

Artículo original

**RESPUESTAS DE LA QUINUA (*CHENOPODIUM QUINOA* WILLD.) A DOS CONDICIONES DE RIEGO EN COSTA  
RESPONSES OF QUINOA (*CHENOPODIUM QUINOA* WILLD.) TO TWO CONDITIONS OF IRRIGATION IN COAST**

Rafael La Rosa<sup>1</sup>, Yesenia Macabilca<sup>2</sup>, Augusto Mendoza<sup>3</sup> & Ana Gutiérrez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecofisiología Vegetal; <sup>2</sup>Laboratorio de Bioquímica y Biología Molecular<sup>3</sup>; Centro de Investigaciones Agroecológicas Oquendo. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad Nacional Federico Villarreal. Calle San Marcos 351, Pueblo Libre, Lima – Perú. Teléfono 2193600 anexo 8373.

Correo electrónico: rafolarosa@yahoo.es

**ABSTRACT**

Responses of *Chenopodium quinoa* Willd “quinoa” under two coast conditions of irrigation and its effects in production and quality of proteins were evaluated. In the current research we used seeds of variety “huancayo”, from Experimental Station “Santa Ana” of INIA (Institute Nacional de Investigaciones Agropecuarias)– Huancayo. Irrigation was for drip, obtaining two treatments, i) irrigation with 3 m<sup>3</sup> of water, weekly, and ii) without irrigation, while evaluations were done. Soil humidity, transpiration, relative water content (RWC), anatomy of mesophyll of leaves, quantification of proteins and starch, acid phosphatase activity and amilolytic activity were evaluated. Soil humidity is significant different after a month of irrigation. Transpiration was related with wind strength; hence this is not a good way to measure drought stress. RWC was similar in both treatments, it means that decrease in soil water not affect water level in leaves. Mesophylls were very similar in both conditions. Dry matter in vegetative period show no significant differences, but there were a tendency to accumulate more assimilates in irrigated plants. Therefore there were no difference in photosynthetic activity, so seeds received same quantity of assimilates; this fact means seeds maintain their strength instead of different levels of soil water. Amilolytic activity in vegetative is greater in leaves of dry treatment because they have to be more efficient in starch hidrolization, moreover, it is related with less activity of acid phosphatase shown in leaves of this plants.

**Key words:** coast cultivation, ecophysiology, quinoa.

**RESUMEN**

Se evaluaron las respuestas de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua” bajo dos condiciones de riego en costa y su efecto en la producción y calidad proteica. Para esto se trabajó con semillas de la variedad Huancayo, obtenida de la Estación Experimental Santa Ana del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en Huancayo. El riego se realizó por goteo, teniendo dos tratamientos, uno con riego semanal de 3m<sup>3</sup> y otro sin riego, durante el tiempo que se llevaron a cabo las evaluaciones. Se evaluaron el porcentaje de humedad del suelo, la transpiración, el contenido relativo de agua, la anatomía interna de las hojas, la cantidad de proteínas, de almidón, la actividad de la fosfatasa ácida, y la actividad amilolítica. La humedad del suelo, se puede ver diferenciada después de un mes de haberse iniciado los tratamientos de riego. La transpiración estuvo relacionada con la fuerza del viento, por lo que este parámetro no es de ayuda para saber si

la planta pasa por un momento de estrés hídrico. La cantidad de agua en las hojas se mantiene casi constante en los dos tratamientos, esto quiere decir que la disminución de humedad en el suelo no afecta el nivel hídrico en las hojas. Los tejidos de las hojas se mantienen iguales bajo ambas condiciones. El porcentaje de materia seca en la etapa vegetativa no mostró diferencias significativas, pero se observó una tendencia a acumular más en el tratamiento húmedo. Al no haber diferencias en la actividad fotosintética, las semillas reciben de forma similar los asimilatos; este hecho más bien nos indica que las semillas mantienen su fuerza a pesar de los diferentes niveles de agua en el suelo. La actividad amilolítica, en la etapa vegetativa es mayor en las hojas con el tratamiento seco y ello se debería a que tienen que ser más eficientes en hidrolizar el almidón, esto guardaría relación con la menor actividad de la fosfatasa ácida que presentaron estas plantas en sus hojas.

