

LA FERTILIZACIÓN DE SITIO ESPECÍFICO MEJORÓ LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUACATE 'HASS' EN HUERTOS SIN RIEGO*

SITE SPECIFIC FERTILIZATION INCREASED PRODUCTIVITY OF 'HASS' AVOCADO IN RAINFED ORCHARDS

Samuel Salazar-García^{1§}, Luis Eduardo Cossio-Vargas² e Isidro José Luis González-Durán¹

¹Campo Experimental Santiago Ixcuintla, INIFAP, A. P. 100, Santiago Ixcuintla, Nayarit. 63300. México. Tel. 01 323 23 5 07 10. (gonzalez_joseluis@inifap.gob.mx).

²Universidad Autónoma de Nayarit, Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. A. P. 49, Xalisco, Nayarit 63780. México. (dirección actual: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Santiago Ixcuintla, A. P. 100, Santiago Ixcuintla, Nayarit. 63300. México). Tel. 01 323 23 5 20 31. (cossio.luiseduardo@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: samuelsalazar@prodigy.net.mx.

RESUMEN

Esta investigación fue desarrollada de 2001 a 2005 con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización de sitio específico sobre la producción y tamaño del fruto en aguacate 'Hass' cultivado sin riego en Nayarit. Se emplearon tres huertos comerciales de 'Hass' que exploraron la fertilidad de los suelos predominantes en la parte baja, media y alta de la zona aguacatera de los municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit. La dosis de fertilización se calculó considerando la demanda nutrimental del árbol para obtener un rendimiento de 30 t ha⁻¹, lo invertido en su biomasa, la proporción de nutrimentos que son reciclados al árbol y/o al suelo, la aportación de nutrimentos por el suelo, el diagnóstico nutrimental foliar y la eficiencia de la fertilización. Los tratamientos de fertilización incluyeron N, P, K, Ca, Mg, S, Zn y B y tuvo dos niveles: normal, que se obtuvo de los cálculos mencionados, y alto, equivalente al nivel normal más 50%. Como controles se usaron dos tipos de fertilización empleados por productores de aguacate de la región: control-1 consistió en fertilización basada en N y K más 50 kg de gallinaza anual por árbol; control-2 sólo incluyó N y K. La fertilidad del suelo de los huertos fue mejorada con el tratamiento de fertilización dosis alta. La fertilización basada en N y K, sola o complementada con gallinaza no mejoró la producción y tamaño del fruto. Considerando la producción, tamaño del fruto y el análisis económico, el tratamiento de

fertilización dosis alta, que consiste en la aplicación por árbol de 2.140 kg N, 0.742 kg P₂O₅, 2.520 kg K₂O, 810 g Zn y 94.30 g B, fue la mejor para incrementar la productividad del aguacate 'Hass' en Nayarit.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., análisis foliares, productividad, nutrición mineral.

ABSTRACT

The research was performed during 2001-2005 to test the effect of site specific fertilization on yield and fruit size on 'Hass' avocado grown under rainfed conditions. Three commercial 'Hass' avocado orchards, exploring the fertility of the predominant soils on the low, medium and high avocado producing zones of Tepic and Xalisco municipalities of the state of Nayarit were included. Fertilization dosages were calculated by considering tree's nutrient demand to produce 30 t ha⁻¹, nutrient investment on tree biomass, nutrient recycling, soil fertility, nutrient foliar analysis, and fertilization efficiency. Mineral fertilization included N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, and B and consisted of two levels: normal, obtained by the calculations described above, and High, equivalent to the Normal rate plus 50%. Two

* Recibido: Enero de 2009

Aceptado: Diciembre de 2009

fertilization regimes used regionally by avocado growers were used as controls: control-1 consisted in fertilization with N and K plus 50 kg composted chicken manure per tree per year; control-2 only included N and K. Soil fertility was improved with High fertilization rate. Fertilization based on N and K, alone or complemented with chicken manure did not improve yield nor fruit size. Yield, fruit size and economical analysis showed that High rate fertilization, that consisted in the application per tree of 2.140 kg N, 0.742 kg P₂O₅, 2.520 kg K₂O, 810 g Zn, and 94.30 g B, was the best to improve the productivity of 'Hass' avocado in Nayarit.

Key words: *Persea Americana* Mill., leaf analysis, mineral nutrition, productivity.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Nayarit el aguacate 'Hass' se cultiva sin riego y el rendimiento de fruto en huertos que carecen de un programa razonable de fertilización es de 5 a 12 t ha⁻¹ (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 2003). De esta producción, cerca de 20% corresponde a frutos de calibre grande (primera, extra y súper extra), que son los de mayor precio en el mercado y el resto es fruto pequeño con reducido valor comercial (hasta 60% menos).

