

CORRECCIÓN DE LA DEFICIENCIA CRÓNICA DE ZINC EN AGUACATE 'HASS'

S. Salazar-García¹*, L. E. Cossio-Vargas²;
I. J. L. González-Durán¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Apartado Postal 100,
Santiago Ixcuintla, Nayarit. C. P. 63300. MÉXICO.

Correo-e: samuelsalazar@prodigy.net.mx (*Autor responsable).

²Universidad Autónoma de Nayarit, Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias.
Apdo. Postal 49, Xalisco, Nayarit C. P. 63780. MÉXICO.

RESUMEN

En los huertos de aguacate 'Hass' de los municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit, son frecuentes los niveles foliares debajo de lo normal de zinc (Zn) y la presencia de síntomas visuales de deficiencia de Zn en hojas, brotes y frutos. Esta investigación se desarrolló del 2001 al 2005 en dos huertos comerciales de aguacate 'Hass' cultivados sin riego en el municipio de Tepic con el objetivo de evaluar el efecto de las aplicaciones de sulfato de zinc ($ZnSO_4$), al follaje o al suelo, sobre los niveles foliares de Zn, así como sobre la producción, tamaño y forma del fruto. El suelo de los huertos era de textura ligera, pH 5.8 y bajo contenido de Zn (1.4 a 3.13 mg·kg⁻¹). Los tratamientos al follaje fueron aplicados en 8 L agua/árbol y consistieron en: a) una aspersión con 4,056 g $ZnSO_4$ ·L⁻¹ agua (1.46 g Zn), y b) dos aspersiones con 2.28 g $ZnSO_4$ ·L⁻¹ agua (0.73 g Zn); ambos tratamientos proporcionaron 11.68 g Zn·árbol⁻¹. Los tratamientos al suelo consistieron en: a) una aplicación (1.5 kg), y b) dos aplicaciones (0.75 kg c/u) anuales de $ZnSO_4$ (35.5 % Zn) al suelo. El tratamiento control no recibió Zn. Las aspersiones foliares con $ZnSO_4$ no corrigieron la deficiencia foliar de Zn, ni tuvieron efecto sobre la producción y tamaño del fruto. Dos aplicaciones al suelo con 0.75 kg $ZnSO_4$ ·árbol⁻¹·año resultaron en el mayor incremento del rendimiento, tamaño y forma (más alargada) del fruto, reduciendo la cantidad de frutos pequeños y redondos. Este tratamiento también incrementó los niveles de Zn en las hojas y en la pulpa del fruto. Se encontró una pobre relación entre los niveles de $ZnSO_4$ aplicados al suelo y el contenido foliar de Zn.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES. *Persea americana*, producción, deficiencias nutrimentales, tamaño de fruto.

CORRECTION OF CHRONIC ZINC DEFICIENCY IN 'HASS' AVOCADO

ABSTRACT

Below normal zinc (Zn) foliar levels, as well as visual symptoms of Zn deficiency in leaves, shoots and fruit are commonly observed in 'Hass' avocado orchards in the municipalities of Tepic and Xalisco, Nayarit. The research was undertaken from 2001 to 2005 in two commercial non-irrigated 'Hass' avocado orchards in the municipality of Tepic. The objective was to assess the effect of foliar or soil zinc sulphate ($ZnSO_4$) applications on Zn foliar levels, as well as on yield, fruit size and fruit form. Orchard soil was of light texture, pH 5.8 and low Zn content (1.4 to 3.13 mg·kg⁻¹). Tree canopy sprays treatments were applied using 8 L water·tree⁻¹ and were: a) a single spray of 4,056 g $ZnSO_4$ ·L water⁻¹ (1.46 g Zn), and b) two sprays of 2.028 g $ZnSO_4$ ·L water⁻¹ (0.73 g Zn); both treatments delivered 11.68 g Zn/tree. Soil treatments were annual and consisted of: a) single application of 1.5 kg $ZnSO_4$ (35.5 % Zn)·tree⁻¹, and b) two applications of 0.75 kg $ZnSO_4$ ·tree⁻¹ each. Control trees were let untreated. $ZnSO_4$ foliar sprays were ineffective to correct foliar Zn deficiency and had no positive effect on yield and fruit size. Two soil applications of 0.75 kg $ZnSO_4$ ·tree⁻¹·year⁻¹ were effective to increase yield, fruit size and fruit form (more elongated), decreasing the production of small and round fruit. This treatment also increased Zn levels in leaves and fruit pulp. A poor relationship between $ZnSO_4$ soil rates tested and Zn leaf content was found.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Persea americana*, yield, nutrient deficiencies, fruit size.

