

# Efecto de la temperatura y salinidad sobre la germinación y crecimiento de plántulas de dos variedades de *Chenopodium quinoa*

Chilo, G.; M. Vacca Molina, R. Carabajal y M. Ochoa

## RESUMEN

Se estudió el efecto de la temperatura y salinidad sobre la germinación y crecimiento de plántulas de dos variedades de *Chenopodium quinoa*. Se diseñó un experimento factorial con tres factores: 1) variedad, con dos niveles (Cica y Real); 2) temperatura, con tres niveles (5 °C, 10 °C y 20 °C); y 3) salinidad, con cinco niveles (0,0; 0,1; 0,2; 0,3 y 0,4M de cloruro de sodio). Los ensayos se realizaron según normas ISTA, las variables de respuesta fueron: poder germinativo como porcentaje de plántulas normales, velocidad de germinación y crecimiento de plántulas. Se determinaron porcentajes de plántulas normales, anormales y semillas muertas; además, peso seco y contenido de sodio y potasio. En las variedades Cica y Real el descenso de temperatura y aumento de salinidad produjeron una disminución del poder germinativo, de la velocidad de germinación y del crecimiento de las plántulas; además, afectaron el peso seco y los porcentajes de plántulas normales, anormales y semillas muertas. Las variedades acumularon solutos en las vacuolas de las células epidérmicas del tallo y hojas. La variedad Cica presentó mejor respuesta a la germinación y crecimiento de plántulas en comparación con la variedad Real.

**Palabras claves:** *Chenopodium*, temperatura, salinidad, germinación.

Chilo, G.; M. Vacca Molina, R. Carabajal and M. Ochoa. 2009. Temperature and salinity effects on germination and seedling growth on two varieties of *Chenopodium quinoa*. Agriscientia XXVI (1): 15-22

## SUMMARY

The effect of temperature and salinity on germination and seedling growth was studied in two varieties of *Chenopodium quinoa*. A factorial experiment with three factors was designed: 1) variety (two levels: Cica and Real); 2) temperature, (three levels: 5 °C, 10 °C and 20 °C) and 3) salinity (five levels: 0.0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4M of sodium chloride). The tests were carried out according to ISTA rules. The response variables were: germination rate as a percentage of normal seedlings;

germination speed and seedling growth. Percentage of normal seedlings, abnormal and dead seeds, together with dry weight and sodium and potassium content were determined. In Cica and Real varieties, decreasing temperature and increasing salinity caused a reduction in speed and percentage of germination and seedling growth. It also affected dry weight and the percentage of normal and abnormal seedlings and dead seeds. The varieties accumulated solutes in the vacuoles of the epidermal cells of the stem and leaves. The variety Cica showed a better response to seedling germination and growth when compared with the variety Real.

**Keywords:** *Chenopodium*, temperature, salinity, germination.

G. Chilo, M. Vacca Molina, R. Carabajal y M. Ochoa. Facultad de Ciencias Naturales, U.N. de Salta. Av. Bolivia 5150, Salta, Argentina. Correspondencia a: gchilo@unsa.edu.ar

**Abreviaturas:** PG, poder germinativo; VG, velocidad de germinación; CP, crecimiento de plántulas; PS, peso seco; PN, plántulas normales; PA, plántulas anormales; SM, semillas muertas.

## INTRODUCCIÓN

En la familia Chenopodiáceas el efecto combinado de la temperatura y salinidad sobre la germinación fue estudiado en los géneros *Atriplex*, *Suaeda* y algunas especies del género *Chenopodium* (Ungar, 1991, 1995). En *Chenopodium quinoa* se determinó que la temperatura (Jacobsen & Bach, 1998) y los niveles crecientes de NaCl en el sustrato (Boero *et al.*, 1997; Prado *et al.*, 1998; González, 1999) afectan la germinación. En la variedad Sajama, se determinó que el porcentaje de germinación disminuye con el incremento de la salinidad (Gallardo y González, 1992; González & Prado, 1992).

El medio salino produce retraso en la germinación y afecta el crecimiento de las plantas, a la vez que provoca disminución del rendimiento en grano y de materia seca (Pérez *et al.*, 1990; Jacobsen & Bach, 1998; González, 1999). La baja concentración de salinidad produce disminución de la velocidad de germinación, y la alta concentración la inhibe (González & Prado, 1992). Según Prado *et al.* (1998) la germinación de la quinoa disminuye marcada-

mente, y registra un valor del 14% en presencia de 0,4M de cloruro de sodio.

Uchiyama (1987) determinó en *Atriplex nummularia* (Chenopodiaceae) que las plántulas son menos tolerantes a la salinidad, comparándolas con estadios posteriores de crecimiento, y comprobó en *Atriplex patula* que el sodio aumenta en los vástagos cuando aumenta la salinidad, mientras que el potasio disminuye. Ungar (1996) obtuvo iguales resultados al trabajar con plántulas de quinoa.

