

## Efecto del potencial de agua del sustrato en la germinación de maíz (*Zea mays* L.)

### Effect of substrate water potential on maize (*Zea mays* L.) germination

A.B. Sánchez-Urdaneta<sup>1</sup>, C.B. Colmenares<sup>2</sup>, C.B. Peña-Valdivia<sup>3</sup>,  
A. Marrugo<sup>4</sup> y M. Urdaneta<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Departamento de Botánica y Estadística, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia (LUZ). Av. Ziruma, Ciudad Universitaria, Núcleo Agropecuario. Maracaibo, Venezuela. <sup>3</sup>Botánica, Colegio de Postgraduados. Km 35.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, México. <sup>4</sup>Facultad de Agronomía, LUZ.

### Resumen

El maíz es alimento básico para muchas regiones del mundo, cultivado generalmente en condiciones de secano y representa tres cuartas partes del consumo de cereales por humanos y animales. Se evaluó el efecto del potencial de agua del sustrato ( $\Psi_A$ ) en la germinación de maíz con un diseño experimental completamente al azar con arreglo de tratamientos factorial 5x3, y cuatro repeticiones. Se sembró maíz Tuxpeño Sequía C0 y C8, y QPM-H519, en vermiculita con  $\Psi_A$  de -2,35; -1,48; -0,29, -0,18 y -0,03 MPa. Se determinaron la imbibición, la germinación acumulada y los días al inicio de la germinación de las semillas. Los  $\Psi_A$  de -2,35 y -1,48, MPa disminuyeron significativamente ( $P<0,01$ ) entre las variables evaluadas. El QPM-H519 fue menos afectado que los Tuxpeños, que respondieron de manera similar.

**Palabras clave:** *Zea mays*, imbibición, déficit hídrico.

### Abstract

Maize is a staple food for many regions of the world, usually grown under rainfed conditions, representing three-quarters of cereals for human and animal consumption. The effect of substrate water potential ( $\Psi_w$ ) in maize seed germination was assessed following a completely at random experimental design with 5 x 3 factors treatment, and four repetitions. Tuxpeño drought C0 and C8

and QPM-H519 were planted in vermiculite at  $\Psi_w$  of -2.35, -1.48, -0.29, -0.18 and -0.03 MPa. Imbibition, cumulative germination and days to start seeds germination were quantified. The  $\Psi_w$  of -2.35 and -1.48 MPa significantly decreased ( $P < 0.01$ ) the evaluated variables. QPM-H519 was less affected than both Tuxpeños, which responded in a similar way.

**Key words:** *Zea mays*, imbibitions, water deficit.

## Introducción

El maíz (*Zea mays* L.), originario de América, representa uno de los aportes más valiosos a la seguridad alimentaria mundial; junto con el arroz y el trigo, es uno de los tres cereales más cultivados en el mundo, con elevada importancia social, al constituir la principal actividad agrícola de la mayoría de las familias campesinas y la fuente principal de sus ingresos. Es el alimento básico para muchas regiones del mundo, como México, Venezuela, Colombia y en América Central; representando las tres cuartas partes del consumo total de cereales por humanos y animales domésticos.

El clima es el factor de producción más importante en el rendimiento del maíz, dado que la mayor área de siembra de este grano a nivel mundial se realiza en condiciones de sequía; por lo que su distribución geográfica depende, en parte, de la cantidad y la distribución de las lluvias (Wang *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2010).

En la vida de la mayor parte de las especies de plantas existen dos etapas fenológicas críticas, la germinación de la semilla y el establecimiento de las plántulas. La germinación es el proceso fisiológico por el cual el crecimiento es reestablecido en el embrión. El proceso comienza con la hidratación de

## Introduction

Maize (*Zea mays* L.), from America, represent one of valuable contributions for world alimentary safety; with rice and wheat, is one of three more cultivated cereals around the world, with high social importance, when constituting main agricultural activity of most of country families and main incomes source. It is an staple for many regions around the world like México, Venezuela, Colombia and Central America; representing three quarters of cereals total consumption by humans and domestic animals.

