



Humedal Altoandino del Perú: Diversidad florística, productividad primaria neta aérea, condición ecológica y capacidad de carga

High-Andean wetland of Peru: Floristic diversity, primary net aerial productivity, ecological condition, and carrying capacity

Raúl Yaranga*

Centro de Investigación en Alta Montaña (CIAM), Universidad Nacional del Centro del Perú, Av. Mariscal Castilla 3909, Huancayo, Peru.

Received February 25, 2020. Accepted May 29, 2020.

Resumen

El conocimiento de la flora y la utilidad de los humedales andinos para la ganadería es muy escaso, lo que llevó al interés de evaluar la diversidad florística, la productividad primaria neta aérea (PPNA), la condición ecológica y capacidad de carga para alpacas (CCA), en tres humedales de la subcuenca Shullcas en el Perú. Se realizó lectura florística en 10 cuadrantes distribuidos en transecto radial en cada humedal y en momentos típicos de las estaciones de lluvia y de seca. Se realizaron cortes de fitomasa en periodos regulares de 30, 60, 90 y 120 días. Se encontraron 14 familias de plantas vasculares con 33 géneros y 41 especies, el índice de diversidad Shannon Wiener fluctuó entre $2,28 \pm 0,15$ y $2,40 \pm 0,17$, la PPNA presentó variación entre los meses evaluados en un rango de $27,39 \pm 33,73$ a $97,86 \pm 47,52$ g materia seca (MS)/m², entre periodos de corte desde $132,12 \pm 30,42$ a $180,60 \pm 32,89$ g MS/m² y entre humedales desde $116,71 \pm 34,6$ a $192,18 \pm 22,50$ g MS/m², todas ellas en condición ecológica buena; la CCA varió entre $1,38 \pm 0,36$ y $1,80 \pm 0,40$ alpacas/ha. El resultado obtenido sugiere que los humedales deben ser valorados por periodos frecuentes en el año en reemplazo de una sola vez.

Palabras clave: humedal; diversidad florística; productividad primaria neta; condición ecológica; capacidad de carga animal.

Abstract

Knowledge of the flora and usefulness of Andean wetlands for livestock farming is very scarce, which led to interest in evaluating floral diversity, net aerial primary productivity (NAPP), ecological condition and carrying capacity for alpacas (CCA), in three wetlands of the Shullcas sub-basin in Peru. Floristic readings were taken in 10 quadrants distributed in a radial transect in each wetland and at typical times of the rainy and dry seasons. Phytomass cuts were made in regular periods of 30, 60, 90 and 120 days. Fourteen families of vascular plants with 33 genus and 41 species were found, the Shannon Wiener diversity index fluctuated between 2.28 ± 0.15 and 2.40 ± 0.17 , the NAPP presented variation between the months evaluated in a range of 27.39 ± 33.73 to 97.86 ± 47.52 g dry material (DM)/m², between cut-off periods from 132.12 ± 30.42 to 180.60 ± 32.89 g DM/m² and between wetlands from 116.71 ± 34.6 to 192.18 ± 22.50 g DM/m², all in good ecological condition; the CCA fluctuated between 1.38 ± 0.36 and 1.80 ± 0.40 alpacas/ha. The result obtained suggests that wetlands should be assessed for frequent periods in the year as a one-time replacement.

Keywords: wetland; floral diversity; net primary productivity; ecological condition; animal carrying capacity.

1. Introducción

Los humedales andinos en el Perú se localizan a partir de los 3500 metros de altitud, entre depresiones o valles, ocasionalmente en laderas con leve pendiente topográfica aprovechadas mediante el pastoreo de

alpacas, llamas y ovinos (Flores *et al.*, 2014), por la población rural en situación de pobreza (Portal, 2019). Los humedales de la subcuenca del río Shullcas caracterizan una composición florística muy heterogénea en la estructura, producción de fitomasa aérea

Cite this article:

Yaranga, R. 2020. Humedal Altoandino del Perú: Diversidad florística, productividad primaria neta aérea, condición ecológica y capacidad de carga. *Scientia Agropecuaria* 11(2): 213-221.

* Corresponding author
E-mail: ryaranga@uncp.edu.pe (R. Yaranga).

y calidad forrajera para el ganado (Yaranga *et al.*, 2018) y presentan abundancia de solo dos o tres especies de pasto natural; sin embargo, es muy escaso el conocimiento de sus características funcionales con respecto al uso mediante la ganadería andina (Gallego *et al.*, 2017), que pudieran servir de base para el monitoreo del cambio de la estructura y función de la vegetación por efecto del uso y del cambio climático, en humedales alimentados con agua dulce y fría, que determinan la vegetación dominante de Poáceas, Cyperáceas, Juncáceas y Asteráceas (Polk *et al.*, 2019).

Diversos autores indican que, el conocimiento de la diversidad florística en relación al potencial de la productividad primaria neta aérea en los humedales, tiene alto valor para el ecosistema y la socio economía rural (Siguayro, 2008; Yaranga *et al.*, 2018; Salaberria *et al.*, 2019); por lo que debe ser cuantificado, mediante el uso de diversos indicadores ecológicos y productivos (Moreno, 2001; Ramírez, 2011; Chanamé *et al.*, 2019). La valoración de los indicadores ecológicos es abordada desde diversos criterios, siendo el índice de Shannon Wiener el más difundido para estudios vegetales (Moreno, 2001) y la condición ecológica del pastizal (Flores *et al.*, 2014); como indicador de la producción primaria que es clave en la salud del ecosistema, el peso de la biomasa aérea existente en una unidad de área por unidad de tiempo (Salaberria *et al.*, 2019), los cuales dependen del tipo y fertilidad del suelo, el cambio climático y la acciones antropogénicas (Wei *et al.*, 2019) que se suceden en el tiempo y el espacio (Gallego *et al.*, 2017).