Cabe destacar que entre los problemas ambientales más importantes que influyen sobre la productividad agrícola están la sequía y salinidad (Bosque *et al.*, 1999). Para minimizar los efectos de la temperatura y la salinidad sobre la producción de los cultivos en las zonas áridas y semiáridas, es necesario emplear germoplasma resistente a niveles estresantes de estos factores (Mentaberry, 2007). *Chenopodium quinoa* constituye una alternativa para incorporar tierras afectadas por la salinidad, ya que puede ser cultivada en suelos salinos por su amplia variabilidad genética y, además, por su alto valor alimenticio, nutritivo y por su adaptación a diferentes pisos agroecológicos (Mujica *et al.*, 1999).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la temperatura y la salinidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de dos variedades de *Chenopodium quinoa*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal.

Se utilizaron semillas de *Chenopodium quinoa* variedad Cica y variedad Real recolectadas en los departamentos de Cachi y Cafayate (provincia de Salta, Argentina), respectivamente. Las semillas de la variedad Real se caracterizaron por presentar mayor peso de mil semillas (PMS) (0,40 g) en comparación con la variedad Cica (0,29 g). El poder germinativo de las variedades fue del 98%.

### Ensayos de germinación

Se sembraron lotes de 50 semillas de cada variedad en rollos de papel Wathman N°5, usando cuatro papeles / rollo. Los papeles fueron humedecidos con 50 ml de cada una de las soluciones salinas, se sembraron y se armaron los rollos. Éstos fueron colocados en bolsas de polietileno transparentes (BD 50x70), luego fueron ubicados en forma vertical en contenedores plásticos y distribuidos uniformemente en una cámara de germinación a temperaturas constantes de 5 °C, 10 °C y 20 °C y con un fotoperíodo de 8 h de luz y 16 h de oscuridad.

### Diseño experimental

Se diseñó un experimento factorial (2x3x5) con cuatro repeticiones, donde los factores y sus niveles fueron: 1) variedad (dos niveles: Cica y Real); 2) temperatura (tres niveles: 5 °C, 10 °C y 20 °C) y 3) salinidad (cinco niveles: 0,0; 0,1; 0,2; 0,3 y 0,4M de cloruro de sodio). Se registraron como variables de respuesta el poder germinativo medido como porcentaje de plántulas normales, la velocidad de germinación durante un período de 14 días, aplicando la metodología descripta por Maguire (1962) y el crecimiento de plántulas en cm mediante la metodología propuesta por ISTA (1981). Las plántulas se clasificaron como normales y anormales. Las plantas normales se clasificaron en tres categorías (intactas, con ligeros defectos y con infección secundaria), al igual que las plántulas anormales (dañadas, deformadas o desequilibradas y podridas) (ISTA, 2006). Las semillas que al final del experimento no germinaron y no fueron ni duras ni frescas y no habían producido ninguna parte de la plántula, se consideraron muertas. Los datos fueron registrados como porcentajes de plántulas normales, plántulas anormales y semillas muertas. Sobre diez plántulas normales por tratamiento se determinó el peso seco, colocándolas en estufa a 80 °C por 3 días (Méndez Natera, 2002). Además, se determinó el contenido de sodio y potasio; para

ello, las plántulas normales fueron sumergidas durante 10 minutos en agua destilada y colocadas en tubos de ensayo con 3 ml de HNO<sub>3</sub> 0,1N, durante 48 horas (Taleisnik & Grunberg, 1994). La determinación del contenido de iones se realizó con fotómetro de llama y los resultados fueron expresados en µmol/g de peso fresco.

### Análisis estadístico.

La comparación entre tratamientos se realizó mediante ANOVA, utilizando la prueba de Tukey. Los datos fueron procesados con el software InfoStat versión 1.1 (2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Poder germinativo

Existieron diferencias significativas en el PG entre los tratamientos aplicados ( $F = 104,16$ ;  $p = 0,0001$ ). A 5 °C y alta salinidad no se produjo la germinación de las semillas. Altos porcentajes de plántulas normales se obtuvieron cuando las semillas fueron tratadas a 10 °C y 20 °C y baja salinidad (Tabla 1). La baja tasa de germinación observada en los trata-

**Tabla 1.** Poder germinativo (% plántulas normales) (media ± E.E) en las variedades Cica y Real a distintas temperaturas y diferentes concentraciones salinas.

