

Diversidad genética y composición bromatológica de *Atriplex* ssp., *Tarasa tenella*, *Chenopodium ambrosioides* y *Chenopodium* aff. *pallidicaule*: Especies forrajeras nativas del altiplano árido de Bolivia

Alejandro Bonifacio; Genaro Aroni; Milton Villca

Fundación PROINPA (Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos)

E-mail de contacto: a.bonifacio@proinpa.org

Resumen. En el altiplano árido, la ganadería ovina y camélida son las principales actividades productivas. Actualmente, grandes zonas del altiplano se encuentran afectadas por la salinidad, sequía y heladas, donde pocas especies forrajeras nativas pueden crecer. Las especies nativas son escasamente valoradas, por lo que se ha propuesto investigar algunas especies nativas que destacan, para conocer el ciclo de vida, diversidad genética, adaptación y la composición bromatológica. Para alcanzar los objetivos, se ha recorrido las zonas áridas del Altiplano Central y Sur donde por observación directa e *in situ*, se ha descrito las características de las especies y se ha recolectado material vegetal en floración y remitido al Laboratorio CETABOL (Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia). Los resultados muestran que *Atriplex myriophylla* y *A. asplundii* son bianuales y *Atriplex* sp. (cfr. *A. oreophylla*) de ciclo perenne; las tres especies son monoicas y alógamas con plantas de color verde y púrpura, adaptadas a suelos salinos y sódicos. *Chenopodium ambrosioides* (perenne), *Tarasa tenella* y *Chenopodium* aff. *pallidicaule* (anuales) son autógamias adaptadas a suelos francos y arenosos (dunas) con plantas de color verde, púrpura y rojo. Las especies mencionadas contienen entre 12.45 y 24.12% de proteína, 0.20 a 0.36%, de fósforo, 2.02 a 5.95% de potasio, 0.05 a 4.25% sodio, 0.75 a 2.06% de calcio y de 0.25 a 1.21% de magnesio. En conclusión, las especies estudiadas presentan diversidad intra específica e inter específica que constituyen un recurso forrajero alternativo en un contexto adverso determinado por el cambio climático.

Palabras clave: Especies nativas; Recursos forrajeros; Zonas áridas

Introducción

El altiplano es una zona geográfica ubicada en el Occidente de Bolivia donde ocupa su mayor extensión, además abarca parte del Norte argentino, parte del Norte de Chile y parte del Sur de Perú.

El altiplano es una cuenca sedimentaria ubicado en los ramales Oriental y Occidental de la Cordillera de Los Andes. Se habría formado en alrededor de 16 millo-

nes de años y ha evolucionado como sistema endorreico (Sempere *et al.*, 1991; Hérail *et al.*, 1997).

En el altiplano, la precipitación pluvial no es homogénea, al contrario, presenta un marcado gradiente pluviométrico de Norte a Sud, con montos decreciente hacia el Sur (Aceituno 1997). En esta zona, las especies vegetales y animales presentan una amplia diversidad, destacándose su adaptación milenaria que

persiste actualmente. Entre las plantas cultivadas se destacan la quinua y algunas especies de papa y entre los animales domésticos los camélidos sudamericanos y la oveja introducida durante la Colonia.

Según Aceituno (1997), el altiplano se encuentra en la franja tropical del globo terrestre, sin embargo, debido a la gran altitud y extensión, sus condiciones climáticas son muy particulares, caracterizadas por bajas temperaturas, baja presión atmosférica, bajo contenido de vapor de agua y menor cantidad de oxígeno atmosférico, con una mayor radiación solar global y el componente ultravioleta; esta condición climática determina que el altiplano sea un laboratorio natural para estudiar formas de adaptación de la vegetación y de la vida animal.

D'Orbigny (2002) en su viaje por América Meridional entre 1826 a 1833, incluyó Bolivia y particularmente el altiplano, donde encontró escasos campos de cultivo de papa y quinua, pero grandes áreas donde se criaban llamas, alpacas y ovejas, lo cual muestra la aptitud ganadera del altiplano, tal como confirman Tapia (1971), Alzérreca *et al.* (2002) y Genin y Alzérreca (2006).