Climate is the more important production factor in maize yield, since the great sowing area of this grain at world level is rainfed done; because of this, its geographical distribution depend on quantity and rain distribution (Wang *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2010).

There are two critical phenological stages on plants life, seed germination and seedlings establishment. Germination is the physiological process that re-establishes growth in embryo. The process begins with seed hydration and ends with the radicle exposition. The water quantity imbibed by seed can be regulated by water potential ( $\Psi_w$ ) and water resistance movement in soil where seed be (Bewley and

la semilla y termina con la exposición de la radícula. La cantidad de agua embebida por la semilla puede ser regulada por el potencial de agua ( $\Psi_A$ ) y la resistencia de movimiento de agua en el suelo donde se encuentre la semilla (Bewley y Black, 1994; Sanchez-Urdaneta *et al.*, 2005; Tsoukrianis *et al.*, 2009), así como por la composición de la semilla.

En esta investigación se planteó evaluar el efecto del  $\Psi_A$  del sustrato en la germinación de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.), en condiciones de laboratorio.

## Materiales y métodos

El experimento se realizó en condiciones de laboratorio en el Departamento de Botánica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela. Se utilizaron semillas de maíz de los cultivares Tuxpeño Sequía C0 (TSC0) y Tuxpeño Sequía C8 (TSC8), tolerante y sensible a sequía, respectivamente, donados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México, según lo descrito por Sánchez-Urdaneta *et al.* (2005) y QPM-H519 conocido como de alta calidad proteica ("High Quality Protein"), debido a la cantidad elevada de lisina y triptófano y 73,5% más digerible que los maíces comunes, proveniente de México (Tsoukrianis *et al.*, 2009).

Se utilizó como sustrato vermiculita. Los potenciales de agua del sustrato -0,03 (equivalente a capacidad de campo); -0,18; -0,29, -1,48 y -2,35 MPa, se generaron al mezclar vermiculita seca con 100, 24, 16, 8 y 6 partes de agua destilada (p:v), man-

Black, 1994; Sanchez-Urdaneta *et al.*, 2005; Tsoukrianis *et al.*, 2009), just like seed composition.

The effect of  $\Psi_w$  of substrate on germination of three maize (*Zea mays* L.) cultivars was evaluated on laboratory conditions in this research.

## Materials and methods

The experiment was carried out on laboratory conditions at Botany Department, Agronomy Faculty, University of Zulia, Venezuela. Maize seeds of Tuxpeño Drought C0 (TSC0) and Tuxpeño Drought C8 (TSC8) cultivars, tolerant and sensible to drought, respectively, donated by the "Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo" (CIMMYT), México, according to those described by Sánchez-Urdaneta *et al.* (2005) and QPM-H519 known like "High Quality Protein", because the high quantity of lysine and triptophan and 73.5% more digestible than common maize, coming from México (Tsoukrianis *et al.*, 2009).

Vermiculite was used as a substrate. Water potential of substrate is -0.03 (equivalent to field capacity); -0.18; -0.29, -1.48 and -2.35 MPa, were generated by mixing dry vermiculite with 100, 24, 16, 8 and 6 parts of distilled water (p:v), kept into sailed polyethylene bags, 72 h before use it according to those previously described (Peña-Valdivia *et al.*, 2005 and Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2005).

Seeds weighed into analytical balance Mettler Toledo, with precision of 0.0001 g, were placed into polyvinyl chloride container (PVC), with internal diameter and length of 40

tenida en bolsas de polietileno selladas, 72 h antes de usarla según lo descrito previamente (Peña-Valdivia *et al.*, 2005 y Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2005).

Las semillas pesadas en balanza analítica Mettler Toledo, con precisión de 0,0001 g, fueron colocadas en recipientes de cloruro de polivinilo (PVC), con diámetro interno y longitud de 40 y 100 mm de longitud, y 30 g de sustrato. Cada recipiente estuvo cubierto con un fragmento de polietileno negro, fijado con una banda elástica, para mantener el  $\Psi_A$  constante.