| T °C | NaCl (M) | PG cv. CICA         | PG cv. REAL         |
|------|----------|---------------------|---------------------|
| 5 °  | 0,0      | 88,50 ± 2,87 fghijk | 75,00 ± 1,00 fghij  |
|      | 0,1      | 72,00 ± 4,32 fghi   | 27,50 ± 9,91 bcd    |
|      | 0,2      | 5,50 ± 1,71 cde     | 0,00 ± 0,00 a       |
|      | 0,3      | 0,00 ± 0,00 a       | 0,00 ± 0,00 a       |
|      | 0,4      | 0,00 ± 0,00 a       | 0,00 ± 0,00 a       |
| 10 ° | 0,0      | 93,00 ± 2,08 ghijk  | 91,50 ± 1,50 ghijk  |
|      | 0,1      | 97,00 ± 0,50 ijk    | 93,00 ± 1,92 ghijk  |
|      | 0,2      | 97,50 ± 0,96 jk     | 94,00 ± 0,82 ghijk  |
|      | 0,3      | 66,00 ± 9,76 efg    | 29,00 ± 9,47 cd     |
|      | 0,4      | 3,00 ± 1,91 ab      | 14,50 ± 13,84 abc   |
| 20 ° | 0,0      | 99,50 ± 0,50 k      | 94,25 ± 1,44 ghijk  |
|      | 0,1      | 99,00 ± 0,58 k      | 90,00 ± 0,82 ghijk  |
|      | 0,2      | 97,50 ± 0,96 jk     | 83,00 ± 5,07 fghijk |
|      | 0,3      | 96,00 ± 1,41 hijk   | 68,50 ± 8,26 efgh   |
|      | 0,4      | 54,00 ± 8,72 def    | 19,50 ± 8,18 abc    |

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

mientos a 5 °C y alta salinidad coinciden con lo informado para regiones de altura, y se relacionan con la salinidad de los suelos, la gran amplitud térmica día/noche y el tiempo de exposición a estas condiciones (Ortiz y Stolen, 1997). A 10 °C es mayor el tiempo requerido para alcanzar los valores de poder germinativo; sin embargo, en condiciones de campo este mayor tiempo de exposición en el suelo ocasiona en las semillas un aumento de la respiración, es decir un incremento de la oxidación de los monosacáridos que el embrión haya podido tomar del endosperma o de los cotiledones (Taiz y Zeiger, 2002), lo cual va en desmedro de la emergencia de plántulas. A 10 °C y 20 °C la salinidad por debajo de 0,4M no produce la muerte del embrión, sino que retrasa los mecanismos fisiológicos y bioquímicos implicados en la etapa inicial de la germinación. Estos resultados permiten afirmar que la quinoa se comporta como una especie halófila y que los niveles de la germinación en función al estrés térmico y salino permiten entender las estrategias que las distintas variedades de quinoa han desarrollado en los ambientes andinos. Las bajas temperaturas y la alta salinidad disminuyeron significativamente el poder germinativo en ambas variedades estudiadas.

### Plántulas normales

Se observaron diferencias significativas en el porcentaje de plántulas normales entre los tratamientos aplicados ( $F = 104,16$ ;  $p = 0,0001$ ). A 5 °C y alta salinidad no se obtuvieron plántulas. A 10 °C y 20 °C, con baja salinidad, se obtuvo el mayor porcentaje de PN (Tabla 1). En la variedad Cica se presentaron plántulas de mayor desarrollo en longitud de hasta 18 cm, mientras que en la variedad Real el máximo encontrado fue de 11 cm. Según la categorización realizada, las plántulas corresponden a la categoría de plántulas normales intactas. La interacción de las variables temperatura y salinidad influyó sobre el porcentaje de plántulas normales, anormales y semillas muertas. Este resultado concuerda con las diferencias morfológicas analizadas en el género *Chenopodium* (*C. hircinum* y *C. album*) en condiciones de estrés salino (Moris *et al.*, 1996). Además, Serrato Valenti *et al.* (1991) trabajando en *Prosopis tamarugo* concluyeron que la salinidad modifica la morfología de las plántulas. Las bajas temperaturas y la alta salinidad afectaron negativamente el porcentaje de plántulas normales en las variedades Cica y Real.

### Plántulas anormales

Se observaron diferencias significativas en el porcentaje de plántulas anormales entre los trata-

mientos aplicados ( $F = 129,66$ ;  $p = 0,0001$ ). Los valores más altos se presentaron a 5 °C y alta concentración salina. Cuando se aplicaron temperaturas de 10 °C y 20 °C con baja salinidad no se registraron plántulas anormales (Tabla 2). Según la categorización realizada, las plántulas corresponden a la categoría de plántulas anormales con desequilibrio en el desarrollo del sistema radicular. El alto porcentaje de PA bajo condiciones de salinidad también fue observado en *Chenopodium quinoa* variedad Sajama (González & Prado, 1992). En ambas variedades las bajas temperaturas y altas concentraciones salinas produjeron la aparición de plántulas anormales.

### Semillas muertas

Se registraron diferencias significativas en el porcentaje de semillas muertas entre los tratamientos aplicados ( $F = 18,50$ ;  $p = 0,0001$ ). Los tratamientos a 10 °C y 20 °C y con alta concentración salina mostraron los valores más altos de SM. La variedad Cica presentó mayor sensibilidad a 10 °C y 0,4M; bajo éstas condiciones se obtuvo el mayor porcentaje de SM, mientras que en la variedad Real el mayor porcentaje se registró a 10 °C y 20 °C con alta salinidad (Tabla 3). Ungar (1996) determinó que la salinidad afecta a las semillas y provoca en algunos casos su muerte. Uchiyama (1987), trabajando con *Atriplex*

**Tabla 2.** Plántulas anormales (PA) (%) (media  $\pm$  E. E.) en las variedades Cica y Real a distintas temperaturas y con diferentes concentraciones salinas.