Algunos estudios en el Perú han reportado resultados con respecto a diversidad florística, productividad primaria aérea neta y capacidad de carga. Con respecto a diversidad florística, Ramírez (2011), en los humedales de Conococha en Ancash, encontró 101 especies agrupadas en 68 géneros y 34 familias, siendo las Poaceae, Asteraceae y Cyperaceae como las más representativas. Asimismo, Siguayro (2008) en el Altiplano de Puno y humedal de Capaso destacó la presencia de *Distichia muscoides* Nees & Meyen (25,3%), *Lucilia aretioides* (14,92%) y *Plantago tubulosa* (10,17%); y en el humedal de Santa Lucía destacaron, la *Distichia muscoides* (23,25%), *Plantago tubulosa* (16,50%) y *Lucilia aretioides* (10,50%), todo esto en humedales de puna seca; mientras que en puna húmeda, destacaron la *Distichia muscoides* (20,92%), *Plantago tubulosa* (11,92%) y *Werneria pygmaea* (8,17%) esto en el humedal de Macusani; y, en el humedal de Santa Rosa fueron

importantes la *Scirpus rigidus* (11,08%), *Plantago tubulosa* (8,75%) y *Deyeuxia rigescens* (7,25%). Por otro lado, Aguirre (2013) encontró 28 especies en el humedal de Muñaypacocho y 30 especies para el humedal Huichicancha (humedales de puna húmeda), 22 especies en el humedal Capapujo y 24 especies en el humedal de Catacora (humedales de puna seca); Alvarado (2012) encontró 36 especies en humedales de Tacna. En cuanto a la diversidad alfa, Loza *et al.* (2015) encontraron una diversidad media para el índice de Shannon en tres humedales del nevado Huayna de Potosí; Chanamé *et al.* (2019) al estudiar la rivera de cinco lagunas andinas en la región Junín, encontraron una variación entre 17 a 43 especies incluidas entre siete a 15 familias. La productividad primaria neta aérea explica la constante circulación de la energía en los diferentes niveles tróficos del ecosistema de pastizal (Salaberria *et al.*, 2019); la capacidad de carga animal expresa el tamaño máximo de población animal que un espacio de pastizal puede soportar durante un periodo determinado (Navarro *et al.*, 2017). Los estudios de Hurtado y Cruz (2006), realizado en Tacna (Perú), encontraron 279,23 kg MS/ha y una capacidad de carga de 0,69 Unidades Alpaca (UAI) por ha/año; también el de Alvarado (2012) para otra provincia en Tacna estimaron 577,34 kg/ha/MS y 4,31 UAI/ha/año; el estudio de Siguayro (2008) para humedales de Macusani y Santa Rosa encontró entre 1079,17 y 1647,22 kg MS/ha en época de lluvias y entre 998,161 y 1245,83 kg MS/ha en época seca, con capacidad de carga animal de 2,0 UAI/ha/año en época lluviosa y 2,70 UAI/ha/año; Alvarado (2018) encontró en el Parque Nacional de Huascarán una capacidad de carga de 0,13 UA/ha/año en una condición de pastizal pobre; Portal (2019) encontró en 3 humedales de Ayacucho capacidad de carga de 2,52 UAI/ha/año para 65 cm de profundidad de la napa freática, 2,60 UAI/ha/año para 18 cm y 2,80 UAI/ha/año para 15 cm, concluyendo que a mayor profundidad de la napa freática menor capacidad de carga animal.

En este contexto, la investigación se orientó a evaluar la diversidad florística, la productividad primaria neta aérea (PPNA), la condición ecológica y capacidad de carga para alpacas (CCA), en tres humedales de la subcuenca Shullcas, Perú.

2. Materiales y métodos

Área de estudio

El área de investigación fue establecida en la cabecera de la sub cuenca del río

Shullcas de la región Junín (Sierra Central del Perú), en humedales nominados según la diferencia de su localización altitudinal como: a) humedal alto, ubicado a 4536 msnm, entre las coordenadas 494358 Este y 8677388 Norte, b) humedal medio, ubicado a 4521 msnm, entre las coordenadas 494729 E y 8678512 N, y c) humedal bajo ubicado a 4394 msnm, entre las coordenadas 494905 E y 8678742 N. esta nominación se dio solo para diferenciar la ubicación espacial de los humedales en estudio.

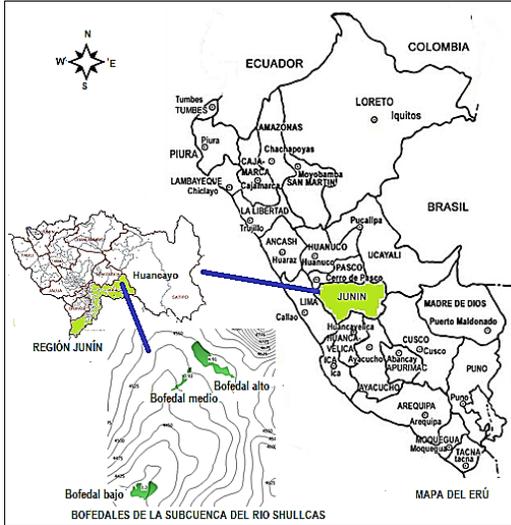


Figura 1. Localización de tres humedales objeto de estudio en la subcuenca del río Shullcas.

El área de estudio corresponde a la zona de vida Tundra pluvial – Alpino Tropical (tp – AT), que presenta una fisiografía accidentada y variable: hondonadas, colinas y picos de cordillera, con inclinación promedio de 45% orientada al Oeste. El clima es superhúmedo, de frígido a gélido, con precipitaciones pluviales anuales mayores de 1000 mm; con temperatura media anual oscilante entre 3,0 a 1,5 °C. Están cubiertas por plantas predominantes de la familia Poaceae, Juncaceae y Rosaceae (Chanamé et al., 2019), que son aprovechadas mediante el pastoreo de alpacas, ovinos y vacunos por familias ganaderas generalmente en situación de pobreza pertenecientes a la comunidad campesina de Acopalca (Yaranga et al., 2018). Además, el ámbito de estudio corresponde al área regional protegida del Huaytapallana, por donde atraviesa una vía de comunicación nacional por la cual circulan vehículos livianos y pesados transportando pasajeros y carga de productos agropecuarios, también caminos por donde miles de turistas y naturalistas visitan al glacial.

Diversidad florística

El muestreo de la diversidad florística se realizó en tres humedales mediante la utilización del método transecta radial (Figura 2), que consistió en la distribución radial de tres líneas de 30 m, en los que se establecieron cuadrantes de un metro cuadrado, separados cada 10 m, recomendado por la USDA – Forest Service (Siguyayo, 2008).

