

INOCULACIÓN BACTERIANA EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO DE CINCO VARIEDADES DE FRESA EN SUELOS CON pH CONTRASTANTE

Bacterial Inoculation of Five Strawberry Varieties in Contrasting Soil pH: Effect on Growth and Fruit Quality

José Alberto Ortiz Texon¹, Julián Delgadillo Martínez^{1‡},
María de las Nieves Rodríguez Mendoza¹ y Guillermo Calderón Zavala²

¹ Postgrado en Edafología, ² Postgrado en Fruticultura, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

[‡] Autor responsable (juliandm@colpos.mx)

RESUMEN

En un primer experimento se determinó el crecimiento de cinco variedades de fresa en dos suelos con pH contrastante (4.4 y 8.8). La producción de materia seca de la parte aérea, área foliar, volumen radical y concentración de N, P, K en la parte aérea se determinaron 125 días después del trasplante (ddt). Las plantas de todas las variedades cultivadas en pH 4.4 superaron a las cultivadas en pH 8.8 en todas las variables. Las variedades CP-06-15 y Festival fueron las que mejor se adaptaron a las condiciones de pH alcalino. En un segundo experimento se determinó la función de la inoculación con rizobacterias solubilizadoras de fosfatos en la reducción de los efectos negativos del pH alcalino en las variedades de fresa. Dos tipos de inoculación al momento del trasplante fueron comparadas: aplicación con pipeta de precisión e inmersión de las raíces en la suspensión bacteriana; además del testigo (sin inoculación). Se determinó crecimiento de las plantas y la producción y calidad de los frutos. La inoculación bacteriana no tuvo efecto en el crecimiento de la parte aérea y la raíz de las plantas, excepto en la variedad más sensible al pH alcalino (CP-LE-07) inoculada por inmersión de la raíz. También, esta fue la única variedad en la que la inoculación bacteriana aumentó el número de frutos producidos. De acuerdo al promedio de todas las variedades, la inoculación bacteriana, en ambas de sus formas, redujo el número y peso de los frutos producidos.

Palabras clave: *rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal; sólidos solubles totales; grados Brix.*

SUMMARY

The first of two experiments was conducted to determine the effect of bacterial inoculation on five varieties of strawberry growing on two soils with contrasting pH (4.4 and 8.8). Shoot dry matter production, leaf area, root volume and shoot N, P and K contents were evaluated 125 days after transplanting. All varieties grown in pH 4.4 exceeded those grown in pH 8.8 in all variables. The varieties CP-06-15 and Festival were best adapted to alkaline pH conditions. A second experiment was established to compare two inoculation methods (direct application or root immersion) with phosphate solubilizing rhizobacteria in reducing the negative effects of alkaline pH on plant growth and fruit production and quality of the five strawberry varieties. Bacterial inoculation had no effect on shoot or root growth, with the exception of the variety least adapted to high soil pH (CP-LE-07) inoculated by root immersion in a bacterial suspension. Only in this variety, did inoculation increase fruit production. The averages of all varieties revealed that both types of bacterial inoculation reduced fruit number and weight.

Index words: *plant-growth promoting rhizobacteria; total soluble solids; Brix grades.*

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una superficie sembrada de fresa de 9248 ha con un rendimiento promedio de 45 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2013). Algunas zonas productoras no expresan su máximo potencial, debido mayormente a deficiencias de algunos elementos importantes para

Como citar este artículo:

Ortiz Texon, J. A., J. Delgadillo Martínez, M. N. Rodríguez Mendoza y G. Calderón Zavala. 2016. Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. Terra Latinoamericana 34: 177-185.

Recibido: mayo de 2015. Aceptado noviembre de 2015.

Publicado en Terra Latinoamericana 34: 177-185.

que la planta complete su ciclo de vida, afectando finalmente la producción de frutos. La salinidad afecta negativamente a la mayoría de los cultivos agrícolas (Shrivastava y Kumar, 2015). En fresa, el pH del suelo óptimo es entre 4.6 y 6.5 (Milosevic *et al.*, 2009). La producción de frutos puede ser inversamente proporcional a la calidad de los mismos (Cardeñosa *et al.*, 2014; Dumas *et al.*, 2003; Giuffrida *et al.*, 2001; Keutgen y Pawelzik, 2008; Li *et al.*, 2013). Los problemas edáficos en el centro de México, se deben principalmente a suelos alcalinos, los cuales representan hasta un tercio de la superficie del país. Estos suelos se encuentran, normalmente, en zonas de baja precipitación ($< 500 \text{ mm año}^{-1}$), razón por la cual los cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} no son lixiviados. Tales suelos tienen altas concentraciones de iones OH^{-} y concentraciones altas de bicarbonatos o carbonatos. En algunas ocasiones también presentan altos niveles de sodio, que a partir de pH 8.5 se presenta en su forma intercambiable. Bajos contenidos de materia orgánica en estos suelos provocan antagonismos con otros elementos, lo que dificulta la absorción de P, Fe, Zn y Mn (Navarro, 2010).