En las zonas áridas y semi áridas afectadas por factores limitantes como salinidad, sequía y arenales, se encuentran los pastos nativos tales como *liwi-liwi*, *qawchi*, *chiji blanco*, *chiji negro*, *qura*, *payqu*, entre muchos otros.

Según Mulgura de Romero (1981), el género *Atriplex* está integrado por 250 especies, mientras que Rosas (1989) sostiene que está integrado por 200 especies que habitan las zonas subtropicales con plantas de hábito herbáceo. Por su parte, Brignone *et al.* (2016), mencionan que el género *Atriplex* presenta 55 especies

sudamericanas. A nivel mundial, la taxonomía del género *Atriplex* se ha mantenido en confusión (Rosas 1989); mientras que Brignone *et al.* (2016) refiriéndose a las especies de Sud América, sostienen que los estudios taxonómicos han sido tratados en forma parcial en Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador y Venezuela.

El género *Tarasa* incluye 24 especies, entre ellas *Tarasa tenella* que tienen pétalos auriculados, colores liláceos o azules, inflorescencia cimosa y mericarpos dehiscentes (Krapovickas 1954). El número básico de cromosomas en *T. tenella* es 5, siendo las diploides $2n = 10$ cromosomas y tetraploides de $4n = 20$ cromosomas (Krapovickas 1954 y 1960).

En las plantas existe una relación entre la poliploidía y la capacidad que tienen los poliploides de colonizar nuevas áreas y extenderse hacia áreas más inhóspitas (Krapovickas 1960). La diferenciación de especies del género *Tarasa* es difícil porque las diferencias morfológicas son pequeñas, pero las diferencias adquieren importancia cuando se toma en cuenta el nivel de poliploidía y la distribución geográfica. Las especies tetraploides colonizan zonas de mayor altura que las diploides. Las especies anuales de *Tarasa* son nitrofilas, por lo que se encuentran en proximidades de habitaciones humanas, corrales, como maleza en cultivos y espontáneas en los bordes de caminos (Krapovickas 1960).

El género *Chenopodium* está ampliamente distribuido en el mundo, está integrado por especies anuales caracterizadas por su adaptación a zonas áridas y diferenciándose en aspectos morfológicos y número de cromosomas (Giusti 1970). Las especies silvestres de este género que crecen en el altiplano son diversos entre ellas se tiene a las siguientes: *Chenopo-*

dium quinoa var. *melanospermum* (ajara), *Ch. petiolare* (ajara perenne), *Ch. carnosolum* (ciclo anual y tolerante a salinidad), *Ch. ambrosioides* (payqu, perenne), *Chenopodium aff. pallidicaule* (illama) y *Diphanía botrys*. Cabe mencionar que la taxonomía de las especies silvestres del género *Chenopodium* aún se mantiene compleja en su sinonimia como el caso del payqu (*Ch. ambrosioides*, *D. ambrosioides*, *Ch. incisum*) (Cassani *et al.*, 2020).

En las especies nativas se tiene escasa información sobre su ciclo de vida, adaptación, forma de fecundación y reproducción. Esta información es importante para fines de manejo y aprovechamiento de los recursos vegetales nativos, por lo que se ha propuesto los siguientes objetivos trabajando con las especies referidas nativas de uso forrajero:

- Investigar su adaptación en zonas áridas.
- Describir la diversidad genética y forma de reproducción.
- Analizar su composición bromatológica.
- Revalorizar estas especies de zonas áridas como recurso vegetal multipropósito.

Materiales y métodos

La descripción de la diversidad genética de las especies se ha realizado en base a colonias de plantas en campos de pastoreo donde fueron examinadas; de algunos ejemplares de plantas se colectó muestras de tejido vegetal y semilla. Los sitios de colecta fueron descritos en las características del suelo donde crecen poblaciones de plantas nativas.

