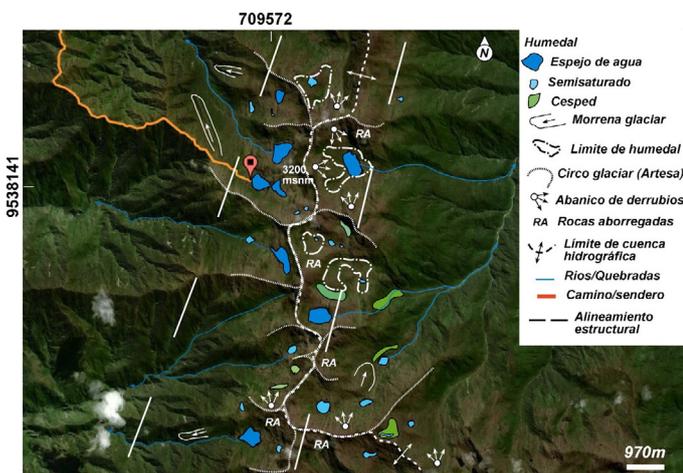


Figura 9. Descripción de las geoformas glaciares dominantes de los humedales del Páramo de Loja – Vilcabamba

El sistema de humedales de Jimbura – Amaluza se extiende en un complejo de artesas glaciares, compuestas por varios circos glaciares coalescentes y valles glaciares suspendidos, formados por proceso de erosión glaciar que produjo un sistema de morrenas o till morrénicos. Estos depósitos glaciáricos se localizan de manera aislada, producto de procesos erosivos de tipo pluvial y eólico, así como de otros efectos de geodinámica externos (Brodzikowski y Van Loon 1991; González y Bezada 2006) (Figura 10).

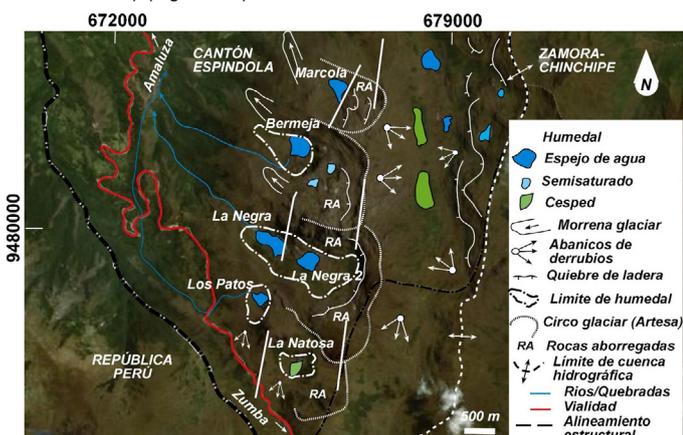


Figura 10. Descripción de las geoformas glaciares dominantes de los humedales del Páramo de Jimbura – Amaluza

Asimismo, el páramo de Jimbura – Amaluza se caracteriza por fallamiento geológico (N-S), que controla los sistemas de humedales y delimita las cabeceras de los circos y artesas glaciares, donde se acumulan los sistemas lagunares glacioestructurales, protegidos por zonas de laderas (localización en la vertiente de barlovento, ladera oeste), de los efectos de la evaporación. Los valles glacioaluviales contienen abundantes acumulaciones de abanicos de gelifractos (Brodzikowski y Van Loon 1991; González y Bezada 2006), siendo así que esta última geoforma glaciar, se reconoce en las vertientes de sotavento (ladera este – expuesta a la radiación solar).

El páramo de Loja – Vilcabamba posee máxima altitud de 3.600 msnm, con temperatura media anual estimada de 8,2 °C. La geometría y la disposición del sistema montañoso (E-W), afectan la dirección de los vientos alisios del SE; las masas de aire y la exposición a la radiación solar permiten que los humedales puedan preservar humedad, pues se encuentra localizados en posiciones de barlovento (zona de sombra solar). En altitudes menores a los 3.200 msnm, no se identifican sistemas de humedales lacustres/palustres, debido al relieve accidentado. La zona ocupada por la cota 3.400msnm. y

superiores es amplia y permite la acumulación de la humedad, tanto de las precipitaciones como del punto de rocío.

