

---

# MANEJO DE LA FERTILIZACION DEL AGUACATE

## (Primera Parte)

*Samuel Salazar-García<sup>1</sup>*

### Fertilización Mineral

En la actualidad, se usan ampliamente fertilizantes para suministrar los nutrientes necesarios a la mayoría de los cultivos. Todavía existe mucha confusión respecto a que si la fertilización inorgánica, basada en fertilizantes producidos sintéticamente, es mejor que la orgánica. Sin embargo, los nutrientes siempre son absorbidos por las raíces de las plantas en las mismas formas iónicas, independientemente de si provienen de fuentes orgánicas o inorgánicas. Por otra parte, después de que los iones han sido absorbidos por las raíces, las rutas y procesos metabólicos son los mismos, no siendo posible de distinguir la fuente que aportó los nutrientes.

Las principales ventajas que han hecho popular a la fertilización mineral son:

1. Alta concentración: la elevada concentración de nutrientes hace bajo el costo por unidad de nutriente aplicado.
2. Contenido específico: se puede aplicar para cubrir la necesidad de un nutriente en particular.
3. Alta disponibilidad: están disponibles más rápidamente para la planta.
4. Fácil manejo: se pueden aplicar en las etapas requeridas por la planta.
5. Versatilidad: es posible preparar mezclar con el balance necesario para un buen crecimiento de la planta.

Algunas de las desventajas son:

1. Peligro de usar más fertilizante del requerido. Esto puede causar toxicidad a la planta y contaminación de suelos y aguas subterráneas.
2. Requiere de entrenamiento para usarlos efectivamente.

En relación con la fertilización del aguacate, es importante considerar que nada sustituye un buen diagnóstico que considere aspectos de suelo, planta, clima y manejo del huerto. También, es necesario considerar que es arriesgado tratar de dar recomendaciones de fertilización válidas para cualquier condición de cultivo. La variación en los tipos de suelo y su fertilidad justifica por sí sola la necesidad de disponer de recomendaciones de fertilización por sitio específico para cada zona o región.

---

<sup>1</sup> Tomado de: Salazar-García, S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. INPOFOS, INIFAP. Querétaro, México.

---

---

Más aún, las recomendaciones de fertilización deberían de ser afinadas para cada huerto o sección de él. Es conveniente hacer estudios sencillos de afinación de las dosis recomendadas por técnicos con experiencia, considerando una metodología apropiada.

Para establecer estos estudios de fertilización es necesario contar con información que sirva de punto de partida para determinar las dosis a evaluar. En las secciones siguientes se incluyen diversas experiencias y métodos para calcular las necesidades de fertilización considerando, entre otros factores, la fertilidad del suelo, los análisis foliares y la cantidad de nutrimentos removidos por una cosecha potencial de aguacate. Cuando se mencionan cantidades de fertilizantes, éstas no constituyen una recomendación, más bien se proporcionan como una guía para experimentar cantidades arriba y abajo de la dosis indicada. Es necesario notar que las etiquetas de los fertilizantes comerciales pueden mostrar variaciones en el contenido del nutrimento de interés. Esto se puede deber a que en ocasiones se indica el contenido del elemento, (Zn) o sus óxidos, ejemplo (ZnO).

El objetivo fundamental de la fertilización debe ser el de evitar desequilibrios nutrimentales para lograr y mantener la máxima productividad del huerto, sin deterioro del medio ambiente.

## Magnesio (Mg)

La fertilización con Mg no es muy común en aguacate, sin embargo, el papel de este nutrimento es fundamental en la transferencia de energía en la planta y además es un componente de la molécula de clorofila. Adicionalmente, para producir 30 toneladas de aguacate Hass son necesarios casi 9 kg de Mg.

A continuación se presenta un ejemplo del método utilizado para calcular las necesidades de fertilización para los productores de aguacate de Nayarit. La información del análisis químico del suelo ha sido tomada de la **Tabla 1** y corresponde a un huerto de aguacate Hass de 12 años de edad, establecido a 8 x 8 m en cuadro y cultivado sin riego en el Municipio de Tepic, Nayarit.

