

RESPUESTA AGRONÓMICA DE ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) AL ESTRÉS OSMÓTICO

AGRONOMIC RESPONSE TO OSMOTIC STRESS OF BLUEBERRY (*Vaccinium corymbosum* L.)

Christopher Salgado Vargas^{1*}, Prometeo Sánchez-García¹, Víctor H. Volke-Haller¹, María T. B. Colinas León²

¹Postgrado en Edafología. Colegio de Postgraduados. Campus Motecillo. Km 36.5, Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México. (christopher.salgado@colpos.mx). ²Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5, Carretera México-Texcoco. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

RESUMEN

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) es la cuarta frutilla de interés económico en el mundo, su consumo responde al interés de los compuestos con capacidad antioxidante que contienen sus frutos y que son benéficos para la salud humana. La producción de frutos de arándano se afecta por el estrés hídrico y salino. El conocimiento de las respuestas agronómicas de este cultivo al estrés, ayuda a diseñar acciones para su manejo. El objetivo de este estudio fue conocer el efecto del estrés hídrico y salino sobre variables agronómicas de plantas de arándano. La hipótesis fue que el crecimiento de plantas y el rendimiento de frutos de arándano disminuyen con el incremento de la sequía y salinidad. Para probar nuestra hipótesis se utilizaron plantas de un año de edad que fueron expuestas a estrés hídrico y salino, en un sistema hidropónico, con tezontle como sustrato y solución nutritiva universal de Steiner modificada. Las variables medidas fueron materia seca de raíz, tallo, hoja y fruto, área foliar, longitud de raíz, altura de planta, y de los frutos, el peso específico, diámetro ecuatorial y longitudinal. El diseño experimental fue bloques completamente al azar y los tratamientos fueron: 1) testigo, con 100 % de la demanda diaria de agua y su potencial osmótico (PO) fue -0.027 MPa; 2) estrés salino, con dos niveles de PO: -0.041 y -0.054 MPa, ambos con 100 % de la demanda diaria de agua; 3) estrés hídrico, con 33 % (H33) y 66 % (H66) de la demanda diaria de agua, ambos con un PO de -0.027 MPa. Para analizar los resultados se utilizó ANDEVA y los promedios se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las repeticiones fueron cuatro con 20 unidades experimentales, y cada unidad experimental tuvo tres plantas, las cuales se

ABSTRACT

Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) are the fourth most economically important berry in the world. Its consumption responds to the existing interest on the antioxidant compounds contained in its fruits and that are beneficial to human health. The production of blueberries is affected by water and salinity stress. Knowing the agronomic responses of this crop to stress helps to design actions for its handling. The aim of this study was to find out the effect of water and salinity stress on the agronomic variables of blueberry plants. As dryness and salinity increase, the growth of plants and the yield of blueberry fruits are reduced. To test this hypothesis, one-year old plants were exposed to water and salinity stress, in a hydroponic system, using tezontle as a substrate and a modified Steiner universal nutrient solution. The following variables were measured: dry matter of the root, stem, leaf and fruit, foliar area, root length, and height (plant), and specific weight, and equatorial and longitudinal diameters (fruit). A randomized complete block design was used and the treatments were: 1) control, with the 100 % of the daily demand of water and with an osmotic potential (PO) of -0.027 MPa; 2) salinity stress, with two PO levels (-0.041 and -0.054 MPa), both with 100 % of the daily demand of water; 3) water stress, with 33 % (H33) and 66 % (H66) of the daily demand of water, with a PO of -0.027 MPa. ANOVA was used to analyze the results and the means were compared using a Tukey test ($p \leq 0.05$). There were four repetitions —with 20 experimental units, and three plants per each experimental unit— which were used to analyze the results. There were statistical differences ($p \leq 0.05$), as a result of salinity stress in the root length variables and in all variables in the treatments with water stress. Results indicate that blueberry plants are sensitive to water and salinity stress, which have a negative effect on the growth of this species. However, water stress has a greater impact on the growth and production of blueberry plants, unlike salinity stress, which

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2017. Aprobado: enero, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 52: 231-239. 2018.

usaron para el análisis de los resultados. Hubo diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) por efecto del estrés salino en las variables longitud de raíz y en todas las variables en los tratamientos con déficit hídrico. Los resultados indican que las plantas de arándano son sensibles al estrés hídrico y salino, los cuales tienen un efecto negativo en el crecimiento de esta especie. Sin embargo, el estrés hídrico ejerce un mayor impacto en el crecimiento y producción de las plantas de arándano a diferencia del estrés salino, el cual puede aumentar el tamaño del fruto cuando se aplica un potencial osmótico igual a -0.41 MPa.