La descripción de la diversidad genética se realizó en base a aspectos morfológi-

cos, adaptación, sistema de reproducción y opciones de su adaptación al cambio climático.

La información sobre el uso de las plantas fue accedida mediante entrevistas a productores de los sitios de colecta, la misma que fue ampliada con perspectivas de su manejo y aprovechamiento en el contexto actual, determinado por el cambio climático.

La forma de fecundación fue determinada mediante observación de las flores, su condición de flor perfecta, imperfecta o unisexual y la distribución de las flores unisexuales en la planta. Con respecto a la fisiología de la semilla, se ha dado énfasis a la dormancia de la semilla y el factor que limita su germinación.

Para conocer la composición bromatológica de las especies nativas se zonas áridas, se tomó muestras en fase fenológica de inicio de floración y enviada al *Laboratorio CETABOL (Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia)* para el análisis respectivo.

En base a la información generada, se ha propuesto revalorizar a las especies nativas de zonas áridas en función al uso forrajero y otras funciones que cumplen en el agroecosistema, afectado negativamente por el cambio climático.

Resultados y discusión

Las especies nativas del altiplano (Cuadro 1), si bien todas crecen en el altiplano, presentan adaptación diferenciada.

Cuadro 1. Especies, sitios de colecta y características del suelo

Nombre común y especie	Sitios de colecta, municipio	Tipos de suelo	Hábito de crecimiento	Usos
Qura <i>Tarassa tenella</i>	Orinoca, Sur Carangas	Franco arenoso	Postrado	Forraje
	P.N. Sajama, Sajama	Franco, franco-arenoso	Postrado a semi erecto	Forraje
	Kiphakiphani, Viacha	Franco-arcilloso	Postrado, semi erecto	Forraje
	Lawachaca, Sica-Sica	Franco-arcilloso	Postrado	Forraje
	Tres Cruces, Toledo	Arcilloso	Postrado	Forraje
Liwi-liwi, <i>Atriplex myriophylla</i>	Ayamaya, Aroma	Arcilloso, salino	Postrado	Forraje
<i>Atriplex nitriohyloides</i>	Ayamaya, Aroma	Arcilloso, salino	Postrado	Forraje
<i>Atriplex oreophylla</i>	Pulacayo, A. Quijarro	Arcilloso pedregoso	Postrado	Forraje
<i>Atriplex asplundii</i>	Signalaca, Salinas G.M.	Franco, salino	Postrado	Forraje
Paiqu <i>Chenopodium ambrosioides</i>	Orinoca, Andamarca	Arenoso (dunas)	Postrado, raíz reservante	Forraje, medicinal
	Lawachaca, Sica-Sica	Franco-arcilloso	Idem	Forraje
	Kiphakiphani, Viacha	Franco, pedregoso	Idem	Forraje, medicinal
Illama <i>Chenopodium aff. pallidicaule</i>	Rosapata, Andamarca	Franco	Postrado	Forraje, alimenticio, medicinal
	P.N. Sajama, Sajama	Franco	Postrado	Idem
	Kiphakiphani, Viacha	Franco, gravoso	Postrado	Idem

Las plantas del género *Atriplex* se adaptan casi exclusivamente en suelos salinos y de planicie (Brignone et al. 2016), con excepción de *Atriplex oreophylla* que crece en suelo arcilloso y de ladera. *Tarassa tenella* y *Chenopodium aff. pallidicaule* se adaptan a ambientes más o menos similares, siendo su característica común la preferencia de suelos con

abundante materia orgánica y textura franca a arcillosa, confirmándose lo afirmado por Krapovickas (1954). *Chenopodium ambrosioides* tiene un amplio rango de adaptación, destacándose por su adaptación en suelos arenosos, inclusive con formación de dunas, además crece relativamente bien en suelos de textura franca a franco arcillosa.

El hábito de crecimiento postrado de las especies mencionadas tiene relación con la tolerancia a heladas, lo que explica su adaptación a suelos de planicie donde las heladas son frecuentes y severas.