El páramo de Jimbura – Amaluza alcanza altitud máxima de 3.800 msnm, con registro de temperatura media anual de 8,2°C. El complejo de lagunas periglaciares se localizan entre las cotas 3.400 msnm y 3.500 msnm, coincidiendo con las altitudes de puntos de rocío (10,4°C), según se indica en Oñate y Bosques (2011); además, debido a su posición en barlovento, existen condiciones favorables de evaporación, acumulación y preservación de humedad y agua disponible para el mantenimiento térmico de humedales. Sin embargo, no se reconocen humedales en las cotas 3.300msnm. y menores.

Batimetría de humedales representativos

Las batimetrías de los humedales muestreados reportan diferencias entre los humedales del norte y del sur de la provincia de Loja, registrando mayor profundidad en los humedales del sur y mayor capacidad de almacenamiento (Figuras 11 y 12).

El humedal Laguna Negra del sistema Jimbura-Amaluza (norte) tiene depocentro simétrico con profundidad de 15,6 m y promedio de 8,36 m; el espejo de agua ocupa una superficie de 75.325,90 m2. El humedal se clasifica como espejo de agua (semicolmatados-mixto, tipo II), con capacidad de almacenamiento máximo de agua 408.710,96m3. (Figuras 11A y 12)

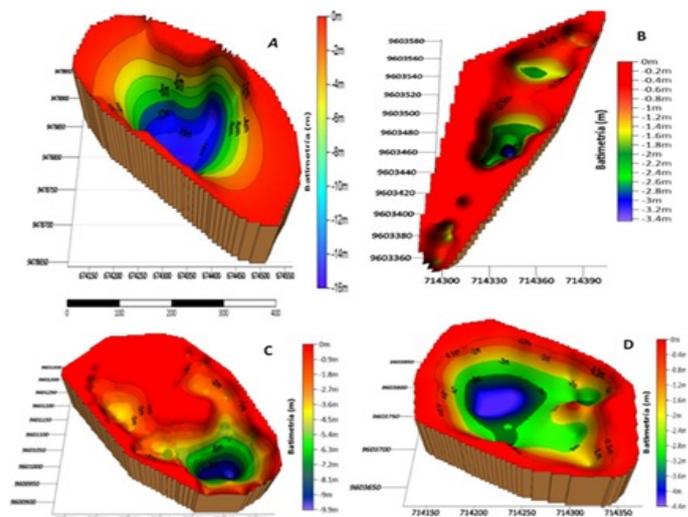


Figura 11. Batimetría y morfología de algunos humedales alto andino representativos; (A) Laguna Negra páramo de Jimbura – Amaluza (sur); (B, C) Lagunas de Yacuambi 1y 2 (norte). (D) Laguna Chinchilla – páramo de Saraguro (norte)

Los humedales representativos del páramo Yacuambi (Figura 11 B, C), tienen profundidades máximas entre 4,40m-3,63 m y promedios entre 1,38m-2,01 m, con áreas inundadas entre 3.940 m² y 15.028,67 m². Estos humedales se clasifican como peris glaciares mixto – semicolmatados tipo III; las capacidades de almacenamiento de agua alcanzan los 5.437,71 m³ y 68.186,21 m³ (Figura 12).

Las mediciones batimétricas realizadas en humedales representativos del páramo de Saraguro reportan profundidad máxima de 9,91 m y promedio de 3,42 m (Figura 11(D)), con depocentro asimétrico y con muy escaso contenido de sedimentos clásticos. El espejo de agua principal tiene un área aproximada de 60.988,51 m². Se considera un humedal altoandino glaciar mixto - semicolmatado tipo III, con una capacidad de almacenamiento máxima de agua 68.185,29 m³ (Figura 12).