INTRODUCCIÓN

Diagnósticos nutrimentales foliares realizados en huertos de aguacate 'Hass' de las áreas productoras de

Tepic y Xalisco, Nayarit, han mostrado niveles debajo de lo normal de zinc (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 1999). Lo anterior ha sido confirmado mediante la observación de síntomas visuales típicos de esta deficiencia en aguacate y

que han sido descritas como moteado intervenal en las hojas maduras y presencia de fruto pequeño y redondo (Salazar-García, 2002).

Según Salazar-García (2002) la deficiencia de Zn puede corregirse con aspersiones foliares de 2 g de sulfato de zinc ($ZnSO_4$, 36 % Zn) por litro de agua. Sin embargo, algunos investigadores indican que en el aguacate las aspersiones foliares no son efectivas debido a que las hojas maduras muestran una limitada capacidad para absorber y transportar las sales aplicadas por esta vía (Crowley *et al.*, 1996).

En un estudio realizado con aguacate 'Hass' creciendo en un suelo calcáreo (pH 7.8) en Ventura, California, se encontró que la aplicación foliar de $ZnSO_4$, ZnO o metalosato de zinc, 0.4, 0.8 y 0.9 g·litro⁻¹, respectivamente, incrementaron el contenido de Zn en la hoja (Crowley *et al.*, 1996). Sin embargo, experimentos con Zn aplicado a las hojas de plantas en invernadero mostraron que <1 % del Zn aplicado como $^{65}ZnSO_4$ o metalosato de ^{65}Zn fue absorbido por el tejido foliar y que hubo poca traslocación de Zn hacia el tejido de parénquima de la hoja adyacente a los sitios de aplicación o hacia las hojas no tratadas ubicadas arriba o abajo (Crowley *et al.*, 1996). Dados estos problemas con las aspersiones foliares de Zn, la aplicación de $ZnSO_4$ al suelo puede proporcionar mayor confianza como método para corregir las deficiencias de zinc en aguacate en suelos calcáreos (Crowley *et al.*, 1996).

La deficiencia de zinc en aguacate puede remediararse con el suministro al suelo de $ZnSO_4$, aunque esto es eficaz sólo aportando grandes cantidades. Según Calabrese (1992), en árboles adultos no debe emplearse menos de 2 kg de $ZnSO_4$, pero si se utilizan quelatos sería suficiente con 500 g·año⁻¹, o incluso cada dos años. Por su parte, Villaseñor (1999), recomienda desde 50 g $ZnSO_4$ en árboles de un año, hasta más de 1.5 kg para árboles mayores de cinco años. Lahav y Whiley (2002) mencionan que para proporcionar Zn a los árboles de aguacate es suficiente aplicar $ZnSO_4$ al suelo en dosis de 200 kg·ha⁻¹. Estos autores también mencionan que el movimiento del Zn a través del perfil del suelo es lento y que el efecto de una sola aplicación puede durar varios años.

Al evaluar varios métodos de aplicación de Zn al suelo en aguacate 'Hass' establecido en un suelo calcáreo (pH 7.8) en California, se encontró que la respuesta a la fertilización fue afectada por el nivel foliar inicial de zinc, de tal forma que sólo los árboles que tenían <50 mg·kg⁻¹ tuvieron un incremento significativo en el contenido foliar de Zn después de la fertilización (Crowley *et al.*, 1996). El tratamiento de 3.2 kg $ZnSO_4$ ·árbol⁻¹, ya sea como riego trimestral o como aplicación anual al suelo, fue el más efectivo e incrementó las concentraciones de Zn en las hojas hasta 75 y 90 mg·kg⁻¹, respectivamente.

No obstante que la deficiencia de Zn en aguacate 'Hass'

es un problema común en los suelos de los municipios de Tepic y Xalisco, no se dispone de información sobre su respuesta a la fertilización con Zn. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las aplicaciones de $ZnSO_4$ al follaje o al suelo sobre los niveles foliares de este nutriente, así como sobre la producción, tamaño y forma del fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio I. Efecto de las aspersiones con $ZnSO_4$ al follaje

Este estudio se realizó del 2001 al 2002 en un huerto comercial de aguacate 'Hass' ubicado en Venustiano Carranza, Tepic, Nayarit (N 21° 32.0', O 104° 59.1'), a 927 m, cultivado sin riego y con precipitación media anual de 1,225 mm, distribuida de junio a septiembre. Los árboles tenían 10 años de edad y estaban establecidos a 8 x 8 m en un suelo migajón arenoso con pH 5.85 y contenido bajo de Zn (3.13 mg·kg⁻¹).