**Requerimientos de Mg.**- Para mantener la productividad del huerto es necesario regresar al suelo al menos la cantidad de nutrimentos que fueron removidos por el fruto. El cálculo de la dosis de fertilización basado en la remoción de nutrimentos puede mejorarse si se conoce o se hace una buena estimación de la cantidad de nutrimentos invertidos en el crecimiento anual, tanto vegetativo como de las raíces, la cantidad de nutrimentos perdidos por la abscisión de flores, frutillos y hojas, así como las pérdidas de fertilizante debido al lavado, volatilización, fijación y acción microbiana (eficiencia de la fertilización).

$\text{Requerimientos de Mg (RMg)}$ $= \frac{\text{Remoción - Aporte del suelo}}{\text{Eficiencia de fertilización}}$ <ul style="list-style-type: none"><li>• Remoción por 30 Ton de fruto = 9 kg Mg</li><li>• Aporte de Mg por el suelo = 420.5 ppm</li></ul>
--

Un nivel de Mg deseable para este tipo de suelo, según su CIC (**Anexo 1**) es 160 ppm. Por lo tanto, se hará solamente fertilización de mantenimiento para restituir el magnesio removido por la cosecha.

---

**Manejo de la fertilización.**- Las aplicaciones subsecuentes de Mg pueden calibrarse con los resultados del análisis foliar y la cantidad de Mg aplicada el año anterior. Si los niveles de Mg en la hoja están en el intervalo normal puede continuarse aplicándose la misma cantidad de fertilizante.

**Fuentes de Mg.**- En e la **Tabla 2** se presentan las principales fuentes de Mg. La decisión sobre cuál fuente de Mg utilizar dependerá principalmente de su solubilidad. Por ejemplo, el carbonato de magnesio ( $MgCO_3$ ) no es soluble en suelos neutros o alcalinos por lo que la disponibilidad de Mg será muy baja. El carbonato de calcio y magnesio (cal dolomítica) se comporta de manera similar al carbonato de magnesio y no debe usarse en suelos neutros o alcalinos.

- Eficiencia de fertilización = 0.7
- $RMg = \frac{9 \text{ kg Mg}}{0.7} = 12.9 \text{ kg de Mg}$

La fertilización se aplicará una sola vez, al inicio del periodo de lluvias:

### **Julio**

Fuente de fertilizante: SulPoMag (11% de Mg).  
Para sacar este valor favor de referirse al **Anexo 2**

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg de SulPoMag} & - & 11 \text{ kg Mg} \\ X & - & 12.9 \text{ kg Mg} \end{array}$$

$$X = 117 \text{ kg SulPoMag}$$

117 kg SulPoMag/156 árboles = 0.750 kg de SulPoMag/árbol

Esta cantidad es para una gotera de 6 m de diámetro y 28 m<sup>2</sup> de área.

Las fuentes más solubles de Mg en un amplio rango de pH son los sulfatos. Estos materiales proveen azufre (S) y Mg, en el caso del sulfato doble de potasio y magnesio o sulpomag (producto derivado de la langbeinita) se obtienen tres nutrientes: potasio (K), Mg y S. Los sulfatos son muy convenientes cuando se busca balancear al calcio (Ca) y K con el Mg y su solubilidad no es muy afectada por la alcalinidad del suelo, de hecho, el ión sulfato ( $SO_4^-$ ) ayudar a eliminar el sodio (Na) o Ca en exceso.

**Época de aplicación del Mg.**- El Mg puede aplicarse durante todo el año si se dispone de riego y puede fraccionarse en dos aplicaciones. El inicio de la temporada de lluvias es la época apropiada para aplicar el total del Mg en huertos que no disponen de riego.