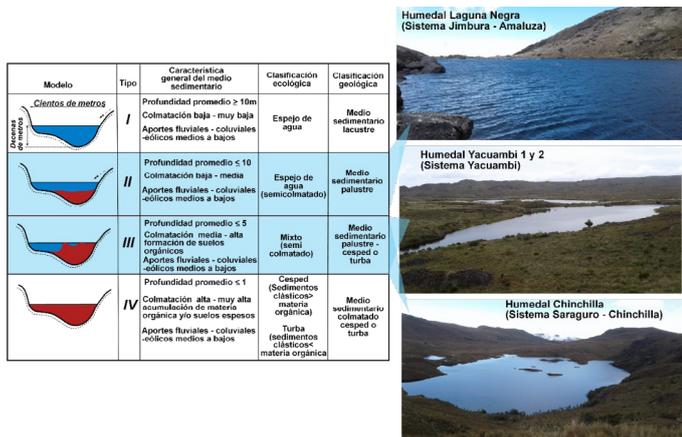


Figura 12. Clasificación geo ecológica de algunos humedales altoandinos representativos de la Provincia de Loja

1. Aspectos sedimentológicos, condiciones ecológicas y calidad del agua

Sobre los aspectos sedimentológicos, la distribución granulométrica promedio de los sedimentos clásticos en los humedales, tanto del norte como del sur, se caracteriza por una composición principalmente de arena –grava con baja proporción de arcilla –limo (Figura 13).

La composición granulométrica dominante de los sedimentos clásticos en el humedal Laguna Negra (Páramo de Jimbura – Amaluz), alcanza contenidos de fracción limo entre 3,93% a 6,04%. La presencia de limo permite el almacenamiento y transferencia de agua en periodos críticos de precipitaciones. Finalmente, los contenidos de arcillas están entre el 1,12% a 3,30%, siendo los contenidos de arcillas orgánicas importantes.

Los humedales del Páramo de Yacuambi registran dominio de granulometrías gruesas (grava y arenas) en un 92,65%; el contenido de limo en 4,4% y la arcilla con un 2,95% (Figura 13). El reconocimiento en campo define abundancia de sedimentos de origen orgánico. Los contenidos de sedimentos clásticos son esencialmente del till morrénico y muy escasos.

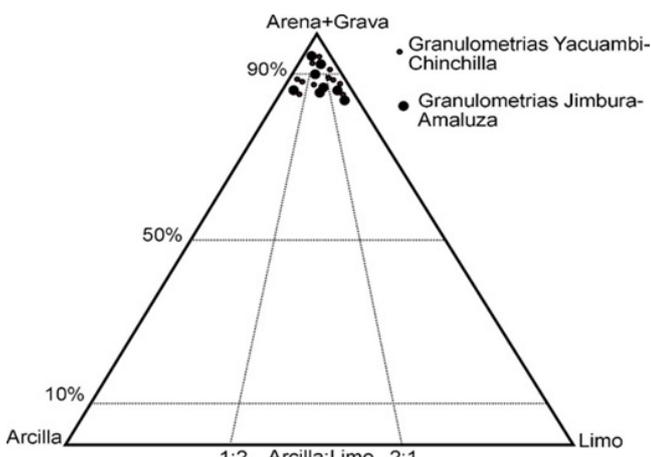


Figura 13. Distribución granulométrica promedio de los sedimentos clásticos de algunos humedales alto andino

El humedal Chinchilla del páramo de Saraguro registra 95,8% de gravas – arenas, 3,3% de limo y 0,8% de arcillas clásticas. Los contenidos abundantes. de granulometría gruesa, debido a su alta porosidad y permeabilidad. permiten flujo de agua constante en el sistema con baja capacidad de almacenamiento en el suelo y subsuelo. Los espesores de suelo orgánico tienen 20 cm. de espesor promedio con eventual baja

capacidad de almacenamiento de agua en sus perfiles, por los que las reservas de agua en tiempos de sequía afectan los caudales y el balance hídrico de este sistema de humedal (Figura 14).