Palabras clave: estrés hídrico, estrés salino, rendimiento de fruto, calidad de fruto, *Vaccinium corymbosum* L.

INTRODUCCIÓN

La importancia del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) radica en que es la cuarta frutilla de interés económico en el mundo, debido a su alto contenido en antioxidantes y resistencia a las condiciones ambientales adversas. En México la producción de arándanos aumenta cada año, en el 2013 se produjeron cerca de 10, 160 t que es el 2.41 % del total mundial (FAOSTAT, 2015). A pesar de ser una especie adaptada para climas templados y fríos, la producción es posible porque algunas variedades como Biloxi tienen bajo requerimiento de horas frío y se adaptan a la mayoría de los microclimas tropicales y subtropicales presentes en México. Dicha variedad fue desarrollada por el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de EE.UU. con la cruce entre sus variedades Sharpeblue y US329. Presenta tallos rectos, vigorosos y productivos, la fruta tiene tamaño mediano, y su color, firmeza y sabor son más aceptables que los de las variedades Tifblue, Climax, Austin y Jubilee (Spiers *et al.*, 2002); además, tiene como valor agregado la libre producción, lo cual facilita la distribución entre productores.

El estrés osmótico, o lo que es consecuencia del mismo el estrés hídrico y salino, es uno de los principales factores de estrés abiótico con efecto negativo en la producción de plantas cultivadas en el mundo (Lamz y González, 2014). Sus principales efectos son reducción de biomasa en raíces, tallo y hojas, área foliar, altura de la planta (Erb *et al.*, 1993), disminución de la biomasa radical (Hsiao, 1973), y del crecimiento en hojas (Matsuda y Riaz, 1981), pérdida

can increase the size of the fruit when applying an osmotic potential equal to -0.41 MPa.

Keywords: water stress, salinity stress, fruit yield, fruit quality, *Vaccinium corymbosum* L.

INTRODUCTION

Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) are important because they are the fourth most economically important berry in the world, as a result of its high antioxidant content and its resistance to adverse environmental conditions. In Mexico, blueberry production increases yearly: in 2013, nearly 10 160 t were produced, accounting for 2.41 % of the world total (FAOSTAT, 2015). Although this species has adapted to warm and cold climates, some varieties (such as Biloxi) have a low chilling requirement, and they adapt to most of the tropical and subtropical microclimates found in Mexico. This variety was developed by the Agricultural Research Service of the United States crossing its Sharpeblue and US329 varieties. It has straight, vigorous, and productive stems; the fruit is medium sized; and, its color, firmness, and taste are more acceptable than those of the Tifblue, Climax, Austin, and Jubilee varieties (Spiers *et al.*, 2002); likewise, it has the added value of free production, which makes distribution amongst producers easier.

Osmotic stress—or its consequence, water and salinity stress—is one of the main abiotic stress factors with a negative impact on the production of farmed plants in the world (Lamz and González, 2014). Its main effects are: reduction of biomass in roots, stem, and leaves, as well as foliar area and plant height (Erb *et al.*, 1993); reduction of the root biomass (Hsiao, 1973) and of growth in leaves (Matsuda and Riaz, 1981); loss of turgor (Leidi and Pardo, 2002); reduction in chlorophyll content (Wright, 1993); reduction in the weight and size of fruits (Mingau, 2001); concentration of sugars (Ehret, 2012) and the weight of the fresh and dry matter of roots, stem, and leaves (Balaguera, 2008; Bryla and Machado, 2011); and, in extreme cases, the death of the plant, if transpiration exceeds the amount of water absorbed by the roots (Luna *et al.*, 2012).

Studies carried out on berries show that—in the Galestown and Berryland blueberry varieties—the induction of water stress reduces the biomass

de turgencia (Leidi y Pardo, 2002), disminución del contenido de clorofila (Wright, 1993), disminución del peso y tamaño en frutos (Mingeau, 2001), concentración de azúcares (Ehret, 2012), y el peso de la materia fresca y seca de raíz, tallo y hoja (Balaguera, 2008; Bryla y Machado, 2011) y en casos extremos si la transpiración excede la cantidad de agua absorbida por las raíces puede causar la muerte de la planta (Luna *et al.*, 2012).

