

Respuesta de fresa cv. Albión a dosis crecientes de zinc

Amelia López-Herrera¹
Ana María Castillo-González^{1§}
Libia Iris Trejo-Téllez²
Edilberto Avitia-García¹
Luis Alonso Valdez-Aguilar³

¹Departamento de Fitotecnia-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, México. CP. 56230. (anasofiacasg@hotmail.com). ²Edafología-Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. CP. 56230. (tlibia@colpos.mx). ³Departamento de Horticultura-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. (luisalonso.valdez@uaaan.mx).

§Autor para correspondencia: anasofiacasg@hotmail.com.

Resumen

El Zn es un micronutriente que tiene influencia importante en el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de dosis crecientes de Zn en la solución nutritiva en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto en fresa cv. Albion. Para lo cual se establecieron plantas de fresa en macetas de 2.5 L con tezontle, en un sistema hidropónico abierto. Los tratamientos fueron: testigo (sin aplicación de Zn), 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30 y 40 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en la solución nutritiva. El rendimiento se incrementó 151, 161 y 134% con las dosis de 5, 7.5 y 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente. Con la dosis de 7.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ se incrementó 60% la biomasa de la planta, 93% el peso fresco de los frutos y 24% su firmeza. Con las dosis desde 2.5 hasta 15 $\mu\text{mol L}^{-1}$ se incrementaron los sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), la relación SST/AT y la concentración de azúcares solubles totales. La mejor concentración foliar de Zn (de suficiencia) (22 mg kg^{-1} de materia seca) se registró con 7.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Por lo que se sugiere usar las dosis de Zn entre 5 y 15 $\mu\text{mol L}^{-1}$ en la solución nutritiva para cubrir satisfactoriamente el requerimiento de este cultivar.

Palabras clave: calidad del fruto, concentración foliar de Zn, hidroponía, rendimiento.

Recibido: agosto de 2018

Aceptado: octubre de 2018

Introducción

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) se cultiva en regiones agrícolas localizadas desde el ártico hasta los trópicos y es una de las frutillas con mayor aceptación mundial, por ser una fuente importante de antioxidantes, vitaminas y minerales. Además, es una de las frutas con mayores usos, entre los que destacan el consumo en fresco y la elaboración de productos industrializados como mermeladas, dulces, pasteles y yogurts. Desde el punto de vista socioeconómico es muy importante para nuestro país; debido a que genera oportunidades de empleo y divisas, por ser un producto de exportación para consumo en fresco y congelado (SIAP, 2014).

A nivel nacional, la fresa se produce en 12 estados del país, destacando Baja California, Michoacán y Guanajuato, los que aportan 95% de la producción nacional (SIAP, 2014). A nivel mundial, México ocupa el segundo lugar en producción con un volumen de 360 426 t (FAO, 2014).

Los cultivares que se manejan en México han sido desarrollados principalmente en California. Entre los más utilizados se encuentran Festival, Albion, Camarosa, Sweet Charlie, Galexia, Camino Real, Aromas, Ventana y Diamante; que mediante varios ciclos de cultivo han demostrado su eficiencia en campo. El cv. Albion es el segundo cultivar en importancia, lo originó la Universidad de California, es precoz y los productores lo catalogan como bueno. Su fruto es grande de muy buena calidad, tanto para exportación como para el mercado nacional. Presenta plantas de día neutro, moderadamente vigorosas con marcada tolerancia a condiciones climatológicas adversas. Es poco susceptible a algunos patógenos del suelo (*Verticillium* y *Phytophthora*) y moderadamente tolerante a cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) y araña roja (Anónimo, 2015).

Por otra parte, el zinc es después del hierro, el metal más abundante en los organismos vivos. Aun cuando los cultivos lo requieren en muy pequeñas cantidades, se ha reportado que es un micronutriente deficiente 40% de los suelos cultivados en todo el mundo (Castellanos *et al.*, 2014). En las plantas este micronutriente juega un papel muy importante en la síntesis de proteínas; en el metabolismo de carbohidratos existen varias enzimas dependientes de Zn; asimismo, el Zn podría tener influencia en la síntesis de auxinas (Alcántar *et al.*, 2016). Al menos 2 800 proteínas son dependientes del zinc, ya sea porque es parte de su estructura o porque es activador de su función (Andreini *et al.*, 2009). Afecta la expresión y regulación de genes y mecanismos de defensa (Cakmak *et al.*, 2000). El zinc es el único metal que está presente en todos los tipos de enzimas incluyendo oxidoreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas (Broadley *et al.*, 2012).

