

# La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), un potencial forrajero en la alimentación del ganado doméstico, ante los cambios climáticos en el Altiplano Boliviano

Bernardo Soliz

Universidad Mayor de San Andrés, Carrera de Ingeniería Agronómica,  
Estación Experimental de Patacamaya

E-mail de contacto: [bernardosoliz04@gmail.com](mailto:bernardosoliz04@gmail.com)

**Resumen.** La quinua, por su tolerancia a factores adversos y amplio rango de adaptación, se constituiría en una alternativa de producción de forrajes por su calidad nutritiva; por ende fue de interés estudiar diferentes condiciones de manejo en dos variedades de quinua: *Sajama* y *Chucara*. Se estimó la influencia de tres niveles de déficit de humedad en el suelo (alta **Da**, media **Dm** y baja **Db**) en la producción de materia verde y seca (**MV** y **MS**), contenido de proteína (**CP**) y saponinas (**S**), en cinco etapas de desarrollo (vegetativo inicial **VI**, ramificación **R**, panoja **P**, floración **F** y llenado de grano **LG**), también en el uso eficiente de agua (**EUA**). El estudio se realizó en el Jagüey de Ferniza (Saltillo, México), en el año 2002; se evaluó bajo el diseño de parcelas sub divididas con cuatro repeticiones. Se registraron diferencias en el déficit de humedad y en etapas para MV y MS; la MV producida en las etapas P, F y LG, en Db, fue: 41.737, 61.323, 62.934 kg/ha y 5.859, 10.707, 13.490 kg/ha de MS; en Dm y Da, la reducción con respecto a Db fue de 33 y 39% de MV y MS, respectivamente. La CP para las etapas se redujo de 24.2 a 14.5% en VI y R, en P y F contenían 17.9 y 15.9%. En S las diferencias se presentaron en déficit de humedad y sus valores medios en R, F, LG fueron 0.30, 0.56 y 0.31%. La EUA en P para MS en Db, Dm y Da fueron 1.90, 1.27, y 1.35 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, y la media para CP fue de 0.28 kg/m<sup>3</sup> en P; en F aumentaron en 25% (Db), 60% (Dm) y 55% Da).

**Palabras clave:** Quinua; Déficit de humedad; Variedades de quinua; Materia verde y seca; Proteínas; Saponinas; Uso eficiente de agua

## Introducción

Bolivia es uno de los países con mayor variabilidad de América, que contrasta categóricamente en sus paisajes, desde las altas montañas hasta las planicies (6.600 a 130 msnm); en efecto, la variación climática resultante es marcada, desde los fríos andinos hasta los bosques tropicales; las tierras bajas ocupan más del 61,0%; por tanto, las diferencias en altitud son determinantes de la variabilidad ecológica de las regiones.

El Altiplano, con una superficie de 246.254 km<sup>2</sup>, cuenta con tres sectores: el **Norte**, que es benigno por su cercanía al lago Titicaca, la **Central** que es más seca y el **Sur Árido** con presencia de gramíneas, mientras el Sur es árido, situado en los salares de Uyuni y Coipasa. Sin embargo, existen extensos pastizales donde padece el ganado doméstico, convirtiéndose en una región productora de carne.

La altitud y el evento climático de la región, definen la inseguridad alimentaria del ganado. A pesar de estos contrastes,

existen animales adaptados al contexto local, los cuales registran índices zootécnicos aceptables; sin embargo, en algunos años por contrastes erráticos de lluvias o temperaturas bajas, limitan la producción de especies forrajeras, en secuela, los animales expresan un estado corporal pobre.

En zonas semiáridas del Altiplano, crecen plantas forrajeras de leguminosas y gramíneas, algunas son exigentes en humedad; en años propicios de clima, pueden producir bastante forraje para el sustento del ganado; mientras en épocas secas, se acentúa la subalimentación.

En ese marco de déficit nutricional, la quinua por ser tolerante a suelos pobres, a temperaturas extremas y a su capacidad productiva en materia verde y nutricional (24%), se constituiría en un recurso forrajero de alto sostenibilidad en la alimentación del ganado doméstico.