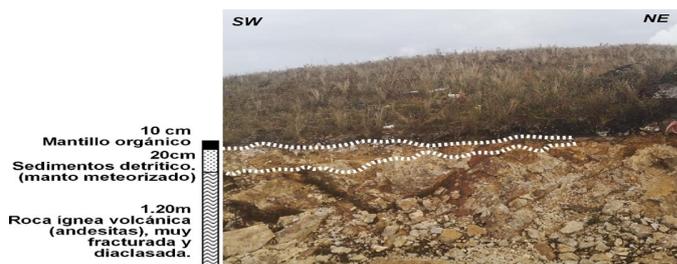


Figura 14. Perfil de roca – suelo en el humedal Chinchilla, páramo de Saraguro

En cuanto a las condiciones ecológicas y la calidad del agua se evidencia que los humedales del Loja-Vilcabamba y Jimbura-Amaluz (sur) registran mejores condiciones que los humedales de Saraguro y Yacuambi (norte). De manera general, se puede interpretar ligeras modificaciones de los parámetros físico químicos en el proceso de decantación de sedimentos dentro del vaso de la laguna, lo que permite mejorar las condiciones del agua especialmente en los parámetros pH y sólidos disueltos, relacionado este último con la disminución de la conductividad del agua e incremento de la resistividad (Miall 1996; Breuer et al. 2013) (Figura 15).

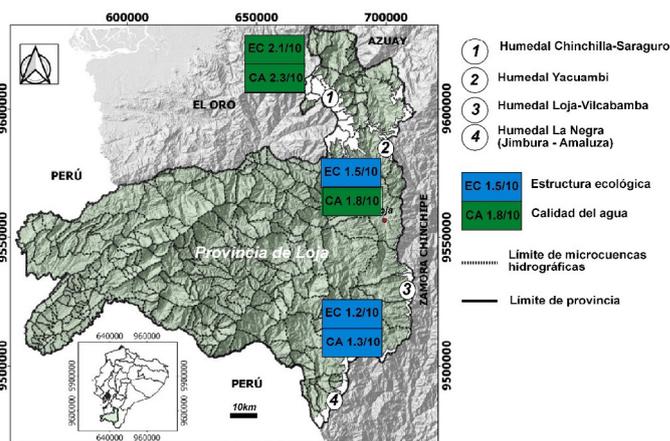


Figura 15. Resultados preliminares de la evaluación ecológica de los humedales altoandinos

En los humedales de Chinchilla y Yacuambi, las evaluaciones geoquímicas de agua registran valores de conductividad (mS/cm) ligeramente alta; este parámetro está vinculado con la presencia de sólidos disueltos, relacionados con ligeras alteraciones del medio ecológico. Igualmente, el análisis reporta pH 5.18, que pasa a valores dentro del rango de la alcalinidad en el interior del embalse lagunar (Figura 16).

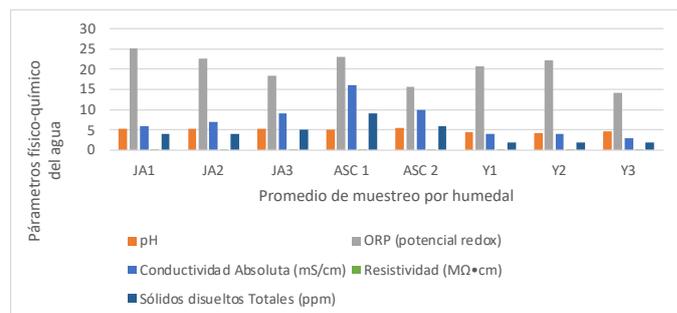


Figura 16. Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos del agua en los humedales. JA: Jimbura – Amaluz (Humedal Laguna Negra), ASC: Saraguro (Humedal Chinchilla), Y: Yacuambi

El humedal Chinchilla tiene “condición ecológica buena” (2.1/10) y calidad del agua en condición “buena a ligeramente perturbada” (2.3/10); no se reconocen especies piscícolas. Se registran repercusiones sobre el humedal por el avance de la frontera agropecuaria (Figura 17).