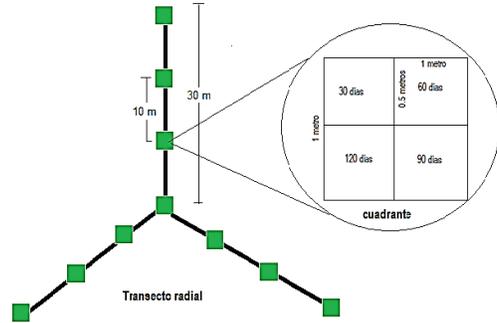


Figura 2. Diseño de la transecta radial utilizado en la distribución de cuadrantes de control (Yaranga, 2019).

El registro de la presencia de especies vasculares se realizó mediante observación directa en un cuadrado con 400 celdas de 10 * 10 cm, colocada sobre el cuadrante del diseño, la especie considerada fue aquella que ocupó el mayor espacio dentro de cada celda; luego, se midieron aleatoriamente la altura en cm de 10 plantas de la especie *Calamagrostis curvula*, para obtener el vigor de la especie representativa. La identificación de las especies vegetales se realizó en el laboratorio del Centro de Investigación en Alta Montaña (CIAM) de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP), en el que se encuentra herbarios validados en el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú). El número de individuos por especie registrada en cada cuadrante resultó sumado el número total dividido entre 100 organizando los datos en una matriz, de allí se extrajo por contaje la riqueza y composición florística; en base a la matriz se calculó el índice de Shannon Wiener utilizando la fórmula de Moreno (2001).

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

Donde: H' = índice de Shannon Wiener, p_i = abundancia proporcional de la especie i, ln p_i = logaritmo normal de p_i.

Productividad primaria neta aérea

Cada cuadrante de la Figura 2 fue dividida en cuatro partes de 0,25 m², asignando periodos regulares de corte de fitomasa aérea en 30, 60, 90 y 120 días, la muestra fue obtenida mediante el corte a un centímetro sobre el suelo según la recomendación de

(Gallego *et al.*, 2017), durante 14 meses (febrero de 2018 a marzo de 2019). La fitomasa aérea colectada en cada cuadrado fue envasada en bolsa de plástico, debidamente identificada con el código del humedal, número del cuadrante y periodo de corte, luego fue trasladada al laboratorio de nutrición animal de la Facultad de Zootecnia, UNCP, para el secado en una estufa eléctrica a 70 °C durante 48 horas y pesado correspondiente en una balanza digital gramera.

Condición ecológica del pastizal y capacidad de carga

De la matriz de composición florística, se extrajo las especies de pastos deseables y poco deseables para alpacas y el número respectivo de individuos, con ellas se organizó una nueva matriz de datos, en la cual se sumó el número total de individuos por especies deseables y poco deseables, adicionando datos de la cobertura vegetal y el vigor de la especie de planta representativa, con estos datos se estimó el puntaje alcanzado de la condición ecológica del humedal, según la metodología de evaluación de pastizal de Yaranga *et al.* (2018):

$$\text{Puntaje} = (\text{ICal}) 0,5 + (\text{IF}) 0,2 + (\text{ICob}) 0,2 + (\text{IV}) 0,1$$

Donde: ICal = índice de calidad (número de especies deseables para el ganado), IF = índice forrajero (No de especies deseables para todas las especies), ICob = índice de cobertura, IV = índice de vigor.

La nominación de la condición ecológica se determinó teniendo en cuenta los rangos de puntaje del autor: condición excelente entre 81 a 100 puntos, condición buena entre 61 a 80 puntos, regular entre 41 a 60 puntos, pobre entre 26 a 40 puntos y muy pobre menor a 25 puntos.

La capacidad de carga del humedal para alpacas fue calculada, tomando en cuenta una tabla establecida en base a la condición ecológica, tal como para condición excelente 2,7; buena 2,0, regular 1,0, mala 0,33 y muy pobre 0,17 UAI ha/año.

Análisis de datos

A partir de las matrices generadas en el ordenamiento de datos, se organizó una nueva tabla conteniendo: la identificación del cuadrante, el factor humedal, el humedal, el periodo estacional, el índice Shannon Wiener, especies y número de individuos, condición ecológica y capacidad de carga animal. Otra matriz conteniendo las cuatro primeras identificaciones, más el peso de materia seca según periodos de corte. Estas tablas fueron ingresadas en el Software R-Studio v 3.5, para el análisis del límite superior de medias, mediante el uso del Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM), de acuerdo al modelo seguido por (Bandera y Pérez, 2018).

$$Y = Xb + Zu + e$$

Donde: Y es el vector de respuesta (datos), X y Z son matrices de diseño conocidas, b es un vector de parámetros fijos, u (efectos aleatorios) y e (error) son vectores aleatorios no observables. Las esperanzas matemáticas de u y e se asumen igual a cero.

3. Resultados y discusión

Riqueza y diversidad florística de los humedales

La riqueza florística promedio obtenida fue de 23 ± 4 especies, 17 ± 3 géneros y 12 familias en la estación seca; 22 ± 4 especies, 18 ± 3 géneros y 11 familias en la estación lluviosa, sin diferencia significativa entre periodos estacionales (Tabla 1). La variación promedio de la riqueza entre humedales, fue de 11 familias 19 ± 4 géneros y 26 ± 6 especies en el humedal alto, 13 familias 19 ± 4 géneros y 21 ± 5 especies en el humedal medio y, 11 familias 16 ± 3 géneros y 21 ± 3 especies en el humedal bajo, con diferencia significativa solo a nivel de especies en el humedal alto para $p = 0,001$. La especie *Hypochoeris taraxacoides* Linneo, mostró la mayor abundancia con 20,39%; 18,69% y 15,68% en los humedales alto, medio y bajo respectivamente, seguido por *Calamagrostis curvula* Wedd en los dos primeros, y por *Poa candamoana* Pilg en el humedal bajo, lo que indica que, entre el 37 y 45% de la abundancia estaba explicada por la presencia de solo 3 especies vasculares (Tabla 2).