Por tanto, resulta ponderable incidir en la quinua (*Chenopodium quinoa* W.) por su potencial: nutritivo, tolerancia al clima y rusticidad. Sin duda urge la necesidad de diversificar su uso como planta forrajera en su estado vegetativo; a corto y mediano plazo, podría constituirse en una fuente vital de preparación de raciones, destinadas a la alimentación del ganado, especialmente en vacas lecheras, sobre todo durante las épocas de carestía de alimentos (estiaje).

## Materiales y métodos

En base a los datos obtenidos por Soliz *et al.* (2002), se estableció un experimento en la Estación Experimental de Patacamayá (Carrera de Ingeniería Agronómica, UMSA) de dos variedades de quinua con fines forrajeros, evaluando dos va-

riedades de quinua: *Sajama* y *Chucara* en materia verde y seca, así como las variaciones de proteínas y saponinas, en cuatro fases de desarrollo de las plantas.

En ese sentido, además de las variables indicadas, se estimó el eficiente uso del agua, en las dos variedades de quinua con contenidos moderados de saponina en el grano, sometidas a tres niveles de humedad en el suelo, durante el año 2002, en condiciones semi áridas del municipio de Juaguey de Ferniza, Estado de Coahuila, México.

Para efectos técnicos y de evidencia para el uso como alimento del ganado en el Altiplano Boliviano, se denotan datos obtenidos del estudio de las variedades de quinua, sometidas a tres déficits hídrico en el suelo: baja, media y alta (Db, Dm y Da), que permitió estimar el efecto de la humedad en producción de materia verde (MV) y seca (MS), proteína (PC) y saponina (S), en cinco fases del cultivo: ramificación inicial (RI), ramificación (R), panojamiento (P), floración (F) y llenado de grano (LG), así también se calculó la eficiencia del uso de agua (EUA) para MS y en el estado de panojamiento (P).

## Resultados y discusión

La quinua por su diversidad, rusticidad y potencialidad productiva en grano y en forraje, en condiciones de altura (4000 msnm), tiene la capacidad de adaptarse fácilmente a distintos pisos ecológicos, en especial en áreas semiáridas; sin embargo, el factor que más limita su productividad es la escases de agua; a pesar de este factor, la quinua se caracteriza de ser una planta poco exigente en nutrientes y en agua, de preferencia suele sembrarse en suelos pobres en materia orgánica (2%).

### Déficit hídrico en el cultivo

En la Figura 1, se tienen las variaciones de disponibilidad de humedad en el suelo, durante el ciclo vegetativo de las variedades de quinua, observándose claramente la influencia de los tratamientos de humedad, comprendido de 9 a 78 días después de la siembra (dds), las lluvias registradas después de los 79 dds hasta el final del ciclo (120 dds) fueron de 115 mm, que evitaron los abatimientos previstos.

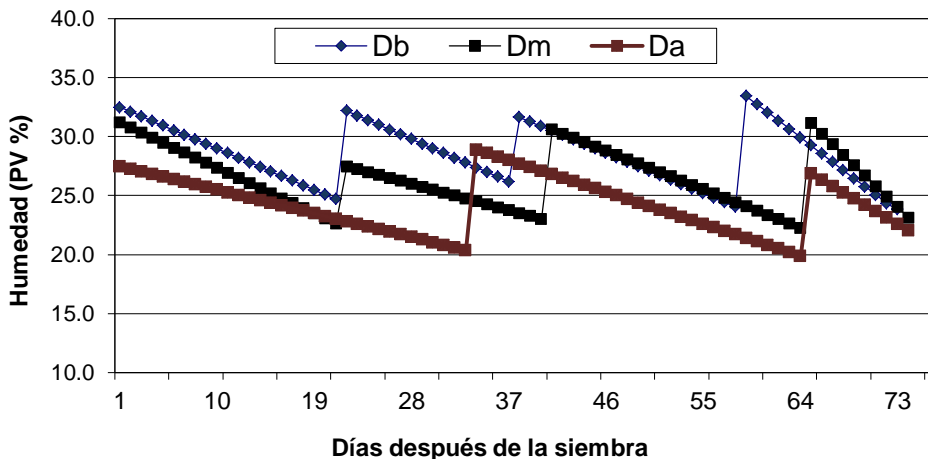
Según la Figura 1, a partir de 9 a 78 dds, al **Db** se le aplicaron cuatro riegos, la evapotranspiración (EVT) del cultivo en este período fue de 305 mm; al **Dm** también se le aplicaron cuatro riegos y su EVT durante el mismo período, fue de 249 mm y al tratamiento de mayor déficit hídrico (**Da**) se le aplicaron tres riegos y la EVT fue de 200 mm de agua; los resultados de consumo de agua por las plantas, confirman la tolerancia a los déficits hídricos por tiempos prolongados, donde **Db** estuvo sometido a condi-