Tratamientos

Para asegurar un buen suministro de Zn, tanto a flores como hojas en desarrollo, las aspersiones al follaje fueron realizadas cuando las inflorescencias estaban en estado coliflor (elongación de los ejes secundarios, los ejes terciarios todavía estaban cubiertos por sus brácteas, con flores pequeñas sin abrir, según la escala visual de Salazar-García *et al.*, 1998) y ya se había iniciado el crecimiento del flujo vegetativo de invierno. Los tratamientos con $ZnSO_4$ (35.5 % Zn) fueron aplicados en 8 L agua (ajustada a pH 5.5 - 6.0)·árbol⁻¹ y fueron: (T-1) Dos aspersiones con 2.028 g $ZnSO_4$ ·Lagua⁻¹ (Mar. y Abr. 2001 y 2002), (T-2) Una aspersión con 4.056 g $ZnSO_4$ ·Lagua⁻¹ (Mar. 2001 y 2002), (T-3) Control (sin Zn).

Los árboles recibieron la fertilización estándar de la zona que consistió en 5.560 kg sulfato de amonio (20.5 % N), 0.489 kg urea (46 % N) y 4.200 kg sulfato de potasio (50 % K_2O). La primera aplicación se hizo al inicio de las lluvias (julio) aplicando 2.780 kg sulfato de amonio, más 2.100 kg sulfato de potasio; la segunda aplicación (septiembre), se hizo con 2.780 kg sulfato de amonio, más 2.100 kg sulfato de potasio. La urea (0.489 kg) se aplicó en agosto.

Aspectos evaluados

El efecto a corto plazo de las aspersiones foliares con Zn se determinó con un muestreo de hojas recientemente maduras realizado cuatro meses (julio 2001) después de la primera aspersión. Siete meses después (octubre 2001) de la primera aspersión, se efectuó un muestreo de hojas maduras.

El contenido foliar de Zn en hojas maduras fue comparado contra el estándar foliar de Zn (29.83 mg·kg⁻¹) obtenido para hojas adultas de aguacate 'Hass' en Nayarit (datos sin

publicar). Estos estándares fueron asociados al máximo índice de tamaño de fruto (ITF), obtenido de la relación entre el rendimiento y el tamaño de fruto.

En cada muestreo foliar se colectaron 30 hojas completas (lámina + pecíolo) del flujo vegetativo de invierno (que recibió las aspersiones), sanas y de la parte media de los brotes en cada uno de tres árboles por tratamiento. Las hojas colectadas se lavaron con agua corriente, después con agua destilada y se secaron en una estufa con aire forzado a 70 °C durante 72 h (Salazar-García *et al.*, 2006). Posteriormente, se realizó la digestión húmeda con ácido perclórico y nítrico y el contenido de Zn fue determinado mediante absorción atómica con un equipo Spectrometer M Series (Thermo Electron Corporation, USA).

En cada árbol experimental se obtuvo el rendimiento total de fruto en el 2001. Para el 2002 no se evaluó la cosecha debido a los daños causados por el huracán "Kenna". Sin embargo, el tamaño del fruto fue cuantificado en octubre 2002, previo al huracán. Para determinar el tamaño del fruto, en cada punto cardinal del árbol se midió la longitud y diámetro de todos los frutos presentes en una sección de 0.56 m² de la parte media de la copa. Las medidas se ajustaron a las clasificaciones de tamaño de fruto usadas en la empacadora de la USPR Aguacate Hass de Nayarit. Los calibres usados fueron (g/fruto): Canica (<135 g), Segunda (135-169 g), Primera (170-210 g), Extra (211-265 g) y Súper extra (>266 g).

Análisis estadístico

Se emplearon seis árboles como repeticiones, en un diseño experimental completamente al azar. Previo al análisis de la varianza, los valores expresados en porcentaje fueron transformados por el arcoseno de la raíz cuadrada de la observación (Steel y Torrie, 1980). La comparación de medias se hizo con la prueba de Duncan ($P=0.05$).

Estudio II. Efecto de las aplicaciones de ZnSO₄ al suelo

El estudio se realizó del 2001 al 2005 en un huerto comercial del cv. Hass ubicado en Platanitos, municipio de Tepic, Nayarit (N 21° 31.6', O 105° 02.9'), a 931 m sobre el nivel del mar, cultivado sin riego y con precipitación media anual de 1,225 mm distribuida de junio a septiembre. Los árboles tenían 10 años de edad, estaban establecidos a 8 x 8 m y mostraban síntomas visuales de deficiencia de Zn. El contenido de Zn en el suelo a las profundidades de 0-30 cm y 31-60 cm fue de 1.4 y 1.6 mg·kg⁻¹ (extraído con el método DTPA), respectivamente, el cual es considerado "bajo". La textura del suelo varió de franca a migajón arcillo arenosa, con un pH (1:2 agua) de 5.8.