| T °C | NaCl (M) | PA cv. CICA         | PA cv. REAL         |
|------|----------|---------------------|---------------------|
| 5 °  | 0,0      | 5,00 $\pm$ 2,52 ab  | 17,00 $\pm$ 1,00 bc |
|      | 0,1      | 20,00 $\pm$ 2,16 bc | 59,50 $\pm$ 9,74 de |
|      | 0,2      | 91,50 $\pm$ 1,71 f  | 89,00 $\pm$ 3,00 f  |
|      | 0,3      | 95,00 $\pm$ 1,73 f  | 91,50 $\pm$ 1,06 f  |
|      | 0,4      | 81,00 $\pm$ 5,32 ef | 83,50 $\pm$ 2,06 ef |
| 10 ° | 0,0      | 0,00 $\pm$ 0,00 a   | 0,00 $\pm$ 0,00 a   |
|      | 0,1      | 0,00 $\pm$ 0,00 a   | 0,00 $\pm$ 0,00 a   |
|      | 0,2      | 0,00 $\pm$ 0,00 a   | 0,00 $\pm$ 0,00 a   |
|      | 0,3      | 26,50 $\pm$ 9,07 bc | 39,50 $\pm$ 8,26 cd |
|      | 0,4      | 41,50 $\pm$ 2,99 cd | 15,50 $\pm$ 9,39 ab |
| 20 ° | 0,0      | 0,00 $\pm$ 0,00 a   | 0,00 $\pm$ 0,00 a   |
|      | 0,1      | 0,00 $\pm$ 0,00 a   | 0,00 $\pm$ 0,00 a   |
|      | 0,2      | 0,00 $\pm$ 0,00 a   | 0,00 $\pm$ 0,00 a   |
|      | 0,3      | 0,00 $\pm$ 0,00 a   | 9,29 $\pm$ 4,65 ab  |
|      | 0,4      | 36,00 $\pm$ 6,68 cd | 0,00 $\pm$ 0,00 a   |

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 3.** Semillas muertas (SM) (%) (media  $\pm$  E. E.) en las variedades Cica y Real a distintas temperaturas y con diferentes concentraciones salinas.

| T °C | NaCl (M) | SM cv. CICA         | SM cv. REAL          |
|------|----------|---------------------|----------------------|
| 5 °  | 0,0      | 6,50 $\pm$ 1,50 a   | 8,00 $\pm$ 0,00 a    |
|      | 0,1      | 8,00 $\pm$ 4,24 a   | 13,00 $\pm$ 1,29 ab  |
|      | 0,2      | 3,00 $\pm$ 0,58 a   | 11,00 $\pm$ 3,00 ab  |
|      | 0,3      | 5,00 $\pm$ 1,73 ab  | 8,50 $\pm$ 1,50 a    |
|      | 0,4      | 19,00 $\pm$ 5,32 ab | 16,50 $\pm$ 2,06 ab  |
| 10 ° | 0,0      | 6,50 $\pm$ 1,71 a   | 8,50 $\pm$ 1,50 a    |
|      | 0,1      | 2,50 $\pm$ 0,50 a   | 7,00 $\pm$ 1,29 a    |
|      | 0,2      | 4,00 $\pm$ 0,82 a   | 6,00 $\pm$ 0,82 a    |
|      | 0,3      | 7,50 $\pm$ 2,22 a   | 43,00 $\pm$ 8,30 bc  |
|      | 0,4      | 55,50 $\pm$ 2,63 cd | 7,00 $\pm$ 19,15 d   |
| 20 ° | 0,0      | 1,00 $\pm$ 0,58 a   | 11,00 $\pm$ 1,29 ab  |
|      | 0,1      | 1,00 $\pm$ 0,58 a   | 10,00 $\pm$ 0,82 ab  |
|      | 0,2      | 2,50 $\pm$ 0,96 a   | 17,00 $\pm$ 5,07 ab  |
|      | 0,3      | 4,00 $\pm$ 1,41 a   | 20,00 $\pm$ 4,08 abc |
|      | 0,4      | 10,00 $\pm$ 2,16 ab | 80,50 $\pm$ 8,18 d   |

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

*nummularia* (Chenopodiaceae), obtuvo iguales resultados. Los distintos tratamientos aplicados afectaron los porcentajes de semillas muertas en ambas variedades.

### Velocidad de germinación

Se registraron diferencias significativas en la velocidad de germinación entre los tratamientos aplicados ( $F = 243,41$ ;  $p = 0,0001$ ). La VG disminuyó a medida que descendió la temperatura y aumentó la salinidad (Tabla 4). A 5 °C y con alta concentración salina la germinación fue afectada; además, se produjo la muerte de las semillas. A 10 °C el efecto salino influyó sobre la VG; ésta fue favorecida por temperatura de 20 °C y baja salinidad (0,1M), y disminuyó marcadamente con un nivel salino de 0,4M. La interacción del exceso de sales y la baja temperatura afectó la velocidad de germinación en las variedades Cica y Real, y provocó en algunos tratamientos la inhibición de la germinación y en otros la muerte de las semillas, resultado que coincide con lo observado por González & Prado (1992) y Jacobsen & Bach (1998). González (1999) registró inhibición de la germinación a concentraciones salinas mayores a 0,5M. En el presente trabajo se observó este efecto a 0,3M y 0,2M para las variedades Cica y Real, respectivamente (a 5 °C). La baja tasa de germinación a 5 °C y alta salinidad