ciones más favorables de disponibilidad de agua en el suelo que el **Dm**, y este a su vez que el **Da**; en este déficit alto, el cultivo se desarrolló sobre un suelo de mayor déficit de agua, provocando un mayor estrés hídrico en las plantas.

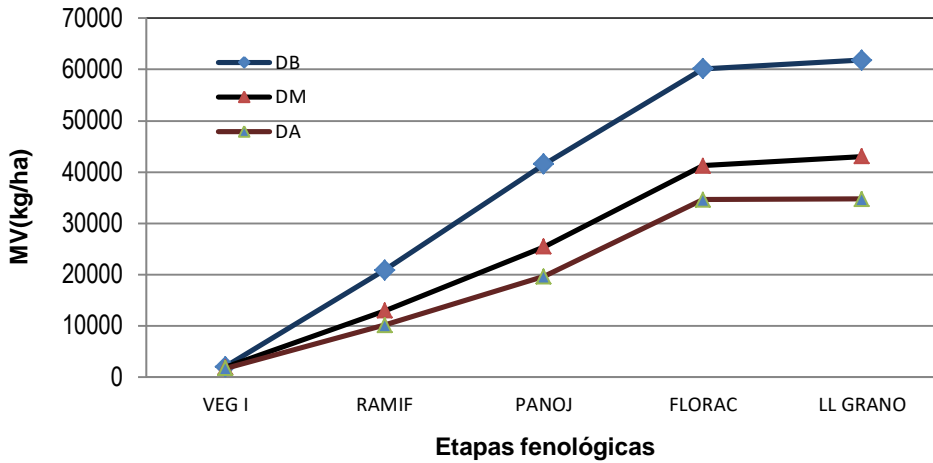
### Materia verde y seca

La proporción de MV y MS, establece en el análisis de varianza, una respuesta altamente significativa al déficit de humedad en el suelo, en las etapas de **P**, **F** y **LG**; el **Db** tuvo un rendimiento de 41.737 kg/ha en MV y de 5.859 kg/ha en MS (Figuras 2 y 3); en la etapa **F**, el tratamiento en cuestión alcanzó un rendimiento de 61.323 kg/ha y 10.3490 kg/ha en MV y MS, respectivamente.

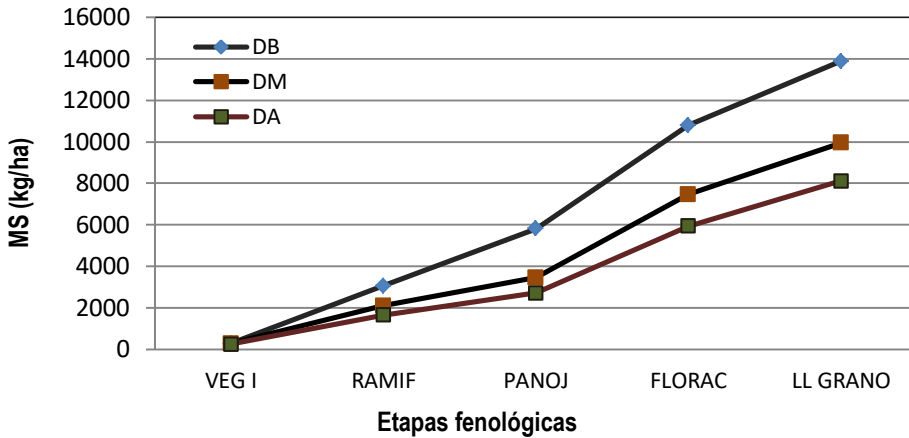
Finalmente en la etapa de llenado de grano (**LG**), registró un rendimiento de 62.934 kg/ha de MV y 13.490 kg/ha de MS, deduciéndose una reducción en **Dm** del 28% y el **Da** en 41% en las dos variables.