Tratamientos

Se aplicaron los siguientes tratamientos con ZnSO₄ (Ducor Crop, 35.5 % Zn) al suelo de árboles de aguacate

con 4 m de diámetro de copa (12.6 m²): (T-1) Dos aplicaciones de 0.75 kg ZnSO₄·árbol⁻¹·año⁻¹ (julio y septiembre 2001 al 2005), (T-2) Una aplicación de 1.5 kg ZnSO₄·árbol⁻¹·año⁻¹ (julio 2001 al 2005), (T-3) Control (sin Zn). El ZnSO₄ fue aplicado manualmente en el área de goteo del árbol, incorporándolo con azadón en una franja de suelo de 60 cm de ancho y 15 cm de profundidad. La fertilización adicional al Zn que recibieron los árboles fue similar a la descrita en el Estudio I.

Aspectos evaluados

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre los niveles foliares de Zn se hicieron muestreos foliares en octubre 2002, septiembre 2004 y agosto 2005. La colecta, lavado y secado de las hojas, así como el método utilizado para determinar el contenido de Zn y la comparación del contenido foliar contra el valor estándar para Nayarit, fueron iguales al Estudio I.

En octubre 2002, se colectaron cinco frutos de cada uno de cinco árboles de los tratamientos con dos aplicaciones anuales de 0.75 kg ZnSO₄·árbol⁻¹ y el Control. Los frutos estaban en madurez legal (≥ 21.5 materia seca de la pulpa) y de cada uno de ellos se obtuvieron 50 g de pulpa para determinar su contenido de Zn.

De forma similar al Estudio I, en el 2003, 2004 y 2005 se obtuvo para cada árbol experimental la producción total y el tamaño del fruto. Adicionalmente, se evaluó la influencia de los tratamientos aplicados sobre la forma del fruto. Para ello, días antes de la cosecha y en cada punto cardinal de la copa del árbol, se midió con un cuadro metálico la longitud y diámetro de todos los frutos presentes en una sección de 0.56 m² (total = 2.24 m²).

Análisis estadístico

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones (árboles). La comparación de medias fue hecha con la prueba de comparación múltiple de Duncan ($P=0.05$).

RESULTADOS

Estudio I. Efecto de las Aspersiones con ZnSO₄ al Follaje

Contenido foliar de Zn

Las aspersiones con ZnSO₄ no modificaron el contenido foliar de Zn a los cuatro meses (julio, 2001) o seis meses (octubre 2001) después de la primera aspersión (Cuadro 1). En el muestreo de hojas adultas (octubre 2001) el control mostró 15.6 mg·kg⁻¹ y ninguno de los tratamientos evaluados incrementó los niveles foliares de Zn al óptimo, que es de 29.83 mg·kg⁻¹ (datos sin publicar).

CUADRO 1. Efecto de las aspersiones con $ZnSO_4$ sobre el contenido foliar de Zn en hojas recientemente maduras (julio) y maduras (octubre).

Tratamiento (dosis-litro ⁻¹ agua)	Zn (mg·kg ⁻¹ , m.s.)	
	5 Jul. 2001	12 Oct. 2001
Dos aspersiones con 2.028 g $ZnSO_4$ (Mar. y Abr. 2001)	22.3 a ^z	17.0 a
Una aspersión con 4.056 g $ZnSO_4$ (Mar. 2001)	21.7 a	16.0 a
Control	20.0 a	15.6 a
DMS	1.76	3.40
CV (%)	5.61	14.4

^zMedias con la misma letra en columnas son iguales (Duncan, $P=0.05$).

Rendimiento y tamaño de fruto

En la cosecha 2001, la producción de fruto fluctuó de 151.6 a 197.1 kg·árbol⁻¹ y no fue afectada por las aspersiones con $ZnSO_4$ al follaje (Cuadro 2). El tamaño del fruto, cuantificado previo a la cosecha 2002, tampoco mostró diferencias entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, se observó que la mayor proporción de fruto (92.3 a 94.7 %) se concentró en los tamaños canica y segunda (Cuadro 3).

Estudio II. Efecto de las Aplicaciones de $ZnSO_4$ al Suelo

Contenido foliar de Zn

Un año después (octubre 2002) de las primeras aplicaciones de $ZnSO_4$ al suelo no se detectaron cambios

CUADRO 2. Efecto de las aspersiones con $ZnSO_4$ sobre la producción de fruto en aguacate 'Hass'. Cosecha realizada en octubre 2001.