El diagnóstico de la condición nutrimental del aguacate 'Hass' en los municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit fue la base para iniciar los ensayos de fertilización de sitio específico en esta región (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 1999). Se realizaron muestreos foliares y de suelo en 38 huertos sin riego; esto permitió identificar los nutrimentos que estaban en niveles abajo de lo normal o en exceso que pudieran limitar el rendimiento de los huertos. La condición foliar más frecuente fueron los niveles "abajo de lo normal" de potasio y azufre. El nitrógeno se ubicó cerca del límite inferior de lo "normal" en la mayoría de los huertos. Los niveles de fósforo, calcio, hierro, manganeso y zinc fueron "normales" en gran parte de los huertos, aunque se observaron síntomas visuales de deficiencia de zinc. El boro resultó "abajo de lo normal" en la mayoría de los huertos y el sodio se encontró en niveles aceptables para el aguacate. La fertilidad de los suelos fue baja ya que se encontraron deficiencias de la mayoría de micronutrimentos.

En México, las recomendaciones de fertilización empleadas en las distintas regiones productoras de aguacate son muy generales y tienden a ser usadas en grandes superficies

productoras sin considerar las variaciones en la fertilidad de los suelos ni la condición nutrimental de los árboles. Esto ocasiona que frecuentemente se apliquen menos nutrientes que los necesarios para alcanzar la máxima producción de los huertos o que se incurra en la sobre fertilización, propiciando desbalances nutrimentales que además de limitar la productividad, contaminan los mantos acuíferos, especialmente con nutrientes fácilmente lixiviables como el nitrógeno.

La fertilización de sitio específico permite maximizar la producción, tamaño y calidad del fruto ya que considera el estatus nutrimental del suelo y del árbol, así como una meta de rendimiento. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto a mediano plazo de la fertilización de sitio específico sobre la producción y tamaño del fruto en aguacate 'Hass' cultivado sin riego en Nayarit.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de los huertos. La investigación se realizó de 2001 a 2005 en tres huertos comerciales de 'Hass' injertados sobre portainjertos de semilla de probables híbridos de raza Guatemalteca x Antillana, establecidos a 8 x 8 m, cultivados sin riego y con lluvia anual de 1 225 m, distribuida de junio a septiembre. Los huertos exploraron las características de los suelos de las zonas ubicadas en alturas baja, media y alta de los municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit. El huerto "Nájera", se ubicó en La Yerba, municipio de Tepic (21° 31.6' latitud norte; 105° 02.9' longitud oeste), a 858 m sobre el nivel del mar. El huerto "Ante" estaba establecido en Venustiano Carranza, municipio de Tepic (21° 32.0' latitud norte; 104° 59.1' longitud oeste), a una altura de 927 m. El huerto "Sánchez" se localizó en Xalisco (21° 22.4' latitud norte; 104° 54.0' longitud oeste) y a una altura de 1 064 m.

En abril 2001 en cada uno de los huertos Nájera y Sánchez se seleccionaron 40 árboles y en el huerto Ante, sólo se seleccionaron 30 árboles. Los árboles tenían 10-12 años de edad, tamaño y vigor similar y una cosecha esperada de al menos 100 kg árbol. A excepción de los tratamientos de fertilización, cada huerto recibió el manejo estándar del productor.

Tratamientos de fertilización. La cantidad de nutrimentos a aplicar en cada huerto fue calculada de acuerdo al procedimiento descrito por Salazar-García (2002), el cual

considera: a) la demanda nutrimental del árbol para producir 30 t de fruto ha, b) lo invertido por el árbol en su biomasa (raíces, tronco, etc.), c) la proporción de nutrimentos que son reciclados en el árbol y/o al suelo, d) la aportación de nutrimentos por el suelo, según su fertilidad, e) la eficiencia del fertilizante según la textura del suelo y la forma de aplicación, y f) el diagnóstico nutrimental foliar.

Los tratamientos evaluados en cada huerto difirieron para algunos nutrientes, debido principalmente a las diferencias en la fertilidad del suelo. Se evaluó una dosis normal y otra alta. La normal correspondió al resultado de los cálculos

descritos al inicio de esta sección. La dosis alta consistió en la dosis normal más 50% adicional. Como control se incluyeron dos tratamientos de uso común por los productores de aguacate de la región. El Control-1 se empleó en los huertos Nájera y Sánchez y consistió en N, K más estiércol e ave (gallinaza). El Control-2 consistió sólo en la aplicación de nitrógeno y potasio. Los detalles de los tratamientos y su aplicación se presentan en el Cuadro 1. Las fuentes de fertilizantes fueron: sulfato de amonio (20.5% N), sulfato de potasio (50% K₂O), urea (46% N), fosfato diamónico (18% N, 46% P₂O₅), SulPoMag (22% K₂O, 18% MgO, 22% SO₄), sulfato de zinc (36% Zn) y boronat (32% B).

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización al suelo aplicados de 2001 a 2005 en los tres huertos experimentales.