**Tabla 4.** Velocidad de germinación (PN / día) (media  $\pm$  E.E.) en las variedades Cica y Real a distintas temperaturas y con diferentes concentraciones salinas.

| T °C | NaCl (M) | VG cv. CICA          | VG cv. REAL          |
|------|----------|----------------------|----------------------|
| 5 °  | 0,0      | 3,05 $\pm$ 0,11 hij  | 2,68 $\pm$ 0,04 hijk |
|      | 0,1      | 2,57 $\pm$ 0,16 ijk  | 0,98 $\pm$ 0,35 kl   |
|      | 0,2      | 0,20 $\pm$ 0,06 l    | 0,00 $\pm$ 0,00 l    |
|      | 0,3      | 0,00 $\pm$ 0,00 l    | 0,00 $\pm$ 0,00 l    |
|      | 0,4      | 0,00 $\pm$ 0,00 l    | 0,00 $\pm$ 0,00 l    |
| 10 ° | 0,0      | 15,21 $\pm$ 0,25 ab  | 7,15 $\pm$ 0,11 efg  |
|      | 0,1      | 7,86 $\pm$ 0,12 def  | 6,62 $\pm$ 0,28 efg  |
|      | 0,2      | 5,02 $\pm$ 0,12 fgh  | 4,80 $\pm$ 0,32 ghi  |
|      | 0,3      | 2,73 $\pm$ 0,53 hijk | 1,26 $\pm$ 0,46 jkl  |
|      | 0,4      | 0,24 $\pm$ 0,04 l    | 1,24 $\pm$ 0,55 jkl  |
| 20 ° | 0,0      | 16,33 $\pm$ 0,10 a   | 14,83 $\pm$ 0,22 abc |
|      | 0,1      | 16,38 $\pm$ 0,08 a   | 14,48 $\pm$ 0,35 abc |
|      | 0,2      | 15,47 $\pm$ 0,19 a   | 11,49 $\pm$ 1,56 bcd |
|      | 0,3      | 10,70 $\pm$ 0,40 cd  | 8,41 $\pm$ 0,41 de   |
|      | 0,4      | 5,29 $\pm$ 1,61 fghi | 1,96 $\pm$ 0,62 jk   |

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

coincide con lo informado en regiones de altura (Ortiz & Stolen, 1997). Los máximos valores de VG en Cica y Real se alcanzaron a 20 °C y con baja salinidad; para este trabajo 20 °C es la temperatura que produjo los mejores resultados. Esto coincide con lo expresado por Mujica *et al.* (2001). La variedad Cica mostró mejor respuesta, y presentó los mayores valores de VG. En ambas variedades se produjo la disminución en la velocidad de germinación cuando se presentaron condiciones de bajas temperaturas y altas concentraciones salinas.

### Crecimiento de plántulas

Existieron diferencias significativas en el crecimiento de plántulas entre los tratamientos aplicados ( $F = 229,04$ ;  $p = 0,0001$ ). El CP disminuyó a 5 °C y alta salinidad (Tabla 5). La temperatura de 10 °C y baja salinidad favorecieron el crecimiento de plántulas en ambos cultivares. Las plántulas se caracterizaron por ser vigorosas y sanas. La temperatura y la salinidad afectaron el crecimiento de las plántulas; a 5 °C y baja salinidad solamente se produjo emergencia de radícula sin llegar al estadio de plántula, resultados coincidentes con los obtenidos por Uchiyama (1987), Pérez *et al.* (1990), Prado *et al.* (1998) y González (1999). El estadio de plántulas fue sensible a la salinidad y afectó su crecimiento, característica que concuerda con lo estudiado en *Atriplex*

**Tabla 5.** Crecimiento de plántulas (CP) (cm) (media±E.E) en variedades Cica y Real a distintas temperaturas y con diferentes concentraciones salinas.

| T °C | NaCl (M) | CP cv. CICA     | CP cv. REAL      |
|------|----------|-----------------|------------------|
| 5 °  | 0,0      | 1,99 ± 0,14 fgh | 1,31 ± 0,07 hij  |
|      | 0,1      | 1,08 ± 0,21 ijk | 0,29 ± 0,09 lm   |
|      | 0,2      | 0,06 ± 0,02 m   | 0,00 ± 0,00 m    |
|      | 0,3      | 0,00 ± 0,00 m   | 0,00 ± 0,00 m    |
| 10 ° | 0,4      | 0,00 ± 0,00 m   | 0,00 ± 0,00 m    |
|      | 0,0      | 5,83 ± 0,17 a   | 4,25 ± 0,09 b    |
|      | 0,1      | 5,97 ± 0,09 a   | 3,76 ± 0,30 bcd  |
|      | 0,2      | 2,55 ± 0,13 efg | 1,83 ± 0,23 ghi  |
| 20 ° | 0,3      | 0,85 ± 0,26 jkl | 0,37 ± 0,16 lm   |
|      | 0,4      | 0,06 ± 0,01 m   | 0,43 ± 0,08 klm  |
|      | 0,0      | 3,99 ± 0,03 bc  | 3,39 ± 0,08 bcde |
|      | 0,1      | 3,95 ± 0,34 bcd | 3,05 ± 0,35 cde  |
|      | 0,2      | 2,84 ± 0,18 def | 2,43 ± 0,33 efg  |
|      | 0,3      | 2,47 ± 0,07 efg | 1,30 ± 0,22 hij  |
|      | 0,4      | 0,81 ± 0,18 jkl | 0,30 ± 0,06 lm   |