Tratamiento (dosis-litro ⁻¹ agua)	Producción (kg·árbol ⁻¹)	Zn (mg·kg ⁻¹ , m.s.)			
		Tratamientos ($ZnSO_4$ ·árbol ⁻¹ ·año ⁻¹)	Oct. 2002	Sep. 2004	Ago. 2005
Dos aspersiones con 2.028 g $ZnSO_4$ (Mar. y Abr. 2001)	175.5 a ^z				
Una aspersión con 4.056 g $ZnSO_4$ (Mar. 2001)	151.6 a				
Control	197.1 a				
DMS	51.61				
CV (%)	22.95				

^zMedias con la misma letra en columnas son iguales (Duncan, $P=0.05$).

CUADRO 3. Efecto de las aspersiones con $ZnSO_4$ sobre el tamaño del fruto en aguacate 'Hass'. Cosecha 2002.

Tratamiento (dosis-litro ⁻¹ agua)	Frutos/m ²	Porcentaje según el tamaño de fruto				
		Canica (<135 g)	Segunda (135-169 g)	Primera (170-210 g)	Extra (211-265 g)	S. extra (>266 g)
Dos aspersiones con 2.028 g $ZnSO_4$ (Mar. y Abr. 2001 y 2002)	54.2	43.8 a ^z	48.5 a	4.35 a	3.17 a	0.00 a
Una aspersión con 4.056 g $ZnSO_4$ (marzo 2001 y 2002)	51.2	47.2 a	45.7 a	4.10 a	3.00 a	0.00 a
Control	65.5	24.4 a	70.3 a	3.61 a	1.60 a	0.00 a
DMS		21.91	21.89	7.29	5.77	0.0
CV (%)		29.74	22.14	34.29	46.79	—

^zMedias con la misma letra en columnas son iguales (Duncan, $P=0.05$).

significativos en los niveles foliares de Zn, variando éstos de 14.4 a 16.4 mg·kg⁻¹ (Cuadro 4). Tres años después (septiembre 2004) de iniciado este estudio, se observó un incremento en el contenido foliar de Zn (24.9 mg·kg⁻¹) en los árboles tratados con dos aplicaciones anuales de 0.75 kg $ZnSO_4$ ·árbol⁻¹, comparado con una sola aplicación y el Control (17.5 mg·kg⁻¹). En el muestreo foliar del 2005 se observó una respuesta similar a la del muestreo del 2004; el tratamiento con dos aplicaciones anuales de de 0.75 kg $ZnSO_4$ ·árbol⁻¹ presentó un mayor contenido foliar de Zn (23.2 mg·kg⁻¹), comparado con el control (18 mg·kg⁻¹) (Cuadro 4).

Contenido de Zn en la pulpa

En la cosecha siguiente (2002) al inicio de las dos aplicaciones al suelo de $ZnSO_4$ en julio y septiembre 2001 y 2002 se incrementó ($P=0.002$) el contenido de Zn en la pulpa del fruto. La pulpa de frutos de árboles que recibieron este tratamiento presentaron 22.6 mg·kg⁻¹ de Zn, comparado con 15.2 mg·kg⁻¹ de Zn en frutos de los árboles Control.

Producción de fruto

Las aplicaciones de $ZnSO_4$ al suelo incrementaron la producción de fruto. Dos años después de iniciado el estudio (Cosecha 2003), la mayor producción de fruto (159.2 a 186.4 kg·árbol⁻¹) siempre correspondió al tratamiento con dos aplicaciones de 0.75 kg $ZnSO_4$ ·árbol⁻¹·año⁻¹, comparado con los árboles que no recibieron $ZnSO_4$ (Cuadro 5).

CUADRO 4. Efecto de la aplicación de $ZnSO_4$ al suelo sobre el contenido foliar de Zn en aguacate 'Hass'.

Tratamiento (dosis-litro ⁻¹ agua)	Producción (kg·árbol ⁻¹)	Zn (mg·kg ⁻¹ , m.s.)			
		Tratamientos ($ZnSO_4$ ·árbol ⁻¹ ·año ⁻¹)	Oct. 2002	Sep. 2004	Ago. 2005
Dos aplicaciones de 0.75 kg		15.80 a ^z	24.9 a	23.2 a	
Una aplicación de 1.5 kg		14.40 a	19.4 b	20.0 ab	
Control		16.40 a	17.5 b	18.0 b	
DMS		2.70	4.40	3.73	
CV (%)		11.95	14.65	12.25	

^zMedias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente (Duncan, $P=0.05$).

CUADRO 5. Efecto de la aplicación de $ZnSO_4$ al suelo en árboles de aguacate 'Hass' sobre la producción anual de fruto y la producción de fruto en tamaños grandes (Primera + Extra + Súper extra; 170 - >266 g).