Tratamientos	Años de aplicación	Huertos			Años de aplicación	Huertos			Núm. de aplic.	Meses
		Nájera	Ante	Sánchez		Nájera	Ante	Sánchez		
Normal	2001 - 2002				2003 - 2005					
SulPoMag		750 g	750 g	750 g		0 g	375 g	0 g	Una	Jul.
Sulfato de amonio		151 g	0 g	0 g		1.246 kg	1.152 kg	1.246 kg	Una	Jul.
Fosfato diamónico		1.076 kg	0.656 kg	1.593 kg		1.076 kg	0.656 kg	1.076 kg	Una	Jul.
Sulfato de potasio		0.792 y	0.792 y	0.792 y		1.683 kg	1.435 y	1.683 kg	Dos	Jul. y Sep.
		1.122 kg	1.122 kg	1.122 kg			1.683 kg			
Urea		489 g	441 g	409 g		978 g	882 g	978 g	Dos	Ago. y Sep.
Sulfato de zinc		0.750 kg	0.750 kg	0.750 kg		0.750 kg	1.500 kg	0.750 kg	Dos	Jul. y Sep.
Boronat		65.5g	65.5g	65.5g		98.3 g	98.3 g	98.3 g	Dos	Jul. y Sep.
Alta	2001 - 2002				2003 - 2005					
SulPoMag		1.125 kg	1.125 kg	1.125 kg		0 g	562.5 g	0 g	Una	Jul.
Sulfato de amonio		226 g	0 g	0 g		1.869 kg	1.728 kg	1.869 kg	Una	Jul.
Fosfato diamónico		1.614 kg	0.984 kg	2.389 kg		1.614 kg	0.984 kg	1.614 kg	Una	Jul.
Sulfato de potasio		1.188 y	1.188 y	1.188 y		2.524 kg	2.152 y	2.524 kg	Dos	Jul. y Sep.
		1.683 kg	1.683 kg	1.683 kg			2.524 kg			
Urea		733.5 g	661.5 g	613.5 g		1.467 kg	1.323 kg	1.467 kg	Dos	Ago. y Sep.
Sulfato de zinc		1.125 kg	1.125 kg	1.125 kg		1.125 kg	2.250 kg	1.125 kg	Dos	Jul. y Sep.
Boronat		98.3 g	98.3 g	98.3 g		147.4 g	147.4 g	147.4 g	Dos	Jul. y Sep.
Control-1 (N, K+ gallinaza)	2001 - 2005									
gallinaza		50 kg		50 kg					Dos	Jul. y Sep.
Sulfato de amonio		2.780 kg		2.780 kg					Dos	Jul. y Sep.
Sulfato potasio		2.100 kg		2.100 kg					Dos	Jul. y Sep.
Control-2 (N + K)	2001 - 2005									
Sulfato de amonio		2.780 kg	2.780 kg	2.780 kg					Dos	Jul. y Sep.
Sulfato de potasio		2.100 kg	2.100 kg	2.100 kg					Dos	Jul. y Sep.
Urea		0.489 kg	0.489 kg	0.489 kg					Una	Ago.

En Nayarit la mayor producción de raíces jóvenes en 'Hass' cultivado sin riego ocurre durante el período de lluvias de verano (julio a septiembre) (Cossio-Vargas *et al.*, 2008). Por esta razón, los tratamientos evaluados fueron aplicados en estos meses. En algunos tratamientos la dosis anual fue fraccionada en dos o tres partes, aplicándolas los días 12 de julio, agosto y septiembre, respectivamente. En agosto sólo se aplicó urea al voleo, cubriendo la mayor parte del área de sombreado del árbol. La aplicación de los tratamientos fue manual, en una banda de 50 cm de ancho y 15-20 cm de profundidad, alrededor del árbol e inicialmente a 1.5 m del tronco; posteriormente, dicha banda de aplicación se alejó del tronco cada año para cubrir la mayor parte del área de raíces del árbol.

Producción y tamaño de fruto. En el huerto Sánchez se registraron las cosechas de cada árbol de 2002 a 2005. Debido a los daños del huracán "Kenna" en 2002, en los huertos Nájera y Ante sólo se registraron las cosechas del 2003 a 2005. El tamaño del fruto se obtuvo mediante el peso individual de 100 frutos escogidos al azar por árbol y se usaron los siguientes intervalos de peso: canica (<135 g), segunda (135-169 g), primera (170-210 g), extra (211-265 g) y súper extra (>266 g).

Análisis foliares. En el último año del estudio (septiembre 2005) para los distintos tratamientos aplicados en cada huerto se colectaron 30 hojas maduras completas (lámina + pecíolo) por árbol, del flujo vegetativo de invierno, sanas y de la parte media de brotes sin fructificación. Las hojas fueron lavadas con agua corriente y destilada y secadas en una estufa con aire forzado a 70 °C durante 72 h. Posteriormente, fueron enviadas a un laboratorio certificado para la determinación del contenido de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, B y Zn. La interpretación de los resultados de los análisis foliares se realizó según el procedimiento de Kenworthy (1973), empleando los valores estándar y coeficientes de variación desarrollados para Nayarit por Salazar-García *et al.* (2009).

Aspecto estadístico. Para el análisis estadístico del contenido nutrimental del suelo y foliar se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones (árboles). Con los datos de producción y tamaño de fruto se hicieron dos tipos de análisis: con el primer análisis se determinó la influencia de la fertilidad del suelo (huerto) sobre la respuesta a la fertilización y fue realizado para los huertos Sánchez y Nájera (2003,

2004 y 2005); en el segundo análisis se cuantificó el efecto de la dosis de fertilización sobre la producción y tamaño del fruto y fue realizado para los tres huertos, excluyendo el Control-1 (N, K+ gallinaza) (2003, 2004 y 2005). Para los tres huertos se empleó un diseño de bloques completos al azar con 10 repeticiones (árboles) por huerto. Las comparaciones de medias se realizó con Duncan ($p=0.05$).