Se estudiaron los factores: potencial de agua ( $\Psi_A$ ) con cinco niveles (-0,03; -0,18; -0,29; -1,48 y -2,35 MPa) y cultivar de maíz con tres niveles (TSCO, TSC8, QPM-H519), en un diseño experimental completamente al azar y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por 10 tubos de PVC con una semilla cada uno. Por razones operativas cada repetición fue conducida individualmente, en un intervalo de ocho días. Los tubos se mantuvieron en una germinadora (GCA/Precision Scientific) a  $23\pm 2^\circ\text{C}$  y en penumbra.

Las variables respuestas evaluadas fueron: imbibición (IMB), germinación acumulada (GA) y días para el inicio de la germinación de las semillas (DIG). Para analizar el efecto de los factores de estudios sobre las variables respuestas se realizó un análisis de la varianza y pruebas de medias por Tukey respectivas, con el programa estadístico SAS® (Statistical Analysis System, 2004, version 9.1.3). Las gráficas se obtuvieron con el programa SigmaPlot de

and 100 mm of length, and 30 g substrate. Each container was covered with a piece of black polyethylene, fixed with an elastic band, to keep the  $\Psi_w$  constant.

Two factors were assessed: water potential ( $\Psi_w$ ) with five levels (-0.03; -0.18; -0.29; -1.48 and -2.35 MPa) and maize cultivar with three levels (TSCO, TSC8, QPM-H519), by using an experimental design totally at random with four replications. The experimental unit consists on 10 PVC tubes with one seed each. Due to operative reasons each of replications was individually carried out, during an interval of eight days. The tubes were kept on a germinator (GCA/Precision Scientific) to  $23\pm 2^\circ\text{C}$  and in darkness.

The response variables evaluated were: imbibition (IMB), accumulative germination (GA) and days for beginning of seed germination (DIG). To analyze the effect of study factors on response variables an analysis of variance and respective Tukey mean test, with the statistical program SAS® (Statistical Analysis System, 2004, version 9.1.3). Graphics were obtained with SigmaPlot program of Jandel Scientific (2001, version 7.1.), for personal computer.

## Results and discussion

### Seeds imbibition (IMB)

The analysis of variance showed statistical differences by the effect of  $\Psi_w$  ( $P<0.0001$ ) and maize cultivar ( $P<0.0001$ ) and the interaction between study factors was highly

Jandel Scientific (2001, versión 7.1.), para computadora personal.

## Resultados y discusión

### Imbibición de las semillas (IMB)

El análisis de la varianza mostró diferencias estadísticas por efecto del  $\Psi_A$  ( $P < 0,0001$ ) y el cultivar de maíz ( $P < 0,0001$ ) y la interacción entre los factores de estudio fue altamente significativa ( $P < 0,0001$ ). La IMB tuvo una tendencia similar en los tres cultivares (figura 1A). Los maíces TSC0 y TSC8 en los  $\Psi_A$  entre -0,03 y -0,29 MPa embebieron cantidades significativamente mayores de humedad, entre 38 y 55%, antes de germinar respecto a QPM-H519, 32 y 47%, en los mismos  $\Psi_A$ . En contraste, con los  $\Psi_A$  más restrictivos (-1,48 y -2,35 MPa) aquellos con menor disponibilidad de agua, todos los maíces evaluados embebieron cantidades similares de agua, cercanas al 30% (figura 1A).

Los resultados de este estudio fueron parcialmente similares a los obtenidos con un grupo de siete cultivares de maíz con el que se demostró que las discrepancias mayores alcanzaron entre 45 y 75% de imbibición máxima en sustrato con  $\Psi_A$  de -0,03 MPa, mientras que con el  $\Psi_A$  de -2,05 MPa las diferencias disminuyeron y los siete cultivares embebieron de 30 a 35% (Tsougkrianis *et al.*, 2009). También se han documentado diferencias en la imbibición máxima entre frijol silvestre y domesticado (desde 60 hasta 95%) en semillas intactas y escarificadas (entre 100 y 130%) (Peña-Valdivia *et al.*, 2002). Por otro lado, ocurrió un incremento en

significativo ( $P < 0,0001$ ). The IMB had similar tendency on three cultivars (figure 1A). The TSC0 and TSC8 maize in  $\Psi_w$  between -0.03 and -0.29 MPa imbibed quantities were significantly superior on humidity, between 38 and 55%, before germinating respect to QPM-H519, 32 and 47%, in the same  $\Psi_w$ . In contrast, with the  $\Psi_w$  more restrictive (-1.48 and -2.35 MPa) those with less water availability, all the maize evaluated imbibed similar water quantities, closed to 30% (figure 1A).