El estudio de microorganismos promotores del crecimiento vegetal ha cobrado importancia a nivel mundial debido a las múltiples ventajas que estos representan. Algunos proporcionan una mejor nutrición de las plantas a través de mecanismos directos o indirectos (Couillerot *et al.*, 2009; Richardson *et al.*, 2009). Las bacterias pueden promover el crecimiento vegetal vía producción de fitohormonas (auxinas y giberelinas) o la regulación de la producción de promotores de crecimiento por parte de la planta. Además, incrementan la resistencia de estas a factores ambientales, ya que pueden inducir o suprimir la expresión de una amplia gama de genes relacionados con adaptación ambiental (Tsavkelova *et al.*, 2006). Así mismo, pueden afectar la disponibilidad de nutrientes por la intervención directa en los ciclos biogeoquímicos, tal es el caso de la fijación biológica de nitrógeno o la solubilización de fosfatos. Esta última debido a la secreción de ácidos orgánicos o de fosfatasa (Camelo *et al.*, 2011). Los mecanismos indirectos de promoción del crecimiento vegetal se centran principalmente en la interacción de microorganismos benéficos con fitopatógenos, con lo que se aminoran los daños en la planta (Díaz *et al.*, 2001). Los estímulos indirectos incluyen la producción y secreción de sideróforos, compuestos que secuestran el Fe disponible en la rizosfera y como resultado

previene que cualquier patógeno vecino proliferen. También incluyen la producción de compuestos antimicrobianos que inhiben el crecimiento (Ongena *et al.*, 2005) e hidrólisis de la pared celular de hongos fitopatógenos. En específico, la destrucción de ácido fusárico, agente químico causante de daños en plantas infectadas con *Fusarium* (Sarabia *et al.*, 2010). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar el crecimiento de variedades de fresa en suelos alcalinos y el efecto protector de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Efecto del pH del Suelo en Variedades de Fresa

El experimento se estableció en un invernadero tipo capilla de 4.5 m de altura central y 3 m de altura lateral. Cubierta de malla sombra del 40% de reflectancia, estructura de acero galvanizado, orientación norte-sur. Este se encuentra en Montecillo, Estado de México a $19^{\circ} 29' \text{ N}$ y $98^{\circ} 53' \text{ O}$ y 2260 m de altitud. Se cultivaron plantas de fresa de las variedades CP-Zamorana, CP-Jacona, Festival, líneas avanzadas CP-LE-7 y CP-06-15. Se establecieron dos tratamientos correspondientes a dos tipos de suelo con pH contrastante para cada una de cinco variedades. El primero es un suelo de invernadero de la Comunidad de San Diego y el segundo un suelo agrícola de Montecillo, ambos del Municipio de Texcoco, Estado de México. Las características de ambos suelos se presentan en el Cuadro 1.

Cada unidad experimental consistió en una planta de fresa cultivada en una bolsa de plástico negro calibre 400 de 8 L de capacidad conteniendo 12 kg de suelo. Cada tratamiento contó con ocho unidades experimentales (repeticiones). Se aplicaron riegos tres veces por semana. A los 125 días después del trasplante (ddt) se cosecharon las plantas, se separó la raíz de la parte aérea y se evaluaron las siguientes variables: 1) área foliar, la cual se determinó con ayuda de un integrador foliar LI-3000 (LI.COR, EE.UU.). 2) Volumen radical por el método de volumen de agua desplazado por raíz y corona en una probeta de 500 mL. 3) Peso seco de la parte aérea, se secó a 70° C durante 72 h y se pesó en balanza analítica. 4) Concentración de N, P, y K en la parte aérea. El material seco se molió en mortero y se determinó N por método micro-Kjeldahl, P y K por digestión del

Cuadro 1. Características químicas de los suelos utilizados.