Estudios en berries muestran que en las variedades de arándano Galestown y Berryland, la inducción de estrés hídrico disminuye la biomasa de las hojas y el área foliar (Erb *et al.*, 1993). En la fresa (*Fragaria* sp.) la acumulación de sales en la planta reduce el vigor, retarda el crecimiento y disminuye la producción de biomasa (Casierra y García, 2005). En zarzamora (*Rubus* sp.) el déficit hídrico reduce el peso seco de tallo y raíz, pero la relación raíz/tallo no cambió, lo cual indica que el déficit hídrico reduce la biomasa del tallo y raíz en proporciones similares.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta del crecimiento del arándano a dos tipos de estrés, hídrico y salino. La hipótesis fue que el crecimiento y rendimiento de frutos de arándanos disminuye al aumentar el estrés por sequía y salinidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en un invernadero tipo baticenital ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en el municipio de Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 54' O, y 2250 m de altitud).

Material vegetal

Plantas de arándano cv. Biloxi, de 12 meses de edad, se plantaron en un sistema hidropónico con tezontle tamizado con malla de 1 cm² en bolsas de plástico con capacidad de 20 L. Para descartar diferencias entre tratamientos por efecto del sustrato, éstos fueron caracterizados al inicio y al final del experimento con base en sus propiedades físicas: granulometría, porosidad, retención de humedad y aireación. La solución universal de Steiner modificada se utilizó para irrigar. La variedad Biloxi se eligió por ser de propagación libre y adaptada a la producción en México.

of the leaves and the foliar area (Erb *et al.*, 1993). The accumulation of salts in strawberries (*Fragaria* sp.) plants reduces vigor, delays growth, and reduces the production of biomass (Casierra and García, 2005). Meanwhile, water deficit reduces the dry weight of the stem and roots of raspberry (*Rubus* sp.) plants, although the root:stem ratio did not change, indicating that water deficit reduces the biomass of the stem and the root in similar proportions.

The aim of this research was to evaluate the growth response of blueberry to two types of stress: water and salinity. The hypothesis was that the growth and yield of blueberry fruits decreases as the water and salinity stress increases.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study took place in a zenithal greenhouse located in the premises of the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, in the Municipality of Texcoco, Estado de Mexico (19° 29' N, 98° 54' W and 2250 meters above sea level).

Plant material

Twelve-month old blueberries cv. Biloxi were planted in a hydroponic system with tezontle sieved in a 1 cm² mesh in 20-L plastic bags. Differences between treatments—as a result of the effect of the substrate—were distinguished at the beginning and end of the experiment, based on their physical properties: granulometry, porousness, water retention, and airing. Plants were irrigated using a modified Steiner universal solution. The Biloxi variety was chosen for its unfettered propagation and adaptability for production in Mexico.

Experimental design

A complete randomized block design was used for the experiment and the following treatments were applied: 1) control, irrigated until the point of drainage (100 % of the daily demand of water) and an osmotic potential of -0.027 MPa (3.4 mmolc.L⁻¹ of Ca⁺⁺, 1.5 mmolc.L⁻¹ of Mg⁺⁺, 2.6 mmolc.L⁻¹ of K⁺, 4.5 mmolc.L⁻¹ of NO₃⁻, 0.4 mmolc.L⁻¹ of H₂PO₄⁻, 2.6 mmolc.L⁻¹ of SO₄⁼), according to Steiner (1984); 2) saline with two levels, -0.041 Mpa (5.1 mmolc.L⁻¹ of Ca⁺⁺, 2.3 mmolc.L⁻¹ of Mg⁺⁺, 4 mmolc.L⁻¹ of K⁺, 6.8 mmolc.L⁻¹ of NO₃, 0.6 mmolc.L⁻¹ of H₂PO₄⁻, 4 mmolc.L⁻¹ of SO₄⁼) and -0.054 Mpa (6.8 mmolc.L⁻¹ of Ca⁺, 3 mmolc.L⁻¹ of Mg⁺⁺,