RESULTADOS

Efecto de la fertilidad del suelo de los huertos Sánchez y Nájera (cosechas 2003 a 2005)

La fertilidad del suelo de estos huertos, en los que se aplicaron los tratamientos dosis normal o alta, control-1 (N, K+ gallinaza) y el control-2 (N, K), no modificó la producción de fruto (promedio cosechas 2003 - 2005), la cual varió de 129 a 135 kg árbol. El tamaño del fruto tampoco resultó afectado y la producción de frutos de tamaños P+E+SE varió de 69.1 a 73.6 kg árbol.

Efecto de los tratamientos de fertilización en los huertos Sánchez y Nájera por año de estudio (cosechas 2003, 2004 y 2005)

El análisis de las cosechas 2003, 2004 y 2005 de los huertos Sánchez y Nájera mostró que en todos los años los tratamientos con fertilización en dosis alta o normal, presentaron la mayor producción de fruto y esta varió de 133.2 a 154.5 kg árbol, comparado con el control-1 (N, K+ gallinaza) y el control-2 (n, K) (Cuadro 2). Respecto al tamaño de fruto, la mayor producción de tamaños primera, extra y súper extra fue obtenida con la dosis de fertilización alta la cual varió de 89.2 a 92.2 kg árbol, comparada con los dos tratamientos control (Cuadro 2).

Efecto de los tratamientos con fertilización en los huertos Sánchez y Nájera. Promedio de las cosechas 2003 a 2005

El análisis de las cosechas 2003, 2004 y 2005 de los huertos Sánchez y Nájera mostró que los tratamientos con fertilización en dosis alta o normal, presentaron la mayor producción de fruto (149.9 y 139.4 kg árbol, respectivamente), comparado con el control-1 y el control-2 (116.8 y 123.7 kg árbol, respectivamente) (Cuadro 3). Respecto al tamaño de fruto, la mayor producción de tamaños primera, extra y súper extra fue

obtenida con la dosis alta (93.2 kg árbol), comparada con menos de 60 kg árbol para el control-1 y el control-2 (Cuadro 3). La producción acumulada de las cosechas 2003

al 2005 fue mayor para el tratamiento de fertilización dosis alta (419.6 kg árbol) y el menor para el control-1 (343.3 kg árbol) (no se muestran datos).

Cuadro 2. Efecto de todos los tratamientos evaluados sobre la producción y tamaño del fruto por año de estudio (cosechas 2003, 2004 y 2005) para los huertos Sánchez y Nájera.

Año	2003			2004			2005		
	Producción total (kg árbol)	Producción según el tamaño de fruto (kg árbol)		Producción total (kg árbol)	Producción según el tamaño de fruto (kg árbol)		Producción total (kg árbol)	Producción según el tamaño de fruto (kg árbol)	
Tratamiento		C+S	P+E+SE		C+S	P+E+SE		C+S	P+E+SE
Normal	133.6 b ^z	58.7 a	74.9 b	139.5 ab	56.2 a	83.3 b	145.2 a	56.4 a	88.8 b
Alta	146.7 a	57.5 a	89.2 a	148.4 a	56.6 a	91.8 a	154.5 a	56.3 a	98.2 a
Control-1 (N, K+ gallinaza)	116.4 cd	63.1 a	53.3 c	112.5 cd	61.4 a	51.1 c	121.4 b	66.6 a	54.8 c
Control-2 (N y K)	120.2 c	64.4	55.8 c	123.4 c	66.3 a	57.1 c	127.5 b	68.4 a	59.1 c
Pr>F	0.0001	0.8543	0.0001	0.0012	0.7686	0.0001	0.0015	0.7765	0.0001

^zcomparación de medias en las columnas por Duncan, $p=0.05$.

Cuadro 3. Efecto de algunos tratamientos de fertilización sobre la producción y tamaño del fruto. Promedio de las cosechas 2003, 2004 y 2005 para los huertos Sánchez y Nájera.

Tratamiento	Producción total (kg árbol)	Producción según el tamaño de fruto (kg árbol)					C+S	P+E+SE
		Canica (C) <135 g	Segunda (S) 135-169 g	Primera (P) 170-210 g	Extra (E) 211-265 g	S. Extra (SE) >266 g		
Normal	139.4 a ^z	18.4 b	38.9	54.2 b	18.2 a	9.7 b	57.3	82.1 b
Alta	149.9 a	17.9 b	38.8	61.1 a	20.1 a	12.0 a	56.7	93.2 a
Control-1 (N, K+ allinaza)	116.8 b	21.6 ab	42.1	38.9 c	9.3 b	4.9 c	63.7	53.1 c
Control-2 (N, K)	123.7 b	22.9 a	43.5	40.5 c	11.3 b	5.5 c	66.4	57.3 c
Pr>F	0.0001	0.0218	0.2536	0.0001	0.0001	0.0001	0.3936	0.0001

^zcomparación de medias en las columnas por Duncan, $p=0.05$.