En fresa la concentración foliar de zinc menor a 20 mg kg⁻¹ de materia seca, estuvo asociada con síntomas de deficiencia, aborto del fruto y en consecuencia bajo rendimiento; el mejor crecimiento y producción se asociaron con una concentración de zinc de 7.5 a 10 µmol L⁻¹ en la solución nutritiva (Lieten, 2003). Para el cv. Albion se desconoce la dosis adecuada de zinc en la solución nutritiva; así como la concentración óptima en la planta, debido a que es un cultivar comercial de reciente introducción; lo cual impide generar un programa de fertilización adecuado. Es por ello que la presente investigación se planteó con los objetivos de evaluar el efecto de diferentes dosis de zinc en la solución nutritiva sobre el desarrollo y rendimiento de plantas de fresa cv. Albion; así como determinar la dosis óptima en la solución que se relacione con el mejor rendimiento y calidad del fruto.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un invernadero de cristal de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado entre los 19° 20' latitud norte y 98° 53' longitud oeste a 2 240 m de altitud. Se registraron la temperatura y humedad relativa durante el ciclo del cultivo (de abril a octubre de 2014) con un datalogger RHT10 Extech Instruments® (Cuadro 1).

Cuadro 1. Temperatura y humedad relativa registrada mensualmente en el día y la noche durante el cultivo de fresa cv. Albion.

Mes	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)	
	Día	Noche	Día	Noche
Abril	31 ± 0.5	17 ± 0.2	30 ± 0.9	59 ± 0.7
Mayo	30 ± 0.4	17 ± 0.2	40 ± 0.9	71 ± 0.6
Junio	29 ± 0.4	18 ± 0.2	49 ± 0.9	78 ± 0.5
Julio	29 ± 0.4	17 ± 0.2	47 ± 0.9	77 ± 0.5
Agosto	30 ± 0.4	17 ± 0.2	45 ± 1	75 ± 0.5
Septiembre	28 ± 0.4	17 ± 0.2	48 ± 0.9	76 ± 0.5
Octubre	28 ± 0.4	15 ± 0.2	47 ± 1	76 ± 0.5

Los datos son el promedio de 1 668 lecturas.

Se utilizaron plantas de fresa cv. Albion procedentes de Michoacán; las cuales se establecieron en macetas (2.5 L de capacidad) con tezontle rojo (2 mm de diámetro) en un sistema hidropónico abierto. Para la elaboración de las soluciones nutritivas se tomó en cuenta el análisis del agua del grifo que se utilizó, así como el balance de aniones y cationes considerados en las relaciones iónicas de Steiner (1984). Los tratamientos consistieron en dosis crecientes de Zn: 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30 y 40 $\mu\text{mol L}^{-1}$ y un tratamiento testigo (sin aplicación de Zn) y se mantuvieron constantes el resto de los nutrimentos: 0.063 mL L^{-1} H_3PO_4 , 0.9 g L^{-1} $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0.05 g L^{-1} $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.708 g L^{-1} KNO_3 , 0.05 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 19.7 mg L^{-1} Fe EDTA, 0.393 mg L^{-1} $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.57 mg L^{-1} H_3BO_3 , 0.64 mg L^{-1} $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 1.8 mg L^{-1} $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Para el aporte de Zn se utilizó $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. El pH de las soluciones estuvo entre 6.4 y 6.5; la CE (dS m^{-1}) fue de 2.4. El volumen de riego diario de la solución nutritiva fue de 200 mL, con un drenaje aproximado de 30%.

El diseño experimental fue completamente al azar formado por 10 tratamientos con 10 repeticiones por tratamiento. Como unidad experimental se consideró una planta. Las variables se evaluaron a los 7 meses después del trasplante y fueron las que se enlistan enseguida.

Acumulación de biomasa

Las plantas de cada tratamiento se seccionaron en hojas, corona y raíz, se registró el peso seco de cada estructura en una balanza digital OHAUS® modelo Scout Pro, después de secarlos en una estufa de aire forzado BINDER® a una temperatura de 65 °C por 72 h o hasta peso constante.