**Palabras clave:** cultivo en costa, ecofisiología, quinua.

## INTRODUCCIÓN

Usualmente, las plantas, en condiciones naturales, están sometidas a distintos tipos de condiciones ambientales según el estímulo, una buena parte de los mismos están relacionados con el aporte de agua (Bohnert et al. 1995).

La comprensión de los mecanismos ecofisiológicos involucrados en el comportamiento de las plantas de quinua, frente a diferentes condiciones de humedad en el suelo, plantea un desafío futuro de gran trascendencia ya que cada vez se observa con mayor frecuencia la pérdida de tierras de cultivo a causa de la salinización y desertificación en todo el mundo. Como consecuencia, la disponibilidad de cultivares con mayor resistencia surge como una gran necesidad desde el punto de vista agrícola. Al respecto no hay trabajos similares realizados en condiciones de costa. Casi toda la información existente sobre la quinua, se ha realizado en la zona alto andina (González & Prado 1999).

Por lo que nuestro objetivo fue el de evaluar las respuestas ecofisiológicas de *Chenopodium quinoa* Willd. "quinua" bajo dos condiciones de riego, en condiciones de costa y su efecto en la producción y calidad proteica.

## MATERIAL Y METODOS

**Material Biológico.** Se utilizó *Ch. quinoa* variedad Huancayo, obtenida de la Estación Experimental Santa Ana de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en Huancayo, Junín, Perú. La germinación de *Ch. quinoa* fue de un 90% a 14 °C. Esta variedad crece adecuadamente en condiciones de costa. La planta crece erecta y muy ramificada hasta una altura entre 1,5 a 2,0 m,

abundante follaje de color verde oscuro mantenido hasta su madurez, e inflorescencia que se torna de un color rosado a un rojizo oscuro. Su periodo vegetativo varía entre 150 a 180 días.

**Instalaciones y equipos**

El estudio se realizó en el Centro de Investigaciones Agroecológicas de Oquendo de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional Federico Villarreal (FCCNM-UNFV), ubicada en la avenida Gambeta s/n (altura Km 8,5 carretera a Ventanilla, Callao, Perú).

**Preparación del Terreno:** Se trabajó en un área de terreno de 400 m<sup>2</sup>, al aire libre. Dentro de esta área se habilitaron tres subáreas. Ésta se ha dividido en seis surcos de 40 m x 0,4 m con un distanciamiento de 1 m entre surcos. El suelo de cada surco fue removido hasta una profundidad de 30 cm.

**Abonamiento de suelo:** Se aplicó 1 m<sup>3</sup> de humus de lombriz antes de la siembra. Durante el aporque se aplicó una cantidad similar para la etapa de floración y fructificación.

**Sistema de riego:** El agua que se usó fue de pozo. El sistema de riego empleó un tanque de 5 m<sup>3</sup>, una bomba de riego de 0,5 HP, tuberías de distribución y mangueras de goteo. Cada gotero liberó 20 mL de agua por min. El riego se hizo semanalmente con 3 m<sup>3</sup> de agua.

**Temperatura y humedad relativa del aire.** Los datos ambientales de Temperatura y de Humedad Relativa del aire, se registraron con un termohigrómetro (RadioSchack®). Se evaluaron la temperatura del aire alrededor del equipo y también dentro del follaje de las plantas. Para la toma de datos de transpiración se siguió el método de la cámara cerrada, para lo cual se escogió la cuarta hoja totalmente expandida, contada desde el

ápice de la planta. Después de que la hoja estuvo en la cámara se la extrajo para medir su área, y de esta manera se tuvo la cantidad de agua transpirada por  $\text{cm}^2$ . Para hallar el agua transpirada se tomó el porcentaje de la HR dentro de la cámara y se llevó a mL, teniendo en cuenta el volumen total de la cámara de 250 mL, y por último con el valor del área de la hoja se ajustó el valor hallado a  $\text{mL}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Para la toma de datos del Contenido Relativo de Agua (CRA), se extrajeron discos de hoja con un sacabocado, de las terceras y cuartas hojas totalmente expandidas, contando desde el ápice. Se tomó inmediatamente el peso en una balanza analítica, el cual fue considerado como peso fresco (Pf); luego los discos se pusieron en agua destilada por 1 h, con la finalidad que el mesófilo se hidrate completamente, y se pesó nuevamente y se consideró este nuevo valor como peso fresco total (Pft); y finalmente los discos se pusieron en una estufa a  $80^\circ\text{C}$  por 48 h obteniéndose así el peso seco (Ps). Para obtener el CRA se usó la siguiente fórmula:

$$\text{CRA} = \frac{\text{Pf} - \text{Ps}}{\text{Pft} - \text{Ps}} \times 100$$

Para los datos de humedad del suelo (HS), se tomaron muestras de suelo (aprox. 300 g a 20 cm de profundidad) del área regada cada semana con  $3 \text{ m}^3$  de agua; así como también, del suelo que no se regó por el tiempo que duraron las evaluaciones. Después de sacar y pesar las muestras de suelo, se llevaron a la estufa a  $100^\circ\text{C}$  por 72 h y se volvió a tomar el valor del peso seco (Ps) (método gravimétrico). La toma de éste dato se realizó una sola vez, después de un mes que se iniciaron los tratamientos, tiempo suficiente para que el agua pase a capas más profundas de suelo, sea consumida por las raíces de las plantas, y/o se haya evaporado de esa zona. El porcentaje de humedad se halló con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad del suelo (HS)} = \frac{\text{Pf} - \text{Ps}}{\text{Ps}} \times 100$$

Para las observaciones histológicas, se hicieron cortes, a mano alzada, de las terceras o cuartas hojas totalmente expandidas, contando desde el ápice. Se trató de observar diferencias anatómicas en el mesófilo. Todas las observaciones se hicieron a un aumento total de 100X. Se observaron además detalles de la epidermis foliar.

Evaluaciones bioquímicas

**Cuantificación de Proteínas.** Para la cuantificación de proteínas solubles se utilizó 1 g de tejido de hoja y 1 g de grano, los cuales fueron analizados según el método de Biuret.

**Cuantificación de Almidón.** Para la cuantificación de almidón total se utilizó 1 g de tejido de hoja y de grano procesándose según el método yodométrico. Para medir la actividad de las enzimas se utilizó 1 g de cada tejido hoja y grano; a los cuales se les trituró y homogenizó con buffer fosfato 0,1 M, pH 7,1, separándose el sobrenadante a 3 500 rpm y luego se procedió al análisis.

**Medición de la Actividad de Fosfatasa Ácida.** Se utilizó el método colorimétrico que utiliza como sustrato el p-nitrofenilfosfato a un pH de 4,8.

**Medición de la Actividad Amilolítica.** Se utilizó el método amiloclásico para determinar amilasa, en la cual se hidroliza el almidón a pH 7, determinándose yodométricamente el almidón no hidrolizado. Esto mide la actividad enzimática, que se expresa en Unidades Amilolíticas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con relación a la preparación de suelo e instalación del sistema de riego se determinó lo siguiente:

pH	8,28
CE	2,16 mS
Capacidad de campo	33,3 mL/100g
Tipo suelo	Arenoso – arcilloso

De acuerdo a este resultado preliminar, es un suelo pobre, con baja retención de agua y con una tendencia hacia la alcalinidad, por lo que se procedió a un abonamiento con  $1 \text{ m}^3$  de humus de lombriz, agregándose  $0,17 \text{ m}^3$  por surco. Una vez preparado el suelo se instaló el sistema de riego, tal como se mencionó anteriormente.

La Fig. 1 nos indica las variaciones de temperatura y humedad relativa. La Fig. 2 muestra la diferencia del porcentaje de humedad en el suelo al mes de haberse iniciado los riegos. Los datos de CRA no muestran variaciones significativas durante las evaluaciones, excepto en la última fecha (Fig. 3).

Los cortes histológicos realizados en las hojas, no muestran diferencias a nivel de mesófilo en ninguno de los dos tratamientos (Fig. 4 y 5). Se

puede observar que el mesófilo es de tipo xeromórfico, por los dos tejidos en empalizada. Aunque los estomas no están hundidos en criptas. La coloración roja de las hojas, debida a la presencia de antocianinas, se concentra en unos tricomas tipo glándulas encima de la epidermis, aunque también se le puede encontrar dentro de las células epidérmicas.

