



MANEJO DE PRADERAS NATIVAS COMO ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ALTIPLANO CENTRAL DE BOLIVIA

MANAGEMENT OF NATIVE PRAIRIES AS A STRATEGY FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF BOLIVIA

Eva Conde-Viscarra¹, Rosmery Condori-Apanqui² y Emilio Garcia-Apaza^{3*}

¹ Departamento de Investigación, Postgrado e Interacción Social (DIPGIS), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

<http://orcid.org/0000-0002-4275-9993>

² Centro de Formación y Capacitación para la Participación Ciudadana, La Paz, Bolivia

<https://orcid.org/0009-0009-5232-9805>

³ Instituto de Investigaciones Agropecuarias y de Recursos Naturales, Universidad Mayor de San Andrés, El Alto La Paz, Bolivia

<http://orcid.org/0000-0002-5033-707X>

* Correspondencia autor: egarcia@umsa.bo

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo analizar el manejo de praderas nativas como una estrategia de adaptación al cambio climático en el altiplano central, municipio de Patacamaya, Bolivia. Para ello, se analizó el manejo del ganado tradicional en períodos de alta vulnerabilidad, observando la relación entre el estrés hídrico y el uso de especies forrajeras. La investigación fue descriptiva y relacional con 6 especies, 3 comunidades (Alto Patacamaya, Chiaraque y Patarani), y un total de 216 muestras tomadas entre julio 2015 y noviembre 2016. Se midieron el contenido gravimétrico de agua del suelo y el potencial hídrico al alba de la hoja, y se aplicó una caracterización fitoecológica. Los resultados obtenidos indican que el manejo estratégico tradicional temporal muestra una relación entre el tipo de manejo de las áreas de pastoreo y el tipo de forraje consumido. Como estrategia, los productores arrear su ganado a zonas cubiertas por forraje nativo o a zonas donde es posible adquirir forraje en ferias cercanas. Las especies más pastoreada en invierno fueron *Festuca orthophylla* y *Stipa ichu* con potenciales hídricos de -3,5 MPa y -4,1 MPa, respectivamente, en Chiaraque.

Palabras clave: agricultura, déficit hídrico, adaptación, manejo tradicional, pastos.

ABSTRACT

The research aimed to analyze the management of native prairies as an adaptation strategy to climate change in the central highlands, Patacamaya district, Bolivia. For this, traditional livestock management was analyzed in periods of high vulnerability, observing the relationship between water stress and the use of forage grass species. The study was descriptive and relational, with 6 grass species, 3 communities (Alto Patacamaya, Chiaraque, and Patarani), and a total of 216 samples taken between July 2015 and November 2016. Gravimetric soil water content and leaf water potential at dawn were measured, and a phyto-ecological characterization was carried out. The results

obtained indicate that traditional strategic management shows a relationship between the type of prairie management and the type of forage consumed. As a strategy, farmers lead their livestock to land areas covered with native grass species or areas where forage can be purchased locally. *Festuca orthophylla* and *Stipa ichu* were the most widely consumed grass species in winter, reaching water potential values of -3.5 and -4.1 MPa, respectively, in Chiaraque.

Keywords: Agriculture, water deficit, adaptation, traditional management, pastures.

INTRODUCCIÓN

El déficit hídrico puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas ya que al reducir la tasa fotosintética puede incluso producir desajustes del grado fotosintético (Atencio et al., 2014). Esta deficiencia puede ser causada por la evapotranspiración, que es la pérdida de agua del suelo al aire a través de la transpiración de las plantas y la evaporación de la superficie del suelo (Oropeza, 2021). El proceso de la generación de biomasa en zonas áridas está influenciado por diferentes procesos ecofisiológicos incluyendo el potencial hídrico (Hernández et al., 2022).

Existe una relación entre la capacidad de adaptación de una planta y la variación de disponibilidad de agua en el suelo, el cual se puede medir a través del potencial hídrico (Ψ_w) (1 MPa = 10 bares) (Condori, 2017). El movimiento del agua en el suelo y en las plantas ocurre de manera espontánea a lo largo de gradientes de energía libre, desde regiones donde el agua es abundante, y por lo tanto tiene alta energía libre por unidad de volumen (mayor Ψ_w , menos negativo), a zonas donde la energía libre del agua es baja (menor Ψ_w , más negativo) (Ávila-Dávila et al., 2020).

El déficit hídrico o estrés hídrico ocurren en aquellas situaciones en que algún proceso fisiológico se resiente por reducción del potencial de agua generando un crecimiento vegetativo inadecuado y menor producción de biomasa (Zavala-Borrego et al., 2022), como sucede en periodos de sequía o periodos de disponibilidad de agua anómalos (Medrano et al, 2007). Por otro lado, algunas especies forrajeras de praderas nativas del altiplano boliviano se han adaptado a los periodos de sequía prolongados o periodos anómalos de ausencia de humedad en el suelo (IIACH, 2021). Por lo que en estos ecosistemas se ha observado que una de las estrategias de sobrevivencia del ganado es el pastoreo en praderas de forrajes perennes o su recolección para utilizarlo en combinación con otros forrajes cultivados (Choque et al., 2018). Por tanto, esta estrategia de manejo y alimentación ganadera constituye una forma de adaptación al cambio climático en ecosistemas áridos y semiáridos, el cual evita la pérdida de producción en periodos

de condiciones extremas (Gomez et al., 2018).