Tabla 1

Número de familias, géneros y especies identificadas en tres humedales y en dos periodos estacionales. Periodo estacional de estiaje

Humedal	Periodo estacional seco			Periodo estacional de lluvia		
	Familia	Género	Especies	Familia	Género	Especies
Alto	11	19 ± 3	26 ± 6a	10	19 ± 4	26 ± 5a
Medio	12	18 ± 3	21 ± 5	14	19 ± 4	20 ± 4
Bajo	13	16 ± 3	21 ± 3	9	15 ± 2	20 ± 3
Promedio	12	17 ± 3	23 ± 4	11	18 ± 3	22 ± 4

Tabla 2

Composición y abundancia de especies en los tres humedales estudiados en la subcuenca del río Shullcas. No se incluyen a especies con abundancia menor a 0,01%

Humedal alto		Humedal medio		Humedal bajo	
Especies	Abundancia	Especies	Abundancia	Especies	Abundancia
<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	20,39%	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	18,69%	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	15,68%
<i>Calamagrostis curvula</i>	11,71%	<i>Calamagrostis curvula</i>	15,30%	<i>Poa candamoana</i>	11,58%
<i>Distichia muscoides</i>	10,53%	<i>Oxichloe sp,</i>	10,79%	<i>Calamagrostis curvula</i>	8,42%
<i>Eleocharis sp</i>	6,75%	<i>Eleocharis sp</i>	9,53%	<i>Koeleria kurzii</i>	7,89%
<i>Carex ecuadorica</i>	5,70%	<i>Gentiana incurva</i>	7,83%	<i>Stipa mucronata</i>	7,69%
<i>Gentiana incurva</i>	4,10%	<i>Distichia muscoides</i>	7,41%	<i>Otras hierbas</i>	6,15%
<i>Calamagrostis rigida</i>	4,03%	<i>Stipa mucronata</i>	5,27%	<i>Calamagrostis rigescens</i>	6,11%
<i>Calamagrostis chrysantha</i>	3,59%	<i>Carex ecuadorica</i>	4,62%	<i>Phylloscirpus deserticola</i>	5,75%
<i>Phylloscirpus deserticola</i>	3,05%	<i>Otras hierbas</i>	4,00%	<i>Carex ecuadorica</i>	5,34%
<i>Azorella biloba</i>	3,05%	<i>Stipa brachyphylla</i>	1,71%	<i>Eleocharis sp</i>	5,03%
<i>Stipa mucronata</i>	3,02%	<i>Phylloscirpus deserticola</i>	1,62%	<i>Gentiana incurva</i>	4,00%
<i>Oritro limnophilum</i>	3,00%	<i>Luzula peruviana</i>	1,14%	<i>Poa spicigera</i>	3,99%
<i>Cyperus esculentus</i>	2,54%	<i>Poa spicigera</i>	1,13%	<i>Plantago rigida</i>	2,26%
<i>Oxichloe sp,</i>	2,29%	<i>Cyperus esculentus</i>	1,08%	<i>Cyperus esculentus</i>	1,54%
<i>Festuca humilior,</i>	2,24%	<i>Hypseocharis sp</i>	0,94%	<i>Alchemilla diplophylla</i>	1,28%
<i>Festuca rigescens</i>	2,19%	<i>Lucilia kuntiana</i>	0,84%	<i>Luzula peruviana</i>	0,98%
<i>Otras hierbas</i>	2,04%	<i>Festuca rigescens</i>	0,77%	<i>Hypseocharis bilobata</i>	0,97%
<i>Calamagrostis ovata</i>	1,66%	<i>Gentiana sedifolia</i>	0,72%	<i>Alchemilla pinnata</i>	0,94%
<i>Stipa brachyphylla</i>	1,18%	<i>Poa candamoana</i>	0,69%	<i>Stipa brachyphylla</i>	0,81%
<i>Luzula peruviana</i>	1,04%	<i>Hupersia sp</i>	0,61%	<i>Gentiana prostrata</i>	0,74%
<i>Hypseocharis bilobata</i>	0,60%	<i>Koeleria kurzii</i>	0,51%	<i>Gentiana sedifolia</i>	0,60%
<i>Gentiana sedifolia</i>	0,58%	<i>Aciachne pulvinata</i>	0,50%	<i>Distichia muscoides</i>	0,54%
<i>Bartsia trixago</i>	0,48%	<i>Gentiana prostrata</i>	0,49%	<i>Hypochoeris sessiliflora</i>	0,45%
<i>Trichophorum sp,</i>	0,45%	<i>Plantago tubulosa</i>	0,44%	<i>Isoetes sp,</i>	0,30%
<i>Hypochoeris sessiliflora</i>	0,42%	<i>Azorella biloba</i>	0,42%	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	0,26%
<i>Isoetes sp,</i>	0,41%	<i>Oritro limnophilum</i>	0,42%	<i>Agrostis tolucensis</i>	0,16%
<i>Poa spicigera</i>	0,38%	<i>Agrostis breviculmis</i>	0,41%	<i>Plantago tubulosa</i>	0,12%
<i>Koeleria kurzii</i>	0,29%	<i>Perezia multiflora</i>	0,24%	<i>Muhlenbergia ligularis</i>	0,11%
<i>Calamagrostis rigescens</i>	0,28%	<i>Hypochoeris sessiliflora</i>	0,23%	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	0,09%
<i>Gentiana prostrata</i>	0,23%	<i>Nassella mucronata</i>	0,22%	<i>Perezia multiflora</i>	0,09%
<i>Lucilia kuntiana</i>	0,23%	<i>Bromus lanatus</i>	0,20%	<i>Geranium sessiliflorum</i>	0,07%
<i>Bromus lanatus</i>	0,22%	<i>Bartsia trixago</i>	0,17%	<i>Geranium sp</i>	0,03%
<i>Poa candamoana</i>	0,17%	<i>Isoetes sp,</i>	0,12%	<i>Werneria candamoana</i>	0,03%
<i>Hupersia sp</i>	0,17%	<i>Alchemilla pinnata</i>	0,12%		
<i>Bromus pitensis</i>	0,16%	<i>Pycnophyllum sp</i>	0,10%		
<i>Perezia multiflora,</i>	0,16%	<i>Bromus pitensis</i>	0,09%		
<i>Agrostis breviculmis</i>	0,11%	<i>Halenia umbellata</i>	0,09%		
<i>Alchemilla pinnata</i>	0,10%	<i>Werneria nubigena</i>	0,08%		
<i>Gentianella hirculus</i>	0,09%	<i>Werneria candamoana</i>	0,08%		
<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	0,09%	<i>Geranium sessiliflorum</i>	0,08%		
<i>Halenia umbellata</i>	0,09%	<i>Lupinus microphylla</i>	0,07%		
<i>Aciachne pulvinata</i>	0,07%	<i>Agrostis tolucensis</i>	0,07%		
<i>Pycnophyllum sp</i>	0,05%	<i>Geranium sessiliflorum</i>	0,05%		
<i>Geranium sessiliflorum</i>	0,03%	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	0,04%		
<i>Agrostis tolucensis</i>	0,03%	<i>Gentianella hirculus</i>	0,03%		
<i>Plantago tubulosa</i>	0,02%	<i>Festuca humilior</i>	0,02%		