Concentración de zinc (Zn)

Se formaron cinco repeticiones de cada órgano, para lo cual se juntaron los órganos correspondientes de dos plantas por tratamiento; las cuales se sometieron a una digestión húmeda con una mezcla de ácidos sulfúrico (H_2SO_4) y perclórico ($HClO_4$) en relación 2:1 (v/v) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30%, la concentración se determinó por espectrometría de emisión atómica de inducción con plasma acoplado ICP modelo 725-ES de Agilent® (Alcántar y Sandoval, 1999).

Rendimiento por planta

Se cosechó y pesó el total de frutos por cada tratamiento y repetición. Los frutos fueron cosechados cuando alcanzaron un color rojo brillante.

Las siguientes variables de fruto se evaluaron en 15 frutos por tratamiento.

Peso fresco de los frutos

El peso se registró en una balanza digital Ohaus® modelo Scout Pro.

Índice de redondez

Se midió la longitud y el diámetro ecuatorial de 15 frutos por tratamiento, empleando un vernier digital General® No. 143. Los resultados de la relación, que se obtuvieron de dividir la longitud/diámetro, fueron empleados para determinar la forma de los frutos; donde valores menores a uno fueron considerados como ovalados, mayores a uno como alargados y valores de uno como frutos redondos (Martínez-Bolaños *et al.*, 2008).

Firmeza del fruto

Se evaluó en los mismos 15 frutos utilizados para el índice de redondez con un penetrómetro Qa Supplies® modelo FT O2 con punta de 2.3 mm de grosor a la altura del diámetro ecuatorial. Se realizó la transformación de unidades y los resultados se expresaron en Newtons (N).

Sólidos solubles totales (SST)

Se registró con un refractómetro digital Atago® modelo PAL-1.

Acidez titulable (AT)

Se utilizó la técnica descrita por la AOAC (Horwitz, 1980). El porcentaje de acidez se calculó con base en el ácido cítrico (meq= 0.064), que es el que se encuentra en mayor cantidad en los frutos de fresa. Con los datos de SST y AT se obtuvo la relación SST/AT.

pH del fruto

Se midió en el mismo extracto utilizado para la determinación de acidez titulable con un potenciómetro Conductronic® modelo PC45.

Azúcares solubles totales (AST)

Se determinó con el método de antrona descrito por Witham *et al.* (1971). Las lecturas se realizaron a 600 nm en un espectrofotómetro Thermo Spectronic® modelo Genesys 10 UV. La concentración de azúcares se estimó a partir de una curva patrón que contenía de 0 a 250 μg de glucosa mL^{-1} .

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS versión 9 (SAS Institute Inc., 2006). Las gráficas se hicieron con SigmaPlot versión 11.

Resultados y discusión

Al comparar con el testigo (sin Zn) se observó que con las dosis de 1 y 2.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ se obtuvo un incremento en la acumulación de biomasa de 40%, con 5 a 30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ se incrementó entre 50 y 60% y con la aplicación de 40 $\mu\text{mol L}^{-1}$ el incremento fue de 30% (Figura 1). Con todas las dosis de Zn se obtuvo un incremento de la biomasa, aunque la acumulación mayor se obtuvo con 7.5 y 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$, mientras que con dosis mayores ésta fue disminuyendo. Lieten (2003) encontró resultados similares en fresa cv. Elsanta cultivada en turba, en donde el mejor crecimiento lo obtuvo con dosis de 7.5 a 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn en la solución nutritiva; mientras que las dosis por arriba de 30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ resultaron tóxicas, lo que condujo a síntomas de deficiencia de Fe, reducción en el rendimiento e incremento en el número de frutos deformes. En nuestro caso, en el cv. Albion, con dosis de 30 y 40 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 1) no se observaron síntomas de toxicidad por Zn ni de deficiencia de Fe; lo que indica que las necesidades de Zn varían entre cultivares.

La hoja fue el órgano que tuvo mayor acumulación de biomasa, seguida por el fruto, raíz y corona (Figura 1), debido a su número, tamaño y morfología en la planta. Esta tendencia de acumulación en la parte aérea de la planta de fresa conforme se suplementa Zn en la solución nutritiva, también se ha observado en otros cultivos como en trigo (Erenoglu *et al.*, 2011). Lo anterior está relacionado con el papel que juega el Zn en el crecimiento; de tal forma que bajo condiciones de deficiencia se forman hojas pequeñas, debido a una reducción en la expansión celular (Marschner, 2012).