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

*nummularia* y *Atriplex patula* (Uchiyama, 1987; Ungar, 1996). La temperatura de 10 °C resultó favorable para el crecimiento de ambas variedades e indica que la quínoa responde a esta condición térmica; sin embargo, la variedad Cica manifestó mejor respuesta a la interacción entre temperatura y salinidad, lo que produjo plántulas con mayor crecimiento en comparación con la variedad Real. En ambas variedades, el crecimiento de plántulas fue afectado negativamente por condiciones de bajas temperaturas y elevadas concentraciones salinas.

### Peso seco

Existieron diferencias significativas en los valores de PS entre los tratamientos ( $F = 26,62$ ;  $p = 0,0001$ ), a 10 °C y 20 °C con 0,2M de salinidad en ambos cultivares (Tabla 6). La diferencia que existe entre los tratamientos con relación al peso seco, se debe a que el sodio estimula el crecimiento a través del aumento de la expansión celular y, además, sustituye parcialmente al potasio como soluto osmóticamente activo (Taiz y Zeiger, 2002). Las altas temperaturas y las bajas concentraciones salinas favorecieron el peso seco de las plántulas.

### Contenido de sodio y potasio

Se observaron diferencias significativas en el contenido de sodio y potasio entre los tratamientos apli-

**Tabla 6.** Peso seco (PS) (mg) (media±E.E) en las variedades Cica y Real a distintas temperaturas y con diferentes concentraciones salinas.

| T °C | NaCl (M) | PS cv. CICA    | PS cv. REAL    |
|------|----------|----------------|----------------|
| 5 °  | 0,0      | 2,00 ± 0,00 ab | 2,00 ± 0,00 ab |
|      | 0,1      | 2,00 ± 0,00 ab | 2,00 ± 0,41 ab |
|      | 0,2      | 2,00 ± 0,00 ab | 0,00 ± 0,00 c  |
|      | 0,3      | 0,00 ± 0,00 c  | 0,00 ± 0,00 c  |
| 10 ° | 0,4      | 0,00 ± 0,00 c  | 0,00 ± 0,00 c  |
|      | 0,0      | 2,00 ± 0,41 ab | 2,00 ± 0,00 ab |
|      | 0,1      | 2,00 ± 0,41 ab | 3,00 ± 0,41 a  |
|      | 0,2      | 3,00 ± 0,41 a  | 2,00 ± 0,41 ab |
| 20 ° | 0,3      | 2,00 ± 0,41 ab | 3,00 ± 0,41 a  |
|      | 0,4      | 2,00 ± 0,41 ab | 1,00 ± 0,00 bc |
|      | 0,0      | 2,00 ± 0,41 ab | 2,00 ± 0,41 ab |
|      | 0,1      | 2,00 ± 0,41 ab | 3,00 ± 0,41 a  |
|      | 0,2      | 3,00 ± 0,41 a  | 3,00 ± 0,41 a  |
|      | 0,3      | 2,00 ± 0,41 ab | 1,00 ± 0,00 bc |
|      | 0,4      | 1,00 ± 0,00 bc | 5,55 ± 4,55 bc |

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

cados ( $F = 53,51$ ;  $p = 0,0001$ ); a 20 °C y alta concentración salina se obtuvieron los mayores valores (Tablas 7 y 8). Los valores medidos de potasio correspondieron a los niveles acumulados en las semillas provenientes de compuestos orgánicos como la fitina. Ante la presencia de sodio en los tejidos vegetales es necesario reestablecer la relación  $Na^+ / K^+$  mediante la acumulación de sodio en las vacuola (Leidi y Pardo, 2002), para evitar su efecto tóxico. Las células realizan un ajuste osmótico en respuesta a la sal (Yeo & Flowers, 1980; Taiz & Zeiger, 2002). Según Vacher *et al.* (1994), la quínoa tiene la capacidad de acumular solutos en las vacuolas de las células epidérmicas del tallo y hojas. Esta capacidad le permite a la quínoa desarrollar estrategias de adaptación a las diferentes regiones agroecológicas.