Tratamientos ($ZnSO_4$ ·árbol·año ⁻¹)	Año de cosecha y producción de fruto (kg·árbol ⁻¹)					
	2003		2004		2005	
	Total	P+E+SE	Total	P+E+SE	Total	P+E+SE
Dos aplicaciones de 0.75 kg	159.2 a ^z	95.7 a	175.2 a	114.1 a	186.4 a	135.7 a
Una aplicación de 1.5 kg	148.1 b	78.9 b	156.1 b	90.9 b	158.1 b	80.5 b
Control	109.5 c	38.6 c	154.8 b	61.0 c	145.9 c	78.2 b
DMS	21.65	13.22	24.72	15.31	31.77	25.02
CV (%)	16.58	19.79	16.23	18.38	20.68	27.14

^zMedias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente (Duncan, $P=0.05$).

Tamaño y forma del fruto

Los tratamientos con $ZnSO_4$ incrementaron el tamaño de fruto. A partir de la cosecha 2003 y hasta la cosecha 2005, el mayor rendimiento de fruto en tamaños grandes (P+E+SE) se obtuvo con el tratamiento de dos aplicaciones de 0.75 kg $ZnSO_4$ ·árbol⁻¹·año⁻¹ (95.7 a 135.7 kg·árbol⁻¹), comparado con el Control (38.6 a 78.2 kg·árbol⁻¹) (Cuadro 5). Los aumentos en la producción de fruto grande observados durante los cuatro años del estudio, siempre se asociaron a una menor producción de fruto de tamaño pequeño (Canica + Segunda).

La aplicación de $ZnSO_4$ al suelo estimuló la elongación del fruto, haciéndolo más alargado lo que disminuyó el problema del fruto pequeño y redondo (Figura 1). Esta respuesta se observó a partir del primer año del inicio de los tratamientos y fue más notoria cuando se hicieron dos aplicaciones de 0.75 kg $ZnSO_4$ ·árbol⁻¹·año⁻¹ (Figura 3).

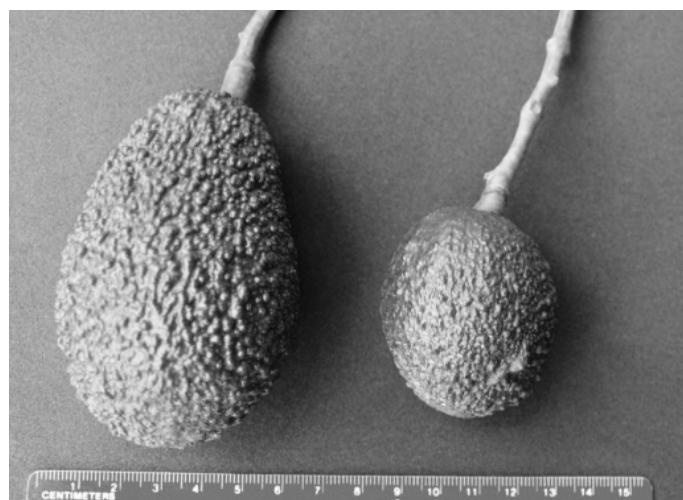


FIGURA 1. Frutos de aguacate 'Hass' seis meses después del amarre, tomados de árboles tratados con $ZnSO_4$ al suelo (izquierda), comparado con el fruto pequeño y redondo (derecha) de los árboles sin $ZnSO_4$.

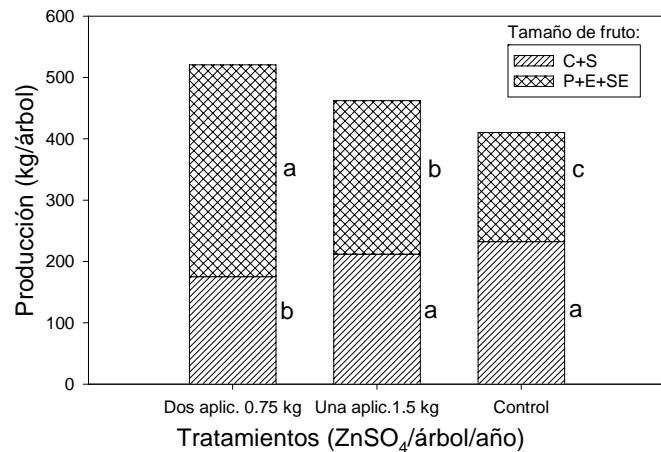


FIGURA 2. Efecto de la aplicación de $ZnSO_4$ al suelo en árboles de aguacate 'Hass' sobre la producción acumulada de fruto (cosechas 2003, 2004 y 2005) y su distribución según el tamaño del fruto: grandes (Primera + Extra + Súper extra; P + E + SE) y pequeños (Canica + Segunda; C+S). Medias con la misma letra para cada grupo de tamaño de fruto son iguales estadísticamente (Duncan, $P=0.05$).