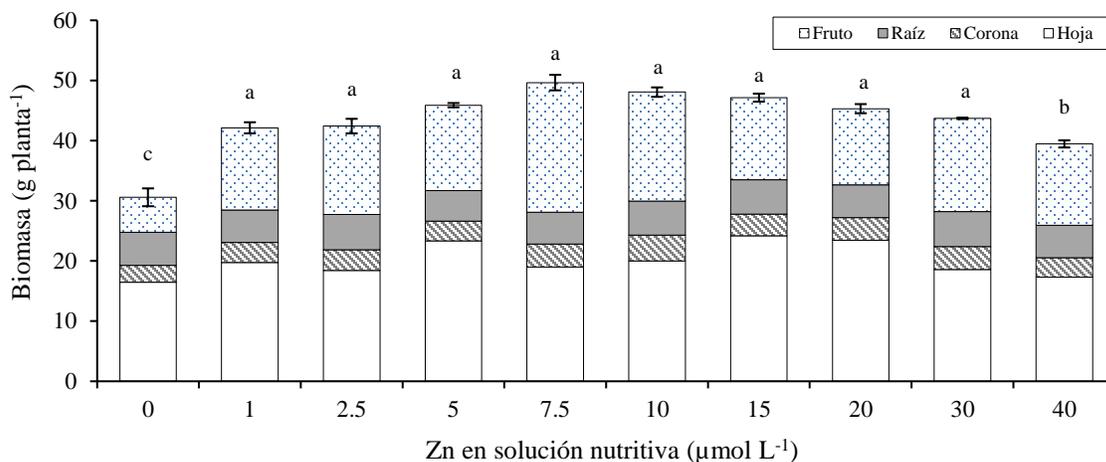


Figura 1. Efecto de la dosis de Zn en la solución nutritiva sobre la biomasa acumulada en fresa cv. Albion. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

La concentración de Zn en las hojas, corona y raíz aumentó conforme se incrementó el Zn en la solución nutritiva. En las hojas se observó que sin la aplicación de Zn su concentración fue de 10 mg kg⁻¹ de materia seca; cuyo origen proviene de las impurezas presentes en los fertilizantes utilizados para la elaboración de la solución nutritiva. Con la dosis de 1 µmol L⁻¹ de Zn la concentración fue de 12 mg kg⁻¹ de materia seca y con 2.5 y 5 µmol fue de 13 mg kg⁻¹ de materia seca por lo que la planta estaba en deficiencia leve del elemento, dado que las concentraciones de suficiencia según Hancock (1999) se ubican entre 20 y 50 mg kg⁻¹ de materia seca. Con el resto de las dosis de Zn en la solución nutritiva, la concentración en la hoja fue de 15 a 22 mg kg⁻¹ de materia seca (Figura 2); con 7.5 µmol L⁻¹ se tenía la suficiencia (22 mg kg⁻¹ de materia seca) de Zn en la planta. Sin embargo, las plantas de los diversos tratamientos no mostraron síntomas de deficiencia, lo que significa que el cv. Albion tiene menos exigencia de este micronutriente.

En la corona, sin aplicación y con la dosis de 1 µmol L⁻¹, los valores obtenidos fueron de 10 y 12 mg kg⁻¹, respectivamente; en tanto que con el resto de las dosis de Zn (2.5 a 40 µmol L⁻¹) el valor osciló entre 13 y 26 mg kg⁻¹ de materia seca. Para la raíz, sin aplicación de Zn en la solución nutritiva el valor obtenido fue de 14 mg kg⁻¹ y para el resto de las dosis (1 a 40 µmol L⁻¹) el valor se encontró entre 20 y 116 mg kg⁻¹ de Zn (Figura 2). De los tres órganos de la planta la raíz fue la que presentó la mayor concentración de Zn.