The results of this study were partially similar to those obtained with a group of seven maize cultivars which showed that discrepancies reached between 45 and 75% of maximum imbibition in substrate with  $\Psi_w$  of -0.03 MPa, whereas with  $\Psi_w$  of -2.05 MPa the differences decreased and the seven cultivars imbibed from 30 to 35% (Tsougkrianis *et al.*, 2009). Differences were also found in the maximum imbibition between wild and domesticated bean (from 60 to 95%) on intact seeds and scarified, between 100 and 130% (Peña-Valdivia *et al.*, 2002). On the other hand, an increase occurred on imbibition of *Agave salmiana* seeds with the increase of temperature (Peña-Valdivia *et al.*, 2006). However, the highly significant interaction between two factors in this research showed the narrow maize seeds dependence and  $\Psi_w$  of medium.

The QPM-H519 kept without change the imbibed water proportion between  $\Psi_w$  of -0.29 and -2.35 MPa, unlike the Tuxpeños that showed a decreased on imbibition with drier substrate (figure 1A). It is probable

la imbibición de las semillas de *Agave salmiana* junto con el aumento de la temperatura (Peña-Valdivia *et al.*, 2006). Sin embargo, la interacción altamente significativa entre los dos factores en esta investigación mostró la estrecha dependencia de las semillas de maíz y el  $\Psi_A$  del medio.

El QPM-H519 mantuvo sin cambio la proporción de agua embebida entre los  $\Psi_A$  de -0,29 y -2,35 MPa, por el contrario los Tuxpeños mostraron disminución de la imbibición con el sustrato más seco (figura 1A). Es probable que la composición química de las semillas generen estas discrepancias, sería el caso de algunos compuestos más abundantes en el cv. QPM, como ciertos aminoácidos, que ejerzan un efecto osmoregulator, y permitan la mayor imbibición en comparación con los otros cultivares, aún en el sustrato con menor humedad (-2,35 MPa).

### **Germinación acumulada (GA)**

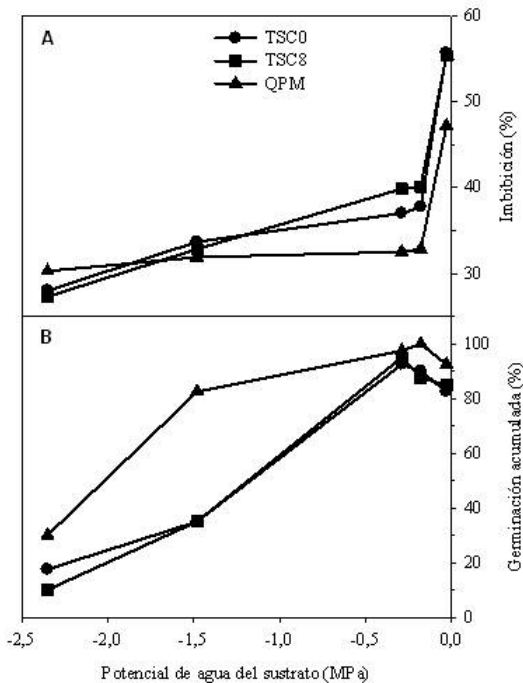
El análisis de la varianza mostró diferencias estadísticas para el  $\Psi_A$  ( $P < 0,0001$ ) y el cultivar de maíz ( $P < 0,0001$ ) y la interacción de ambos factores fue significativa ( $P < 0,0109$ ). Los tres cultivares alcanzaron la mayor GA (entre 82,5 en TSC8 y 100% en QPM-H519) en los  $\Psi_A$  menos restrictivos (entre -0,29 y -0,03 MPa), por el contrario, los  $\Psi_A$  restrictivos (-1,48 y 2,35 MPa) propiciaron la reducción de la GA, a valores entre 10,0 y 35,0% para TSC0 y 30,0 y 82,5% para QPM-H519. Así, se demostró que el cv. QPM-H519 presentó los porcentajes de germinación mayores en todos los  $\Psi_A$  evaluados (figura 1B). La germinación en TSC0 y TSC8 dismi-

that chemical composition of seeds generate these discrepancies, as in case of some compounds more abundant in cv. QPM, like some amino acids, which exert an osmoregulator effect and permit the higher imbibition in comparison to the other cultivars, even though in substrate with less humidity (-2.35 MPa).