Las variaciones de la temperatura y humedad relativa del aire se muestran inversamente proporcionales una de la otra, ya que como consecuencia del aumento de temperatura la humedad relativa disminuye (Fig. 1). La humedad del suelo, se puede ver diferenciada después de un mes de haberse iniciado con los tratamientos de riego, a pesar que ambos tratamientos estaban contiguos, pero el hecho de que el riego sea por goteo hizo que la diferencia entre los tratamientos sea significativa (Fig. 2). La transpiración estuvo directamente relacionada con la fuerza del viento, que durante las evaluaciones soplaban en dirección Sur Este y a gran velocidad; este hecho fue especialmente muy fuerte durante la primera evaluación el día 26 de septiembre 2007, afectando a ambos tratamientos; por lo que los resultados de transpiración son totalmente diferentes (Fig. 6). Además las plantas que estaban sometidas a riego semanal estuvieron más expuestas al efecto del viento, por esta razón es que se observan valores menores, ya que como es sabido cuando hay vientos muy fuertes los estomas se cierran (Salisbury & Ross 1994, Barceló et al. 2005), por lo que este parámetro no es de ayuda para saber si la planta pasa por un momento de estrés hídrico, ya que como es sabido el déficit hídrico también provoca cierre estomático (Barceló et al. 2005, Salisbury & Ross 1994).

Los valores de CRA, son coincidentes con lo reportado por Jacobsen et al. (1998), quienes menciona que estos valores pertenecen a plantas que están en floración, ya que cuando se tomaron estos datos nuestras plantas estaban en plena floración; aunque la diferencia que se encuentra en la última evaluación nos dice que las plantas ya estaban sintiendo los efectos de la ausencia de agua (Fig. 3). Hay que tener en cuenta también que la cantidad de agua en las hojas se mantiene casi constante en los dos tratamientos, durante las evaluaciones anteriores a la final, a pesar que ya se notaban cambios en las condiciones ambientales (Fig. 1), esto quiere decir que los porcentajes de humedad en el suelo (Fig. 2) son suficientes como

para mantener el nivel hídrico en las hojas. Por otro lado, observando la anatomía interna de las hojas (Fig. 5), de las plantas con riego y sin riego, podemos afirmar que ésta se mantiene igual bajo las dos condiciones, esto se debería a dos hechos, el primero, el déficit hídrico no es lo suficientemente extremo como para que las plantas tengan que adaptarse morfológicamente; el segundo, las plantas, al tener mecanismos de soporte ante el déficit hídrico no varían su anatomía (Jacobsen et al. 1998). Ya que existen reportes que indican que las plantas cuando están bajo un déficit hídrico reducen su tamaño, pero esta reducción estaría relacionada con el tamaño de las células y no con el número de ellas, debido a que en los tejidos la reducción de la expansión celular, sin afectar el número de células, no reduce la fotosíntesis por unidad de área (Blum 1996), es decir, hay una mayor asimilación fotosintética cuando las células son más pequeñas ya que se incrementa la superficie de contacto con el CO<sub>2</sub> (González & Prado 1999).

Otro hecho que encontramos es la presencia de antocianinas a nivel de los tricomas glandulares y dentro de las células epidérmicas (Fig. 5), indistintamente de los tratamientos. No se tienen reporte a mano de la presencia de estos tricomas de tipo glandular, pero sí se sabe que la presencia del pigmento antocianínico es una manera de protegerse de la radiación UV (Salisbury & Ross 1994), o también le confieren un sabor amargo al órgano que lo sintetiza protegiéndolo del ataque de herbívoros (Barceló et al. 2005).

En nuestro estudio el porcentaje de materia seca en las hojas de la etapa vegetativa y en el grano, frente a los dos tratamientos no mostraron diferencias significativas. Este comportamiento indicaría que la diferencia de agua en el suelo no estaría influenciando esta variable y tampoco estaría influenciando la actividad fotosintética. Sin embargo, aunque no hay diferencias significativas en los porcentajes de materia seca, se observó una tendencia a acumular más en el tratamiento húmedo, este hecho, se ve reflejado en la cantidad de proteína dentro de las semillas que también es mayor en este mismo tratamiento (Tabla 1).