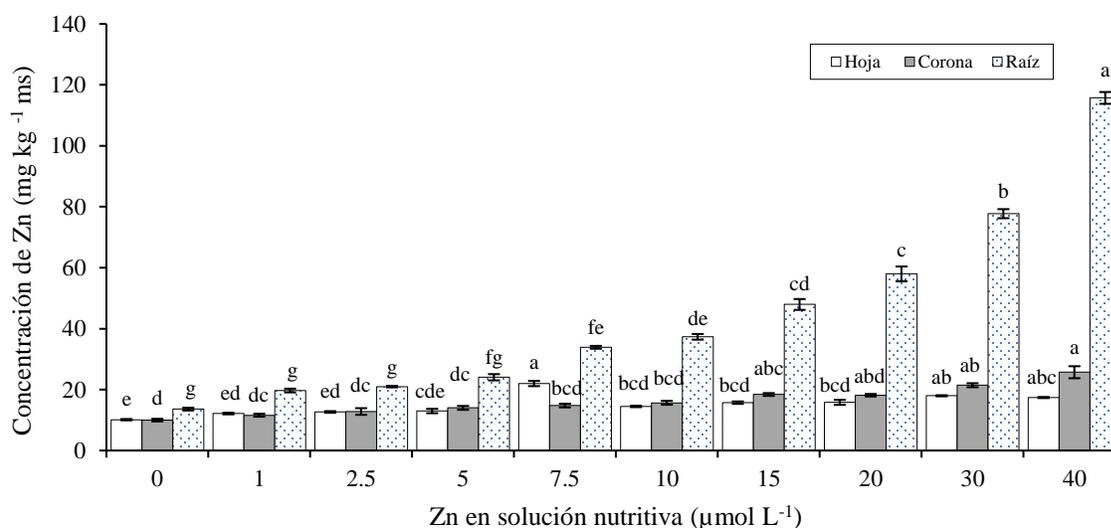


Figura 2. Efecto de la dosis de Zn en la solución nutritiva sobre la concentración de este elemento en órganos de fresa cv. Albion. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); ms= materia seca.

Con las dosis de Zn de 5 a 15 µmol L⁻¹ se obtuvieron los mayores rendimientos, alcanzando un máximo de 86 g planta⁻¹ con la aplicación de 7.5 µmol L⁻¹, lo que superó al testigo 61.73% (Figura 3). La aplicación de Zn en la solución nutritiva incrementó el rendimiento, tal como observó Lieten (2003) en plantas de fresa cv. Elsanta, quien obtuvo los mejores rendimientos con dosis de 5 a 15 µmol L⁻¹ de Zn, en tanto que con 30 µmol L⁻¹ el rendimiento se redujo significativamente. Esta misma tendencia se observó en fresa cv. Selva, donde con la dosis de 100 mg L⁻¹ de Zn, el rendimiento fue de 54.17 g planta⁻¹, 4% más alto que el del testigo Abdollahi *et al.* (2010).

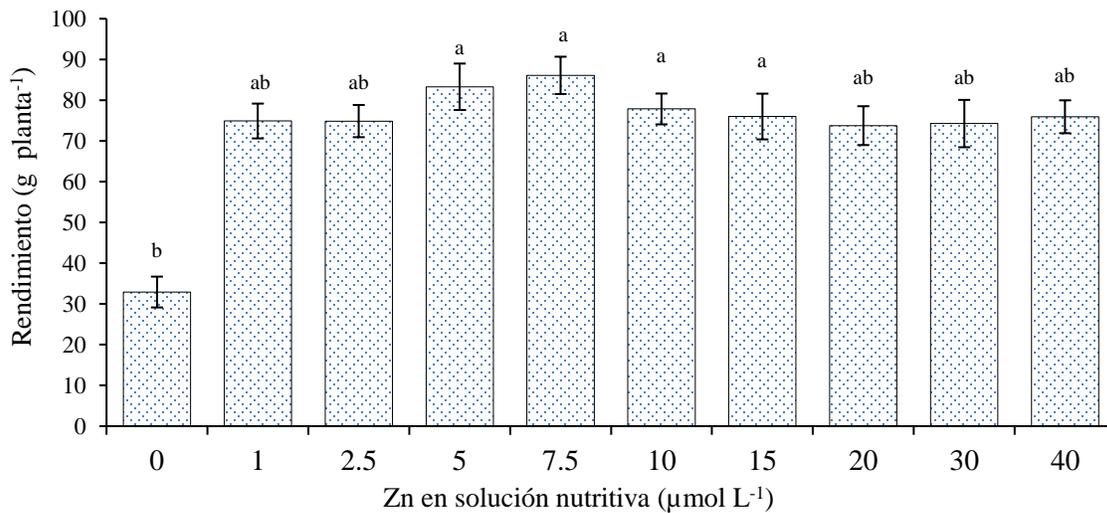


Figura 3. Efecto de la dosis de Zn en la solución nutritiva sobre el rendimiento en fresa cv. Albion. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