Diseño experimental

El diseño experimental fue bloques completamente al azar y los tratamientos fueron: 1) testigo, regado hasta el grado del drenado (100 % de la demanda diaria de agua) y un potencial osmótico de -0.027 MPa ($3.4 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ca^{++} , $1.5 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de Mg^{++} , $2.6 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de K^{+} , $4.5 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de NO_3^{-} , $0.4 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, $2.6 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de $\text{SO}_4^{=}$) de acuerdo con Steiner (1984), 2) salino con dos niveles, -0.041 Mpa ($5.1 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ca^{++} , $2.3 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de Mg^{++} , $4 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de K^{+} , $6.8 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de NO_3^{-} , $0.6 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, $4 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de $\text{SO}_4^{=}$) y -0.054 Mpa ($6.8 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ca^{++} , $3 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de Mg^{++} , $5.3 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de K^{+} , $9 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de NO_3^{-} , $0.8 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, $5.3 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ de $\text{SO}_4^{=}$), y 100 % de humedad hasta drenaje; además, estrés hídrico con dos niveles, 66 % y 33 % de humedad con relación al 100% de la demanda diaria y con un potencial osmótico de -0.027 MPa en ambos casos. Las repeticiones fueron cuatro, con 20 unidades experimentales, y cada unidad tuvo tres plantas de arándano, las plantas del tratamiento testigo se usaron para evaluar el estrés hídrico como el salino. En total se evaluó el efecto de 60 plantas. El agua utilizada se obtuvo del sistema de captación de agua de lluvia del Colegio de Postgraduados, con una conductividad eléctrica (CE) de 0.01 dS m^{-1} .

Variables de respuesta

Cada semana se determinó el número de frutos por planta y después se cuantificó el peso de materia fresca, expresado en g por planta; además, el diámetro ecuatorial y longitudinal de los frutos se midió con un vernier digital de 6 pulgadas considerando la cicatriz pedicelar y la cicatriz calicular del fruto.

Las hojas se muestrearon y cosecharon de manera homogénea entre tratamientos y unidades experimentales en la etapa vegetativa, reproductiva y, al final del experimento, se tomaron las todas las hojas para obtener peso de materia fresca y seca. Para obtener la biomasa seca, las hojas y frutos se secaron en una estufa con recirculación de aire forzado a $70 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ por 7 d, se pesaron y los resultados se expresaron en g de materia seca por planta. El material vegetal se molió y almacenó en frascos a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para análisis posteriores. Las raíces y los tallos se analizaron al final del ciclo para obtener el peso seco con el mismo procedimiento usado con las hojas.

Análisis de datos

Los datos se analizaron con ANDEVA y los promedios se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) usando SAS versión 9 (SAS Institute Inc., 1999).

$5.3 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ of K^{+} , $9 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ of NO_3^{-} , $0.8 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ of $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, $5.3 \text{ mmolc}\cdot\text{L}^{-1}$ of $\text{SO}_4^{=}$), and 100 % humidity until drainage; also, 2 levels of water stress $-66 \text{ } \%$ and $33 \text{ } \%$ humidity, in relation to the 100 % of the daily demand— and with an osmotic potential of -0.027 MPa, in both cases. Four repetitions were carried out, in 20 experimental units, and three blueberry plants per unit. The plants of the control treatment were used to evaluate water and salinity stress. Overall, the effect on 60 plants was evaluated. The water used was obtained from the rainwater harvest system of the Colegio de Posgraduados, with an electric conductivity (CE) of 0.01 dS m^{-1} .

Response variables

The number of fruits per plant was determined on a weekly basis, and then the weight of the fresh matter—expressed in g per plant— was quantified; additionally, the equatorial and longitudinal diameters were also measured using a 6-inch digital caliper, taking into consideration the pedicel and the clycine scars of the fruits.

The leaves were sampled and harvested homogeneously between treatments and experimental units in the reproductive and vegetative stages; at the end of the experiment, all the leaves were taken into account to obtain the weight of the fresh and dry matter. To obtain the dry biomass, the leaves and fruits were dried in a forced air circulation oven at $70 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ for 7 d; subsequently they were weighed and the results were expressed in g of dry matter per plant. The plant material was ground and stored in jars at $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ for further analysis. To obtain the dry weight, the roots and stems were analyzed at the end of the cycle, using the same procedure applied to the leaves.

Data analysis

The data were analysed using ANOVA and the means were compared using a Tukey test ($p \leq 0.05$) using SAS version 9 (SAS Institute Inc., 1999).

RESULTS AND DISCUSSION

Dry matter of root, stem, leaves and fruits

Statistical differences ($p \leq 0.05$) were observed in the dry biomasses of roots, leaves, fruits, and the total dry matter (MST), as a result of the salinity stress of the nutrient solution (Table 1).

The treatments with a PO below -0.027 MPa had a negative impact on the development of roots, leaves, fruits, and total biomass, and were

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca de raíz, tallo, hojas y fruto

Diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) se observaron en la biomasa seca de raíz, hoja, fruto y materia seca total (MST) por efecto del estrés salino de la solución nutritiva (Cuadro 1).