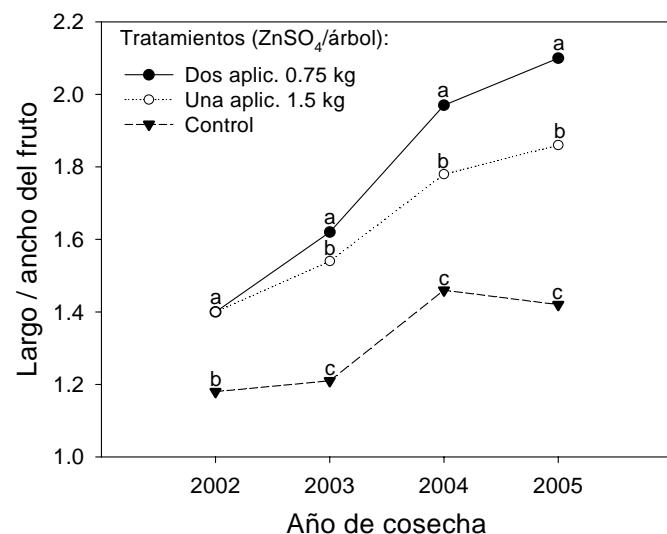


FIGURA 3. Efecto anual de las aplicaciones de $ZnSO_4$ al suelo sobre la forma del fruto (relación largo/ancho) en aguacate 'Hass'. Medias con la misma letra para cada año son iguales estadísticamente (Duncan, $P=0.05$).

DISCUSIÓN

Los tratamientos evaluados de aspersiones foliares con ZnSO_4 no incrementaron los niveles foliares de Zn al óptimo ($29.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Esto coincide con estudios previos en aguacate respecto a que las aspersiones foliares con Zn no son efectivas debido a que las hojas muestran una limitada capacidad para absorber y transportar el Zn por esta vía (Crowley *et al.* 1996). Las aspersiones con ZnSO_4 tampoco incrementaron la producción ni el tamaño del fruto. Entonces, las aspersiones al follaje con ZnSO_4 no fueron efectivas para corregir a corto plazo la deficiencia de Zn en el aguacate 'Hass', lo cual coincide con las investigaciones de Crowley *et al.* (1996), quienes demostraron que las aplicaciones de ZnSO_4 al suelo fueron más efectivas que las aplicaciones al follaje para corregir la deficiencia foliar crónica de Zn en aguacate 'Hass'.

Los efectos de la aplicación de ZnSO_4 al suelo sobre el contenido foliar de Zn se observaron tres años después (2004) de iniciado este estudio. La lentitud para detectar esta respuesta coincidió con lo mencionado por Salazar-García (2002). Una vez establecido el efecto de los tratamientos aplicados, los más altos niveles foliares de Zn (23.2 a $24.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) fueron obtenidos con dos aplicaciones anuales de $0.75 \text{ kg ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}$, comparado con una aplicación anual de $1.50 \text{ kg ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}$ (19.4 a $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) o el Control (17.5 a $18.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Aún para el mejor tratamiento (dos aplicaciones de $\text{ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), los niveles foliares de Zn encontrados fueron inferiores al valor estándar propuesto para el aguacate 'Hass' en Nayarit ($29.83 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). La información del presente estudio será de utilidad para obtener una segunda aproximación a este valor estándar de Zn.

Diferente a lo observado con los niveles foliares de Zn, las aplicaciones de ZnSO_4 al suelo tuvieron un efecto rápido sobre el contenido de Zn en la pulpa del fruto. Dos aplicaciones al suelo de $0.750 \text{ kg ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}$ en julio y septiembre 2001 y 2002 incrementaron el contenido de Zn en la pulpa a $22.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, comparado con $15.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ del Control. El incremento observado en el contenido de Zn puede evitar el problema de la mancha negra de la pulpa (pulp spot). Estudios realizados por Vorster y Bezuidenhout (1988) mostraron que contenidos de Zn en la pulpa entre 16 y $17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ estuvieron asociados con pulpa sana, mientras que valores entre 7 y $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ lo estuvieron con la mancha negra de la pulpa.

El efecto de la fertilización con ZnSO_4 sobre la producción y el tamaño del fruto también se observó un año después del inicio de los tratamientos. No obstante que el huracán "Kenna" impidió evaluar la cosecha 2002, las observaciones de campo mostraron dicho efecto positivo. Si se considera que en el huerto experimental había $156 \text{ árboles}\cdot\text{ha}^{-1}$, el incremento en el rendimiento acumulado del periodo 2003-2005 para el tratamiento de dos aplicaciones de $0.75 \text{ kg ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, fue de $17.253 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respecto al Control. El costo de dos aplicaciones de 0.75 kg

$\text{ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ por los tres años fue de $\$5,763.00$; entonces, si la cosecha se vende a $\$5,000.00 \text{ t}$ (precio moderado) se obtiene un ingreso extra de $\$80,502.00$ por hectárea.