En síntesis, la variedad Cica presentó mejor respuesta a la germinación y crecimiento de plántulas en comparación con la variedad Real; este comportamiento varía según la temperatura a la que son sometidas las semillas. Las variedades se comportan como especies halófitas y el nivel de germinación y crecimiento de las plántulas evidencian las estrategias que las variedades de quínoa han desarrollado en los ambientes andinos. Por lo ello, ambas variedades pueden cultivarse en los valles áridos y semiáridos de la provincia de Salta. Es muy importante analizar en futuros trabajos el nivel

**Tabla 7.** Contenido de sodio ( $\mu\text{mol} / \text{g PF}$ ) (media  $\pm$  E. E.) en variedades Cica y Real a distintas temperaturas y con diferentes concentraciones salinas.

| T °C | NaCl (M) | Na cv. CICA     | Na cv. REAL     |
|------|----------|-----------------|-----------------|
| 5 °  | 0,0      | 2,66 $\pm$ 0,29 | 3,26 $\pm$ 0,44 |
|      | 0,1      | 4,05 $\pm$ 0,46 | 2,83 $\pm$ 0,39 |
|      | 0,2      | 2,71 $\pm$ 0,39 | -----           |
| 10 ° | 0,0      | 2,72 $\pm$ 0,10 | 0,61 $\pm$ 0,06 |
|      | 0,1      | 2,14 $\pm$ 0,09 | 2,14 $\pm$ 0,25 |
|      | 0,2      | 3,00 $\pm$ 0,49 | 3,02 $\pm$ 0,38 |
|      | 0,3      | 3,07 $\pm$ 0,44 | 3,00 $\pm$ 0,15 |
| 20 ° | 0,4      | 2,72 $\pm$ 0,10 | 2,90 $\pm$ 0,39 |
|      | 0,0      | 2,89 $\pm$ 0,51 | 0,64 $\pm$ 0,00 |
|      | 0,1      | 3,00 $\pm$ 0,51 | 1,81 $\pm$ 0,17 |
|      | 0,2      | 2,41 $\pm$ 0,34 | 3,02 $\pm$ 0,23 |
|      | 0,3      | 3,86 $\pm$ 0,17 | 2,90 $\pm$ 0,51 |
|      | 0,4      | 2,89 $\pm$ 0,51 | 3,08 $\pm$ 0,22 |

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

máximo de tolerancia a la salinidad en el cual la quinoa pueda germinar, a fin de identificar áreas de producción de las diferentes variedades de *Chenopodium quinoa* que hoy se encuentran en el mercado nacional e internacional.

## AGRADECIMIENTOS

A Pablo Ortega-Baes por el valioso asesoramiento recibido en la revisión del manuscrito y al Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) por el subsidio otorgado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Boero, C.; J.A. González y F.E. Prado, 1997. Efecto de la temperatura sobre la germinación de diferentes variedades de *Chenopodium quinoa* Willd. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos "Oscar Blanco Galdos", Cusco, Perú. Cap. 3.15.
- Bosque, H; R. Lemeur, P. Van Damme y S.E. Jacobsen, 1999. Análisis Ecofisiológico del Cultivo de Quinoa (*Ch. quinoa* Willd.) en condiciones de estrés de la sequía y la salinidad. 1° Taller internacional en quinoa. UNALM. Lima. Perú. 131 pp.
- Gallardo, M. y J.A. González, 1992. Efecto de algunos factores ambientales sobre la germinación de *Chenopodium quinoa* Willd. y sus posibilidades de cultivo en la provincia de Tucumán. Lilloa 38 (1): 55-64.
- González, J.A., 1999. Ecofisiología y morfología del estrés debido a factores adversos. Fisiología de la resistencia

**Tabla 8.** Contenido de potasio ( $\mu\text{mol} / \text{g PF}$ ) (media  $\pm$  E. E.) en las variedades Cica y Real a distintas temperaturas y con diferentes concentraciones salina.

| T °C | NaCl (M) | K cv. CICA            | K cv. REAL            |
|------|----------|-----------------------|-----------------------|
| 5 °  | 0,0      | 0,43 $\pm$ 0,04 efg   | 0,66 $\pm$ 0,02 j     |
|      | 0,1      | 0,43 $\pm$ 0,03 efg   | 0,36 $\pm$ 0,00 defg  |
|      | 0,2      | 0,26 $\pm$ 0,01 bcdef | -----                 |
| 10 ° | 0,0      | 0,17 $\pm$ 0,02 abc   | 0,72 $\pm$ 0,02 i     |
|      | 0,1      | 0,33 $\pm$ 0,03 cdefg | 0,41 $\pm$ 0,02 efg   |
|      | 0,2      | 0,25 $\pm$ 0,04 bcdef | 0,41 $\pm$ 0,01 efg   |
|      | 0,3      | 0,24 $\pm$ 0,02 bcde  | 0,13 $\pm$ 0,01 ab    |
| 20 ° | 0,4      | 0,17 $\pm$ 0,02 abc   | 0,19 $\pm$ 0,03 bcd   |
|      | 0,0      | 0,21 $\pm$ 0,04 bcd   | 0,66 $\pm$ 0,03 hi    |
|      | 0,1      | 0,34 $\pm$ 0,05 cdefg | 0,44 $\pm$ 0,06 fg    |
|      | 0,2      | 0,36 $\pm$ 0,03 defg  | 0,50 $\pm$ 0,05 gh    |
|      | 0,3      | 0,33 $\pm$ 0,02 cdefg | 0,27 $\pm$ 0,05 bcdef |
|      | 0,4      | 0,21 $\pm$ 0,04 bcd   | 0,14 $\pm$ 0,01 ab    |

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

a sequía en quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). I Curso Internacional. Proyecto Quinoa. Ed. Jacobsen y Mujica. Lima. Peru, pp 3-20.