La aplicación de Zn en todas las dosis evaluadas mejoró el peso del fruto, el peso con el tratamiento sin aplicación de Zn en la solución nutritiva, se redujo en aproximadamente 50%, comparado con el mayor peso registrado con la dosis de $7.5 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con Lieten (2003), quien menciona que las plantas de fresa cv. Elsanta que recibieron $0.5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn en la solución nutritiva produjeron frutos de menor peso y tamaño.

Los valores mayores registrados en la longitud del fruto se observaron con las dosis de 2.5 a $40 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, en tanto que para el diámetro ecuatorial no existieron diferencias entre las dosis, pero sí con respecto al testigo. El índice de redondez se encontró entre 1 y 1.22, lo cual indica que se trata de un fruto redondo a ligeramente alargado (Cuadro 2). La longitud del fruto se vio afectada por las diferentes dosis de Zn en la solución nutritiva, muy probablemente debido al papel del Zn en la síntesis de auxinas, las cuales controlan el crecimiento del receptáculo y son sintetizadas por los aquenios (Abdollahi *et al.*, 2010).

De acuerdo con la patente publicada por Shaw y Larson (2006) y trabajos realizados por Ornelas-Paz *et al.* (2013) para éste cultivar, la longitud y diámetro ecuatorial reportados en el presente estudio son menores, muy probablemente debido a que el fenotipo de éste cultivar puede variar de acuerdo con las condiciones ambientales y de cultivo. Algunos factores ambientales que pueden afectar el crecimiento del fruto son la temperatura, intensidad luminosa y el fotoperiodo (Hancock, 1999).

Se sabe que temperaturas mayores a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ en plantas de fresa, provocan que el fruto y la planta dejen de crecer (Rowley *et al.*, 2011). Wang y Camp (2000) indican que las temperaturas del día/noche ideales para el crecimiento óptimo de los frutos de fresa cvs. Earliglow y Kent deben ser $18/12 \text{ }^\circ\text{C}$. En el presente experimento se registraron temperaturas máximas promedio de $39 \text{ }^\circ\text{C}$ y temperaturas durante el día/noche de hasta $31/17 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. Por lo que las altas temperaturas registradas pudieron afectar el crecimiento de los frutos.

Cuadro 2. Efecto de la dosis de Zn en la solución nutritiva sobre las variables de calidad del fruto en fresa cv. Albion.

Zinc ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Peso fresco (g)	Longitud (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Índice de redondez (forma)	Firmeza (N)
0	4.86 b ^z	20.5 d	20.5 b	1 d	1.35 b
1	7.07 ab	25.1 c	23.1 a	1.07 dc	1.41 ab
2.5	7.51 a	26.2 bc	24.1 a	1.09 bc	1.41 ab
5	8.37 a	26.7 bc	23.3 a	1.14 a	1.5 ab
7.5	9.36 a	29.6 ab	24.8 a	1.2 a	1.67 ab
10	8.45 a	27.4 abc	23.2 a	1.19 a	1.74 a
15	8.99 a	30.8 a	25.2 a	1.22 a	1.55 ab
20	7.58 a	26.8 bc	23.1 a	1.17 ab	1.49 ab
30	7.71 a	28.3 abc	23.5 a	1.2 a	1.4 ab
40	8 a	28.3 abc	23.9 a	1.18 a	1.35 b
DSH	2.55	3.45	2.42	0.08	0.36

^z= Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). DSH= diferencia significativa honesta.

El Zn mejoró la firmeza de los frutos; sin embargo, con la dosis de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ se obtuvieron los frutos más firmes, en tanto que en el testigo y con $40 \mu\text{mol L}^{-1}$ los frutos fueron más blandos, con el mismo valor de firmeza (Cuadro 2).