La proporción de fruto grande (P+E+SE) evaluada en las cosechas acumuladas 2003 a 2005 fue mayor (66.3 % de la producción total) con dos aplicaciones de $0.75 \text{ kg ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, comparada con el Control (43.3 %) (Figura 2). Esto significó incrementos que fluctuaron de 8.2 a $8.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y deben ser considerados como una ganancia adicional al incremento en el rendimiento total de fruto.

La fertilización al suelo con una o dos aplicaciones de sulfato de zinc incrementó la producción de frutos más alargados, los cuales son más preferidos por los consumidores. La relación largo/ancho del fruto a la cosecha 2005 fue 47.8 % (relación 2.1) mayor con dos aplicaciones de $0.75 \text{ kg ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, comparado con los árboles que no recibieron Zn (relación 1.4). Entonces, la aplicación de ZnSO_4 al suelo redujo el problema del fruto redondo y pequeño del aguacate 'Hass'.

La presente investigación mostró que la deficiencia de zinc en el aguacate 'Hass' cultivado sin riego en Nayarit puede ser controlada con la aplicación anual al suelo de $1.5 \text{ kg ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}$, distribuida en dos aplicaciones de 0.75 kg ZnSO_4 cada una. Esta dosis fue superior al $1.3 \text{ kg ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ propuesto por Lahav y Whiley (2002); fue menor a los 2.0 y 3.2 kg de ZnSO_4 sugeridos por Calabrese (1992) y Crowley *et al.* (1996), respectivamente, y coincidió con lo sugerido por Villaseñor (1999) quien recomienda 1.5 kg de ZnSO_4 .

CONCLUSIONES

Las aspersiones foliares con ZnSO_4 no fueron efectivas para corregir la deficiencia foliar de Zn; tampoco incrementaron la producción de fruto, ni el tamaño del mismo.

Dos aplicaciones de $0.75 \text{ kg ZnSO}_4\cdot\text{árbol}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ incrementaron 22 % la producción de fruto/árbol, 66.3 % la producción de fruto de tamaño grande ($170 - >266 \text{ g}$) y 47.8 % la relación largo:ancho del fruto, reduciendo la cantidad de frutos pequeños y redondos.

Se encontró una relación pobre entre las dosis de ZnSO_4 aplicados al suelo y el contenido foliar de Zn. Es necesario investigar sobre el uso de otros tejidos del árbol para un mejor diagnóstico de la respuesta a la fertilización con Zn.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce el apoyo económico de la USPR Aguacate Hass de Nayarit, del SIMORELOS-CONACYT, del Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica

CONACYT-Gobierno del estado de Nayarit, de la Fundación Produce Nayarit y del Instituto de la Potasa y el Fósforo. Agradecemos a Juan Carlos Bermúdez su apoyo técnico y a los productores Rubén Bermúdez y Alberto Ante por facilitar sus huertos de aguacate.

LITERATURA CITADA

CALABRESE, F. 1992. El aguacate. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. pp. 160-165.

CROWLEY, D. E.; SMITH, W.; FABER, B.; MANTHEY, J. A. 1996. Zinc fertilization of avocado trees. *HortScience* 31(2): 224-229.

LAHAV, E.; WHILEY, A. W. 2002. Irrigation and mineral nutrition. pp. 259-297. En. WHILEY, A. W.; SCHAFFER, B.; WOLSTENHOLME, B. N. (Eds.). *The Avocado: Botany, Production and Uses*. CAB International.

SALAZAR-GARCÍA, S.; LAZCANO-FERRAT, I. 1999. Diagnóstico nutrimental del aguacate 'Hass' bajo condiciones de temporal. *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 5: 173-184.

SALAZAR-GARCÍA, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) e Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Querétaro, México. 165 p.

SALAZAR-GARCÍA, S.; COSSIO-VARGAS, L. E.; GONZÁLEZ-DURÁN, I. J. L. 2006. Técnica de muestreo foliar para el diagnóstico nutrimental del aguacate 'Hass' en Nayarit. INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Santiago Ixquintla. Folleto Técnico Núm. 2. Nayarit, México. 17 p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. 1960. *Principles and procedures of statistics*. McGraw-Hill. USA.

VILLASEÑOR-D, J. 1999. Plantaciones modernas. Fertilización y fenología del aguacate 4(3): 16-17.

VORSTER, L. L.; BEZUIDENHOUT, J. J. 1988. Does zinc play a role in reducing pulp spot? *South African Avocado Growers' Assn. Yrbk.* 11. p. 60.