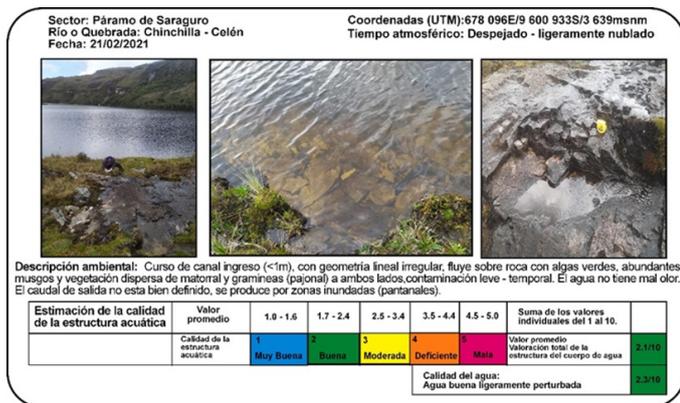


Figura 17. Ficha de evaluación ambiental del humedal Chinchilla bajo los criterios de VDQ (2004)

Igualmente, el humedal Yacuambi registra “condición ecológica buena” (1,5/10); la calidad del agua se mantiene en condición “buena a ligeramente perturbada” (1,8/10), a pesar de la cercanía del eje vial y al tránsito sobre la misma. Cabe señalar que este humedal presenta posibilidades de albergar biodiversidad.

El humedal Laguna Negra del páramo Jimbura- Amaluza, presenta “condición ecológica muy buena” (1,2/10) y su calidad del agua es “muy buena a no perturbada” (1,3/10), lo cual implica que el humedal y sus zonas adyacentes mantienen muy buena condición para cumplir funciones ecológicas y albergar biodiversidad. La presencia de especies piscícolas refleja las excelentes oxigenaciones del agua (Molinillo y Monasterio 2002) (Figuras 15 y 17).

Finalmente podemos señalar que la provincia de Loja tiene 279 humedales altoandinos con una superficie 534,76 ha, distribuidos en cuatro páramos: Jimbura – Amaluza (105; 289,83ha), Loja – Vilcabamba (58; 73,73ha), Saraguro (94; 161,73ha) y Yacuambi (22; 9,47ha). Su clasificación geo ecológica determina que los tipos de humedales alto andino más abundantes, en los pisos páramos de la provincia, corresponde con 163 humedales semi colmatados (mixtos II-III), es decir, que se encuentran en un proceso de pérdida de lámina de agua por avance de la colmatación de sedimentos, tanto de origen orgánico como inorgánico; 52 humedales espejos de agua (I) y 64 humedales colmatados que pueden ser césped o turberas (IV), siendo estos últimos abundantes en los páramos de Saraguro y Yacuambi (norte), con 25 y 16 humedales, respectivamente.

Se ratifica las argumentaciones realizadas por Squeo et al. (2006), Buytaert et al. (2011) y Aguirre et al. (2015), que señalan que el sistema de humedales de Saraguro y Yacuambi (norte), presentan la condición de sostenibilidad geo ecológica más crítica, pues la mayoría de sus humedales están en la etapa de colmatados (240,88 ha), debido a condiciones hidroclimatológicas desfavorables y por el avance de la frontera agropecuaria. Asimismo, se corroboran los argumentos de Hofstede et al. (2003), Vásquez et al (2011) y Breuer et al. (2013), quienes señalan que los cambios de usos del suelo implican una disminución de almacenamiento de agua efectiva; sin embargo, se consideran prospectos para el almacenamiento de carbono.