Por lo que el objetivo principal de esta investigación fue analizar el manejo del ganado tradicional en periodos de ausencia o disminución de precipitaciones observando la relación entre el estrés hídrico y el uso de especies forrajeras de sistemas de praderas nativas en el municipio de Patacamaya (Bolivia) como una estrategia de adaptación al cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo

La investigación de tipo descriptivo y relacional se llevó a cabo entre julio 2015 a noviembre del 2016 en las comunidades de Alto Patacamaya, Chiaraque, Patarani del altiplano central Boliviano, con una temperatura promedio de 12,5°C, precipitación media anual de 360 mm, a 4.100 m.s.n.m. de altitud, a 90 km de la ciudad de La Paz.

Caracterización de la vegetación

La caracterización del ecosistema se realizó aplicando el método fitoecológico (Urrutia-Estrada y Fuentes-Ramírez, 2019) comparada con el mapa de Vegetación de Navarro y Ferreira (2007) que identifica la composición por asociaciones de la vegetación en diferentes transiciones morfoecológicas, y una visita de prospección por el método del sondeo rural rápido (Astudillo et al., 2000) el cual caracteriza el paisaje y realiza un diagnóstico de las principales actividades. Al mismo tiempo, se ha recolectado información secundaria e información primaria a través de la aplicación de entrevistas estructuradas y semi-estructuradas categorizadas en dos tiempos: invierno y verano, tipos de especies pastoreadas (selectividad del animal), y manejo o movimiento de ganado por periodos.

Gestión de la vegetación

Por otro lado, se validaron las respuestas de los productores construyendo matrices de identificación de la preferencia de pastoreo de ganado a través de observaciones en el momento de su alimentación con las especies forrajeras en la pradera nativa, anotando esta acción una vez por semana por tipo de ganado. La proporción de

ganado que pastorea esta zona es: 31,6% de bovino, 47,4% ovino, 15,8% camélido, y 5,2% otro ganado menor (García-Apaza et al., 2015a). Por otro lado, se ha realizado el seguimiento de parámetros de crecimiento (altura y diámetro del cuello de la planta, a la altura del macollo) en el periodo de crecimiento para identificar las diferencias entre especies de pastoreo de manera estática en el periodo seco y húmedo (Quispe y Jiménez, 2014; Ortuño et al., 2006).

Muestreo de suelos

Junto con este muestreo de vegetación, se realizó el muestreo de suelos a 15 cm de profundidad rizosférica para obtener el Contenido Gravimétrico de Agua en base al peso de la humedad y la densidad de suelo (Silva et al., 2015).

Potencial hídrico de la hoja

Para medir el potencial hídrico de hoja, se trabajó en 12 parcelas de pastoreo natural en época seca o invierno y lluviosa o verano, y de producción forrajera a secano; las hojas muestreadas no probabilísticamente fueron maduras, sanas y que no estuvieron cerca de la posición apical. Se realizó el muestreo de individuos entre las 5:00 a 6:30 sin la presencia de los rayos solares (Alba). Las hojas fueron embaladas en bolsas de plástico, herméticamente cerradas, etiquetadas y colocadas en un recipiente de plástico con hielo, y trasladadas inmediatamente al laboratorio de la Estación siguiendo la metodología de Gutiérrez (2018) y Arias-Gómez et al. (2016). Las mediciones fueron en 6 especies seleccionadas por sus características morfológicas y de uso según el conocimiento del productor. El muestreo tuvo 6 repeticiones por especie en 3 parcelas (comunidades) totalizando 216 hojas y colectadas en dos épocas (seca y húmeda) (Zavala-Borrego et al., 2021). En laboratorio, para medir el potencial hídrico de la hoja se utilizó una bomba de presión Scholander Modelo 3005, Santa Barbara, CA, USA (Ruiz et al., 2021); los valores fueron tomados en MPa. Finalmente se realizó el trabajo de gabinete para el análisis de la información obtenida. Se aplicó estadística descriptiva para obtener las medias de poblaciones, desviación estándar, comparación de medias Tukey ($p < 0,05$) y el análisis de varianza de grupos no experimentales (Ruiz y Valenzuela, 2022; León-Velarde y Barrera, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Praderas de pastoreo y zonas de vida

La zona de estudio está localizada en una zona de vida de unidades biogeográficas-climáticas similares, es decir, de condiciones afines en altitud, ombrotipo, bioclima y suelo (ALP, 2012)

y las zonas de muestreo están localizadas según Navarro y Ferreira (2007) Chiaraque en el Pajonal subnival de la Puna Xerofítica noroccidental, Patarani y Alto Patacamaya en Tholar de K'oa Thola del Altiplano centro norte.

La vegetación predominante en el municipio de Patacamaya tiene asociaciones de vegetaciones de altura (es decir, de vegetaciones por encima de los 3000 m.s.n.m.); las comunidades de estudio (Chiaraque, Patarani, y Alto Patacamaya) presentan 33,19% de Tholar de k'oa y Thola del altiplano centro-norte (Fig. 1). Resultados que coinciden con la caracterización realizada por Colquehuanca (2018) en el mismo ecosistema en que encontró que la asociación más frecuente de las especies vegetales es Tholar-chillihuar y tholar-pajonal, en el cual abundan las gramíneas como la *Festuca* y el *Distichlis*.

Especies de las zonas de pastoreo

Las principales especies nativas de los campos de pastoreo que pastorea el ganado en las tres comunidades de estudio son: (a) *Festuca orthophylla* Pilg. (25,7%), (b) *Distichlis humilis* Phil. (17,8%), (c) *Stipa ichu* Kunth (16,9%) y otras especies diferentes en cada comunidad. Según García-Apaza et al. (2015), el iru ichu o paja brava (*F. orthophylla*) es la especie individual más consumida por ovejas (15 a 33% sobre el total pastoreado), en cambio la especie más consumidas por bovinos es la gramínea *D. humilis* (con 22% sobre el total pastoreado). Asimismo, estas especies se consumen en porcentajes diferentes según sea la época: las herbáceas blandas, se consumen más del 13% en período seco, y más del 60% en período húmedo. Esto coincide con estudios realizados por Merlo-Maydana et al. (2019) el cual indica que existe una alimentación de rumiantes con pastizales nativos entre los que se encuentran diferentes gramíneas por periodos estivales.