**Figura 1.** Contenidos de tres niveles de humedad en el suelo o abatimiento (AHD) para el cultivo de quinua en Jaguey de Ferniza (2002)



**Figura 2.** Rendimiento de materia verde (MV) en dos variedades de quinua bajo tres déficits de humedad en el suelo en Jagüey de Ferniza (2002)



**Figura 3.** Rendimiento de materia seca (MS) en dos variedades de quinua bajo tres déficits de humedad en el suelo en Jagüey de Ferniza (2002)

De acuerdo a las figuras 2 y 3, los altos valores en MV y MS registrados en las variedades *Sajama* y *Chucara*, corresponden al **Da**, lo cual se podría atribuir a la mayor capacidad fotosintética por área foliar y a la absorción de agua por el sistema radicular de las plantas; en cambio en el caso de los **Dm** y **Db**, por las limitaciones hídricas impuestas a lo largo del ciclo vegetativo, las dos variedades no lograron expresar su potencial productivo, a pesar de presentar diferencias entre parcelas, estos materiales estadia-

dos, en alguna medida no lograron desarrollarse con cierta normalidad, lo cual está expresado en la biomasa aérea producida.

Los rendimientos de MV y MS alcanzados por las dos variedades de quinua en el **Db**, son superiores a los obtenidos por Capelo (1983) en Ecuador, con las variedades *Sajama* y *Chonca*, determinados a los 105 dds, llegando a producir 56.885 kg/ha en MV y 10.210 kg/ha en MS en la variedad *Sajama*, y 51.786 kg/ha en MV

y 9.521 kg/ha en MS en la variedad *Chonca*. Indudablemente los rendimientos de MV y MS, obtenidos bajo condiciones locales de Saltillo (México), indican la buena capacidad adaptativa del cultivo al ambiente local de la región.

En cuanto a fases de desarrollo, la producción de MS en la variedad *Sajama* fue de 8.809 kg/ha en **P** y de 13.853 kg/ha MS en **F**, mientras en la variedad *Chucara*, fue de 9.396 kg/ha MS y 13.502 kg/ha MS, en los estados **P** y **F**. Las plantas al ser sometidas a mayor estrés hídrico, redujeron el rendimiento en la variedad *Sajama* en un 39% en **P** y en un 30.3% en **F**; en la variedad *Chucara* en un 31.3% y en un 34.3%, también en **P** y **F**, respectivamente.

**Contenido de proteína (PC)**

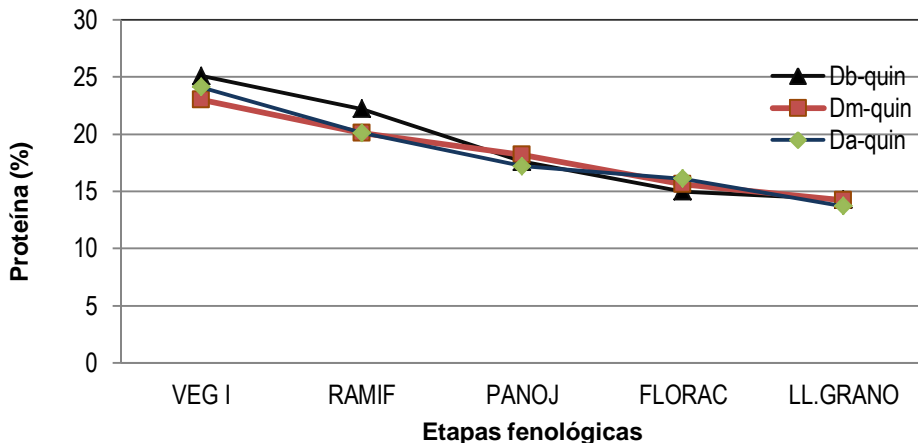
El contenido de PC en las dos variedades de quinua en la fase **RI**, registraron valores altos de 24.2% PC, para luego registrar reducciones sucesivas de PC. En las etapas de **P** y **F**, registraron valores de 17.9% y 15.9% de PC, hasta descender a 14.5% en la fase de **LG**, que resulta ser el menor valor de todas las etapas; el

registro de estos valores concuerda con Fraga *et al.* (1994), quienes obtuvieron en estudios conducidos en Cuba, con quinua para fines forrajeros, valores de 23.0% y 24.0% de PC a los 60 dds.