Existe la necesidad de una restauración forestal y creación de zonas protectoras de estas subcuencas hidrográficas altas con el propósito de mitigar repercusiones de escenarios críticos por cambios climáticos (IPCC, 2019 y Aguirre et al., 2015), por presencia de cobertura vegetal del tipo pajaro paramero, con baja efectividad en la captura de humedad y asociado a condiciones de coeficiente de humedad de rango 0-3 (regiones secas como Oña y Malacatos – Vilcabamba) con rangos de coeficiente de humedad cercanos a cero y negativos (Samaniego et al., 2015 y Valencia-Leguizamon y Tobón, 2017), y por el avance de la frontera agropecuaria.

Se confirma los argumentos de Miall (1996) y Buytaert et al. (2011), en cuanto a los contenidos de limos con valores $\geq 15\%$, granulometría considerada ideal para mejorar la permeabilidad y transmisibilidad del agua en los humedales, especialmente en periodos críticos. Así, los ensayos preliminares reportan contenidos máximos de 6,04% en los humedales del sur y 4,4% en los del norte.

De manera general, se registran pH ligeramente ácidos; condición similar fue obtenida, en ambiente páramo bajo mismos tipos de roca, en Chile por Squeo et al. (2006), en Venezuela por Fonseca et al. (2011) y en Colombia por Valencia-Leguizamon y Tobón (2017). Sin embargo, se registran contenidos de sólidos disueltos ligeramente altos en el humedal Chinchilla y Yacuambi, incrementando turbidez y, por ende, afectan la oxigenación del agua, (Molinillo y Monasterio 2002).

El estudio tiene como fortaleza los aportes realizados en cuanto a la caracterización y funcionalidad de los humedales altoandinos en la provincia de Loja, información base para orientar estrategias y diseñar instrumentos de planificación territorial, a fin de mejorar la gestión de los humedales. Es una primera aproximación de los humedales altoandinos como reservorio de agua para las poblaciones. Como debilidad, se puede señalar que los humedales se encuentran impactados, en especial los localizados al norte, por causas antrópicas, generando pérdida de este recurso, situación que exige la aplicación de medidas y recursos financieros para restaurar estos ambientes.

CONCLUSIONES

Este estudio presenta una clasificación y evaluación de la funcionalidad geoecológica y ambiental adaptada a los humedales altoandinos en la provincia de Loja; se reporta un total de 279 humedales, clasificados en 163 semi colmatados (mixtos II-III); 52 humedales espejos de agua (I) y 64 humedales colmatados de tipo césped o turberas (IV), siendo estos últimos abundantes en los páramos de Saraguro y Yacuambi (al norte), donde se registran condiciones geo ecológicas más críticas, vinculadas a factores hidroclimatológicos y antropogénicos desfavorables.

La disminución progresiva de los humedales espejo de agua (I) y semicolmatados mixtos (II) afecta directamente la disponibilidad de agua efectiva para la población. Sin embargo, los humedales semicolmatados (III) y colmatados (IV) son fundamentales como secuestradores y almacenadores de carbono.

Los humedales Loja-Vilcabamba y Jimbura-Amaluza (al sur) registran mejores condiciones geo ecológicas y de calidad de agua que los humedales Saraguro y Yacuambi (al norte). La protección de los humedales altoandinos es prioritaria ya que benefician directa o indirectamente a la población mediante almacenamiento de carbono, regulación de ciclos hídricos, conservación de agua dulce, depuración de contaminantes y estabilización climática.

Se deben orientar políticas ambientales que regulen y ordenen la ocupación y usos de territorio en los humedales y áreas adyacentes, mediante instrumentos territoriales como planes especiales de protección. Estos deben considerar la restauración forestal y creación de zonas protectoras en las subcuencas hidrográficas altas, para mitigar el impacto negativo, tanto del avance progresivo de la frontera agropecuaria como de los efectos del cambio climático.

Agradecimientos: Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) que ha otorgado apoyo y financiamiento al proyecto Sostenibilidad de los Sistemas de Humedales Alto Andinos como recurso potencial de agua potable. Provincia de Loja, financiado bajo el programa de financiamiento de proyectos de investigación, registrado bajo el código PROY_INV_ARQ_2020_2816.