	Unidades	Suelo 1	Suelo 2	Métodos empleados
pH		4.4	8.8	1:2 en agua
CE	dS m ⁻¹	0.2	0.5	1:5 en agua
MO	%	39.4	1.5	Walkley y Black
N	%	1.97	0.07	Calculado de % de MO
P	mg kg ⁻¹ de suelo	27	13	Olsen
		29	n.d.	Bray y Kurtz
K	meq 100 g ⁻¹ de suelo	0.6	4.1	
Ca	meq 100 g ⁻¹ de suelo	4.5	27.9	NH ₄ OAc 1N pH=7
Mg	meq 100 g ⁻¹ de suelo	1.7	9.2	
Na	meq 100 g ⁻¹ de suelo	0.3	1.3	
N-NO ₃		60	11	KCl 2N
N-NH ₄		77	2	
Fe	mg kg ⁻¹ de suelo	150	2	
Cu	mg kg ⁻¹ de suelo	1	0.4	1:4 en DTPA
Zn	mg kg ⁻¹ de suelo	5	1	
Mn	mg kg ⁻¹ de suelo	59	6	

CE = conductividad eléctrica; MO = materia orgánica; n.d. = no detectado.

material vegetal en ácido nítrico y perclórico y lectura en el ICP-OES (Mulgrave-Australia Agilent). Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS (StatisticalAnalysisSystem) versión 9.0 en los cuales se aplicó un análisis de varianza y se hizo una prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) de los dos tipos de suelo (pH 4.4 contra pH 8.8).

Inoculación Bacteriana en Variedades de Fresa

Se cultivaron plantas de fresa de las mismas variedades del primer experimento y se establecieron tres tratamientos: 1) sin inoculación, 2) inoculación por aplicación de 5 mL de suspensión bacteriana y 3) inoculación por inmersión de las raíces en la suspensión bacteriana. Cuatro cepas bacterianas promotoras del crecimiento vegetal se utilizaron por su capacidad de solubilización de fosfatos (*Pseudomonas tolaasi* A46 y P61, *Paenibacillus polymyxa* BPS1.1 y *Bacillus pumilus* R-44), las cuales fueron proporcionadas por el laboratorio de Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados. Las cepas se propagaron en caldo nutritivo en incubadora con agitación rotatoria (New Brunswick Scientific Edison) a 180 rpm durante cuatro días a 28 °C, hasta obtener una concentración de 10⁹ células mL⁻¹, de acuerdo

con la escala de McFarland (McFarland, 1970). La inoculación se realizó al momento del trasplante. Las plantas se cultivaron en el suelo pH 8.8 utilizado en el primer experimento y con manejo similar. Seis repeticiones se establecieron. Los frutos producidos se cortaron semanalmente y evaluaron de los 134 a los 227 ddt. Frutos de fresa en estado de madurez comercial (3/4 del total de la superficie del fruto con coloración roja) fueron muestreados. La firmeza en frutos se determinó con un penetrómetro de mano (Marca QA Supplies) y los datos se expresaron en g cm⁻². Los sólidos solubles totales del fruto se midieron con un refractómetro portátil (Marca Atago N-1a Alfa) y los datos se expresaron en grados Brix. Las plantas se cortaron a los 227 ddt y se determinó peso seco de la materia seca, área foliar, volumen radical y concentración de N, P y K de la parte aérea del mismo modo que en el primer experimento. La producción acumulada de frutos por planta (número y peso de los frutos) se calculó adicionalmente. La población de bacterias solubilizadoras de fosfatos en la rizosfera de las plantas de fresa se estimó por el método de diluciones decimales de macerados radicales (Mattos *et al.*, 2008) y siembra en medio de cultivo Pikovskaya (PVK). Las colonias que presentaban un halo transparente, lo que indica la solubilización del

fosfato tricálcico, se cuantificaron como positivas. Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS (StatisticalAnalysisSystem) versión 9.0 en los cuales se aplicó un análisis de varianza y se hizo una prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del pH del Suelo en Variedades de Fresa

La producción de materia seca fue superior en el suelo con pH 4.4 comparado con el suelo pH 8.8, en todas las variedades de fresa (Cuadro 2).

Las variedades CP-Zamorana y CP-Jacona fueron las que mostraron mayor producción de materia seca en el suelo pH 4.4; mientras que la línea CP-06-15 y la variedad Festival fueron las que mayor producción de materia seca tuvieron en el suelo con pH 8.8, es decir, las que mejor se adaptaron a las condiciones de alcalinidad. La fresa, al ser un cultivo de suelos ácidos (Garriga *et al.*, 2014), reduce su crecimiento en suelos con pH alto (>8), lo cual fue evidente en este trabajo. La reducción en la producción de materia seca promedio de todas las variedades al variar el pH del suelo fue de 66%, con valores de 19.44 en pH 4.4 reduciéndose a 6.49 g planta⁻¹ en suelo con pH 8.8. Las variedades más afectadas por el pH alto del suelo fueron CP-Zamorana, se redujo 75% su producción de materia seca y CP-Jacona 74% de reducción respecto al suelo con pH 4.4, mientras que las menos afectadas

por el aumento en el pH del suelo fueron CP-06-15 con una reducción de 54% y Festival con una reducción del 56% en la materia seca producida.