Crecimiento de especies

La mayor altura y diámetro de planta que se observó en Alto Patacamaya fue para *Erodium cicutarium*, en Chiaraque para *Stipa ichu*, y en Patarani para *Festuca orthophylla* (Fig. 2).

Las diferencias observadas pueden haberse dado por las condiciones de suelo y el gradiente de humedad observado en la zona, desde Chiaraque más seco y arenoso, pasando por Patarani, menos seco y arenoso, y Alto Patacamaya, más húmedo (por su cercanía a los bofedales) y franco arenoso (García-Apaza, et al. 2015a).

Manejo de ganado en praderas de pastoreo nativos

Las especies forrajeras de los campos nativos de pastoreo en la época de secano en su mayoría

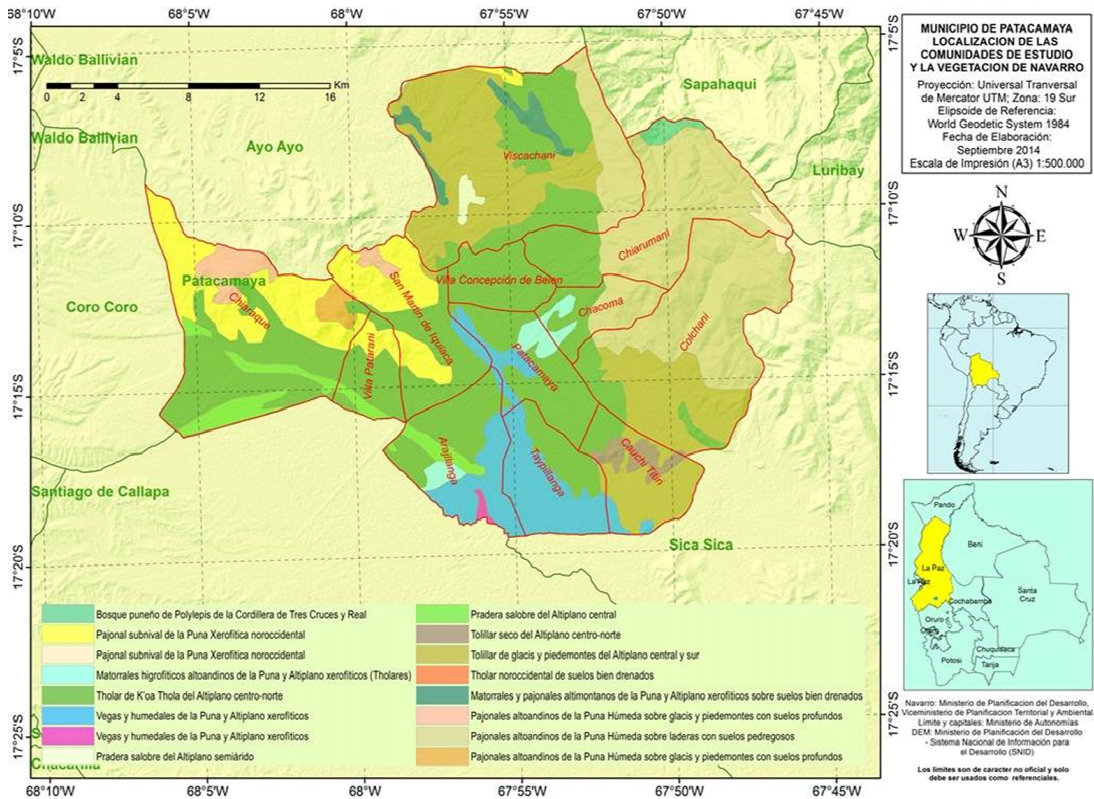


Fig. 1. Asociaciones de vegetaciones de altura del municipio de Patacamaya, Bolivia (basada en Navarro y Ferreira, 2007).

Fig. 1. Associations of highland vegetation in the Patacamaya district, Bolivia (based on Navarro and Ferreira, 2007).

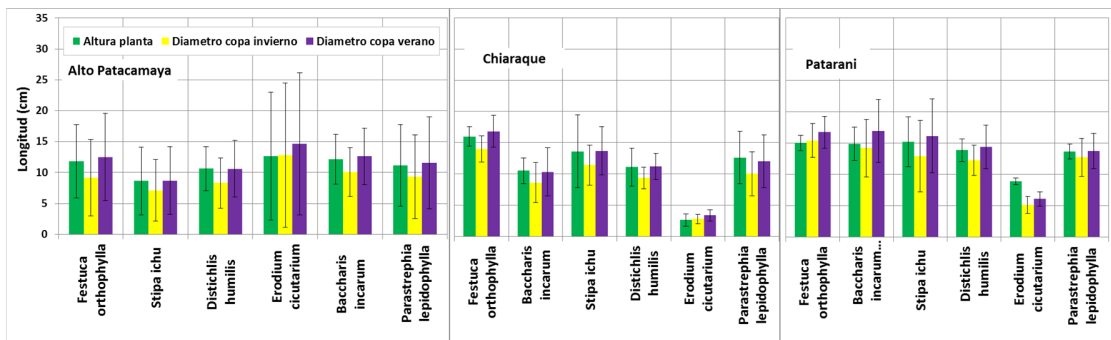


Fig. 2. Promedio de altura y diámetro de copa en verano e invierno de las especies pastoreadas en las comunidades de Alto Patacamaya, Chiaraque y Patarani, municipio de Patacamaya, Bolivia.