### **Acumulative germination (GA)**

The analysis of variance showed statistical differences for the  $\Psi_w$  ( $P < 0.0001$ ) and the maize cultivar ( $P < 0.0001$ ) and the interaction of both factors was significant ( $P < 0.0109$ ). The three cultivars reached the higher GA (between 82.5 in TSC8 and 100% in QPM-H519) in the  $\Psi_w$  less restrictive (between -0.29 and -0.03 MPa), unlike the  $\Psi_w$  restrictive (-1.48 and 2.35 MPa) favored reduction of GA, to values between 10.0 and 35.0% for TSC0 and 30.0 and 82.5% for QPM-H519. Thus, the cv. QPM-H519 showed germination percentage superior in all the  $\Psi_w$  evaluated (figure 1B). Germination in TSC0 and TSC8 decreased respect to QPM-H519 in 2.36 times with the  $\Psi_w$  of -1.48 MPa, representing an important value in theme of hydric relationships, when be related to permanent wilting point (figure 1B).

The decrease on germination percentage related to alterations of uncontrolled liberation of electrolytes by seeds during germination have been used documented; just like the abnormal growth of seedling of diverse leguminous and cereals because damages caused by seed



**Figura 1. Efecto de la interacción entre el potencial de agua del sustrato y el cultivar de maíz (*Zea mays* L.) sobre el porcentaje de imbibición (A) y el porcentaje de germinación acumulada de las semillas (B). ● = Tuxpeño Sequía C0, ■ = Tuxpeño Sequía C8, ▲ = QPH-H519.**

**Figure 1. Effect of interaction between substrate water potential and corn (*Zea mays* L.) crop on percentage of imbibition (A) and percentage of germination accumulate of seeds (B). ● = Tuxpeño Drought C0, ■ = Tuxpeño Drought C8, ▲ = QPH-H519.**

nuyó con respecto a QPM-H519 en 2,36 veces con el  $\Psi_A$  de -1,48 MPa, representando un valor importante en el tema de las relaciones hídricas, al encontrarse asociado al punto de marchitez permanente (figura 1B).

La disminución del porcentaje de germinación relacionada con alteraciones de la liberación descontrolada de electrolitos por las

imbibition (Hallett and Bewley, 2002; Peña-Valdivia *et al.*, 2002). Nevertheless, in this research it was proved that those not germinated seeds in  $\Psi_w$  minor to -0.03 MPa, during 204 h, were healthy, because they germinated in a period of 48 to 72 h after being transferred to the condition of higher humidity (-0.03 MPa).

semillas durante la germinación ha sido documentada; así como, el crecimiento anormal de las plántulas de diversas leguminosas y cereales debido a daños provocados por la imbibición de la semilla (Hallett y Bewley, 2002; Peña-Valdivia *et al.*, 2002). Sin embargo, en la presente investigación se demostró que las semillas que no germinaron en los  $\Psi_A$  menores a -0,03 MPa, durante 204 h, estaban en buen estado, pues germinaron en un periodo de 48 a 72 h después de ser trasladadas a la condición de mayor humedad (-0,03 MPa).

### **Días para iniciar la germinación (DIG)**

El análisis de la varianza evidenció diferencias estadísticas significativas para el  $\Psi_A$  ( $P < 0,0001$ ) y el cultivar ( $P < 0,0001$ ). Con los  $\Psi_A$  entre -0,29 y -0,03 MPa las semillas de los tres cultivares iniciaron la germinación en menos tiempo (en promedio cinco días) que aquellas en los  $\Psi_A$  más restrictivos (-1,48 y -2,35 MPa) (en promedio 7,2 días; figura 2). Los resultados indicaron que a mayor disponibilidad de agua las semillas de los tres cultivares de maíz requirieron menos tiempo para germinar, lo que coincidió con lo reportado por Liu *et al.* (2010).