El área foliar presentó la misma tendencia que la materia seca. En todas las variedades el área foliar fue mayor en el suelo con pH 4.4 que en suelo con pH 8.8. Las variedades CP-Zamorana y CP-Jacona fueron las que mostraron mayor área foliar en el suelo pH 4.4; mientras que la línea CP-06-15 y la variedad Festival fueron las que mejor se adaptaron a las condiciones de alcalinidad. La reducción en el área foliar promedio de todas las variedades fue de 63%, con valores de 1292 en pH 4.4 y 478 cm² planta⁻¹ en suelo con pH 8.8.

El volumen radical presentó la misma tendencia que área foliar y peso seco de la parte aérea, ya que en todas las variedades el volumen radical fue mayor en suelo con pH 4.4 que en suelo con pH 8.8. En el suelo con pH 4.4, las variedades CP-Zamorana y CP-06-15 fueron las que presentaron mayor crecimiento de la raíz, mientras que en suelo con pH 8.8, la variedad CP-06-15 se destacó sobre las variedades restantes. La disminución en el crecimiento de la raíz respecto al tipo de suelo, de ácido a alcalino, en la variedad CP-06-15 fue de 53%, mientras que en el promedio de todas las variedades fue de 67%.

Así mismo, la concentración de N, P y K en la parte aérea en todas las variedades evaluadas fue mayor en suelo con pH 4.4 que en suelo con pH 8.8. En el suelo con pH 4.4 las variedades con mayor contenido de

Cuadro 2. Efecto del pH del suelo en variables relacionadas con el crecimiento y la acumulación de macronutrientes en cinco variedades de fresa.

Variedad	pH	Materia seca	Área foliar	Volumen radical	N	P	K
		g planta ⁻¹	cm ² planta ⁻¹	cm ³ planta ⁻¹	- - - -	mg planta ⁻¹	- - - -
CP-Zamorana	4.4	21.26	1384	76	338.63	27.77	79.55
	8.8	5.30 [†]	407 [†]	12 [†]	66.82 [†]	11.50 [†]	30.59 [†]
CP-Jacona	4.4	20.04	1372	66	227.3	33.83	92.81
	8.8	5.25 [†]	418 [†]	14 [†]	59.58 [†]	9.64 [†]	23.66 [†]
CP-06-15	4.4	19.28	1261	74	299.67	27.17	88.27
	8.8	8.88 [†]	593 [†]	22 [†]	118.15 [†]	18.41 [†]	53.62 [†]
CP-LE-7	4.4	18.73	1234	64	281.81	35.48	87.97
	8.8	5.19 [†]	370 [†]	14 [†]	68.99 [†]	10.14 [†]	23.03 [†]
Festival	4.4	17.89	1208	68	311.89	28.45	85.33
	8.8	7.82 [†]	603 [†]	14 [†]	110.55 [†]	19.87 [†]	51.85 [†]
Promedio de variedades	4.4	19.44	1292	70	291.86	29.21	86.79
	8.8	6.49 [†]	478 [†]	15 [†]	84.82 [†]	15.67 [†]	36.55 [†]

[†]Diferencias estadísticas significativas entre tratamientos dentro de cada variedad (Tukey, $\alpha = 0.05$).

N en la parte aérea fueron CP-Zamorana y Festival, en P CP-LE-7 y CP-Jacona y para K CP-Jacona. En el suelo con pH 8.8, los mayores contenidos de N, P y K se presentaron en CP-06-15 y Festival. Lo anterior indica que en condiciones de estrés por alcalinidad, las variedades (CP-06-15 y Festival) que mayor crecimiento tuvieron fueron a su vez las que presentaron mayor concentración de macroelementos. Los decrementos en todas las variables evaluadas en este trabajo ocasionadas por el aumento en el pH de suelo hasta 8.8, concuerdan con lo reportado por Keutgen y Pawelzik (2008); además, D'Anna *et al.* (2003) y Pirlak y Esitken (2004) determinaron que estos decrementos en el crecimiento provocan que la producción de frutos también disminuya.

Inoculación Bacteriana en Variedades de Fresa

De manera similar que en el primer experimento, el mayor peso seco de la parte aérea se presentó en las variedades CP-06-15 y Festival. No se presentaron aumentos en el crecimiento de las plantas por efecto

de la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV). Solo en la variedad CP-LE-7, la cual tuvo los valores más bajos en acumulación de materia seca, el tratamiento de inoculación por inmersión de la raíz en suspensión bacteriana superó al de inoculación por aplicación directa y al testigo (Cuadro 3).