Con respecto al porcentaje de humedad en las hojas, estos resultados guardan similitud con los resultados de contenido relativo de agua, en donde no se observan diferencias, lo que también está en relación con los niveles de potencial hídrico foliar, es decir, que las hojas estarían regulándose

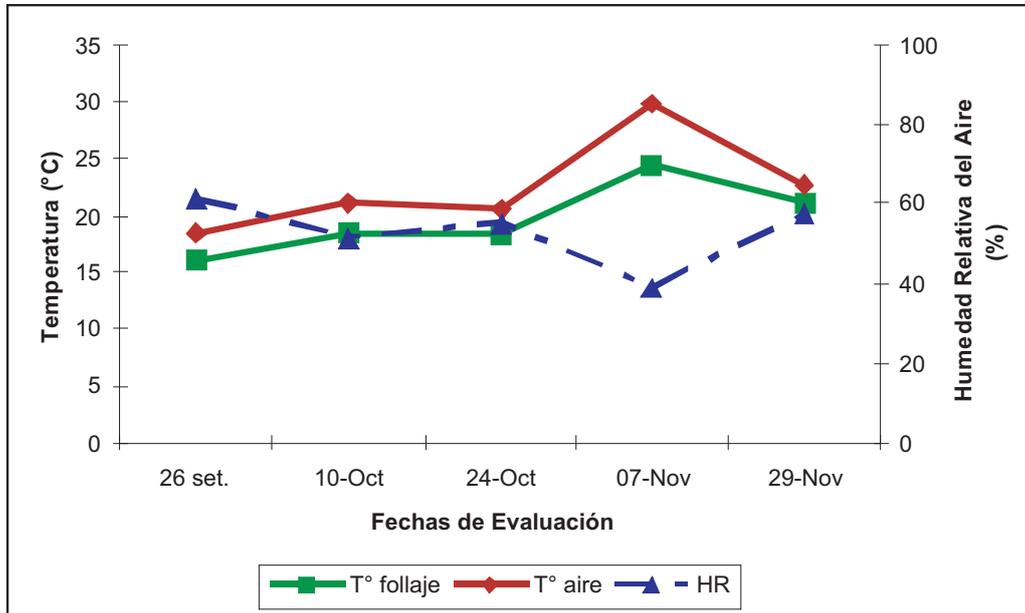


Figura 1. Variación de la temperatura y humedad relativa del aire del 26 de septiembre al 29 de noviembre del 2007.

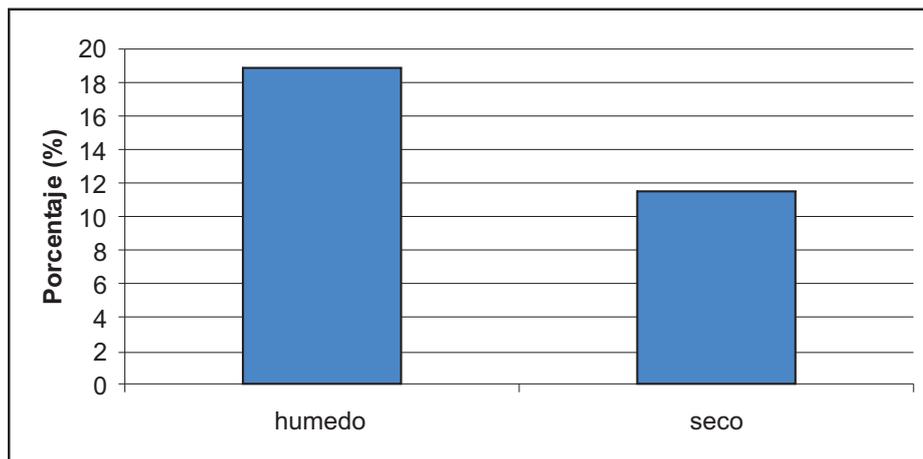


Figura 2. Diferencia del porcentaje de humedad en el suelo al mes de haberse iniciado los riegos.