Los resultados obtenidos descartan la hipótesis nula, por la evidencia de que existen diferencias de riqueza y composición de especies de pasto natural entre humedales por la diferencia en altitud, la fuente de agua que sostiene al humedal y el manejo al pastoreo aplicado por los ganaderos usuarios (Hartman *et al.*, 2016); sin embargo, el escaso conocimiento sobre la composición y diversidad florística en humedales en el Perú, muestran variación amplia de la riqueza desde 91 a 234 especies, incluido plantas vasculares y no vasculares (Ramírez, 2011) que difiere con la menor variación en este estudio, en el cual se inventarió solo especies vasculares y sobre extensiones menores a los antecedentes principalmente del Norte Peruano, lo cual expresa un menor

rango de variación y menor riqueza, en la subcuenca del río Shullcas (0,93 a 4,9 hectáreas); mientras tanto, comparado con estudios realizados por Hurtado y Cruz (2006) en Tacna correspondiente al Sur peruano, coincide en la riqueza obtenida.

Por otro lado, la diferencia de riqueza entre los humedales evaluados en el presente estudio, tienen su base en el origen y calidad del agua subterráneo que directamente hidrogena a los humedales, tal como ocurrió en el humedal alto, por la condición morfológica de un vaso geográfico que almacena agua de forma natural y permanente (García *et al.*, 2014), como es el caso del nevado de Huaytapallana, mientras que el humedal medio es alimentado por agua superficial que se desplaza hacia la parte baja, y el

humedal bajo que combina las dos formas de suministro de agua por su forma geográfica de semi-planicie, que recibe agua de los dos humedales localizados en la parte superior de éste, por lo que disminuye el caudal de agua que alimenta durante el periodo estacional seco (Campo y Duval, 2014; Díaz et al., 2016).

El índice de Shannon Wiener (H'), como indicador ecológico muy adecuado para sistemas específicos de pastizal (Silva-Mota et al., 2016), resultó en promedio $2,40 \pm 0,17$ y $2,38 \pm 0,17$ para el estacional de lluvia y de seca respectivamente sin diferencia estadística entre ellas; sin embargo, los índices entre humedales resultaron de $2,54 \pm 0,18$ en el humedal alto, $2,28 \pm 0,15$ en el humedal medio y $2,34 \pm 0,16$ en el humedal bajo, siendo el primero significativamente superior para $p = 0,001$. Con los resultados obtenidos se acepta la hipótesis para la comparación entre periodos estacionales, pero se descarta en el comparativo entre humedales.

Los índices H' obtenidos en el estudio correspondiente al nivel de diversidad media, resultan inferiores a los índices de diversidad alta, reportados en la Cordillera Blanca del Huascarán en la región Norte del Perú (Fuente y Mejía, 2016), debido al mayor número y variabilidad de especies encontradas sobre humedales de mayor tamaño superficial que en este estudio, además del mayor caudal acuífero que alimentan a los humedales, acompañado del acceso controlado de animales por su condición de Área Nacional Protegida. Mientras tanto, comparado a un estudio realizado en la región central del Perú por Chanamé et al. (2014), los índices H' obtenidos coinciden plenamente en ubicarse en el nivel de diversidad media.

Producción primaria neta aérea (PPNA)

La PPNA cada 30 días, varió entre $27,39 \pm 33,73$ a $50,08 \pm 28,95$ gramos de materia seca por metro cuadrado (g MS/m²), en el cual los valores correspondientes a los meses de enero, febrero y marzo fueron superiores a los $35,56 \pm 22,59$ g MS/m² obtenidos en el mes de diciembre para $p=0,01$; con pesos menores resultaron la PPNA de los meses de abril a noviembre que variaron de $1,21 \pm 0,31$ a $13,77 \pm 7,80$ g MS/m² (Figura 3a). La PPNA comparativa entre humedales fue de $11,43 \pm 12,32$ en el humedal alto, $15,52 \pm 19,40$ en el humedal medio y $18,21 \pm 17,88$ g MS/m² en el humedal bajo, siendo superior esta última para $p = 0,307$.

La PPNA cada 60 días, en el humedal alto varió entre $3,40 \pm 4,32$ en el mes de agosto a $86,94 \pm 60,51$ g MS/m² en el mes de febrero; en el humedal medio fluctuó entre $4,07 \pm 1,18$ g MS/m² en el mes de agosto 2018 a $40,06 \pm 33,42$ g MS/m² siendo este último superior para $p = 0,001$ (Figura 3b). La PPNA comparativa entre humedales resultó con $23,52 \pm 21,82$ en el humedal alto, $13,31 \pm 13,80$ en el humedal medio y $30,28 \pm 21,46$ gMS/m² en el humedal bajo, siendo el valor de este último superior para $p = 0,0103$.

La PPNA cada 90 días, en el humedal alto varió entre $6,77 \pm 10,47$ en el mes de agosto 2018 y $79,08 \pm 35,67$ g MS/m² en el mes de febrero 2019; en el humedal medio entre $9,24 \pm 13,97$ en el mes de agosto de 2018 y $70,37 \pm 49,12$ g MS/m² en el mes de febrero de 2019, en el humedal bajo de $12,50 \pm 16,84$ en el mes de agosto 2018 a $101,23 \pm 63,72$ g MS/m² en el mes de febrero de 2019. Se observó el promedio de PPNA significativamente superior mayor para $p = 0,001$ en el mes de febrero de 2019 (Figura 3c).