Por las bondades nutricionales que ofrece esta especie, ha sido estudiada largamente en las últimas décadas, habiendo sido elogiada y reconocida por Prego *et al.* (1998), Schlick y Bubenheim (1996), Prakash *et al.* (1998) y FAO (1989).

Como resultado de los análisis en laboratorio, se establece que el contenido de PC presenta una variación conforme transcurren las etapas fenológicas; los registros de estas variaciones del contenido de proteína para las cinco etapas se presentan en la Figura 4.

De acuerdo a la Figura 4, se evidencia también la secuela del estrés hídrico en las plantas, provocado por el déficit de humedad en el suelo, lo que demuestra los efectos significativos sobre las reacciones químicas para la síntesis de proteínas; estas tendencias coinciden con Mahoney *et al.* (1975).



**Figura 4.** Contenido de proteína (%) en dos variedades de quinua bajo tres déficits de humedad en el suelo en Jagüey de Ferniza (2002)

Respecto al ANVA para PC, se detectó diferencias significativas para los tratamientos de déficit de humedad y variedades; en tanto, en las fases se registraron diferencias significativas en **F**; las mayores diferencias de PC se tienen en las etapas, donde se obtuvo un valor promedio de 17.9% en **P** y se redujo a 14.3% en **F**. El alto contenido de PC en **P** en relación a **F**, parece estar relacionado directamente con reacciones bioquímicas propias de la especie *Chenopodium* y el tiempo de desarrollo, además podría atribuirse al déficit de humedad y a las variedades en el contenido de PC. Valores similares fueron obtenidos en quinua, por Capelo (1983) en Ecuador y Díaz y Gonzales (1994) en Cuba, a través de un análisis bromatológico.

### Concentración de saponinas (S)

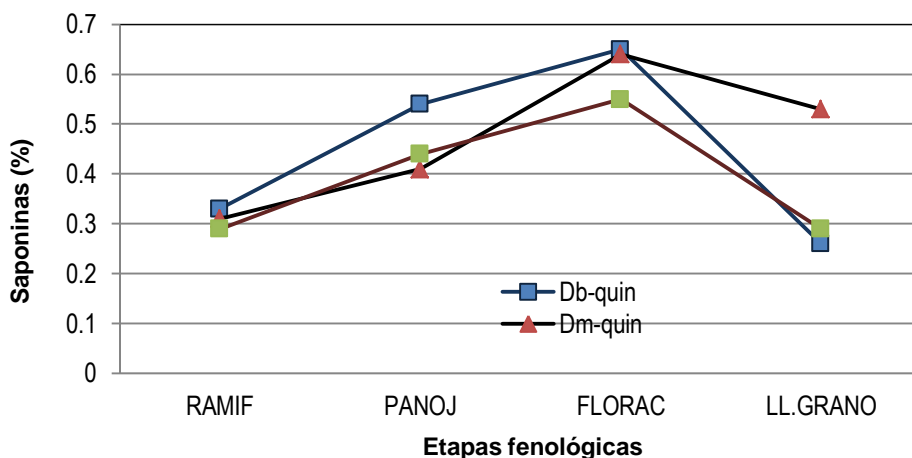
El análisis de las concentraciones de saponinas en las dos variedades de quinua, establece diferencias que se describen en la Figura 5.

El ANVA presentó diferencias significativas para los tratamientos de déficit de

humedad, etapas de desarrollo e interacción déficit por etapas.