Los tratamientos con un PO menor a -0.027 MPa incidieron negativamente en el desarrollo de las raíces, hojas, frutos y biomasa total, y fueron estadísticamente diferentes al tratamiento testigo. Leidi y Pardo (2002) mencionan que el efecto del estrés salino es la reducción en la capacidad de absorción de agua disminuyendo la expansión foliar y la pérdida de turgencia. En nuestro experimento, la biomasa seca total se redujo conforme aumentó el PO de la solución nutritiva debido a que las células vegetales expuestas a un medio salino equilibran su potencial hídrico con la pérdida de agua y esto, a su vez, disminuye el potencial osmótico y turgencia.

La disminución del crecimiento no se debió a una reducción en el metabolismo, sino a la pérdida de turgencia (proceso físico). A medida que disminuye el contenido hídrico de la planta ocurre lo mismo en el interior de las células, por lo que se desacelera el volumen celular y la turgencia de la célula y aumenta la cantidad de solutos y los daños mecánicos sobre la célula (Cuadro 2).

El estrés hídrico, entonces, inhibe directamente algún mecanismo de crecimiento celular (Cuadro 2).

statistically different to the control treatment. Leidi and Pardo (2002) mention that salinity stress reduces water absorption capability, therefore diminishing foliar expansion and causing loss of turgor. In our experiment, the total dry biomass decreased, as the PO of the nutrient solution increased, since the plant cells exposed to a saline medium balance their hydric potential with the loss of water and this, in turn, reduces osmotic potential and turgor.

Growth reduction was not caused by a reduction in metabolism, but rather by the loss of turgor (physical process). As the water content of the plant decreases, the same occurs inside the cells, decelerating cell volume and the turgor of the cell and increasing the number of solutes and mechanical damages to the cell (Table 2).

Therefore, water stress directly inhibits some cell growth mechanism (Table 2). Total biomass and all its components decreased as the amount of water in the substrate was limited, in relation to the control. The root:stem ratio increased in inverse proportion to the amount of water provided to the plant, indicating that the aerial biomass was more affected by water stress.

Fruit quality

For most of the fruit quality variables, there were no significant statistical differences ($p > 0.05$) between treatments, as a result of water or salinity stress (Table 3). For water stress, there were only statistical differences ($p \leq 0.05$) in the number of fruits

Cuadro 1. Peso de materia seca de raíz, tallo, hojas y fruto de arándano en condiciones de estrés salino.

Table 1. Dry mass weight of blueberry root, stem, leaves, and fruits, under conditions of salinity stress.

Tratamiento	Raíz	Tallo	Hojas	Frutos	MST	Relación raíz/tallo
	g planta ⁻¹					
Testigo	18.45 ^a	17.55a	7.67a	24.52a	69.10a	1.05a
PO1	11.38b	14.25a	5.48ab	18.09b	49.20b	0.79a
PO2	16.03ab	13.78a	5.03b	20.70ab	55.50b	1.16a
CV	15.00	17.46	17.40	9.63	6.86	12.59
DMS	4.97	5.75	2.37	4.41	8.62	0.41
R ²	0.77	0.49	0.75	0.80	0.90	0.68

Valores promedio con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$); CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa; Testigo: -0.027 MPa; PO1: -0.041 MPa; PO2: -0.054 MPa; MST: materia seca total. ♦ Means values with different letters in each column are statistically different (Tukey; $p \leq 0.05$); CV: coefficient of variation; DMS: minimum significant difference; Control: -0.027 MPa; PO1: -0.041 MPa; PO2: -0.054 MPa; MST: total dry matter.

Cuadro 2. Peso de materia seca de raíz, tallo, hojas y fruto de arándano en condiciones de estrés hídrico.
Table 2. Dry mass weight of blueberry root, stem, leaves, and fruits, under conditions of water stress.

Tratamiento	Raíz	Tallo	Hojas	Frutos	MST	Relación raíz/tallo
	g planta ⁻¹					
Testigo	18.45a	17.55a	7.67a	24.52a	69.10a	0.37b
H1	16.63ab	14.80a	7.00ab	17.08b	59.70b	0.45b
H2	12.93b	7.90b	3.40b	6.03c	31.10c	0.77a
CV	15.00	19.51	21.90	24.47	5.56	26.29
DMS	5.50	5.68	2.96	7.38	6.70	0.30
R ²	0.77	0.84	0.87	0.89	0.99	0.79

Valores promedio con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$); CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa; Testigo: 100 % de la demanda diaria de agua (dda); H1: 66 % de la dda; H2: 33 % de la dda; MST: materia seca total. ❖ Mean values with different letters in each column are statistically different (Tukey $p \leq 0.05$); CV: coefficient of variation; DMS: minimum significant difference; Control: 100 % of the daily demand of water (dda); H1: 66 % of the dda; H2: 33 % of the dda; MST: total dry matter.