En el Cuadro 2 se muestra que *T. tenella* y *Chenopodium aff. pallidicaule* son herbáceas de ciclo anual y su fecundación es autógama con polinización cruzada frecuente. *Ch. ambrosioides* es de ciclo perenne, ginomonoica de fecundación autógama con polinización cruzada frecuente. Las tres especies presentan similar forma de fecundación, lo que conduce a generar variabilidad en sus poblaciones y por tanto, confiere opciones de adaptación ante contextos ambientales cambiantes; adicionalmente, el *payqu* -por ser de ciclo perenne- presenta opciones de permanencia ante situaciones adversas que limitan la producción de semilla (helada) o limitan su establecimiento (sequía).

Las especies de *Atriplex* son de flores unisexuales, cuya forma de fecundación es la alogamia con mínima proporción de autogamia. Estas plantas generan mayor variabilidad genética y poseen las mayo-

res opciones de adaptación al contexto de cambio climático. Sin embargo, la alta variabilidad de la especie trae consigo las complicaciones a nivel taxonómico (Rosas 1989).

Todas las especies estudiadas se reproducen por vía sexual, diferenciándose en la prolificidad y fisiología de su semilla, siendo la dormancia una característica común (Cuadro 3). Lo anterior implica el desarrollo de métodos de tratamientos pregerminativos, para contribuir al manejo dirigido de estas especies.

La diversidad morfológica intra específica se encuentra reflejada en el color del tallo, color de la flor (Figura 1 en el caso de *Tarasa tenella*) y color de la semilla (Cuadro 4), atribuible a las diferencias genéticas. Si bien estas diferencias son de tipo morfológico, es lógico que también presenten diversidad intra específica en adaptación, crecimiento y producción de fitomasa, lo cual constituye el insumo básico para la selección con fines de aprovechamiento en un contexto de cambio climático.

Cuadro 2. Ciclo de vida y fecundación de *Tarasa tenella*, *Atriplex* sp., *Chenopodium ambrosioides* y *Ch. aff. pallidicaule*

Nombre científico	Ciclo de vida	Flores	Fecundación
<i>Tarassa tenella</i>	Anual	Perfecta	Autógama, cruzada frecuente
<i>Atriplex myriophylla</i>	Herbácea bianual	Unisexual, monoica	Alógama
<i>Atriplex nitriohylloides</i>	Herbácea bianual	Unisexual, monoica	Alógama
<i>Atriplex oreophylla</i>	Herbácea, perenne	Unisexual, monoica	Alógama
<i>Atriplex asplundii</i>	Herbácea bianual	Unisexual, monoica	Alógama
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Herbácea perenne	Perfecta, ginomonoica	Autógama, cruzada frecuente
<i>Chenopodium aff. pallidicaule</i>	Herbácea	Perfecta, ginomonoica	Autógama, cruzada frecuente

Cuadro 3. Ciclo de vida y forma de reproducción de especies nativas

Especie	Reproducción	Características de la semilla
<i>Tarassa tenella</i>	Sexual, prolífica	Altamente dormante/sustancias inhibitoras
<i>Atriplex myriophylla</i>	Sexual, prolífica	Ligeramente dormante/dureza de brácteas
<i>Atriplex nitriohylloides</i>	Sexual	Ligeramente dormante/dureza de brácteas
<i>Atriplex oreophylla</i>	Sexual, prolífica	Ligeramente dormante/dureza de brácteas
<i>Atriplex asplundii</i>	Sexual, prolífica	Ligeramente dormante/dureza de brácteas
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Sexual, prolífica	Dormante/perigonio y dureza episperma
<i>Ch. aff. pallidicaule</i>	Sexual	Dormante/dureza episperma



Blanco, base pigmentada



Blanco



Azul, base pigmentada



Púrpura, base pigmentada

Figura 1. Diversidad de colores de pétalos en la flor de *Tarasa tenella***Cuadro 4.** Diversidad intra específica de *Tarasa tenella*, *Atriplex asplundii*, *Chenopodium ambrosioides* y *Ch. aff. pallidicaule*