- González, J.A. and F. Prado, 1992. Germination in relation to salinity and temperature in *Chenopodium quinoa* (Willd.). Agrochimica, Vol. XXXVI N° 1-2: 101-108.
- INFOSTAT, 2003. Software estadístico. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Versión 1.1.
- ISTA (International seed testing association), 1981. Handbook of vigour tests methods. Zurich. 82p.
- ISTA (International seed testing association), 2006. International Rules for Seed Testing. Zürich: ISTA. 333p.
- Jacobsen, S.E. and A.B. Bach, 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Seed Science & Technology. Vol. 26, N° 2, pp. 515-523, 23 ref.
- Leidi, E.O. y J.M. Pardo, 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino: ¿qué hay de nuevo? Rev. de Investigac. de la Fac. de Cs. Agrarias, Sec. de Investigac. NR, N° II; <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev2/5.htm>. Consultado el 10/12/08.
- Maguire, J.D., 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Science, Madison, v.2, n.2, pp.176-177.
- Méndez Natera, J.R., 2002. Relationship between the total dry weight and the vegetative characters and the nodulation of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) plants. Universidad de Oriente. Dpto. de Agronomía. Revista UDO Agrícola 2 (1): 46 -53. Venezuela.

- Mentaberry, A., 2007. Tolerancia a estreses abióticos. Curso de Agrobiotecnología. Departamento de Fisiología. Fac. Cs. Exactas y Naturales. UBA. Argentina.
- Moris, M.; J.A. González, M. Gallardo and F.E. Prado, 1996. Anatomical, functional differences and nyctinastic leaf movements in *Chenopodium album* L. and *Chenopodium hircinum* Schrad (Chenopodiaceae). Botanical Journal of the Linnean Society 121 (133-141).
- Mujica, A.S.; S. Marca Vilca y S.E. Jacobsen, 1999. Producción actual y potencial de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Perú. 1º Taller internacional en quinua: recursos genéticos y sistemas de producción. UNALM. Lima. Perú. Tema: 4- 4.1, pp. 456.
- Mujica, A.S; S.E. Jacobsen; J. Izquierdo y J. Marathee, 2001. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Ed. Mujica, Jacobsen, Izquierdo y Marathee. Santiago, Chile, pp. 456.
- Ortiz, R. and O. Stolen, 1997. Spelt and quinoa. Working Group Meeting. Crop development for the cool and wet regions of Europe.24-25, Wageningen. The Netherland. Pp. 69-84.
- Pérez, R.; J.L. Rodríguez y M. Ortega, 1990. Efecto de la salinidad y sequía en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Agrociencia - Fitociencia Vol. 1. N° 4. México. Pp.15-37.
- Prado, F.E.; C. Boero, M. Gallardo and J.A. González, 1998. Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds Botanical Bulletin of Academia Sinica, 2000, Vol. 41. N° 1, pp.27-34, 47.
- Serrato Valenti, G; M. Ferro, D. Ferraro and F. Riveros, 1991. Anatomical changes in *Prosopis tamarugo*. Seedling growing at different leveles of NaCl salinity. Annals of Botany 68: 47 – 53.
- Taiz, L and E. Zeiger, 2002. Plant Physiology. Associates. Inc., Publishers Sunderland. Massachusetts. Ed. Sinaver, pp. 1173 – 1179.
- Taleisnik, E. and K. Grunberg, 1994. Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance. I. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. Physiología Plantarum. Vol.92, pp. 528.
- Uchiyama, Y., 1987. Salt tolerance of *Atriplex nummularia*. Technical Bulletin of the Tropical Agricultural Research Center, 24: 1 – 69.
- Ungar, I.A., 1991. Ecophysiology of vascular halophytes. CRV Press, Boca Raton, Florida: CRC Press, pp.108.
- Ungar, I.A., 1995. Seed germination and seed-bank ecology in halophytes. In Kigel J. & Galili G. Seed development and germination. Marcel Deker Inc. New York. Pp 599-628.
- Ungar, I.A., 1996. Effect of salinity on seed germination, growth and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). Amer. J. Bot. 83: 604- 607.
- Vacher, J.J.; J.J. Dizes, G. Espíndola y C. Castillo, 1994. La capacidad de ajuste osmótica en la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Agrosur 22: 20.
- Yeo, A. and J. Flowers, 1980. Salt tolerance in the halophyte *Suaeda maritime* (L): Evaluation of salinity upon growth. Journal of Experimental Botany 31 (123): 1171 – 1183.