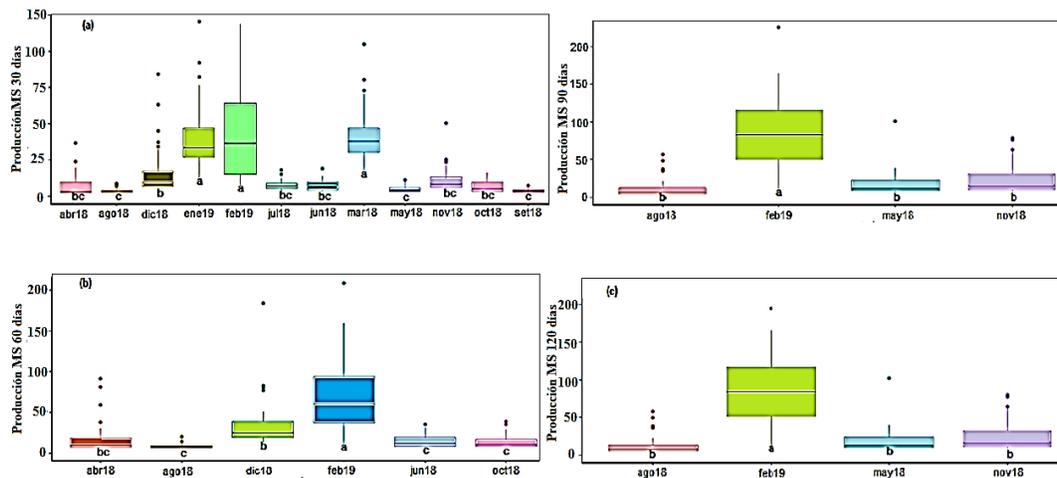


Figura 3. Límite superior de medias mensuales entre la productividad primaria neta aérea y entre humedales, en g MS/m² cada: a) 30 días, b) 60 días, c) 90 días y d) 120 días, en tres humedales en la subcuenca del río Shullcas.

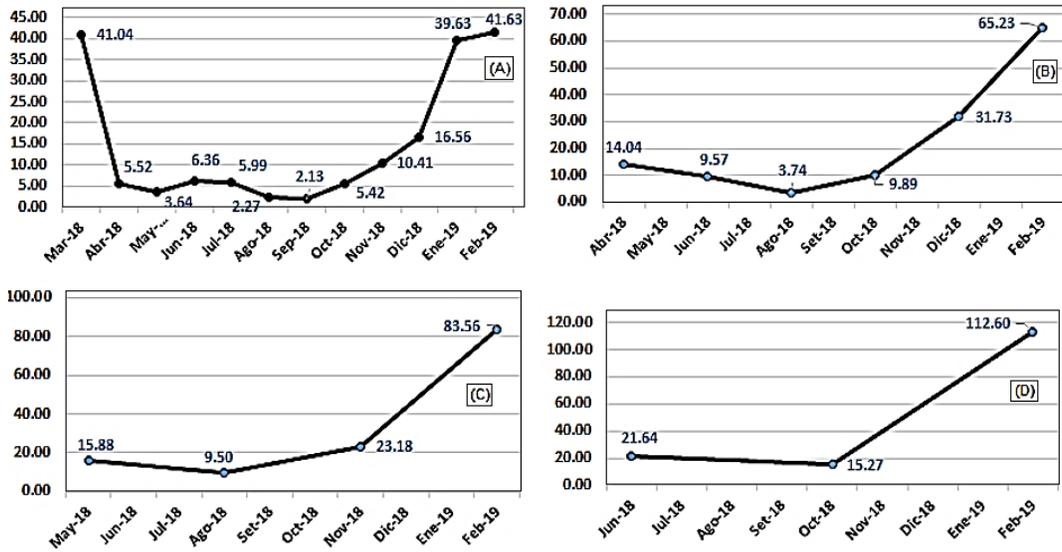


Figura 4. Curva promedio de producción primaria neta aérea de tres humedales según periodo de corte, en g MS/m²: (A) cada 30 días, (B): cada 60 días, (C): cada 90 días y (D): cada 120 días.

La PPNA comparativa entre humedales resultó de $29,37 \pm 22,87$ en el humedal alto, $27,95 \pm 22,31$ en el humedal medio y $41,77 \pm 28,84$ g MS/m² en el humedal bajo, siendo este último superior para $p = 0,0109$.

La PPNA cada 120 días, en el humedal alto varió de $19,36 \pm 15,47$ en junio de 2018 a $97,86 \pm 47,52$ g MS/m² en febrero de 2019; en el humedal medio de $6,80 \pm 3,28$ en el mes de octubre de 2018 a $80,96 \pm 69,34$ g MS/m² en el mes de febrero de 2019; en el humedal bajo de $15,64 \pm 7,62$ en el mes de octubre de 2018 a $21,64 \pm 15,97$ g MS/m² en el mes de junio de 2018, resultando superior la PPNA del mes de febrero de 2019 para $p = 0,001$ (Figura 3d). La PPNA comparativa entre humedales resultó con $45,11 \pm 27,55$ en el humedal alto, $37,25 \pm 29,14$ en el humedal medio y $67,15 \pm 51,35$ g MS/m² en el humedal bajo, sin diferencia significativa entre ellas. La PPNA acumulada entre periodos de corte durante 14 meses resultó: cada 30 días con $180,60 \pm 32,89$, cada 60 días con $134,20 \pm 32,90$, cada 90 días con $132,12 \pm 30,42$ y cada 120 días con $149,50 \pm 46,51$ todas ellas en g MS/m², los que equivalen a 1806,03, 1341,99, 1321,22 y 1495,03 kg de materia seca por hectárea en cada periodo de corte (Figura 4), mostrando el pico de producción en el periodo estacional de lluvias entre enero a marzo.