En la segunda fase (**R**) los valores fluctuaron de 0,29 a 0,31% (Figura 5), luego se observa una acumulación gradual hasta la etapa **F** de 0,48% en *Da* y 0,63% en *Db*; conforme pasan los días, se evidencia reducciones en *Da*, *Dm* y *Db* hasta la etapa de **LG** a 0,31% en *Da* y a 0,32 en *Db*; estas variaciones podrían atribuirse al incremento de la biomasa por planta, lo cual repercute en una aparente dilución del contenido de S después de la translocación de los órganos vegetativos hacia los granos, en la etapa final de su desarrollo.

En cuanto a la influencia del déficit hídrico en la concentración de S, se puede señalar que en las etapas **P** y **F**, los tratamientos tuvieron una variación contraria a lo planteado en la hipótesis, el *Db* presentó una mayor concentración de S (0,53 y 0,63%) que el *Da* con 0,42 y 0,48%, mientras en **LG**, las concentraciones fueron similares, en promedio 0,31%.



**Figura 5.** Valores medios de concentración de saponinas (%) en dos variedades de quinua, bajo tres déficits de humedad en el suelo (Jaguey, Ferniza, 2002)

En la Figura 5 también se observa una tendencia acumulativa de niveles de S hasta la etapa **F**, este tipo de variaciones también fueron reportadas por Mastebroek *et al.* (2000), en ocho genotipos de quinua, por lo que se presume la translocación de S desde los tejidos de la planta hacia los granos, a partir de la fase **F**. El reporte establece un incremento sustancial de este compuesto, durante su desarrollo vegetativo de los genotipos, llegando a cuantificar para granos dulces de 0.02% a 0.04% de S y en amargos de 0.4% a 1.13% de S en MS.

En cuanto a la variación de S en plantas de quinua, se considera que el déficit de humedad, etapas de desarrollo y la interacción déficit/variedad, tienen efectos sobre la acumulación de S a lo largo de las etapas; en ese sentido, Ward (1998) menciona que la reducción de S se puede lograr por medio del mejoramiento genético; por su parte Ng *et al.* (1994), reportaron sobre la saponina (S) en la quinua de tres tipos: ácido oleanólico, hederaginnina y ácido phytolaccagénico, las cantidades variaron de 6.2 a 2.37 g/kg.

De acuerdo a estos valores el material estudiado se considera de variedades amargas. Lo destacable del estudio fue la elucidación del patrón de acumulación de S en cinco etapas de desarrollo de las plantas, estudiado de manera primicial.

En cuanto, al sabor amargo de la quinua, Ma *et al.* (1989) corrieron muestras por espectroscopia y enzimáticos, llegando a identificar cuatro clases de saponinas, las mismas fueron identificadas como glicósidos del ácido oleanólico.

### ***Eficiencia en el uso de agua (EUA)***

Finalmente, el EUA del cultivo de quinua en la producción de MS, obtenido en el ensayo, hasta la fase **P** para los tres déficits de humedad: bajo, medio y alto, fueron de 1.90 kg/m<sup>3</sup>, 1.27 kg/m<sup>3</sup> y 1.35 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Respecto al contenido de PC, los volúmenes de agua requeridos fueron de 0.34, 0.26 y 0.24 kg/m<sup>3</sup>.

Los valores de EUA en **F** para MS, se incrementaron en los tres déficits hídricos a 2,43 kg/m<sup>3</sup> (*Db*), 2,17 kg/m<sup>3</sup> (*Dm*) y 2,10 kg/m<sup>3</sup> (*Da*), ello debido al acelerado crecimiento del cultivo durante el período. Según los resultados de la 1ra. y 2da. etapa, aunque las diferencias son amplias, el cultivo en *Da* demostró más eficiencia e indica que las condiciones favorables de humedad en el suelo, provocaron mayor evapotranspiración del cultivo e influyó en los procesos fisiológicos (fotosíntesis, división y expansión celular), promoviendo mayor producción de MS por unidad de agua evapotranspirada.

Larcher (1995) obtuvo valores de 1.5 de EUA para especies de cereales; en leguminosas de 1.3 a 2.5; en papas y raíces de 1.3 a 1.4 gMS/kg de agua.