Contribución de los autores: Conceptualización, metodología y análisis del componente físico natural, Guerrero, Omar; conceptualización, metodología y análisis de componente antrópico Camargo Mora, María Gabriela; redacción y revisión Guerrero, Omar Antonio y Camargo Mora, María Gabriela; elaboración de mapas, Idrovo-Torres, Bryan.

Fuente de financiamiento: Esta investigación fue financiada por Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) que ha otorgado financiamiento al proyecto Sostenibilidad de los Sistemas de Humedales Alto Andinos como recurso potencial de agua potable. Provincia de Loja, financiado bajo el programa de financiamiento de proyectos de investigación, registrado bajo el código PROY_INV_ARQ_2020_2816.

Conflicto de intereses: "Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses".

REFERENCIAS

- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda, T., y Aguirre-Mendoza, Z. (2015). *Vulnerabilidad al cambio climático en la región sur del Ecuador*. Universidad Nacional de Loja y Servicio Forestal de los Estados Unidos. Loja, Ecuador. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/298753988_Vulnerabilidad_al_cambio_climatico_en_la_Region_Sur_del_Ecuador_Potenciales_impactos_en_los_ecosistemas_produccion_de_biomasa_y_produccion_hidrica
- Batzer, D., Baldwin, A. (2012). *Wetland habitats of North America: Ecology and Conservation Concerns*. University of California Press. USA. <https://www.ucpress.edu/book/9780520271647/wetland-habitats-of-north-america>
- Breuer, L., Exbraray, J., Plesca, I., Buytaert, W., Ehmann, T., Peters, T. (2013). Global climate change impacts on local climate and hydrology. En: Bendix, J. (eds.). *Ecosystem services, biodiversity and environmental change in a tropical mountain ecosystem of south Ecuador*, pp. 326-434. Springer, Heidelberg, Alemania.
- Brodzikowski, K., Van Loon, A. (1991). Glacienic Sediments. *Elsevier Science Publishers* 19 (57): 363-421. <https://www.elsevier.com/books/glacienic-sediments/brodzikowski/978-0-444-88307-0>
- Buytaert, W., Iniguez, V., De Bièvre, B. (2008). The Effects of Afforestation and Cultivation on Water Yield in the Andean Paramo. *Forest Ecology and Management* 251(22): 16-30. https://www.researchgate.net/publication/222816891_Buytaert_W_V_Iniguez_and_B_De_Bievre_The_effects_of_afforestation_and_cultivation_on_water_yield_in_the_Andean_paramo_Forest_Ecology_and_Management_2511-2
- Buytaert, W., Cuesta-Camacho, F., Tobón, C. (2011). Potential Impacts of Climate Change on the Environmental Services of Humid Tropical Alpine Regions. *Global Ecology and Biogeography* 20(1): 19-33. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00585.x>
- ESRI. (2020). Imágenes satelitales 2018, 2019. [Usado 10 enero 2021]. <https://www.esri.com/en-us/home>
- Fonseca, L., Román, L., Sánchez, J., Guerrero, O. (2011). Geomorfología y caracterización sedimentológica de los humedales de la quebrada Mixteque en el Municipio Rangel, estado Mérida, Venezuela. *Geominas* 39 (54): 13-21. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/geominas/n62/art05.pdf>
- González, O., Bezada, M. (2006). Geología glacial y postglacial del valle de la quebrada Saisay, Andes Centrales Venezolanas (Estado Mérida). *Acta Científica Venezolana* 57 (4): 3-7. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-537093>
- IPCC. (2019). Calentamiento global de 1,5°C. Resumen para responsables de políticas. Intergovernmental Panel on Climate Change. www.ipcc.ch
- Guerrero, O., Mattié, E., Segnini, S., Sánchez, J., Cuevas R. (2013). Caracterización geomorfológica y tasa de erosión de los humedales alto-Andinos de la cuenca La Mucuy-La Coromoto. Municipio Santos Marquina, estado Mérida, Venezuela. *Geominas* 41 (62): 141-148. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA494694931&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00167975&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7Ec3cc5be7>
- Hofstede, R., Vasconez, M., Segarra, P. (2003). *Los páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland initiative/NC-IUCN/ EcoCiencia*, Quito, Ecuador. http://origin.portalces.org/sites/default/files/references/038_Hofstede%20et%20al.%20%28eds%29.2003.Los%20Paramos%20del%20Mundo.pdf
- INAMHI. (2017). *Anuario de datos hidrometeorológicos. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Quito – Ecuador. <http://www.serviciometeorologico.gob.ec>.
- INIGEMM. (2017). *Proyecto Investigación Geológica y disponibilidad de ocurrencias de recursos minerales en el Territorio Ecuatoriano. Memoria Técnica de la Hoja Geológica Zamora 1:100 000*. Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico, Quito, Ecuador.
- Llambi, L., Soto, A., Céleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos. Proyecto Páramo Andino*. <https://www.flacsoandes.edu.ec>.
- Miall, A. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer. Berlin, Germany. <https://www.springer.com/gp/book/9783540591863>
- Mejía, J., Camargo, M. (2020). Evaluación del entorno biofísico desde su funcionalidad compleja para la planificación urbana sostenible. *Revista Científica Axioma* 22: 39-45. <http://axioma.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/597>
- Molinillo, M., Monasterio, M. (2002). Patrones de vegetación y pastoreo en ambientes de páramo. *Ecotropicos* 15(1): 19-34.
- Moreno M. (2015). Límites de la restauración de humedales. Medioambiente investigación y ciencia. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/las-singularidades-del-cerebro-adolescente-642/lmites-de-la-restauracion-de-humedales-13405>
- Oñate, F., Bosque, J. (2011). Estudio de tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur. *Estudios Geográficos* 72: 147-172.