La heterogeneidad de la producción de PPNA en los humedales y entre periodos de corte descartaron la hipótesis nula, por lo que se afirma que, la salud del humedal depende de varios factores abióticos, de localización y la modalidad de uso que realizan los usuarios del ecosistema (Flores *et al.*, 2014); por otro lado, el efecto causado

por la intervención antrópica, mediante el pastoreo con sobre carga animal (sobre pastoreo), el drenaje que realizan los pobladores rurales con fines de suministro de agua a la ciudad de Huancayo, son también factores que afectan el nivel de producción de fitomasa (Navarro *et al.*, 2017), al cual debe estar agravando el efecto del calentamiento global mediante el incremento de la evapotranspiración (Villalta *et al.*, 2016). Para el aspecto comparativo, no fue posible encontrar datos sobre la producción primaria neta en escala temporal para humedales andinos, sin embargo, existe información sobre kg de materia seca por hectárea (kg MS/ha) provenientes de un solo muestreo, por lo que, las producciones acumuladas por periodos regulares de corte realizadas en el estudio resultan superiores a los resultados obtenidos por Alvarado (2012) en el Norte Peruano, y los resultado de Villalta *et al.* (2016) y Siguyro (2008) obtenidos en el Sur del Perú; este espectro de resultados indican que la evaluación de la PPNA en los humedales se deberán realizar en periodos regulares en reemplazo de una sola evaluación anual.

A nivel interno las diferencias de la PPNA encontradas con respecto a la gradiente temporal mostraron mayor producción en los meses correspondientes al periodo lluvioso a pesar de la saturación de agua durante todo el año, lo cual indica que la precipitación pluvial tiene efecto positivo en la producción primaria neta aérea del humedal (Navarro *et al.*, 2017); por otro lado, la cobertura vegetal con menos especies en cojín que forman manchas compactas de crecimiento rastrero como la

Distichia muscoide, y la mayor presencia de especies matorras como la *Agrostis toluensis* y otras como la *Alchemilla pinnata*, *A. diplophylla*, *Muhlenbergia ligularis*, proporcionaron mayor PPNA (Flores *et al.*, 2014), lo cual es indicativo que el tipo de vegetación y la calidad de los suelos turbosos son determinantes (Wang *et al.*, 2014).

Condición ecológica y capacidad de carga animal (CCA)

La condición ecológica de los humedales estudiados en la subcuenca del río Shullcas alcanzó puntaje promedio de $65,03 \pm 4,3$ en el periodo estacional seco y $65,67 \pm 7,6$ en el periodo estacional de lluvia, sin diferencia significativa entre ellos; mientras que, entre humedales varió de $66,05 \pm 4,3$ en el humedal alto, $63,7 \pm 5,19$ en el humedal medio y $66,45 \pm 5,46$ en el humedal bajo, siendo este último superior para $p = 0,049$. Este mismo comportamiento se observó a nivel de la capacidad de carga animal para alpacas, ya que el indicador es calculado a partir de los puntajes comentados; la CCA promedio entre periodos estacionales fue de $1,55 \pm 0,33$ en el periodo seco y $1,62 \pm 0,38$ en el periodo de lluvia, sin diferencia significativa; mientras tanto, entre humedales varió de $1,608 \pm 0,34$ en el humedal alto, $1,445 \pm 0,36$ en el humedal medio y $1,706 \pm 0,4$ unidades alpaca por hectárea y por año (UAL/ha/año), siendo este último superior para $p = 0,05$ (Figura 5).

La similitud de la condición ecológica de los humedales en los dos periodos estacionales de lluvia y de seca, acepta la hipótesis de igualdad, por la producción continua de fitomasa de las plantas acuáticas y semiacuáticas durante el año (Flores *et al.*, 2014). Sin embargo, la diferencia fisiográfica, de suelo y tipo de vegetación hicieron que el humedal bajo tenga la condición superior para $p = 0,05$ (Estrada *et al.*, 2018), por la cual la hipótesis nula quedó rechazada, a pesar de la condición ecológica buena de los tres humedales (Yaranga *et al.*,

2018), que también determinó el mismo comportamiento de la capacidad de carga animal.

En referencia a los antecedentes reportados por Alvarado (2012) para humedales en el Sur del Perú, la CCA obtenida en el estudio resulta inferior, debido a la estimación realizada a partir de la producción primaria, sin descontar la fitomasa no deseable para alpacas; sin embargo, resultó similar a los valores encontrados en el Cusco por Estrada *et al.* (2018) quien utilizó el método de la condición ecológica para establecer la CCA.

4. Conclusiones

La composición y diversidad florística en humedales de la subcuenca del río Shullcas, mostró similitud estadística entre periodos estacionales de lluvia y seca, por la producción continua de las especies de pasto natural acuática y semiacuática, sin embargo, diferentes entre humedales debido a la variación de las características de localización, altitud y fuente hídrica. La producción primaria neta aérea medida según una escala temporal regular cada 30, 60, 90 y 120 días resultó muy importante, poniendo en evidencia la producción permanente de los humedales durante el año. Esto sugiere que la evaluación de la PPNA debe ser realizado por periodos regulares y no en un solo momento del año. Las condiciones ecológicas de los humedales mantienen heterogeneidad, en función a las características geográficas de localización, la composición florística y la fuente de agua; este mismo comportamiento es observado en la capacidad de carga para alpacas, cuando la estimación es realizada en base a la condición ecológica, lo que no concuerda con los valores más altos reportados en antecedentes, cuando fue estimado a partir de la producción primaria total que no descuenta la fitomasa no deseable para el ganado.

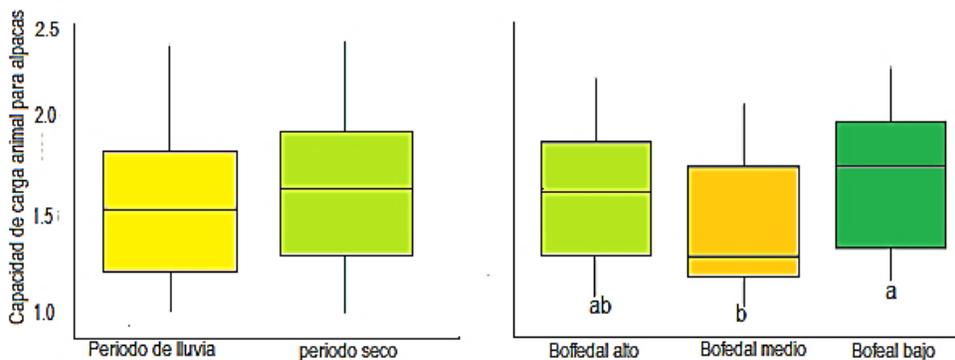


Figura 5. Limite superior de medias de la condición ecológica y capacidad de carga animal para alpacas, entre periodo estacional y entre humedales en la subcuenca del río Shullcas.