Por otro lado, Godoy (1990), señala que cuando se dispone de agua en cantidades menores a los 40 cm, algunos cultivos responden de manera eficiente que otros cultivos como el maíz o la alfalfa (2.65 kg/m<sup>3</sup>), destacándose el cultivo de la quinua; esta virtud probablemente se deba a la capacidad adaptativa por el ajuste osmótico en condiciones deficientes de agua.

## Conclusiones

- Las dos variedades de quinua tuvieron respuestas al déficit de humedad en el suelo, de alto déficit (50-60%) registró un rendimiento de 61,3 t MV/ha y 13.4 t MS/ha, superior al tratamiento de mayor déficit (90%) en la fase de panojamiento.
- El déficit de humedad en el suelo no influyó en el contenido de proteína; sin embargo, se registró una reducción gradual de proteínas, observado desde las etapas de panojamiento con 17,9% y en floración de 14,4%, tampoco influyó de forma consistente en la concentración de saponinas; en la fase de panojamiento presentó 0,60% y en floración registró 0,81%.
- La quinua es un cultivo que responde al riego, así, para la eficiencia en el uso de agua en la producción de materia seca, se tiene -en el menor déficit de humedad- 1,35 kg/m<sup>3</sup> y para la proteína correspondió 0,24 kg/m<sup>3</sup>.
- La quinua, comparada con la alfalfa, muestra una elevada eficiencia en el uso de agua en producción de materia seca; en proteína ocurre algo similar, por ende, la quinua es viable como cultivo forrajero por su valor nutricional para zonas semiáridas.

## Referencias citadas

Capelo W. 1983. Evaluación del potencial forrajero y alimenticio de la quinua dulce "Sajama" y quinua amarga "Chonca" (*Chenopodium quinoa* W.) en tres épocas de corte. *Ecociencia*. 1: 212-222.

Godoy C. 1990. Funciones de producción de agua y sus usos en la agricultura. **En:** Flores L., Lagarda L., Godoy C., Jasso R., Sánchez L. (eds.). Metodología de investigación y diagnóstico en relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. p. 227-236.

FAO (The United Nations Food and Agriculture Organization). 1989. State the quality of quinoa is equal to the protein of whole dried milk. USA.

FAO. 1989. Aumentan consumo y producción de productos pecuarios en A. Latina y el Caribe. Santiago de Chile *En línea*. Disponible en: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/230690/> Consultado el 18 de febrero de 2010.

Fraga M., Ramos N., Martínez R., Febles M. 1994. The inclusion of 10 % of *Amaranthus* or *Chenopodium quinoa* forage meals in diets for layers. *Cuban J. Agric. Sci.* 28:199-207.

Larcher W. 1995. *Physiological plant ecological*. 3th Springer. Germany. p. 167-211.

Ma W., Heisntein P., McLaughlin J. 1989. Additional toxic, bitter saponins form the seeds of *Chenopodium quinoa*. *Journal of Natural Product*. 52: 1132-1135.

Mahoney W., Lopez J., Hendricks D. 1975. An evaluation of the protein quality of quinoa. *J. Agri. Food Chem.* 23:190-193.

Mastebroek D., Limburg H., Gilles T., Marvin H. 2000. Occurrence of saponin in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *J. Sci. Food Agric.* 80:152-156.



- Ng K., Prince K., Fenwick G. 1994. A TLC method for the analysis of quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. *Food Chemistry*. 49: 311-315.
- Prakash D., Paland M., Pradesh Q. 1998. *Chenopodium* seed protein, fractionation and aminoacid composition. *International Journal of food Sciences and Nutrition*. 4: 271-275.
- Prego I., Maldonado S., Ottegui M. 1998. Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*. 82: 4, 481-488.
- Schlick G., Bubenheim D. 1996. Candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems. **In:** J. Janick (ed). *Progress in New Crops*. ASHS Press, Arlington, VA. p. 632-640.
- Soliz B., Jasso D., Rodríguez R., Peña E., Díaz H., Ruiz A. 2002. Producción de materia seca y concentración de proteína y saponinas en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) para aplicación forrajera, bajo diferentes déficits de humedad en el suelo y ambientes. *Crops New*. New Mexico, USA.
- Ward M. 1998. A new source of restorable cytoplasmic male sterility. **In:** Quinoa. *Euphytica* 101: 2, 157-163.