Entre los Tuxpeños no hubo diferencias significativas, pues germinaron en promedio en 6,26 días; mientras que, el QPM-H519 empleó menos tiempo, 5 días en promedio (figura 3). La germinación limitada con los  $\Psi_A$  restrictivos, en parte, puede ser el resultado de la incapacidad de las membranas celulares para reorganizarse por la falta de humedad (Hallett y Bewley, 2002).

### **Days to begin germination (DBG)**

The analysis of variance showed significant statistical differences for the  $\Psi_w$  ( $P < 0.0001$ ) and the cultivar ( $P < 0.0001$ ). With the  $\Psi_w$  between -0.29 and -0.03 MPa the seeds of three cultivars showed germination on less time (average of 5 days) than those in the  $\Psi_w$  more restrictive (-1.48 and -2.35 MPa) (average 7.2 days; figure 2). Results showed that the higher water availability the seeds of three maize cultivars need less time to germinate that agreed with those reported by Liu *et al.* (2010).

Among the Tuxpeños there were no significant differences, because they germinated on average of 6.26 days; while, the QPM-H519 used less time, five days in average (figure 3). The germination limited with  $\Psi_w$  restrictive, probably can be caused by the result of incapability of cellular membranes to re-organizing by the lack of humidity (Hallett and Bewley, 2002).

## **Conclusions**

With  $\Psi_w$  between -0.03 and -0.29 MPa the seeds maize imbibed more water before germinating, respect to  $\Psi_A$  between -1.48 and -2.35 MPa; however, Tuxpeños cultivars imbibed more water to germinate than cv. QPM-H519. Also detach that when the last one imbibed less water (35% to -1.48 MPa) showed a better germinative response (82.5%), and better performance in adverse conditions. The reaction of both Tuxpeños to  $\Psi_w$  evaluated was simi-



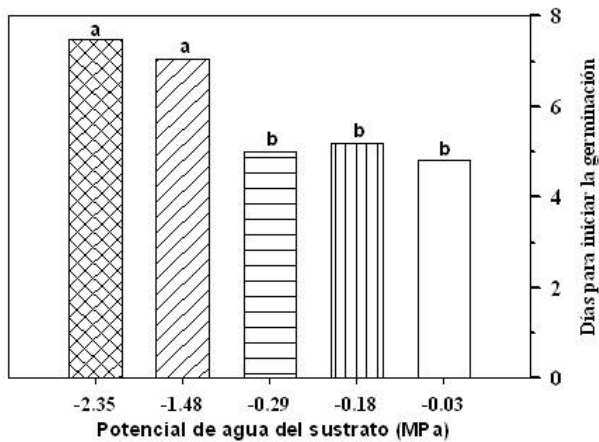


Figura 2. Efecto del potencial de agua del sustrato sobre los días para iniciar la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.).

Figure 2. Effect of substrate water potential on days for beginning maize (*Zea mays* L.) seeds germination.

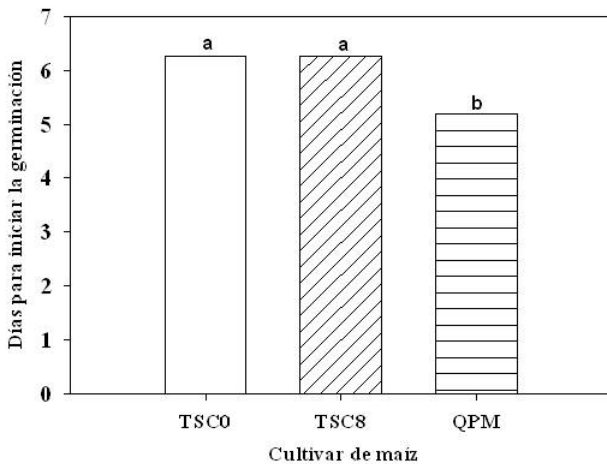


Figura 3. Efecto del cultivar de maíz (*Zea mays* L.) en los días para iniciar la germinación. TSC0= Tuxpeño Sequía C0, TSC8= Tuxpeño Sequía C8, QPM= QPM-H519.