- RAMSAR (1971). *Convención de Ramsar sobre los Humedales*. http://www.ramsar.org/cda/ramsar/display/main/main.jsp?zn=ramsar&cp=1_4000_2.
- Samaniego, N., Eguiguren P., Maita, J., Aguirre, N. (2015). *Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias*. En: Aguirre, N., (eds.) Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, pp. 43-62. Loja, Ecuador. https://www.researchgate.net/publication/299426281_Clima_de_la_Region_Sur_el_Ecuador_historia_y_tendencias
- Shaffer, P. (1966). Characterization of wetlands hydrology using hydrogeomorphic classification. *Wetlands* 19 (3): 35-47
- Squeo F. A. Warner B. G. Aravena R y Espinoza D. (2006). *Bofedales: High altitude peatlands of the central Andes Bofedales: turberas de alta montaña de los Andes centrales*. In: Cepeda J (ed) Geoecología de la Alta Montaña del Valle del Elqui, pp. 333-362. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2006000200010
- Thorntwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review* 38: 55-94.
- Valencia-Leguizamon, J., Tobón, C. (2017). Influencia de la vegetación en el funcionamiento hidrológico de cuencas de humedales de alta montaña tropical. *Ecosistemas* 26(2): 10-17. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1361>
- Vásconez, P., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C, Lasso, S, Medina, B, et al. (2011). *Páramo paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado*. Universitaria Abya-Yala y ECOBONA. Quito, Ecuador. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56326.pdf>
- VDG (2004). *Ökologische Bewertung von Fließgewässern*. Vereinigung Deutscher Gewässerschutz. Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz 64 (3): 4-26. <https://shop.wvgw.de/Produkt-Katalog/Informationsmedien/Trinkwasser/Broschueren-und-weitere-Printmedien/Oekologische-Bewertung-von-Fließgewässern>
- Viñals, J. 1998. *Variabilidad de las cubetas de los Humedales Mediterráneos: Formas y procesos Geomorfológicos*. *Sehumed*. Valencia, España. http://sehumed.uv.es/revista/numero11/SEHUMED11_colecc91.PDF