La mayor concentración de SST resultó con la aplicación de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ y la menor en el testigo (Cuadro 3), esta tendencia también fue observada por Abdollahi *et al.* (2010) para plantas de fresa cv. Selva, en el que se encontró que con la dosis de 100 mg L^{-1} de Zn los SST se incrementaron de 5 a 5.7% con respecto al testigo. Probablemente debido a que el Zn juega un papel muy importante en la actividad de enzimas que participan en la fotosíntesis y en el metabolismo de los carbohidratos; así como en el transporte de azúcares, hacia los puntos de demanda como el fruto (Marschner, 2012). Los valores de SST registrados en los diferentes tratamientos se encontraron dentro del intervalo óptimo, entre 6 y 9%, reportado por Hancock (1999) para frutos rojos.

Con las aplicaciones de 7.5 a $40 \mu\text{mol L}^{-1}$ la AT osciló entre 0.8 y 0.95%, en tanto que en el resto de las aplicaciones varió de 1 a 1.2% (Cuadro 3); estos datos concuerdan con el intervalo de AT en los frutos de fresa propuesto por Dale y Luby (1991), el cual se encuentra entre 0.42 y 1.24%. Los valores de pH encontrados en el fruto con las dosis de 5 a $40 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn oscilaron entre 3.03 y 3.45 (Cuadro 3), valores muy cercanos al pH reportado por Hancock (1999) como valor promedio, el cual es de 3.5.

Cuadro 3. Efecto de la dosis de Zn en la solución nutritiva sobre las variables químicas del fruto en fresa cv. Albion.

Zinc ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	SST ($^{\circ}\text{Brix}$)	AT (%)	pH	SST/AT	AST (%)
0	5.94 b ^z	1.04 ab	2.76 f	5.84 c	4.19 d
1	6.88 ab	1 b	2.91 ef	6.86 bc	5.65 abc
2.5	6.92 ab	1.2 a	2.93 def	5.78 c	5.98 abc
5	7.4 ab	1.06 ab	3.03 de	7.05 bc	6.48 ab
7.5	7.66 ab	0.93 bc	3.05 cde	8.25 abc	6.59 a
10	8.3 a	0.95 bc	3.11 bcd	8.76 ab	6.5 ab
15	7.72 ab	0.8 c	3.25 b	9.65 a	6.29 abc
20	7.6 ab	0.94 bc	3.27 b	8.18 abc	5.63 abc
30	7.58 ab	0.94 bc	3.21 bc	8.05 abc	5.34 bcd
40	7.84 ab	0.93 bc	3.45 a	8.51 ab	5.26 cd
DSH	2.06	0.16	0.18	2.55	12.05

^z= medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); SST= sólidos solubles totales; AT= acidez titulable; SST/AT= relación sólidos solubles totales/acidez titulable; AST= azúcares solubles totales; DSH= diferencia significativa honesta.

Con respecto a la relación SST/AT, a partir de $5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn los frutos fueron más dulces; en tanto que con dosis bajas de este elemento los frutos fueron más ácidos (Cuadro 3). Keutgen y Pawelzik (2007) mencionan que una relación entre 8.5 y 14 es considerada un balance apropiado para el sabor de la fresa, y aunque en el presente estudio algunos tratamientos se encontraron fuera de este intervalo, es posible observar que el Zn en la solución nutritiva tuvo un efecto significativo en el aumento de dicha relación; pues este elemento también ha mostrado tener un papel importante en el incremento de azúcares y disminución de la acidez en los frutos (Abdollahi *et al.*, 2010).

Los mayores valores de azúcares solubles totales (AST) se registraron con las dosis de 5 a $15 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, correspondiendo en parte, con los tratamientos en los cuales se encontró la mayor concentración de SST. En el testigo y con las dosis de Zn mayores (30 y $40 \mu\text{mol L}^{-1}$), los AST disminuyeron (Cuadro 3). Los valores de AST en frutos de fresa se encontraron en el intervalo propuesto por Dale y Luby (1991), el cual es de 4.1 a 6.6%.

Conclusiones

Bajo las condiciones en las que se desarrolló el trabajo, se observó que todas las dosis de Zn mejoraron las características del cultivo; sin embargo, con las dosis de Zn entre 7.5 y $15 \mu\text{mol L}^{-1}$ en la solución nutritiva se obtuvo la mejor biomasa acumulada, rendimiento y calidad del fruto; por lo que se propone usar este intervalo de concentraciones para cubrir los requerimientos de dicho elemento en las plantas de fresa cv. Albion, y así mejorar su competitividad y rentabilidad.