Efecto de la fertilidad del suelo en los Tres Huertos (cosechas 2003 a 2005)

Efecto de la fertilidad del suelo del huerto. La producción promedio de tres años en el huerto Ante superó en casi 15

kg árbol a la del huerto Sánchez, pero fue similar a la del huerto Nájera (Cuadro 4). El huerto Ante también presentó la mayor producción de fruto en los tamaños P+E+SE (86.6 kg árbol), comparado con el huerto Sánchez (75.2 kg árbol).

Cuadro 4. Efecto de la fertilidad del suelo de cada huerto sobre la producción y tamaño del fruto. Promedio de las cosechas 2003 al 2005 para los tratamientos mineral dosis normal, dosis alta y el control-2 (N y K).

Huerto	Producción total (kg árbol)	Producción según el tamaño de fruto (kg árbol)					C+S	P+E+SE
		Canica (C) <135 g	Segunda (S) 135-169 g	Primera (P) 170-210 g	Extra (E) 211-265 g	S. Extra (SE) >266 g		
Sánchez	134.9 b ^z	19.2	40.5	50.5 b	16.3	8.4	59.7	75.2 b
Ante	150.4 a	21.5	42.3	58.7 a	17.9	9.9	63.8	86.6 a
Nájera	140.4 ab	20.2	40.4	53.2 ab	16.8	9.7	60.6	79.8 ab
Pr>F	0.0130	0.3289	0.6133	0.0181	0.2302	0.1468	0.3295	0.0095

^zcomparación de medias en las columnas por Duncan, $p=0.05$.

Efecto de los tratamientos de fertilización en los tres Huertos por año de estudio (cosechas 2003, 2004 y 2005)

El análisis por año de las cosechas 2003, 2004 y 2005 de los tres huertos mostró que en todos los años los tratamientos con fertilización mineral, en dosis alta o normal, presentaron

la mayor producción de fruto y esta varió de 144.6 a 154.5 kg árbol, comparado con el control-2 (N, K) (Cuadro 5). Respecto al tamaño de fruto, la mayor producción de tamaños primera, extra y súper extra fue obtenida con la dosis alta la cual varió de 91.2 a 98.2 kg árbol, comparada con el control-2 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de todos los tratamientos evaluados sobre la producción y tamaño del fruto por año de estudio (cosechas 2003, 2004 y 2005) para los huertos Sánchez y Nájera.

Año	2003			2004			2005		
	Producción total (kg árbol)	Producción según el tamaño de fruto (kg árbol)		Producción total (kg árbol)	Producción según el tamaño de fruto (kg árbol)		Producción total (kg árbol)	Producción según el tamaño de fruto (kg árbol)	
C+S <135-169 g		P+E+SE 170->266 g	C+S <135-169 g		P+E+SE 170->266 g	C+S <135-169 g		P+E+SE 170->266 g	
Normal	144.6 a ^z	57.7 b	86.9 a	145.5 a	58.8 b	86.7 ab	146.2 ab	59.4 b	86.8 b
Alta	149.7 a	58.5 b	91.2 a	150.7 a	56.6 b	94.1 a	154.5 a	56.3 b	98.2 a
Control-2 (N y K)	126.2 b	67.4 a	58.8 b	127.4 b	70.3 a	57.1 c	132.5 c	71.4 a	61.1 c
Pr>F	0.0013	0.0134	0.0016	0.0010	0.0010	0.0011	0.0014	0.0012	0.0001

^zcomparación de medias en las columnas por Duncan, $p=0.05$.

Efecto de los tratamientos con fertilización. La fertilización dosis normal o alta presentó la mayor producción total de fruto, que varió de 145.4 a 151.6 kg árbol, respecto al control-2 (N, K) (128.7 kg árbol) (Cuadro 6). Los árboles que recibieron la fertilización dosis alta mostraron la mayor producción

de fruto grande (P+E+SE) (95.9 kg árbol), seguido por los tratamientos de mineral normal y el control-2 (Cuadro 6). La mayor producción acumulada en el período 2003-2005 se obtuvo con los tratamientos de fertilización dosis alta y normal (443.1 y 422.4 kg árbol, respectivamente).

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos de fertilización mineral sobre la producción y tamaño del fruto. Promedio de las cosechas 2003 a 2005 para los huertos Sánchez, Ante y Nájera.

Tratamiento	Producción total (kg árbol)	Producción según el tamaño de fruto (kg árbol)					C+S	P+E+SE
		Canica (C) <135 g	Segunda (S) 135-169 g	Primera (P) 170-210 g	Extra (E) 211-265 g	S. Extra (SE) >266 g		
Normal	145.4 a ^z	18.8 b	39.7 b	58.0 a	18.6 b	10.1 b	58.6 b	86.8 b
Alta	151.6 a	17.6 b	38.1 b	62.4 a	20.8 a	12.6a	55.7 b	95.9 a
Control -2 (N y K)	128.7 c	24.5 a	45.3 a	41.9 b	11.6 c	5.4 c	69.8 a	58.9 c
Pr>F	0.0001	0.0001	0.0031	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

^zComparación de medias en las columnas por Duncan, $p=0.05$.