Los microorganismos utilizados en este trabajo fueron aislados de ambientes con suelos cercanos a la neutralidad, lo que pudo haber afectado su desempeño en suelos con pH 8.8. Bharti *et al.* (2014) indicaron que en condiciones de estrés salino en los suelos, la inoculación de microorganismos (RPCV) exógenos debe hacerse con aquellos halotolerantes. Así mismo, Castro-Sowinski *et al.* (2007) identificaron muchos otros factores que pueden afectar la efectividad de las RPCV inoculadas, entre los más destacados se encuentran la competencia con los microorganismos nativos, características físicas y químicas del suelo, genotipo y edad de la planta a inocular, tipo de exudados radicales y manejo agrícola.

El área foliar mostró tendencias similares a

Cuadro 3. Materia seca de parte aérea, área foliar, raíz y acumulación de macronutrientes en la parte aérea de cinco variedades de fresa desarrolladas en un suelo con pH 8.8 y tratadas con dos tipos de inoculación bacteriana.

Variedad de fresa	Inoculación	Materia seca	Área foliar	Volumen radical	N	P	K
		g planta ⁻¹	cm ² planta ⁻¹	cm ³ planta ⁻¹	- - - -	mg planta ⁻¹ - - - -	
CP-Zamorana	Sin inocular	8.38	456.4	16.0	121.24a	17.04a	56.50
	Aplicación directa	6.79	392.3	15.0	98.24b	13.12b	49.36
	Inmersión de raíz	8.34	434.4	13.8	116.72a	10.25b	50.34
CP-Jacona	Sin inocular	8.77	455.9	17.2	126.84a	18.48a	63.12a
	Aplicación directa	7.81	401.4	15.5	102.02b	10.66b	51.06b
	Inmersión de raíz	7.27	379.1	13.3	108.50b	9.88b	33.06c
CP-06-15	Sin inocular	12.68	750.4	22.2	218.94a	26.52	105.91
	Aplicación directa	11.94	680.9	22.6	189.39b	33.69	101.78
	Inmersión de raíz	13.05	801.4	20.0	213.10ab	31.53	114.73
CP-LE-7	Sin inocular	5.50b	250.2b	12.8	82.08b	7.84b	30.33b
	Aplicación directa	4.70b	196.3b	10.2	70.17b	7.06b	30.01b
	Inmersión de raíz	7.34a	345.0a	13.7	85.69a	13.89a	46.44a
Festival	Sin inocular	10.57	538.1	18.3	187.39a	21.84	71.45
	Aplicación directa	9.40	509.7	15.5	192.90a	20.15	69.03
	Inmersión de raíz	10.33	578.0	16.8	163.96b	14.59	50.78
Promedio de variedades	Sin inocular	8.08	581.5	17.3	140.99	18.34	65.46
	Aplicación directa	7.19	530.7	15.8	131.25	16.94	60.25
	Inmersión de raíz	9.75	586.2	15.5	127.77	16.03	59.07

Letras diferentes en la misma columna y dentro de la misma variedad indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

la acumulación de materia seca en la parte aérea, ya que la mayor área foliar se presentó en las variedades CP-06-15 y Festival. Tampoco se presentaron efectos en el crecimiento de las plantas por efecto de la inoculación con RPCV, a excepción de la variedad CP-LE-7, la cual fue la variedad con valores más bajos de acumulación de materia seca y área foliar. También en esta variedad, las plantas inoculadas por el método de inmersión de la raíz en suspensión bacteriana superaron a las inoculadas por aplicación directa y al testigo sin inocular (Cuadro 3).

De manera similar a lo ocurrido en el suelo con pH 8.8 del primer experimento, en el segundo experimento la variedad CP-06-15 fue la que se destacó por el crecimiento de sus raíces. La inoculación con RPCV no provocó mejoras en los valores de volumen radical para ninguna de las variedades en comparación al testigo.

En cuanto al contenido de N, P y K en la parte aérea, la variedad CP-06-15 fue la que presentó los valores más altos, siendo esta misma variedad la que presentó los valores más altos en volumen radical. Lo anterior indica que el crecimiento de las raíces se relacionó con el contenido nutricional de la planta. Para acumulación de N en la parte aérea, se presentaron diferencias entre tratamientos de inoculación en todas las variedades. En las variedades CP-06-15 y

CP-Zamorana, el contenido de N en parte aérea de las plantas con inoculación directa fue menor que en las del testigo sin inocular, pero no con las inoculadas por inmersión de las raíces en la suspensión bacteriana. Para la variedad Festival, esta reducción fue provocada por el tratamiento de inoculación por inmersión de la raíz en la suspensión bacteriana y no por inoculación directa. Para CP-Jacona, ambos tipos de inoculación provocaron reducción en el contenido de N en la parte aérea en comparación con las plantas sin inocular.