Literatura citada

- Abdollahi, M.; Eshghi, S. and Tafazoli, E. 2010. Interaction of paclobutrazol, boron and zinc on vegetative growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. Selva). *J. Biol. Environ. Sci.* 11(4):67-75.
- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo AC., Chapingo, Estado de México. 156 p.
- Alcántar, G. G.; Trejo, T. L. I.; Fernández, P. Y. L. y Rodríguez, M. M. N. 2016. Elementos esenciales. *In: nutrición de cultivos.* Alcántar, G. G.; Trejo-Téllez, L. I. y Gómez-Merino, F. C. (Eds.). Segunda Edición. Colegio de Postgraduados. México. 23-55 p.
- Andreini, C.; Bertini, I. and Rosato, A. 2009. Metalloproteomes: a bioinformatic approach. *Acc. Chem. Res.* 10(42):1471-1479.
- Anónimo. 2015. Consejo Nacional de la Fresa (CONAFRE), <http://conafresa.com.mx/informacion.html> 02-06-15.
- Broadley, M.; Brown, P.; Cakmak, I.; Rengel, Z. and Zhao, F. 2012. Function of nutrients: Micronutrients. *In: Marschner's mineral plant nutrition of higher plants.* Marschner, P. (Ed.). 3^a. (Ed.). Elsevier. London. 191-243 pp.
- Cakmak, I.; Welch, R. M.; Erenoglu, B.; Römheid, V.; Norvell, W. A. and Kochian, L. V. 2000. Influence of varied zinc supply on re-translocation of cadmium (¹⁰⁹Cd) and rubidium (⁸⁶Rb) applied on mature leaf of durum wheat seedlings. *Plant Soil* 219(1):279-284.
- Castellanos, J. Z.; Díaz, D. y Santiago, J. D. 2014. Realidades del zinc (Zn) en los suelos de México. Hojas técnicas de fertilab. INTAGRI (Comps.). México. 5 p.
- Dale, A. and Luby, J. J. 1991. The strawberry into the 21st century. Timber Press. Portland Oregon, USA. 292 p.
- Erenoglu, E. B.; Kutman, U. B.; Ceylan, Y.; Yildiz, B. and Cakmak, I. 2011. Improved nitrogen nutrition enhances root uptake, root to shoot translocation and remobilization of zinc (65Zn) in wheat. *New Phytol.* 2(189):438-448.
- FAO. 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Hancock, J. F. 1999. Strawberries. CABI Publishing. New York, USA. 237 p.
- Horwitz, W. 1980. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (30 Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA. 1018 p.
- Keutgen, A. and Pawelzik, E. 2007. Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. *Food Chem.* 4(105):1487-1494.
- Lieten, F. 2003. Zinc nutrition of strawberries grown on peat bags. *Small Fruits Rev.* 4(2):63-72.
- Marschner, P. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. 3^a (Ed.). London. UK. 651 p.
- Martínez, B. M.; Nieto, A. D.; Téliz, O. D.; Rodríguez, A. J.; Martínez, D. Ma. T.; Vaquera, H. H. y Carrillo, M. O. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 2(14):113-119.
- Ornelas, P. J. J.; Yahia, E. M.; Ramírez, B. N.; Pérez, M. J. D.; Escalante, M. M. P.; Ibarra, J. V.; Acosta, M. C.; Guerrero, P. V. and Ochoa, R. E. 2013. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. Albion) at six stages of ripening. *Food Chem.* 1(138):372-381.

- Rowley, D.; Black, B.L. and Drost, D. 2011. Late-season Strawberry Production Using Day-neutral Cultivar in High elevation High Tunnels. *HortSci*. 11(46):1480-1485.
- SAS Institute Inc. 2006. Base SAS 9.1.3 Procedures Guide. 2^a (Ed.). Volumes 1, 2, 3 y 4. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1906 p.
- Shaw, D. V. and Larson, K. D. 2006. Strawberry plant named 'Albi3n' US Patent PP16 228 P3. The Regents of The University of California, Oakland, CA.
- SIAP. 2014. Servicio de Informaci3n Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In*: proceedings 6th international congress on soilless culture. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Wang, S. Y. and Camp, M. J. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Sci. Hort.* 85:183-199.
- Witham, F. H.; Blaydes, D. F. and Devlin, R. M. 1971. Experiments in plant physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.