Fig. 2. Average crown height and crown diameter in summer and winter of the grass species grazed by livestock in the communities of Alto Patacamaya, Chiaraque, and Patarani, Patacamaya district, Bolivia.

fueron de tipo xerofítico, y en zonas específicas (Fig. 3). De las 6 especies, las más consumidas son: en Chiaraque *Stipa ichu* Kunth (24,8 %), en Patarani *Distichlis humilis* Phil. (25,1%) y *D. humilis* en Alto Patacamaya (26,6%).

Asimismo, se observó que el productor realiza tradicionalmente dos movimientos estratégicos cuando va a pastorear su ganado, según sea época húmeda o de estiaje: a) Arrean el ganado a zonas menos vulnerables, con presencia de cuerpos de agua sub-superficial, o zonas de bofedal, en las que existen especies forrajeras, y pueden pastorear todo el periodo sin lluvias; b) En zonas menos ganaderas, identifican zonas cercadas o zonas agrícolas de descanso, en las cuales en forma sistemática van turnándose para alimentar el ganado combinando con otros forrajes adquiridos en las ferias cercanas.

Las zonas de mayor pastoreo tradicional se localizaron mayormente en las áreas de pajonal y tholar del altiplano central con vegetación xerofítica y altoandina. Estas zonas contienen mayormente gramíneas del género *Festuca sp.*, los cuales son utilizados para alimentación de ganado en combinación con otros forrajes almacenados o comprados (Anderson et al., 2010; Mendoza, 2008).

Potencial hídrico en las especies de praderas nativas

En la presente investigación la densidad de

suelo en los campos de pastoreo vario entre 1,2-1,5 g cm⁻³, lo que permitió un almacenamiento de agua en época húmeda dentro del rango de capacidad de campo. En estas condiciones, se han medido los potenciales hídricos al alba (Ospina-Yepes et al., 2013) y los más bajos (más negativos) fueron los medidos en invierno que varían desde -0,5 MPa hasta -5,2 Mpa. El promedio más alto por especie lo tiene *Festuca orthophylla* con -3,5 MPa en invierno y -2,2 MPa en verano (Tabla 1) que expresa que hubo una gradiente de energía libre de agua entre estaciones (Squeo, 2007).

El promedio más bajo entre especies dentro de las comunidades se encuentra en Chiaraque (-4,126 MPa), seguido de Alto Patacamaya (-3,36 MPa), y Patarani (-3,14 MPa), los 3 medidos en *Stipa ichu* (Fig. 4). Rango de valores que está en los encontrados por Gutierrez (2018), quien halló valores de hasta -2,23 MPa y Garcia-Apaza et al. (2015), con valores que fluctuaron entre -1,5 MPa y -3,3 MPa, ambos estudios en el altiplano sudamericano y la misma especie.

Estos valores más negativos explican que en la zona del Altiplano Centra de Bolivia existe poca cantidad de agua disponible en el perfil del suelo en el periodo de invierno (Gareca, 2012). Aunque en estas condiciones ha mermado la disponibilidad de forraje (Alberdi y Florido, 2005), dentro de los sistemas de producción del altiplano central Boliviano en las tres comunidades de estudio, se ha observado que algunas forrajeras permanecen

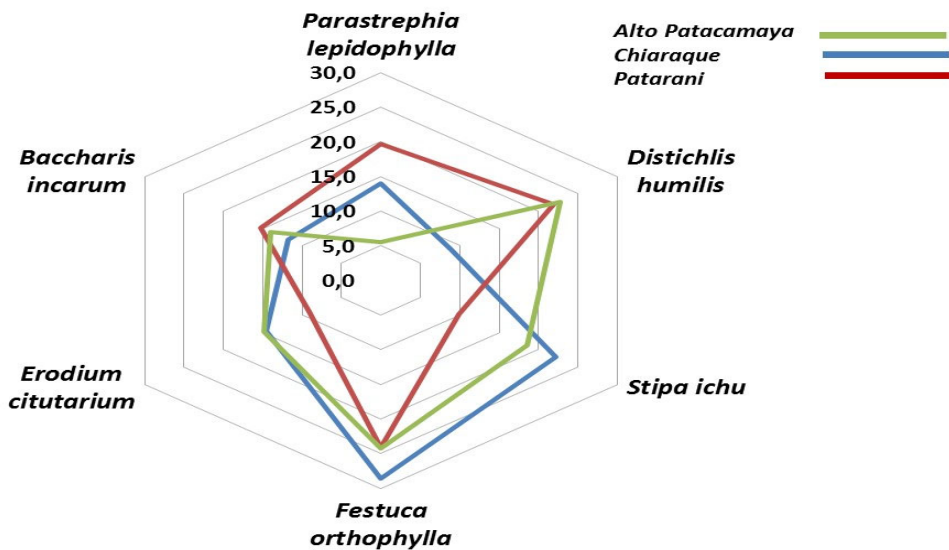


Fig. 3. Especies pastoreadas en las comunidades de Alto Patacamaya, Chiaraque y Patarani, municipio de Patacamaya, Bolivia.

Fig. 3. Grass species grazed by livestock in the communities of Alto Patacamaya, Chiaraque and Patarani, Patacamaya district, Bolivia.

Tabla 1. Potencial hídrico de la hoja antes del alba en diferentes especies en las comunidades de Alto Patacamaya, Chiaraque y Patarani, municipio de Patacamaya, Bolivia.

Table 1. Leaf water potential at pre-dawn in different grass species in the communities of Alto Patacamaya, Chiaraque, and Patarani, Patacamaya district, Bolivia.