En cuanto al contenido de P, las variedades CP-Zamorana y CP-Jacona presentaron la misma tendencia. En ambas, la inoculación bacteriana (ambos métodos) provocó reducción en el contenido de P en la parte aérea en comparación con el testigo sin inocular (Cuadro 3). Las raíces de CP-Zamorana presentaron mayor colonización por bacterias solubilizadoras de fosfatos en el tratamiento inoculado por aplicación directa en comparación con el testigo y las inoculadas por el método de inmersión de la raíz (Figura 1).

Lo anterior indica que las bacterias inoculadas a la variedad CP-Zamorana se establecieron en las raíces, pero en lugar de favorecer la mejor nutrición de las plantas provocaron que se redujeran los contenidos de N y P. Al respecto, Castro-Sowinski *et al.* (2007) indicaron que otras RPCV se pueden comportar como

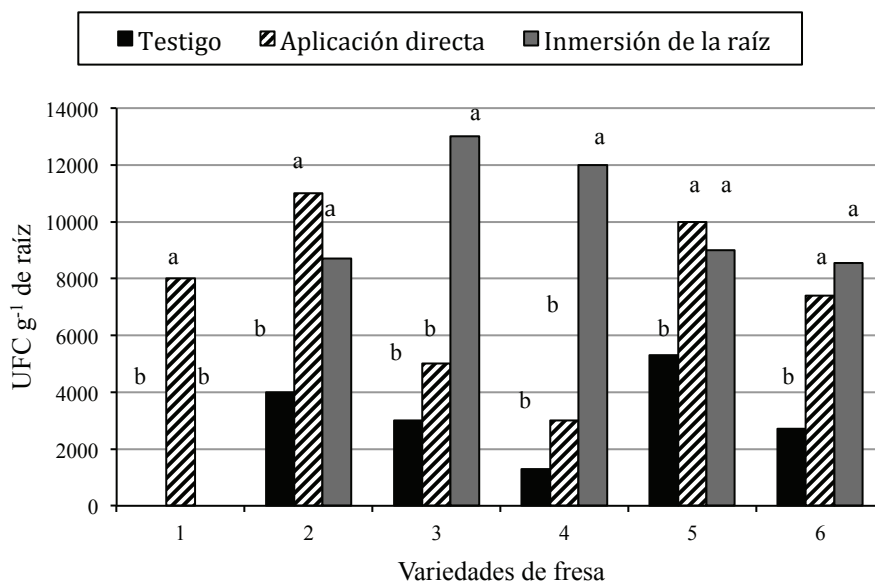


Figura 1. Población de bacterias solubilizadoras de fosfatos en la raíz de cinco variedades de fresa (1 = CP-Zamorana, 2 = CP-Jacona, 3 = CP-06-15, 4 = CP-LE-7, 5 = Festival y 6 = Promedio de variedades) con dos métodos de inoculación de RPCV. Columnas con diferente letra para la misma variedad o para promedio de todas las variedades son estadísticamente distintas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

competidoras de las plantas por nutrimentos. Para la acumulación de K en la parte aérea, sólo para la variedad CP-Jacona se presentó esta misma tendencia, en la que la inoculación bacteriana (ambos métodos) provocó reducción en comparación con el testigo sin inocular (Cuadro 3).

En la variedad CP-LE-7, el tratamiento de inoculación por inmersión de las raíces en suspensión bacteriana superó al testigo y al tratamiento de inoculación directa en el contenido de N, P y K. Cabe señalar que es esta variedad la que presentó menor crecimiento de raíz y parte aérea (Cuadro 3).

En el número y peso de los frutos, al comparar el promedio de todas las variedades se encontró que el testigo y la inoculación por aplicación directa superaron al tratamiento de inmersión de las raíces (Cuadro 4). De acuerdo a la Figura 1, ambos métodos de inoculación permiten que las bacterias colonicen exitosamente las raíces de fresa en comparación con el testigo sin inocular. Lo anterior indica que las plantas de fresa inoculadas por ambos métodos fueron colonizadas por las bacterias solubilizadoras de fosfatos aplicadas, pero

éstas no favorecieron el número y peso de los frutos; por lo contrario, las aplicadas por el método de inmersión provocaron reducción en estas variables productivas.

La variedad CP-Jacona fue la que presentó los valores más altos de número y peso de los frutos producidos por planta. Pero, en esta variedad fue donde se presentaron los valores más bajos de resistencia a la penetración y sólidos solubles totales (Cuadro 4).

Las variedades con mejor crecimiento (valores mayores en área foliar, producción de materia seca de la parte aérea y volumen radical), CP-06-15 y Festival (Cuadro 3), también presentaron los valores altos en número, peso de los frutos y sólidos solubles totales; sin embargo, la resistencia a la penetración en estas variedades presentó valores bajos.