Estado nutricional foliar

Cuatro años después (septiembre 2005) del inicio de este estudio, en el huerto Sánchez fue realizado un muestreo foliar para comparar el efecto a mediano plazo de los tratamientos de fertilización dosis normal y dosis alta, control-1 y el control-2. El diagnóstico nutricional foliar mostró

valores Normales de N, Ca, Mg y S, para los cuatro tratamientos evaluados (Figura 1). En el caso del P, el control-2 mostró valores abajo de lo normal, comparado con los otros tres tratamientos. Para el K, se observó un incremento en la concentración foliar conforme se incrementó la cantidad de potasio aplicado; sin embargo, los cuatro tratamientos fueron ubicados como debajo de lo normal.

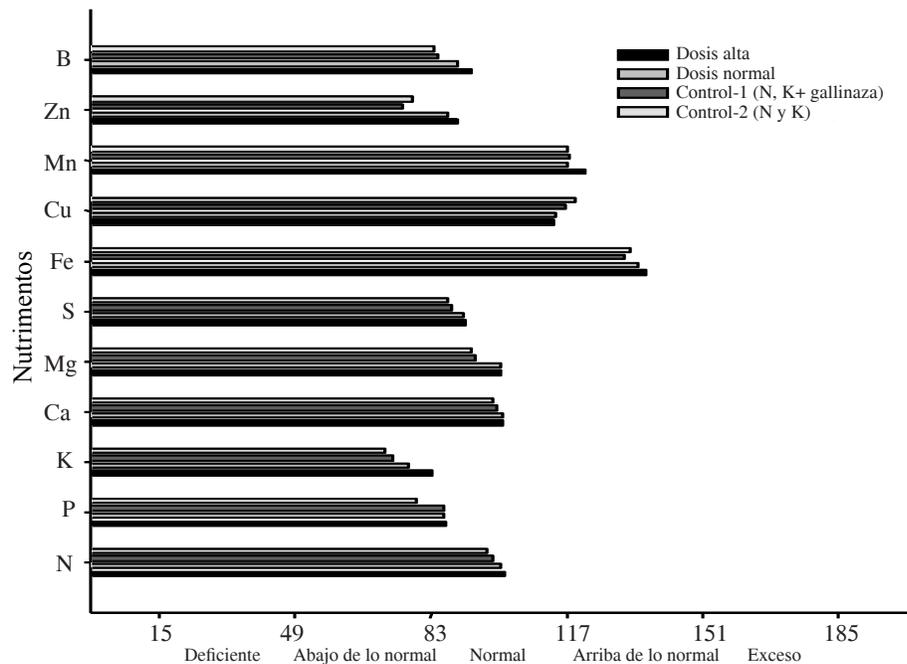


Figura 1. Diagnóstico nutricional foliar cinco años después del inicio de la aplicación de tratamientos de fertilización en el huerto Sánchez.

Los tratamientos con fertilización dosis normal y alta mostraron valores normales de Zn, mientras que en los dos tratamientos controles los valores fueron abajo de lo normal. En el caso del B, los cuatro tratamientos fueron ubicados como normales, aunque los tratamientos de fertilización normal y alta mostraron mejores niveles de este nutriente (Figura 1).

Características del suelo de los huertos

Los suelos de los huertos Sánchez y Ante pertenecen a los Andosoles húmicos y poseen una textura migajón arenosa. Por su parte, el suelo del Huerto Nájera es un Feozem con textura migajón arcillo arenosa.

Al inicio del estudio (mayo 2001) los suelos de los tres huertos presentaron pH 5.5 a 6.4 y en general, mostraron niveles debajo de lo normal de macro- y micronutrientes en los primeros 30 cm de profundidad (Cuadro 7). Cinco años después (mayo 2006), fue notoria

una disminución en el pH del suelo, así como un incremento en los niveles de todos los macro- y micronutrientes, incluyendo aquellos que no formaron parte de los tratamientos aplicados, como lo es el caso del Fe, Mn y Cu (Cuadro 7).

Cuadro 7. Características del suelo (0-30 cm) de los huertos experimentales al inicio (2001) y cinco años (2006) después de la continua aplicación del tratamiento de fertilización mineral dosis alta (Cada dato es el promedio de cinco árboles).