Especie	Color tallo	Color de flor, panoja	Color de semilla
<i>T. tenella</i>	Verde, púrpura	Blanco, púrpura, lila	Café claro y negro
<i>A. asplundii</i>	Verde, púrpura	Teca verde, amarillo	Café, rojo
<i>Ch. ambrosioides</i>	Verde, púrpura	Teca rosada o amarilla	Café, negro
<i>Ch. aff. pallidicaule</i>	Verde, púrpura	Púrpura, verde	Café claro y negro

El análisis bromatológico (Cuadro 5) muestra contenidos alentadores de principios nutritivos para la alimentación animal. Se trata de especies adaptadas al altiplano con aptitud de producir forraje a nivel local y en condiciones adversas. El contenido de proteína bruta varía entre 12.08% y 24.12%, lo cual hace interesante como alimento suplementario frente a las fuentes de forraje predominantemente de baja calidad que se produce en el alti-

plano. La *illama* y el *payqu* con 20.86% y 24.12% de proteína, respectivamente, constituyen una fuente alternativa para la alimentación animal. En la pradera nativa de Santiago de Machaca, el IICAT (2015), para *illama* reportó 10.74% de proteína cruda y 20.71% de fibra. Alzérreca (1992), reportó 14.8% de proteína cruda en época húmeda para *Atriplex cristata* (sinónimo de *A. myriophylla*).

Cuadro 5. Análisis bromatológico de cinco especies nativas forrajeras

Parámetro	<i>T. tenella</i>	<i>A. myriophylla</i>	<i>A. asplundii</i>	<i>Ch. ambrosioides</i>	<i>Ch. aff. pallidicaule</i>
Ceniza (%)	12.45	31.29	22.75	16.4	22.14
Proteína bruta (%)	12.08	14.83	15.97	20.86	24.12
Extracto etéreo (%)	2.38	1.74	5.34	1.94	1.00
Fibra cruda (%)	22.66	14.04	16.35	17.02	9.76
FDA (%)	29.89	20.55	26.37	25.44	16.19
FDN (%)	36.40	33.57	38.41	34.09	25.02
Fósforo (%)	0.29	0.20	0.24	0.33	0.36
Potasio (%)	2.49	3.99	2.0	4.09	5.95
Sodio (%)	0.07	4.25	3.37	0.05	0.57
Calcio (%)	1.46	1.00	0.95	2.06	0.75
Magnesio (%)	0.25	0.99	0.74	0.68	1.21

Las especies investigadas, presentan buenas opciones de su aprovechamiento múltiple en los ecosistemas áridos del altiplano. Su principal uso radica en la alimentación animal ya sea en pastoreo o cosechadas para henificación. Sin embargo, estas especies cumplen otras funciones en el agroecosistema, tales como cobertura del suelo, secuestro de carbono, protección del suelo contra la erosión, hospedaje de micro organismos benéficos hasta uso medicinal para humanos.

El aprovechamiento implica investigaciones sobre los métodos de colecta y beneficiado de semilla, la fisiología de la semilla, métodos de establecimiento y en general estrategias de manejo sostenible de los recursos vegetales en zonas áridas.

Conclusiones

- Las especies investigadas tienen como uso principal el forraje y presentan adaptación variada, siendo algunas de amplia adaptación y otras de adaptación específica.

- La diversidad genética de las especies nativas está representada por el ciclo de vida, el color de planta, color de la flor, forma de fecundación y reproducción, destacándose la generación de variación genética que es el factor que contribuye a la adaptación al contexto de cambio climático.
- El análisis bromatológico de las especies nativas de zonas áridas refleja contenidos de proteína entre 12.08 y 24.12% y de fibra cruda entre 9.76% y 22.66%, además de otros componentes de interés para la nutrición animal.
- Las especies nativas de zonas áridas merecen ser revalorizadas por su adaptación a condiciones adversas extremas, su calidad forrajera y la funcionalidad en el agroecosistema; para esto, se requiere desarrollar métodos de colecta, establecimiento y en general una estrategia de aprovechamiento múltiple y sostenido.