La firmeza de los frutos es una variable que depende principalmente del estado nutrimental de las plantas y los sólidos solubles totales son una característica dependiente de la variedad. Al respecto, Portela *et al.* (2012) concluyeron que el estrés salino (pH del suelo mayor de 8) afecta negativamente la calidad de los frutos de fresa. En su trabajo, realizado

Cuadro 4. Variables relacionadas con la producción y calidad de frutos de cinco variedades de fresa en un suelo con pH 8.8 y dos tipos de inoculación bacteriana.

Variedad	Inoculación	Número de frutos	Peso de los frutos	Resistencia a la penetración	Sólidos solubles totales
		planta ⁻¹	g planta ⁻¹	g cm ⁻²	°Brix
CP-Zamorana	Sin inocular	9.4 a	93.33 a	208.57 a	9.51 a
	Aplicación directa	8.0 ab	83.60 b	194.91 b	8.88 b
	Inmersión de raíz	7.6 b	73.03 b	197.57 ab	9.63 a
CP-Jacona	Sin inocular	9.8 a	101.23 a	196.64 a	8.31 b
	Aplicación directa	8.8 b	92.72 b	190.24 a	9.23 a
	Inmersión de raíz	8.5 b	86.12 c	198.27 a	9.04 a
CP-06-15	Sin inocular	8.7 ab	82.42 a	198.13 a	9.90 ab
	Aplicación directa	9.0 a	81.64 a	197.16 a	9.57 b
	Inmersión de raíz	8.3 b	86.20 a	191.78 a	10.20 a
CP-LE-7	Sin inocular	5.3 c	55.50 ab	220.77 a	9.16 a
	Aplicación directa	7.0 a	58.68 a	209.59 b	8.91 a
	Inmersión de raíz	6.0 b	47.63 b	212.80 ab	9.12 a
Festival	Sin inocular	9.2 a	83.49 a	194.45 a	9.54 a
	Aplicación directa	9.7 a	85.90 a	187.88 a	10.03 a
	Inmersión de raíz	8.3 b	84.70 a	194.23 a	10.05 a
Promedio de variedades	Sin inocular	8.5 a	83.18 a	203.72 a	9.28 b
	Aplicación directa	8.5 a	80.50 a	195.96 b	9.32 ab
	Inmersión de raíz	7.7 b	75.52 b	198.96 ab	9.60 a

Promedios con diferente letra para la misma variable y de la misma variedad son estadísticamente distintos (Tukey, $\alpha = 0.05$).

en hidroponía, las plantas que se sometieron a estrés salino produjeron frutos con mayor cantidad de sólidos solubles totales. Estos aumentos los asociaron con un efecto de concentración nutrimental en frutos pequeños y acumulación de solutos activos. Hasegawa *et al.* (2000) describieron estos solutos como compuestos orgánicos (azúcares y alcoholes, principalmente) que no interfieren con las actividades enzimáticas celulares y que tienen una función de mantenimiento del potencial hídrico en la célula vegetal.

CONCLUSIONES

- Las variedades CP-06-15 y Festival fueron las que mejor se adaptaron a las condiciones de pH alcalino, mismas que presentaron valores de producción de frutos y sólidos solubles totales altos, pero resistencia a la penetración baja.
- La inoculación bacteriana no fue benéfica para el crecimiento ni para la producción de frutos de las variedades cultivadas en un suelo con pH 8.8, con excepción de la variedad con menor crecimiento (CP-LE-07), en la cual, se recomienda la inoculación por el método de inmersión de la raíz.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con apoyo del proyecto SAGARPA 190290 "Generación y validación de variedades mexicanas de fresa".