La biomasa total y todos sus componentes disminuyeron conforme se limitó la cantidad de agua en el sustrato, con relación al testigo. La relación raíz/tallo se incrementó inversamente proporcional a la cantidad de agua que recibió la planta, lo cual indica que la biomasa aérea fue más afectada por efecto del estrés hídrico.

Calidad de fruto

Para la mayoría de las variables de calidad del fruto no hubo diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos por efecto del estrés salino o hídrico (Cuadro 3). Para el estrés hídrico solo hubo diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en la variable número de frutos por planta. No se encontraron evidencias estadísticas de que la sequía afecte negativamente el peso promedio de fruto, los diámetros ecuatoriales y longitudinales evaluados.

Al respecto, Mingeau *et al.* (2001) muestran que al aumentar el estrés hídrico disminuyó el peso y el tamaño de los frutos, lo que impactó negativamente en el rendimiento de las plantas de arándano de tipo arbustivo (highbush). Ehret *et al.* (2012) reportan que plantas de arándano concentraron más azúcares al disminuir la humedad del suelo con respecto al testigo; además aumentó la firmeza del fruto y la pérdida de agua del fruto en postcosecha. Sin embargo, en dichos tratamientos el peso del fruto, la acidez titulable y el contenido de agua en el fruto disminuyeron.

per plant variable. No statistical evidence was found that drought has a negative effect on the average fruit weight, or the equatorial and longitudinal diameters evaluated.

In this regard, Mingeau *et al.* (2001) show that an increase in water stress reduces fruit size and weight, which has a negative impact on the highbush blueberry plant yields. Ehret *et al.* (2012) reported that blueberry plants concentrated more sugars when soil moisture was lower than in control; it also increased the firmness of the fruit and its water loss in postharvest. However, in such treatments, the weight of the fruit, its titratable acidity, and its water content decreased.

Number of leaves, foliar area, specific leaf weight, root length, and plant height

Table 4 shows that only root length has significant statistical differences ($p \leq 0.05$) as a consequence of salinity stress, while such differences were found in foliar area, specific leaf weight, and root length in treatments with water stress. According to Wright *et al.* (1993), increasing the salinity of the nutrient solution with 100 mM of Na^+ in blueberry plants significantly affected these variables. Bryla and Machado (2011) show that reducing the PO of the nutrient solution with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ below -0.054 MPa in highbush blueberry plants reduces the MS content in roots, as well as the AF, which matches the results of this research.

Cuadro 3. Calidad de fruto de arándano en condiciones de estrés salino e hídrico.
Table 3. Blueberry fruit quality under conditions of water and salinity stress.

Tratamiento	NF	PPF g	DEF	DLF
			mm	
		Estrés salino		
Testigo	619.00a	3.50a	8.94a	7.34a
PO1	480.00a	3.50a	9.37a	7.71a
PO2	615.00a	4.10a	9.13a	7.65a
CV	10.07	10.55	3.76	3.27
DMS	151.92	0.85	0.86	0.62
R ²	0.74	0.52	0.54	0.58
Estrés hídrico				
Testigo	619.00a	3.50a	8.94a	7.34a
H1	455.00a	3.70a	8.92a	7.53a
H2	194.00b	3.90a	8.68a	7.21a
CV	18.31	10.83	3.35	1.55
DMS	167.77	0.92	0.77	0.33
R ²	0.92	0.54	0.60	0.90

Valores promedio con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$); C.E: conductividad eléctrica (dS m^{-1}); H: humedad (%); CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa; NF: número de frutos por planta; PPF: peso promedio de frutos; DEF: diámetro ecuatorial del fruto; DLF: diámetro longitudinal del fruto; Testigo1: -0.027 MPa; PO1: -0.041 MPa; PO2: -0.054 MPa; Testigo2: 100% de la demanda diaria de agua (dda); H1: 66 % de la dda; H2: 33 % de la dda. ♦ Mean values with different letters in each column are statistically different (Tukey; $p \leq 0.05$); C.E: electric conductivity (dS m^{-1}); H: humidity (%); CV: coefficient of variation; DMS: minimum significant difference; NF: number of fruits per plant; PPF: average weight of fruit; DEF: equatorial diameter of the fruit; DLF: longitudinal diameter of the fruit; Control1: -0.027 MPa; PO1: -0.041 MPa; PO2: -0.054 MPa; Control2: 100% of the daily demand of water (dda); H1: 66 % of the dda; H2: 33 % of the dda.