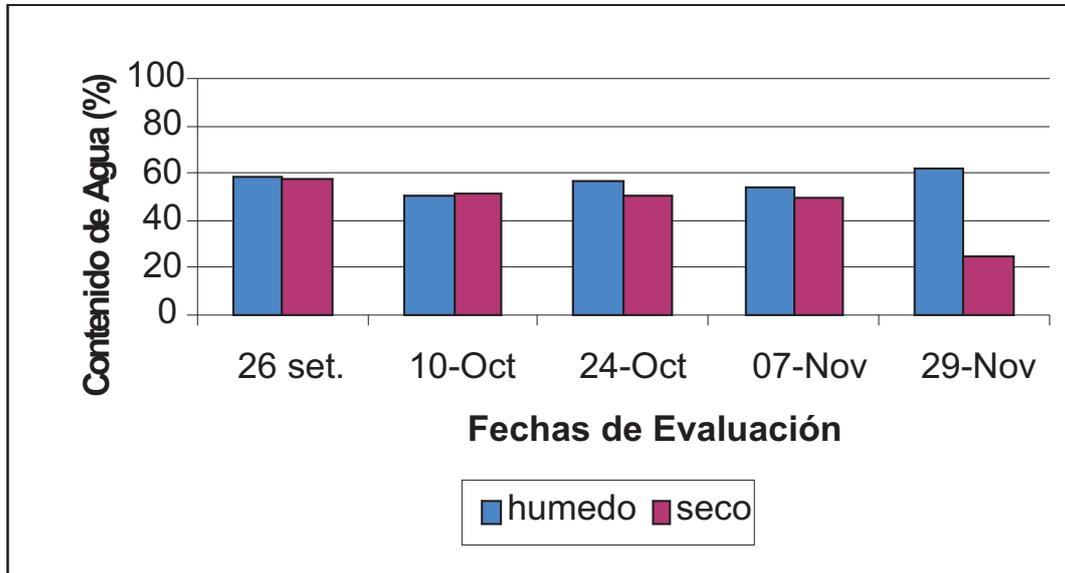


Figura 3. Comparación del Contenido Relativo de Agua foliar en los dos tratamientos.

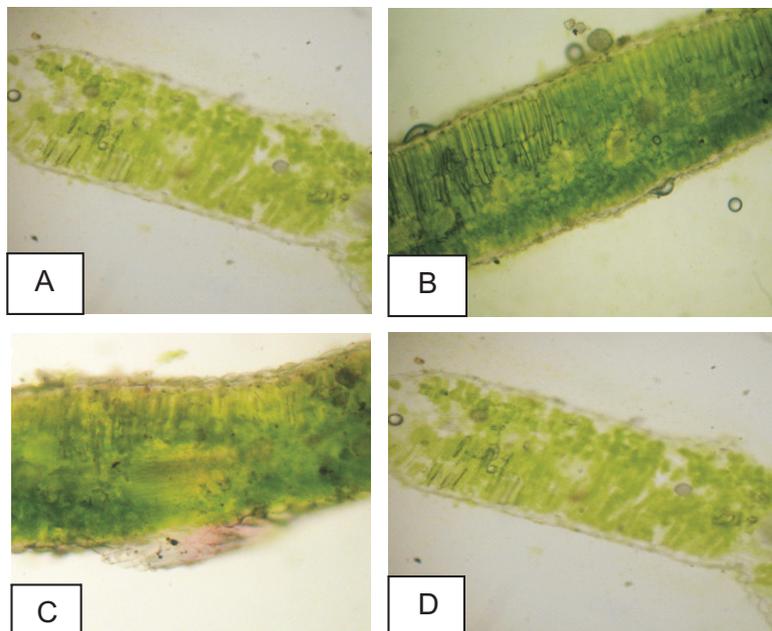


Figura 4. Mesófilo de las hojas. A) y B) tratamiento con riego, C) y D) tratamiento sin riego. 100X. A y C 26 septiembre, y, B y D 29 noviembre del 2007.