LITERATURA CITADA

- Bharti, N., D. Barnawal, D. Maji, and A. Kalra. 2014. Halotolerant PGPRs prevent major shifts in indigenous microbial community structure under salinity stress. *Microbiol. Ecol.* 70: 196-208. Doi:10.1007/Fs00248-014-0557-4.
- Camelo, M., P. Vera y R. R. Bonilla. 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Rev. Corpoica* 12: 159-166.
- Cardeñoso V., E. Medrano, P. Lorenzo, M. C. Sánchez-Guerrero, F. Cuervas, I. Pradas, and J. M. Moreno-Rojas. 2014. Effects of salinity and nitrogen supply on the quality and health-related components of strawberry fruits (*Fragaria × ananassa* cv. Primoris). *J. Sci. Food Agric.* 95: 2924-2930. Doi: 10.1002/jsfa.7034.
- Castro-Sowinski, S., Y. Herschkovitz, Y. Okony, and E. Jurkevitch. 2007. Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on resident rhizosphere microorganisms. *FEMS Microbiol. Lett.* 276: 1-11.
- Couillerot, O., C. Prigent-Combaret, J. Caballero-Mellado, and M. Moëgne-Loccoz. 2009. *Pseudomonas fluorescens* and closely-related fluorescent pseudomonads as biocontrol agents of soil-borne phytopathogens. *Lett. Appl. Microbiol.* 48: 505-512.
- D'Anna, F., G. Incalcaterra, A. Moncada, and A. Miceli. 2003. Effect of different electrical conductivity levels on strawberry grown in soilless culture. *Acta Hort.* 609: 355-360.
- Díaz Vargas, P., R. Ferrera-Cerrato, J. J. Almaraz-Suárez y G. Alcántar González. 2001. Inoculación de bacterias promotoras del crecimiento en lechuga. *Terra* 19: 327-335.
- Dumas, Y., M. Dadomo, G. Di Lucca, and P. Grolier. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 83: 369-382.
- Garriga, M., J. B. Retamales, S. Romero-Bravo, P. D. Caligari, and G. A. Lobos. 2014. Chlorophyll, anthocyanin, and gas exchange changes assessed by spectro radiometry in *Fragaria chiloensis* under salt stress. *J. Integrative Plant Biol.* 56: 505-515.
- Giuffrida, F., C. Leonardi, and G. Noto. 2001. Response of soilless grown strawberry to different salinity levels in the nutrient solution. *Acta Hort.* 559: 675-680.
- Hasegawa, P. M., R. A. Bressan, J. K. Zhu, and H. J. Bonhert. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51: 463-499.
- Keutgen, A. J. and E. Pawelzik. 2007. Modifications of strawberry fruit antioxidant pools and fruit quality under NaCl stress. *J. Agric. Food Chem.* 55: 4066-4072.
- Keutgen, A. J. and E. Pawelzik. 2008. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food Chem.* 107: 1413-1420.
- Li, X-L., C-R. Wang, X-Y. Li, Y-X. Yao, and Y-J. Hao. 2013. Modifications of Kyoho grape berry quality under long-term NaCl treatment. *Food Chem.* 139: 931-937.
- Mattos, K. A., V. L. M. Pádua, A. Romeiro, L. F. Hallack, B. C. Neves, T. M. U. Ulisses, C. F. Barros, A. R. Todeschini, J. O. Previato y L. Mendonça-Previato. 2008. Endophytic colonization of rice (*Oryza sativa* L.) by the diazotrophic bacterium *Burkholderia kururiensis* and its ability to enhance plant growth. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 80: 477-493.
- McFarland, J. 1970. The nephelometer: An instrument for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines. pp. 435-437. In: H. D. Campbell, S. J. Garvey, E. N. Cremer, and H. D. Sussdorf (eds.). *Methods in immunology*. Benjamin. New York, NY, USA.
- Milosevic, T. M., N. T. Milosevic, e I. P. Glisic. 2009. Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) yield as affected by the soil pH. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 81: 265-269.
- Navarro G., M. 2010. Nutrición y fertirrigación del tomate en suelos calcáreos. pp. 85-99. In: A. Benavides-Mendoza, V. Robledo-Robles, H. Ramirez, A. Sandoval Angel (eds.). *Producción de tomate en el norte de México*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- Nardi, S., G. Concheri, D. Pizzeghello, A. Sturaro, R. Rella, and G. Parvoli. 2000. Soil organic matter mobilization by root exudates. *Chemosphere* 5: 653-658.

- Ongena, M., F. Duby, E. Jourdan, T. Beaudry, V. Jadin, J. Dommes, and P. Thonart. 2005. *Bacillus subtilis* M4 decreases plant susceptibility towards fungal pathogens by increasing got resistance associated with differential gene expression. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 67: 692- 698.
- Pirlak, L. and A. Esitken. 2004. Salinity effects on growth, proline and ion accumulation in strawberry plants. *Acta Agric. Scand.* 54: 189-193.
- Portela, I. P., R. Peil, and C. V. Rombaldi. 2012. Effect of nutrient concentration on growth, yield and quality of strawberries in hydroponic system. *Hortic. Bras.* 30: 266-273.
- Richardson, A. E, J. M. Barea. A. M. McNeill, and C. Prigent-Combaret. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil* 321: 305-339.
- Sarabia O., M., R. Madrigal, M. Martinez y Y. Carreón. 2010. Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: su compleja red de interacciones biológicas. *Rev. DES Cienc. Biol. Agropec.* 12: 65-71.
- Shrivastava, P. and R. Kumar. 2015. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. Biol. Sci.* 22: 123-131.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Producción por cultivo. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (Consulta: febrero 4, 2014).
- Tsavkelova, E. A., S. Y. Klimova, T. A. Cherdyntseva, and A. I. Netrusov. 2006. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: A review. *Appl. Biochem. Microbiol.* 42: 117-126.