Número de hojas, área foliar, peso específico de la hoja, longitud de raíz y altura de planta

En el Cuadro 4 se observan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) sólo para longitud de raíz por efecto del estrés salino y área foliar, peso específico de hoja y longitud de raíz en los tratamientos con estrés hídrico. Según Wright *et al.* (1993), al aumentar la salinidad de la solución nutritiva con 100 mM de Na^+ en plantas de arándano estas variables se afectaron significativamente. Bryla y Machado (2011) muestran que al disminuir el PO de la solución nutritiva con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ por debajo de -0.054 MPa en plantas de arándano tipo *highbush*, se reduce el contenido de MS de raíces y el AF, lo cual coincide con los resultados obtenidos en nuestra investigación.

AF and PEH decreased significantly when the blueberry plants received 33 % of the daily demand of water (dda), in comparison with the control (100 % of the dda). Mingeau *et al.* (2001) point out that blueberry plants are very sensitive to drought, and that increasing water stress reduces transpiration, stem diameter, and foliar area in highbush blueberry plants.

LR was favored when moisture was reduced to 33 % of the dda. This is how plants respond to drought, with a mechanism by means of which their roots tend to elongate faster searching for water further away.

Some variables measured in this research suffer a greater impact from water or salinity stress (foliar area, number of fruits, and dry weight variables) and could serve as a model to be applied in the production of blueberries in areas in which weather conditions pose

Cuadro 4. Número de hojas, área foliar, peso específico de hoja, longitud de raíz y altura de planta de arándano, bajo condiciones de estrés salino e hídrico.**Table 4. Number of leaves, foliar area, specific leaf weight, root length, and height of blueberry plants, under conditions of salinity and water stress.**

Tratamiento	NH	AF cm ²	PEH mg	LR cm	AP cm
Estrés salino					
Testigo 1	140.00a	739.76a	10.42a	32.00b	88.00a
PO1	102.00a	529.80a	10.34a	34.75ab	85.00a
PO2	102.00a	477.50a	10.76a	39.67a	85.25a
CV	18.24	18.90	7.51	8.29	3.16
DMS	48.63	246.97	1.71	6.70	5.91
R ²	0.69	0.76	0.46	0.73	0.58
Estrés hídrico					
Testigo2	140.00a	739.76a	10.42a	32.00b	88.00a
H1	123.00a	664.20a	10.67a	28.75c	81.50a
H2	83.00a	350.40b	9.65b	37.67a	81.67a
CV	25.30	22.42	3.12	3.20	6.11
DMS	63.32	294.43	0.69	2.39	11.79
R ²	0.66	0.86	0.83	0.96	0.57

Valores promedio con diferente en cada columna y son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$); C.E: conductividad eléctrica (dS m^{-1}); H: Humedad en %; CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa; NH: número de hojas; AF: área foliar; PEH: peso específico de hojas; LR: longitud de raíz; AP: altura de planta; Testigo1: -0.027 MPa ; PO1: -0.041 MPa ; PO2: -0.054 MPa ; Testigo2: 100 % de la demanda diaria de agua (dda); H1: 66 % de la dda; H2: 33 % de la dda. ♦ Mean values with different letters in each column are statistically different (Tukey; $p \leq 0.05$); C.E: electric conductivity (dS m^{-1}); H: humidity %; CV: coefficient of variation; DMS: minimum significant difference; NH: number of leaves; AF: foliar area; PEH: specific leaf weight; LR: root length; AP: plant height; Control1: -0.027 MPa ; PO1: -0.041 MPa ; PO2: -0.054 MPa ; Control2: 100 % of the daily demand of water (dda); H1: 66 % of the dda; H2: 33 % of the dda.

El AF y PEH se redujeron significativamente cuando las plantas de arándano recibieron 33 % de la demanda diaria de agua (dda), con respecto al testigo (100 % de la dda). Mingeau *et al.* (2001) señalan que el arándano es muy sensible a la sequía y que al aumentar el estrés hídrico disminuye la transpiración, el diámetro del tallo y el área foliar en plantas de arándano tipo *highbush*.

La LR fue favorecida al disminuir la humedad hasta el 33 % de la dda, lo cual se explica como un mecanismo de respuesta de la planta a la sequía, en el cual las raíces tienden a elongarse más rápidamente para buscar el agua en áreas más lejanas.