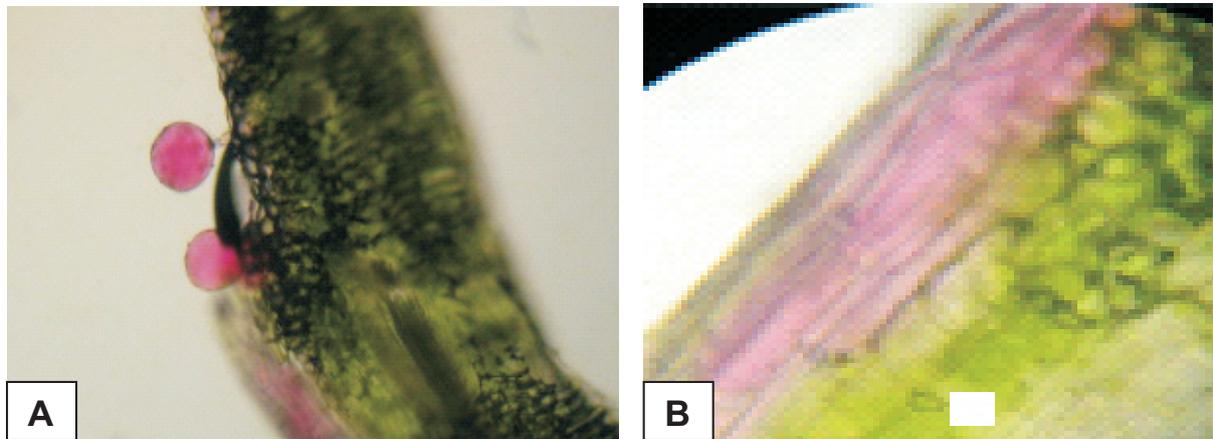


Figura 5. A) Tricomas glandulares sobre la epidermis de las hojas. B) células epidérmicas con antocianinas. 400X.

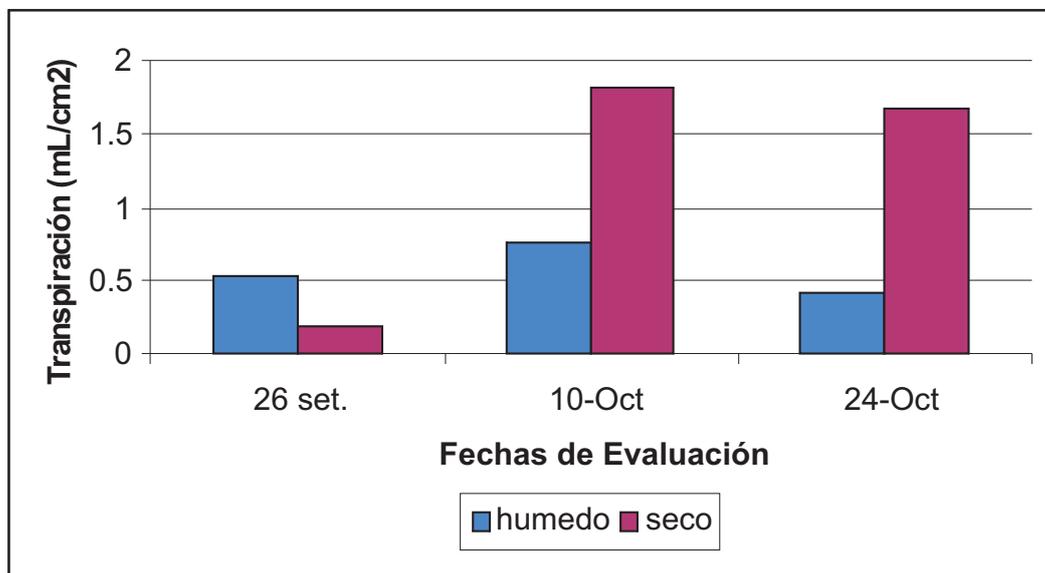


Figura 6. Variaciones en la transpiración durante tres evaluaciones. Nótese la gran disminución de la transpiración en la primera evaluación.