No	Especie	Comunidad	Promedio de potencial de agua al alba (MPa)	
			Invierno	Verano
5	<i>Festuca orthophylla</i>	Alto Patacamaya	-2,1±0,2 a	-1,8±0,1 a
		Chiaraque	-3,5±0,9 b	-2,2±0,8 a
		Patarani	-2,1±1,0 ab	-1,6±0,9 a
2	<i>Baccharis incarum</i>	Alto Patacamaya	-2,3±0,2 a	-1,8±0,2 a
		Chiaraque	-2,9±0,8 a	-2,1±0,9 a
		Patarani	-1,9±0,9 a	-1,6±0,9 a
3	<i>Stipa ichu</i>	Alto Patacamaya	-3,4±0,4 a	-2,1±0,2 a
		Chiaraque	-4,1±0,6 a	-2,2±0,3 a
		Patarani	-3,1±0,9 a	-1,9±0,8 a
1	<i>Distichlis humilis</i>	Alto Patacamaya	-2,1±0,2 a	-1,9±0,2 a
		Chiaraque	-2,7±0,7 b	-1,5±0,7 a
		Patarani	-2,5±0,4 ab	-1,9±0,4 a
4	<i>Erodium cicutarium</i>	Alto Patacamaya	-2,2±0,6 a	-1,2±0,6 a
		Chiaraque	-2,5±0,3 a	-1,6±0,6 a
		Patarani	-2,3±0,4 a	-1,8±0,8 a
6	<i>Parastrephia lepidophylla</i>	Alto Patacamaya	-2,4±0,3 a	-1,8±0,2 a
		Chiaraque	-2,8±0,3 a	-1,8±0,4 a
		Patarani	-2,8±0,5 a	-1,8±0,6 a

Las medias que no comparten letras minúsculas de una misma columna muestran que son significativamente diferentes (Tukey $p < 0,05$).

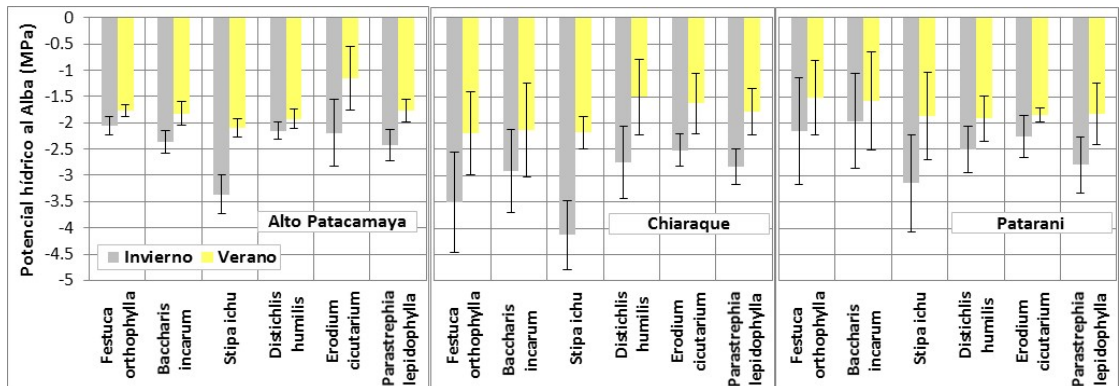


Fig. 4. Potencial hídrico de la hoja al alba de especies principales (*Festuca orthophylla*, *Stipa ichu*, *Distichlis humilis*, *Erodium cicutarium*, *Baccharis incarum*, *Parastrephia lepidophylla*) en las praderas comunidades de Alto Patacamaya, Chiaraque y Patarani, municipio de Patacamaya, Bolivia.

Fig. 4. Leaf water potential at dawn of the main grass species (*Festuca orthophylla*, *Stipa ichu*, *Distichlis humilis*, *Erodium cicutarium*, *Baccharis incarum*, *Parastrephia lepidophylla*) in the pastures of the communities of Alto Patacamaya, Chiaraque, and Patarani, Patacamaya district, Bolivia.

latentes en el periodo seco, aún a costa de la baja cantidad de agua existente, visualizada con el contenido gravimétrico de agua, sugiriendo que estas plantas tienen estrategias adaptativas como la estrategia de escape o evitación (González, 2012), teniendo un sistema radicular muy profundo (Nikolov, 2023), o por sus adaptaciones morfológicas y fisiológicas que las plantas tienen para enfrentar la aridez (Bianco y Cenzano, 2018).

Relación entre el potencial hídrico y el contenido de humedad en praderas nativas

Todas las parcelas mostraron valores de humedad gravimétrica de suelo entre 0,4 % y 17,2 %, observándose que los potenciales hídricos de las plantas más bajos (más negativos) coincidieron con suelos más secos (por debajo de 1 % de humedad gravimétrica) sobre todo en terrenos donde se encontró mayormente *Stipa ichu* (Fig. 5). La menor cantidad de agua o insignificante cantidad en el perfil del suelo en zonas áridas como el altiplano boliviano es en la época de invierno con valores por debajo del 4% (Barrientos-Pérez et al., 2023). En estas zonas áridas especies forrajeras como la *Festuca*, el *Stipa* o el *Distichlis* son capaces de tolerar déficits de agua con potenciales hídricos de hoja cercanos o por debajo del punto de marchitez permanente, lo que les permite mantener su actividad metabólica baja y tolerar periodos de sequía

(Farooq et al., 2009). Investigaciones para zonas áridas han mostrado que cuando el potencial hídrico disminuye a $-1,0$ MPa, las especies forrajeras de las praderas nativas tienen una estrategia de escape y evitación (Keep et al., 2020; Jardine, 2017; Tourneux et al., 2002); estos autores explican que los estomas se cierran cuando las condiciones de humedad del suelo van bajando; potenciales hídricos de la hoja entre -1 y $-1,2$ MPa, indican esta condición y pueden llegar hasta valores por debajo de -4 MPa después de un largo periodo de sequía. Esta estrategia de escape permite a algunas plantas entrar en un proceso de adaptación a los efectos del cambio climático, como la falta o retraso de precipitaciones o las sequías estacionales prolongadas el cual es aprovechada por el productor del altiplano para mover estratégicamente su ganado en periodos de estiaje a campos de pastoreo donde aún persiste forraje nativo (Coppock and Valdivia, 2001).