Referencias citadas

- Aceituno P. 1997. Aspectos generales del clima en el altiplano sudamericano. **En:** Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, 19 al 21 de octubre 1993, Arica, Chile. Santiago de Chile. p. 63-69.
- Alzérreca H. 1992. Producción y utilización de los pastizales de la zona andina de Bolivia. Red de Pastizales Andinos (REPAAN). Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA). Papiro. La Paz, Bolivia. 146 p.
- Alzérreca H., Laura J., Prieto G., Céspedes J., Calle P., Vargas A., Cardozo A. 2002. Informe final: *Estudio de la tola y su capacidad de soporte para ovinos y camélidos en el ámbito boliviano del sistema TDPS*. Autoridad Binacional del Lago Titicaca - PNUD-AIGACA. La Paz, Bolivia. 203 p.
- Brignone N., Denham S., Pozner R. 2016. Synopsis of the genus *Atriplex* (Amaranthaceae, Chenopodioideae) for South America. *Australian Systematic Botany*. 29(4-5): 324-357.
- Cassani J., Dorantes-Barrón A., Mostalac-Buentello D. Adan-Ruiz, A., Gonzalez-Hidalgo B., Arrieta-Baez D., Estrada-Reyes R. 2020. *Chenopodium incisum* Aerial Parts Extract Induces Anxiolytic-Like Effects in Mice. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 30: 132-138.
- D'Orbigny A. 2002. Viaje a la América Meridional Brasil - República del Uruguay - República Argentina - La Patagonia República de Chile - República de Bolivia - República del Perú realizado de 1826 a 1833. 2da ed. Embajada de Francia, IFEA-IDR. Plural. La Paz, Bolivia. 1785 p.
- Genin D., Alzérreca H. 2006. Campos nativos de pastoreo y producción animal en la puna semiárida y árida andina, *Secheresse* 17(1-2): 265-274.
- Giusti L. 1970. El género *Chenopodium* en Argentina: I Número de cromosomas. *Darwiniana* 16(1-2): 98-105.
- Hérail G., Rochap P., Baby P., Aranibar O., Lavenu A., Mascle G. 1997. El altiplano, ciencia y consciencia de Los Andes: El altiplano norte de Bolivia, Evolución geológica terciaria. **En:** Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, 19 al 21 de octubre 1993, Arica, Chile. Santiago de Chile, Chile. pp. 33-44.
- IICAT. 2015. Determinación del valor nutricional de la pradera nativa provincia José Manuel Pando Municipio de Santiago de Machaca. Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Tecnología (IICAT). *Journal of the Selva Andina Animal Science* 2(1): 22-33.
- Krapovickas A. 1954. Sinopsis del género *Tarasa* (Malvaceae). *Sociedad Argentina de Botánica*. 4(3): 113-143.
- Krapovickas A. 1960. Poliploidía y área en el género *Tarasa* (Malvaceae). *Lilloa* 30: 234-249.
- Mulgura de Romero A. 1981. Contribuciones al estudio del género *Atriplex*. *I Darwiniana*. 23(1): 119-150.
- Rosas M. 1989. El género *Atriplex* (Chenopodiaceae) en Chile. *Gayana Botánica*. 46(1-2): 3-82.
- Sempere T., Herail G., Baby B., Marocco R., Oller J., Barrios L. 1991. El altiplano boliviano - Una provincia de cuencas intramontanas de antepais relacionadas con el acortamiento cortical en la región del oroclino boliviano. *Revista técnica de YPF*. 12 (2): 225 - 227.
- Tapia M. 1971. Pastos naturales del altiplano de Perú y Bolivia. Programa de Investigación Zona Andina, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Quito, Ecuador. Publicación Miscelánea Numero 85. 200 p.