Algunas variables medidas en esta investigación sufren mayor impacto frente al estrés hídrico o salino (área foliar, número de frutos y variables de peso seco) y podrían servir como modelo de aplicación en la producción de arándano en sitios donde las condiciones ambientales supongan un reto del tipo hídrico o salino. Además, el efecto negativo del estrés hídrico

a challenge regarding water or salinity. Additionally, the negative effect of water stress was greater in blueberry fruits and it was expressed in the dry weight and number of fruits.

CONCLUSIONS

The osmotic potential of the nutrient solution had a negative effect on the vegetative and reproductive development of blueberry plants. This suggests that this species is sensitive to variations in the concentrations of salts in the soil, but it somehow resists small increases in osmotic potential, since the dry weight of its fruits is not affected. The osmotic potential of -0.041 MPa increased the equatorial and longitudinal diameter of the fruits, without an increase in weight and at the expense of the reduction in their number. The results suggest that water stress had a greater impact on the growth and production of plants than salinity stress.

fue mayor en los frutos de arándano y se expresó en el peso seco de frutos y número de frutos.

CONCLUSIONES

El potencial osmótico de la solución nutritiva tuvo un efecto negativo en el desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas de arándano. Lo anterior sugiere que esta especie es sensible a la variación en las concentraciones de sales en el suelo, pero de alguna forma resiste pequeños incrementos en el potencial osmótico al no ser afectado en el peso seco en fruto. El potencial osmótico de -0.041 MPa aumentó el diámetro ecuatorial y longitudinal de los frutos, sin ganancia en peso y a expensas de la disminución en el número de los mismos.

Los resultados sugieren que el estrés hídrico tuvo mayor impacto sobre el crecimiento y producción de las plantas, con respecto al estrés salino.

LITERATURA CITADA

- Balaguera, H. E., J. G. Álvarez-Herrera, y J. D. Rodríguez. 2008. Efecto del déficit de agua en el trasplante de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Agron. Colomb. 26: 246-255.
- Bryla, D. R., and R. M. Machado. 2011. Comparative effects of nitrogen fertigation and granular fertilizer application on growth and availability of soil nitrogen during establishment of highbush blueberry. Frontiers Plant Sci. 2: DOI: 10.3389/fpls.2011.00046
- Casierra P, F., y N. García. 2005. Crecimiento y distribución de materia seca en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) bajo estrés salino. Agron. Colomb. 23: 83-89.
- Ehret, D. L., B. Frey, T. Forge, T. Helmer, and D. R. Bryla. 2012. Effects of drip irrigation configuration and rate on yield and fruit quality of young highbush blueberry plants. HortScience 47: 414-421.
- Erb, W. A., A. D. Draper, and H. J. Swartz 1993. Relation between moisture stress and mineral soil tolerance in blueberries. J. Am. Soc. HortScience 118: 130-134.
- FAOSTAT. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Base de datos. Disponible en <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. (Consulta: abril 2015).
- Hsiao, T. 1973. Plant responses to water stress. Annu. Rev. Plant. Physiol. 24: 519-570.
- Lamz, P. A., y M. C. González. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. Cultivos Trop. 34: 31-42.
- Leidi, E. O., y J. M. Pardo. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino. Rev. Investig. Facultad de Ciencias Agrarias 2:2-10
- Luna F, W., H. Estrada-Medina, J. J. M. Jiménez-Osornio, y L. L. Pinzón-López. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. Terra Latinoam. 30: 343-353.
- Mahajan, S., and N. C. Tuteja. 2005. Salinity and drought stresses: an overview. Arch. Biochem. Biophys 444: 139-158.
- Matsuda, K., and A. Riaz. 1981. Stress induced osmotic adjustment in growing regions of barley leaves. Plant Physiol. 68: 571-576.
- Mingeau, M., C. Perrier, and T. Améglio. 2001. Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry. Scientia Horticulturae 89: 23-40.
- Spiers, J. M., S. J. Stringer, A. D. Draper, and C. L. Gupton. 2002. 'Biloxy' southern highbush blueberry. In: VII International Symposium on Vaccinium Culture 574: 153-155.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-650.
- Wright, G. C., K. D. Patten, and M. C. Drew. 1993. Gas exchange and chlorophyll content of Tifblue'rabbiteye and Sharpblue'southern highbush blueberry exposed to salinity and supplemental calcium. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 118: 456-463.