	Muestreo inicial (mayo 2001)			Muestreo final (mayo 2006)		
	Huerto Sánchez	Huerto Ante	Huerto Nájera	Huerto Sánchez	Huerto Ante	Huerto Nájera
pH (1:2 H ₂ O)	5.51 (Fuert. ácido)	5.85 (Mod. ácido)	6.46 (Mod. ácido)	4.80 b ^z (Fuert. Ác)	5.85 a (Mod. Ác.)	4.76 b (Fuert. Ác.)
M. O. (%)	4.89 (MA)	4.16 (MA)	3.14 (A)	6.73 a (MA)	5.30 b (MA)	5.71 b (MA)
	mg kg ⁻¹					
N-NO ₃	17.25 (Me)	4.01 (B)	3.27 (MoB)	84.21 a (N)	72.39 a (N)	80.79 a (N)
P-Bray	1.08 (MB)	9.58 (MoB)	5.58 (B)	4.32 a (B)	13.7 a (MoB)	7.01 a (B)
K	270 (MoB)	300.5 (M)	300 (MoB)	689.8 a (A)	805.4 a (A)	672.9 a (A)
Ca	663 (B)	1204.5 (MoB)	736 (MoB)	1010.6 a (MoB)	903.2 a (MoB)	1077.5 a (MoB)
Mg	253 (MoB)	420.5 (M)	262.6 (MoB)	158.40 a (MoB)	153.65 a (MoB)	128.87 a (MoB)
Na	14.6 (MB)	13.8 (MB)	16.85 (MB)	13.28 a (MB)	19.92 a (MB)	20.32 a (MB)
Fe	0.30 (B)	1.11 (B)	1.9 (B)	15.44 b (MoA)	23.85 a (MoA)	18.50 b (MoA)
Zn	1.66 (B)	3.13 (B)	2.87 (B)	21.19 a (MA)	10.32 a (MA)	19.80 a (MA)
Mn	2.1 (B)	2.45 (B)	2.65 (B)	29.06 ab (A)	17.12 b (MoA)	36.66 a (A)
Cu	1.17 (M)	0.30 (B)	0.36 (B)	1.26 a (MoA)	2.01 a (A)	0.53 a (MoB)
B	1.08 (B)	0.64 (B)	0.52 (B)	1.54 a (MoA)	1.06 a (MoB)	1.36 a (M)

A= alto; MoA= moderadamente alto; MA= muy alto; M= mediano; B= bajo; MoB= moderadamente bajo; MB= muy bajo; N= normal; Me= mediano. ^zcomparación de medias en las hileras (para el muestreo final), por Duncan, $p=0.05$.

Análisis Económico

Los tratamientos de fertilización más redituables fueron la dosis normal y dosis alta. Adicional al incremento en el tamaño

del fruto, estos tratamientos incrementaron el rendimiento en 3.1 y 4.2 t ha, respectivamente. El beneficio neto por hectárea de la fertilización dosis alta vs. dosis normal fue de \$ 10 738, y vs. la fertilización control fue de \$ 52 424 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comparación económica de los mejores tratamientos de fertilización contra el control (mineral).

Concepto	Tratamientos		
	Control	Mineral normal	Mineral alta
Rendimiento total de fruto (t ha) ^z	23 938	27 044	28 197
Rendimiento de fruto tamaños P+E+SE (t ha)	10 955	16 144	17 837
Precio (\$ t)	10 000	10 000	10 000
Ingreso bruto (\$ ha)	109 500	161 440	178 370
Rendimiento de fruto tamaños C+S (t ha)	12 983	10 900	10 360
Precio (\$ t)	4 000	4 000	4 000
Ingreso bruto (\$ ha)	51 932	43 600	41 440
Ingreso bruto (P+E+SE) + (C+S) (\$ ha)	161 432	205 040	219 810
Costo del fertilizante más su aplicación (\$ ha)	6 524	8 446	12 478
Ingreso neto (\$ ha)	154 908	196 594	207 332
Beneficio neto según el nivel de fertilización empleado (\$ ha) ^y		+ 41 686	+ 52 424
Diferencia entre el uso de la fertilización alta y normal (\$ ha)			+ 10 738

^zpromedio de las cosechas 2003, 2004 y 2005, ^ymenos otros costos de producción.

DISCUSIÓN

Los suelos de los huertos experimentales mostraron una variación de pH entre 4.7 a 6.4, lo cual es considerado como aceptable para el cultivo del aguacate (Salazar-García, 2002). La continua adición de fertilizante (dosis alta) incrementó los niveles de los nutrimentos aplicados, como fue el caso del N-NO₃, P, K, Zn y B. En general, la mayor concentración de nutrimentos en el suelo causó un incremento en los niveles foliares de dichos nutrimentos. Sin embargo, desde el punto de vista del diagnóstico nutrimental foliar no siempre hubo diferencias.

Las producciones más bajas fueron obtenidas con los dos tratamientos de control. El que la adición de gallinaza a la fertilización mineral no haya mejorado la producción o el tamaño del fruto pudiera deberse a un problema de salinidad temporal (la gallinaza se aplica uno a dos meses previo a las lluvias) o toxicidad por exceso de los iones Na⁺ y Cl⁻ que contiene la gallinaza local y que ha sido mencionado por Salazar-García (2002). Los resultados de este estudio evidencian que los tratamientos control-1 (N, K+ gallinaza) o control-2 (N, K) empleados por muchos productores de 'Hass' de los municipios de Tepic y Xalisco fue insuficiente para obtener altas producciones de frutos de tamaños grandes y mayor valor comercial.