CONCLUSIONES

La investigación sugiere que el productor ganadero del Altiplano Central (Bolivia) tiene estrategias de adaptación tradicionales que se aplican (o que se aplicaron en muchos casos) en las comunidades bajo el siguiente esquema:

El pastoreo y la forma tradicional de mover el ganado, indican que existió tradicionalmente una

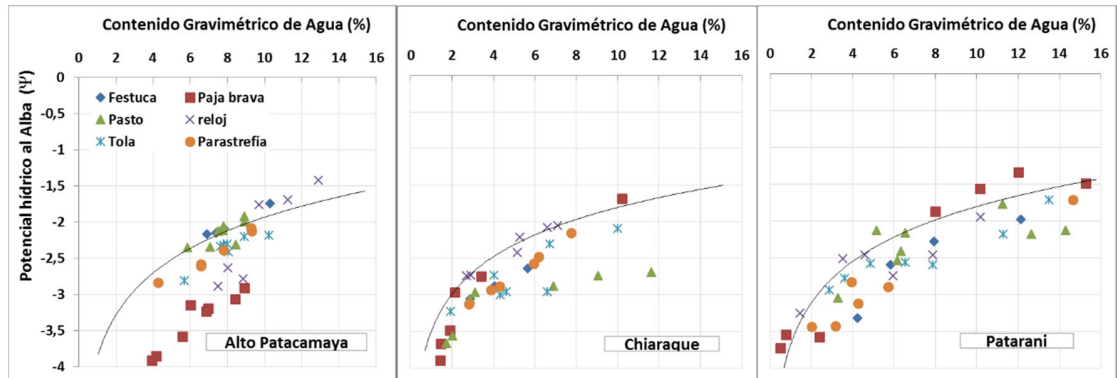


Fig. 5. Relación del potencial hídrico al alba con el contenido volumétrico de agua en el suelo de especies principales en las praderas de las comunidades de Alto Patacamaya, Chiaraque and Patarani, municipio de Patacamaya, Bolivia. Festuca: *Festuca orthophylla*; Paja: *Stipa ichu*; Pasto: *Distichlis humilis*; Reloj: *Erodium cicutarium*; Tola: *Baccharis incarum*; Parastrephia: *Parastrephia lepidophylla*.

Fig. 5. Relationship between water potential at dawn and volumetric soil water content of the main grass species in the prairies of Alto Patacamaya, Chiaraque and Patarani, Patacamaya district, Bolivia.

Festuca: *Festuca orthophylla*; Paja: *Stipa ichu*; Pasto: *Distichlis humilis*; Reloj: *Erodium cicutarium*; Tola: *Baccharis incarum*; Parastrephia: *Parastrephia lepidophylla*.

estrategia de alimentación basado en la estructura del campo de pastoreo, que permite un mejor uso de los recursos forrajeros disponibles en la época de estiaje.

El manejo tradicional del pastoreo en las comunidades de Alto Patacamaya, Chiaraque y Patarani en tiempo de estiaje se basa en la disponibilidad de forraje para pastoreo y que está en función al contenido de agua almacenado en el perfil del suelo, al tipo de planta que permanece palatable a pesar de tener potenciales hídricos de hoja que varían desde 0,5 MPa hasta -5,2 MPa, haciendo del mismo una estrategia de adaptación a los efectos del cambio climático como son las variaciones de los patrones de precipitaciones y los periodos de sequía prolongados.

Las praderas nativas son pastoreadas tradicional y principalmente en la estación seca en zonas de alta presencia de *Distichlis humilis* Phil., *Festuca orthophylla* y *Stipa ichu* complementados con otros forrajes traídos de otros lugares.

Las zonas de praderas nativas con mayor presencia de *Stipa ichu* son complementarias a la alimentación del ganado, ya que éstas permanecen en latencia durante el estiaje con potenciales hídricos muy bajos: en Chiaraque (-4,17 MPa), Alto Patacamaya (-3,36 MPa), y Patarani (-3,14 MPa).

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores del presente trabajo agradecen del apoyo del proyecto “Estrategias de adaptación en las cadenas de producción de altura” financiado con recursos de la Agencia Sueca de Cooperación para el Desarrollo Internacional (ASDI) administrado por el Departamento de Investigación, Postgrado, Gestión e Interacción Social (DIPGIS) de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Contribución de autores

Eva Conde-Viscarra: Técnico de campo, revisión bibliográfica, elaboración de la metodología y el análisis de la información; Rosmery Condori-Apanqui: Técnico de campo, elaboración de la metodología, participación activa en la discusión de los resultados y las conclusiones; Emilio García-Apaza: Coordinador de proyecto, revisión y aprobación de la versión final del artículo.