**Tabla 1.** Evaluaciones químicas y bioquímicas de las hojas en etapa vegetativa y del grano después de la cosecha.

Tratamiento del campo	%Humedad	% Materia Seca	g Prot. soluble/g muestra seca	mg Almidón/g muestra seca	% de Almidón Hidrolizado/ min/mg peso	Actividad Fosfatasa Ácida (umoles pNF. g <sup>-1</sup> . min <sup>-1</sup> )	g. semilla/planta
<b>HOJAS (ETAPA VEGETATIVA)</b>							
Húmedo	85,1	13,4	* 0,054	6,71	51,61	* 2,68	-
Seco	86,3	13,7	0,048	6,44	* 82,39	1,86	-
<b>GRANO (COSECHA)</b>							
Húmedo	19,8	80,2	* 0,040	0,71	66,9	1,74	*171,96
Seco	20,2	79,8	0,031	0,72	61,3	* 3,10	112,44

\* diferencias significativas  $p < 0,05$ .

osmóticamente para evitar la pérdida de agua. Para que haya un potencial hídrico foliar, en las hojas del tratamiento seco, se necesitan de solutos osmóticamente activos como la glucosa, y por esta razón se observa un mayor porcentaje de almidón hidrolizado en las hojas de éstas plantas. Todo esto es debido a que la quinua puede tolerar la sequía a través de bajos potenciales hídricos, entre otras respuestas fisiológicas y morfológicas (Jacobsen et al. 1998).

Por la anteriormente dicho, las semillas reciben de forma similar los asimilatos, por eso que no se evidencian diferencias significativas en el porcentaje de materia seca de las mismas, ni en la cantidad de almidón y tampoco en el porcentaje de almidón hidrolizado. Este hecho más bien nos dice que las semillas mantienen su fuerza a pesar de los diferentes niveles de agua en el suelo.

Dado que la etapa vegetativa es la de mayor actividad metabólica, es en esta edad donde se detectan los mayores valores de fosfatasa ácida. En nuestro estudio se observó que en las hojas hay una mayor actividad de fosfatasas en el tratamiento húmedo que en el seco, lo cual indicaría que las hojas del tratamiento húmedo (o con riego) estarían transformado el almidón en glucosa fosforilada y a partir de esto se sintetiza sucrosa y de esta manera se exportaría hacia los distintos órganos asimiladores, entre ellos las semillas (Barceló et al. 2005). También, por esta razón se ve aumentada la concentración de proteínas solubles en las hojas del tratamiento húmedo (Gabbrielli et al. 1989,

Belalcázar et al. 1991, Sánchez 2003).

En cuanto a la actividad amilolítica en la etapa vegetativa, hay una mayor actividad en las hojas con el tratamiento seco, ya que tienen que ser más eficientes en hidrolizar el almidón, para así poder disminuir el potencial hídrico foliar y que los niveles de agua foliares, y sobretodo la fotosíntesis, no sufran cambios.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barceló, J.; Nicolás, G.; Sabater, B. & R. Sánchez. 2005. *Fisiología Vegetal*. Ed. Pirámide. España. 566 p.
- Belalcázar, S.; Valencia, J.; Lozada, J. & Toro, J. 1991. *Establecimiento del cultivo*. En: El cultivo de plátano (*Musa AAB Simmonds*) en el trópico. (Manual de Asistencia Técnica No. 50). ICA-Colombia, Cali: 113-146.
- Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant growth regulation* 20: 135-148.
- Bohnert, H.; Nelson, D. & Jensen, R. 1995. Adaptations to environmental stresses. *Plant cell* 7: 1099-1111.
- Gabbrielli, R.; Grosi, L. & Vergnano, O. 1989. The effects of nickel, calcium and magnesium on the acid phosphatase activity of two *Alyssum* species. *New Phytologist*. 111: 631-636.
- González J. & Prado, F. 1999. *Ecofisiología y morfología del estrés debido a factores adversos*. En: I Curso Internacional sobre la

- fisiología de la resistencia a sequía en quinua (*Chenopodium quinoa*). CIP. Lima, Perú.
- Jacobsen, S.; Nuñez, N.; Spehar, C. & Jensen, C.H. 1998. *Quinoa: a potential drought resistant crop for the Brazilian savannah*. International Conference on Sustainable Agriculture in Tropical and Subtropical Highlands with Special Reference to Latin America (SATHLA). Rio de Janeiro, Brazil.
- Salisbury, F. & Ross, B. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Ed. Iberoamérica. México. 759 p.
- Sánchez, P., M. 2003. Actividad biológica en la rizósfera del maracuyá –*Pasiflora edulis var flavicarpa*- en diferentes sistemas de manejo, estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 261p.
- Fecha de recepción: 13 de marzo del 2008.  
Fecha de aceptación: 29 de abril del 2008.