El máximo rendimiento de fruto fue obtenido con el tratamiento de fertilización dosis alta que consistió en la aplicación por árbol de 2.140 kg N, 0.742 kg P₂O₅, 2.520 kg K₂O, 810 g Zn y 94.30 g B. Su equivalente, para un huerto con 156 árboles por hectárea fue: 333.84 kg N, 115.752 kg P₂O₅, 393.12 kg K₂O, 126.36 kg Zn y 14.711 kg B) y resultó en un rendimiento promedio para tres años (2003 al 2005) de 28.197 t ha⁻¹ (Cuadro 6). En Michoacán se evaluó durante cinco años la respuesta del cv. Hass a la aplicación por hectárea (con 100 árboles) de: 200 kg N, 200 kg P₂O₅ y 100 kg K₂O, obteniéndose un rendimiento de 16.7 t ha⁻¹ (promedio de cinco años), comparado con 11.6 t ha⁻¹ para árboles sin fertilización (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1996).

El enfoque de fertilización de sitio específico ha sido empleado exitosamente en cultivos como maíz y soya (Malzer, 2000; Rodríguez *et al.*, 2008) y es un enfoque muy prometedor. Sin embargo, a excepción de las primeras investigaciones realizadas en aguacate por Salazar-García y Lazcano-Ferrat (2003) no se encontraron reportes sobre este tema en aguacate. Un trabajo similar fue realizado en China,

en donde fue evaluada la respuesta del mango (*Mangifera indica* L.) a la fertilización de sitio específico (N, P, K, Mg y S). El máximo rendimiento de fruto fue obtenido con la aplicación por árbol por año de 400 g N, 125 g P₂O₅, 320 g K₂O, 40 g Mg y 80 g S, lo cual resultó en un rendimiento de 15.2 t ha (Xiuchong *et al.* 2001).

CONCLUSIONES

La fertilidad del suelo de los huertos y el contenido nutrimental foliar de los árboles de 'Hass' fue mejorada con el tratamiento de fertilización dosis alta. La fertilización mineral incrementó de manera más consistente la producción y tamaño del fruto que el biofertilizante. La fertilización basada en N y K, sola o complementada con gallinaza no mejoró la producción y tamaño del fruto. Considerando la producción, tamaño del fruto y el análisis económico, es tratamiento de fertilización dosis alta, que consistió en la aplicación anual por árbol de 2.140 kg N, 0.742 kg P₂O₅, 2.520 kg K₂O, 810 g Zn y 94.30 g B, fue el mejor para incrementar la productividad del aguacate 'Hass' en Nayarit.

AGRADECIMIENTOS

Al financiamiento del SIMORELOS-CONACYT, Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del estado de Nayarit, Fundación Produce Nayarit, Húmicos de Nayarit S. A. de C. V. Los autores también agradecen a Alberto Ante (Venustiano Carranza), Juan Nájera (La Yerba) y Juan Manuel Sánchez (Xalisco) por facilitar sus huertos para esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguilera-Montañez, J. L. y Salazar-García, S. 1996. Efecto del Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el rendimiento y tamaño del fruto de aguacate. INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Uruapan. Michoacán México. 24 p. (Folleto Técnico Núm. 12).
- Cossio-Vargas, L. E.; Salazar-García, S.; González-Durán, I. J. L. y Medina-Torres, R. 2008. Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. Revista Chapingo Serie Horticultura 14:153-159.

- Kenworthy, A. L. 1973. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. pp. 381-392. *In*: Walsh, L. M. and J. D. Beaton (eds.) Soil testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Madison WI.
- Malzer, G. 2000. Maximizing the profitability of site-specific nutrient management in a corn-soybean rotation. Potash & Phosphate Institute/Foundation for Agronomic Research Annual Report.
- Rodríguez, J.; González, A. M.; Rodrigo-Leiva, F. y Guerrero, L. 2008. Site-specific soil fertilization in maize crop (*Zea mays* L.) at Bogota plateau. Agron. Colomb. (Consulta julio, 2008).
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto de la Potasa y el Fósforo. Querétaro, México. 165 p.
- Salazar-García, S. y Lazcano-Ferrat, I. 1999. Diagnóstico nutrimental del aguacate bajo condiciones de temporal. Rev. Chapingo Serie Horticultura Número Especial 5:173-184.
- Salazar-García, S. and Lazcano-Ferrat, I. 2003. Site specific fertilization increased yield and fruit size in 'Hass' avocado. Better Crops International 17(1):12-15.
- Salazar-García, S. and Lazcano-Ferrat, I. 2003. La fertilización en "sitio específico" incrementa los rendimientos y el tamaño de la fruta del aguacate en México. Actas del V Congreso Mundial del Aguacate. Granada-Málaga, España. 19 al 24 de Octubre 2003. Vol. I:373-377.
- Salazar-García, S.; González-Durán, I. J. L. y Cossio-Vargas, L. E. 2009. Sistema para el diagnóstico nutrimental foliar del aguacate 'Hass' en Nayarit, México. INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. (programa de cómputo Núm. 4).
- Xiuchong, B. Z.; Guojian, L.; Jianwu Y.; Shaoying, A. and Lixian Y. 2001. Balanced fertilization on mango in Southern China. Better Crops International 15(2):16-20.