LITERATURA CITADA

- Alberdi, J. y G. Florido. 2005. El déficit hídrico como condicionante en la recolección de hierba: la sequía del año 2003. *Nimbus* N° 15-16: 5-24. <https://acortar.link/T0eB19>.
- ALP (Asamblea Legislativa Plurinacional). 2012. Ley marco de la Madre Tierra y desarrollo integral para vivir bien. Gaceta Oficial 0431. 43 p. <https://acortar.link/vTtCGo>.
- Anderson, V.J., G. Troche y R. Fugal. 2010. Preferencia de forrajes introducidos por el ganado vacuno y ovino en el Altiplano Boliviano. *Biotecnia* 12(3): 42-57. <https://acortar.link/ZQqTrb>.
- Arias-Gómez, J., M. Villasis-Keever y M. Miranda. 2016. El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México* 63(2): 201-206. <https://acortar.link/xHmk5>.
- Astudillo, A., L. Chicaiza, R. Chontasi, y N. Mastrocola. 2000. Sistemas de producción: manejo de pastos de altura. Sistema de Capacitación para el Manejo de los Recursos Naturales Renovables. 134 p. <https://acortar.link/71OFSO>.
- Atencio, L., J. Tapia, S. Mejía y J. Cadena. 2014. Comportamiento fisiológico de gramíneas forrajeras bajo tres niveles de humedad en condiciones de casa malla. *Temas Agrarios* 19(2): 245-259. <https://acortar.link/UVuRmq>.
- Ávila-Dávila, L., M. Soler-Méndez, D. Parras-Burgos, C.F. Bautista-Capetillo, A. RuizCanales y J.M. Molina-Martínez. 2020. Estimación de la velocidad de infiltración del agua en suelos no saturados empleando lisimetría de pesada. En: II Symposium Ibérico de Ingeniería Hortícola. 79-83 pp. <https://acortar.link/9xxcv3>.
- Barrientos-Pérez, E., F. Carevic-Vergara, J. Rodríguez, J. Arenas-Charlín, and J. Delatorre-Herrera. 2023. Effect of native vegetative barriers to prevent wind erosion: a sustainable alternative for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) production. *Agriculture* 13 (1432): 1-15. <https://acortar.link/1C6DKs>.
- Bianco, L. y A.M. Cenzano. 2018. Leguminosas nativas: estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. Implicancia ecológica. *Idesia* 36(4): 1-10. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005002601>
- Choque, S., D. Choque, P. Choque, J. Choqueticlla y F. Arevilla. 2018. Memoria: Primera cumbre sobre saberes ancestrales en camélidos. PRO – CAMÉLIDOS, MDRyT. 166 p. <https://acortar.link/LVVvKr>.
- Colquehuanca, N. 2018. Memoria de trabajo dirigido: Gobierno Municipal de Patacamaya 5° sección – Provincia Aroma. Trabajo para obtener el título de Licenciatura en Arquitectura, Universidad Mayor de San Andrés. 127 p. <https://acortar.link/0aiVEg>.

- Condori, R. 2017. Caracterización del uso de praderas de pastoreo y potenciales hídricos como adaptación al cambio climático en tres comunidades de Patacamaya- La Paz. Tesis Licenciatura Ingeniería Agronómica, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 117 p. <https://acortar.link/jki8rD>.
- Coppock, D. and C. Valdivia. 2001. Sustaining agropastoralism on the bolivian Altiplano: The case of San José Llanga. Department of Rangeland Resources, Utah State University, Logan, Utah, USA. 292 p. <https://acortar.link/Xe1DaC>.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29 (1): 185-212. <https://acortar.link/ig2D6D>.
- García-Apaza, E., C. Mena Herrera, N. Palacios, F. Gutierrez, R. Catari, I. Cachi, N. Tarqui, J. Mamani, E. Manriquez, R. Apanqui, and E. Conde. 2015. La seguridad hídrica y el manejo del estrés como una estrategia de adaptación al cambio climático. *Gráfica Conceptual*. 1ra. Edición. 80 p. <https://acortar.link/FkUwol>.
- García-Apaza, E., C. Mena Herrera, N. Palacios, F. Gutierrez, I. Cachi, R. Catari, E. Conde, R. Condori, J. Mamani, E. Manriquez y N. Tarqui. 2015a. Estrategias de adaptación al cambio climático en la temporalidad de uso de suelo y seguridad alimentaria. *Grafica Conceptual*. 1ra. Edición. 74 p. <https://acortar.link/1QW9Lb>.
- Gareca, E. 2012. Conservation of the tropical high mountain tree genus *Polylepis* in Bolivia: a combined ecological and genetic approach. Dissertation presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor in Sciences (Biology). Katholieke Universiteit Leuven, Groep Wetenschap & Technologie, Arenberg Doctoraatschool. 208 p. <https://acortar.link/6w5e7L>.
- Gomez, C., O. Mayorga, L. Rodriguez, J. Campero y C. Osorio. 2018. Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la región andina dentro del contexto de cambio climático. FONTAGRO, BID, Global Research Alliance, Ministry for Primary Industries. 95 p. <https://acortar.link/kjMm3M>.
- Gonzales, F.G. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. 194 p. <https://acortar.link/A7c7yJ>.
- Gutierrez, M. 2018. Análisis del potencial hídrico de especies forrajeras en zonas de pastoreo afectadas por el cambio climático en dos comunidades del municipio de Patacamaya La Paz. Tesis de Grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 138 p. <https://acortar.link/vcN0ne>.
- Hernández, E., C. Duran, B. Silva, F. Juárez, O. Vélez, y M. Mejía. 2022. Índices fisiológicos de siete especies forrajeras en diferentes ambientes tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(6): 965-975. <https://acortar.link/Fw0bwz>.
- IIACH (Instituto de Investigaciones Arquitectura y Ciencias del Habitat). 2021. Experiencias resilientes frente a los efectos del cambio climático. UMSS, Facultad de Arquitectura, Cooperación Suiza. 102 p. <https://bit.ly/3YdxBCS>.
- Jardine, E. 2017. Global relationships between plant functional traits and environment in grasslands. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. The University of Sheffield, Department of Animal and Plant Sciences. 152 p. <https://acortar.link/Q4Voye>.
- Keep, T., J. Sampoux, P. Barre, J. Blanco-Pastor, K. Dehmer, J. Durand, M. Hegarty, T. Ledauphin, H. Muelle, I. Roldán-Ruiz, T. Ruttink, F. Surault, E. Willner, and F. Voltaire. 2020. To grow or survive: Which are the strategies of a perennial grass to face severe seasonal stress? *Functional Ecology* 2021(35): 1145–1158. <https://acortar.link/eSNAO5>.
- León-Velarde, C. y V. Barrera. 2003. Métodos bio-matemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador. INIAP. 196 p. <https://acortar.link/b8FxmY>.
- Medrano, H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas-Carbó y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas (Esp)* 43(1): 63-84. <https://acortar.link/YScmWX>.
- Mendoza, S. 2008. Evaluación de la digestibilidad aparente de dietas en base a forrajes nativos (*Festuca dolichophylla*, *Stipa ichu*, *Calamagrostis sp.*) y alfalfa (*Medicago sativa*) por dos métodos in vivo en ovinos criollos (*Ovis aries*). Tesis de Grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 91 p. <https://acortar.link/ycqK83>.