ORCID

R. Yaranga  <https://orcid.org/0000-0001-8903-6293>

Referencias bibliográficas

- Aguirre, Z. 2013. Guía para medir la biodiversidad. Universidad Nacional de Loja. Área agropecuaria y de recursos naturales renovables. Carrera de Ingeniería Forestal. Loja – Ecuador. 82 pp.
- Alvarado, C. 2012. Evaluación de Pastizales Naturales de los Humedales Altoandinos en Época de Lluvia de la Provincia de Candarave Departamento de Tacna 2012. Tesis pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 94 pp.
- Alvarado, H. 2018. Capacidad de carga y estrategias de compensación en la quebrada Ulta- Parque Nacional Huascarán. Tesis Maestría en Producción Animal, Universidad Nacional Agraria La Molina, 115 pp.
- Bandera, E.; Pérez, L. 2018. Los modelos lineales generalizados mixtos. Su aplicación en el mejoramiento de plantas. Cultivos tropicales 39(1): 177-133.
- Campo, A.M.; Duval, V.S. 2014. Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihúé Calel (Argentina). Anales de Geografía 34: 25-42.
- Chanamé, F.; Custodio, M.; Yaranga, R.; *et al.* 2019. Diversity of the riparian vegetation of high Andean wetlands of the Junin region, Peru. Revista Ambiente e Agua 9(3): 445-458.
- Díaz, P.; Verdugo, C.; Arguello, C.; *et al.* 2016. Caracterización Ecológica de Humedales, Hábitat De Viciñas Aplicando Metodologías de Teledetección y SIG Estudio de Caso: Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. European Scientific Journal 12(35): 105-130.
- Estrada, A.; Cárdenas, J.; Ñaupari, J.; *et al.* 2018. Capacidad de carga de pastos de puna húmeda en un contexto de cambio climático. Journal of High Andean Research 20(3): 301-314.
- Fuente, B.; Mejía, M. 2016. Caracterización ecológica y social de humedales altoandinos del Parque Nacional Huascarán Ecological. Aporte Santiaguino 9(2): 303-316.
- Flores, E.; Tácuna, R.; Calvo, V. 2014. Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los humedales. Lima: Laboratorio de Pastizales de la UNALM y el Instituto de Montaña.
- Gallego, F.; Lezama, F.; Pezzani, F.; *et al.* 2017. Estimación de la productividad primaria neta aérea y capacidad de carga ganadera: un estudio de caso en Sierras del Este, Uruguay. Agrociencia Uruguay 21(1): 120-130.
- García, M.; Meneses, R.; Naoki, K.; *et al.* 2014. Métodos para evaluar el efecto del pastoreo sobre las comunidades vegetales de humedales. Ecología en Bolivia 49(3): 91-103.
- Hartman, B.; Bookhagen, B.; Chadwick, O. 2016. The effects of check dams and other erosion control structures on the restoration of Andean humedal ecosystems. Restoration Ecology 24(6): 761-772.
- Hurtado, C.; Cruz, C. 2006. Evaluación y soportabilidad de los humedales de la cuenca del Uchusuma zona altoandina de Tacna. Ciencia & Desarrollo 10: 103-106.
- Loza, S.; Meneses, R.; Anthelme, F. 2015. Comunidades vegetales de los bofedales de la Cordillera Real (Bolivia) bajo el calentamiento global. Ecología en Bolivia 50(1): 39-56.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Navarro, A.; Ayala, N.; Herrera, J.; *et al.* 2017. Estado de los humedales: nuevos desafíos para su gestión. Researchgate.net/publication, 30 pp.
- Polk, M.; Young, K.; Cano, A.; *et al.* 2019. Vegetation of Andean wetlands (humedales) in Huascarán National Park, Peru. Mires and Peat 24(1): 1–26.
- Portal, E. 2019. Influencia de la napa freática sobre la vegetación y capacidad de carga animal en humedales altoandinos. Tesis doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 142 pp.
- Ramírez, D. 2011. Flora vascular y vegetación de los humedales de Conococha, Ancash, Perú. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Peru.
- Salaberria, A.; García-Baquero, G.; Odriozola, I.; *et al.* 2019. Modelling aboveground net primary production (ANPP) of an Atlantic mountain grassland based on time series approach. Geographical Research Letters 45(2): 551-569.
- Siguayro, R. 2008. Evaluación agrostológica y capacidad receptiva estacional en humedales de puna seca y húmeda del altiplano de puno. Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno. 89 pp.
- Silva-Mota, G.; Luz, G.; Mota, N.; *et al.* 2016. Changes in species composition, vegetation structure, and life forms along an altitudinal gradient of rupestrian grasslands in south-eastern Brazil. Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants 238: 32-42.
- Villalta, P.; Zapana, J.; Araoz, B.; *et al.* 2016. Evaluación de pastos y capacidad de carga animal en el fundo “Carolina” de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno Perú. Revista Ambiente y Agua 18(3): 303-310.
- Wang, D.; Wu, G.; Zhu, Y.; *et al.* 2014. Grazing exclusion effects on above- and below-ground C and N pools of typical grassland on the Loess Plateau (China). Catena 123: 113-120.
- Wei, S.; Meng, L.; Junhao, W.; *et al.* 2019. Driving Mechanism of Gross Primary Production Changes and Implications for Grassland Management on the Tibetan Plateau. Journal of Resources and Ecology 10(5): 472-480.
- Yaranga, R.; Custodio, M.; Chanamé, F.; *et al.* 2018. Diversidad florística de pastizales según formación vegetal en la subcuenca del río Shullcas, Junín, Perú. Scientia Agropecuaria 9(4): 511-517.