Figure 3. Effect of maize (*Zea mays* L.) cultivar on days for beginning germination. TSC0= Drought Tuxpeño C0, TSC8= Drought Tuxpeño C8, QPM= QPM-H519.

## Conclusiones

Con los  $\Psi_A$  entre -0,03 y -0,29 MPa las semillas de maíz embebieron más agua antes de germinar, respecto a los  $\Psi_A$  entre -1,48 y -2,35 MPa; sin embargo, los cultivares Tuxpeños embebieron más agua para germinar que el cv. QPM-H519. También, destaca que cuando este último embebió menos agua (35% a -1,48 MPa) presentó una mejor respuesta germinativa (82,5%), y mejor desempeño en condiciones adversas. En general, la reacción de ambos Tuxpeños a los  $\Psi_A$  evaluados fue similar entre sí, y el cultivar QPM-H519, sin ser tolerante a sequía, o haber sido seleccionado para tal fin, tuvo el comportamiento más favorable bajo condiciones de laboratorio.

## Agradecimiento

Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por la donación de las semillas de los materiales Tuxpeño Sequía C0 y Tuxpeño Sequía C8, e igualmente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por la donación de las semillas de QPM-H519, utilizadas en la realización de esta investigación.

## Literatura citada

- Bewley, J.D., M. Black. 1994. Seeds: Physiology of development and germination. New York: Plenum Press. 445 pp.
- Hallett, B.P., J.D. Bewley. 2002. Membranes and seed dormancy: beyond the anaesthetic

lar among them and cultivar QPM-H519, without being tolerant to drought, or have being selected for that, showed more favorable behavior under laboratory conditions.

## Acknowledgement

Authors want to express their thanks to the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) by the donation of Tuxpeño Sequía C0 and Tuxpeño Sequía C8 seeds material, and to the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) by the donation of QPM-H519 seeds, used in this research.

*End of english version*

---

hypothesis. Seed Science Research 12:69-82.

- Liu, Y., L. Shiqing, C. Fang, Y. Shenjiao, C. Xinping. 2010. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China. Agricultural Water Management 97:769-775.
- Peña-Valdivia, C.B., R. García N., J.R. Aguirre R., C. Trejo L. 2002. The effects of high temperature on dormancy and hypocotyl-root growth of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Seed Sci. Techn. 30:231-248.
- Peña-Valdivia, C.B., A.B. Sánchez-Urdaneta, C. Trejo, J.R. Aguirre R., E. Cárdenas S. 2005. Root anatomy of drought sensitive and tolerant maize (*Zea mays* L.) seedlings under different water potentials. Cereal Res. Comm. 33(4):705-712.

- Peña-Valdivia, C.B., A.B. Sánchez-Urdaneta, J.R. Aguirre R. C. Trejo, E. Cárdenas S., A. Villegas-Monter. 2006. Temperature and mechanical scarification on the germination of 'maguey' (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) seeds. *Seed Sci. Techn.* 34(1):47-56.
- Sánchez-Urdaneta, A.B., C.B. Peña-Valdivia, C. Trejo, J.R. Aguirre R., E. Cárdenas S. 2005. Root growth and proline content in drought sensitive and tolerant maize (*Zea mays* L.) seedlings under different water potentials. *Cereal Res. Comm.* 33(4):697-704.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS OnlineDoc® 9.1.3. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SigmaPlot of Jandel Scientific. 2001. User's guide. Flying Raichu von. Version 7.1. SPSS Science Inc. 435 p.
- Tsougkrianis, N., C.B. Peña-Valdivia, C. Trejo L., J.D. Molina G. 2009. El potencial de agua del sustrato en la germinación de maíces con tolerancia y sensibilidad a la sequía. *Agricultura Técnica en México* 35(4):363-369.
- Wang, Y.J., Z.K. Xie, S.S. Malhi, C.L. Vera, Y.B. Zhang, J.N. Wang. 2009. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management* 96:374-382.