- Merlo-Maydana, F., M. Loza-Murguía, J.C. Ku-Vera, R. Condori-Quispe, L. Pérez-Lugo y A. Albarracín-Villa. 2019. Degradación in situ del pastizal Chilliwár *Festuca dolichophylla* una alternativa para alimentación animal. *Journal of the Selva Andina Animal Science* 6(2): 47-56. <https://doi.org/10.36610/j.saaas.2019.060200047>.
- Navarro, G. y W. Ferreira. 2007. Mapa de Vegetación de Bolivia, Esc. 1:250 000. ISBN: 978-99954-0-168-9. The Nature Conservancy (TNC). Edición digital. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Nikolov, V. 2023. Diseño de un jardín vertical de especies del semiárido mediterráneo. Trabajo de fin de grado. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad Miguel Hernández. 58 p. <https://acortar.link/BetO1L>.
- Oropeza, T. 2021. Establecimiento de dos especies de trébol para la mejora del pastizal altoandino en el CICTEM-CÁTAC, periodo 2019-2020. Tesis para optar el título profesional de ingeniera ambiental. Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 91 p. <https://acortar.link/2gVzYl>.
- Ortuño, T., S. Bec y L. Sarmiento. 2006. Dinámica sucesional de la vegetación en un sistema agrícola con descanso largo en el Altiplano central boliviano. *Ecología en Bolivia* 41(3): 40-70. <https://acortar.link/IfZaNN>.
- Ospina-Yepes, J., N. López-Martínez, y O. Guzmán-Piedrahita. 2013. Efecto del potencial hídrico en la germinación de semillas de trigo (*Triticum spp.*) con tolerancia y sensibilidad a la sequía. *Agron.* 21(1): 37-47. <https://acortar.link/SuqfHT>.
- Quispe, R. y M. Jimenez. 2014. Relación de las forrajeras nativas más preferidas por el ganado vacuno con el contenido nutricional y su disponibilidad dentro del bosque, comunidad de Azero Norte - parque nacional y área natural de manejo integrado serranía del Ñao. *Ciencias Tecnológicas y Agrarias, Handbooks -ECORFAN- Sucre, Bolivia*, 2014. 30 p. <https://acortar.link/CiFARw>.
- Ruiz, C. y M. Valenzuela. 2022. Metodología de la investigación. Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo (UNAT) - Fondo Editorial. 121 p. <https://acortar.link/kXk0pm>.
- Ruiz, V., L. Rocha, y R. Savé. 2021. Respuesta al estrés hídrico y a la defoliación de la leguminosa forrajera *Calopogonium mucunoides* Desv según zona de procedencia. *La Calera* 21(37): 1-11. <https://acortar.link/1apTjw>.
- Silva, P., H. Silva, M. Garrido, y E. Acevedo. 2015. Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 86 p. <https://acortar.link/WpeLfy>.
- Squeo, F. 2007. El Agua y el Potencial Hídrico. En: *Fisiología Vegetal* (F.A. Squeo y L. Cardemil, eds.). Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile (2007) 2: 47-66. <https://bit.ly/3rVzuyj>.
- Tourneux, C., A. Devaux, M. Camacho, P. Mamani, and J. Ledent. 2002. Effect of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (II): water relations, physiological parameters. *Agronomie* 23(2003): 181-190. <https://acortar.link/q1mrGW>.
- Urrutia-Estrada, J. y A. Fuentes-Ramírez. 2019. Métodos fitoecológicos aplicados en la caracterización de ecosistemas de referencia. *Ciencia e Investigación Forestal INFOR Chile* 25(3): 81-92. <https://acortar.link/yypiEw>.
- Zavala-Borrego, F., A. Reyes-González, V. Álvarez-Reyna, P. Cano-Ríos, y V. Rodríguez-Moreno. 2022. Efecto de la tasa de evapotranspiración en área foliar, potencial hídrico y rendimiento de maíz forrajero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(3): 407-420. <https://bit.ly/3Ya7m6V>.
- Zavala-Borrego, F., A. Reyes-González, V. Álvarez-Reyna, M. García-Carrillo, V. Rodríguez-Moreno, y P. Preciado-Rangel. 2021. Efecto de diferentes niveles de evapotranspiración sobre área foliar, temperatura superficial, potencial hídrico y rendimiento en sorgo forrajero. *Terra Latinoamericana* 39(2): 1-14. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.954>.