**Tabla 1. Resultados analíticos de una muestra de suelo (profundidad 0-30 cm) de un huerto de aguacate Hass del Municipio de Tepic, Nayarit**

Nombre: Alberto Ante Bermúdez		Lugar: Venustiano Carranza					
Determinación	Resultado		Interpretación				
Arena (%)	62						
Arcilla (%)	17						
Limo (%)	21						
Textura	Migajón Arenoso						
Saturación (%)	73.7		Muy alto				
C.C. (%)	40.9						
PMP	20.4						
pH (1:2 agua)	5.85		Moderadamente ácido				
Materia orgánica (%)	4.16		Muy alto				
N-NO <sub>3</sub> (ppm)	4.01		Bajo				
P-Bray (ppm)	9.58		Moderadamente bajo				
Potasio (ppm)	300.5		Mediano				
Calcio (ppm)	1204.5		Moderadamente bajo				
Magnesio (ppm)	420.5		Mediano				
Sodio (ppm)	13.8		Muy bajo				
Hierro (ppm)	1.11		Bajo				
Zinc (ppm)	3.13		Bajo				
Manganeso (ppm)	2.45		Bajo				
Cobre (ppm)	0.30		Bajo				
Boro (ppm)	0.64		Mediano				
Base de saturación							
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>+</sup>	CIC
%	57.7	33.3	7.4	0.55	1.05	N.D.	
Meq/100g (cmol/kg)	6.01	3.46	0.765	0.06	0.11	N.D.	10.40

**Forma de aplicación del Mg.-** La efectividad de la fertilización al suelo se incrementa si el fertilizante es aplicado apropiadamente. Si se dispone de riego, el fertilizante puede ser aplicado a través del sistema de emisores, buscando cubrir la mayor superficie del área de proyección de la copa del árbol. Si el riego se realiza con mangueras o por inundación, es conveniente aplicar el fertilizante dentro del cajete. En cualquier caso, hay que procurar que las láminas de sobre riego no coincidan con las aplicaciones de fertilizante. Si no se dispone de riego, el fertilizante puede ser aplicado en forma manual o con maquinaria, incorporándolo en la zona de mayor crecimiento de raíces, que normalmente es la periferia de la copa del árbol.

**Tabla 2. Fuentes de magnesio**

Fertilizantes	Fórmula	Porcentaje			
		K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	S
Sulfato de magnesio (Kieserita)	MgSO <sub>4</sub>		25		19.9
Sulfato de magnesio heptahidratado (Sales Epson)	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O		16		13
Carbonato de magnesio	MgCO <sub>3</sub>			41-50	
Óxido de magnesio (Magnesita calcinada)	MgO		90-95		
Cal dolomita	CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub>		14-17	27-32	
Sulfato doble de potasio y magnesio (SulPoMag)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · MgSO <sub>4</sub>	22	18		22

## Potasio (K)

Se consideró por muchos años como rara la deficiencia de K, sobre todo en huertos jóvenes de aguacate. Sin embargo, a medida que la edad de los árboles avanzó, se fue observado el descenso en la cantidad de K disponible en los suelos de los huertos. Por ejemplo, resultados del muestreo foliar de huertos jóvenes y viejos de aguacate indicaron que los huertos viejos tenían una concentración menor de K que los huertos jóvenes (Oppenheimer et al., 1969), como consecuencia de la remoción gradual de K en un mismo sitio a través de los años.



**Figura 1. Ataques severos de barrenador de ramas (*Copturus aguacatae* Kissinger) han sido relacionadas con desequilibrios nutrimentales, principalmente concentraciones de K en la hoja menores a lo normal. Fotografía del autor.**

La deficiencia de K en aguacate puede detectarse no solamente por sus síntomas típicos en la hoja, sino también por el incremento en la susceptibilidad del árbol al ataque de plagas, como el caso del barrenador de ramas en Atlixco, Puebla (**Figura 1**).

Al igual que en otros frutales, la mayoría de los experimentos de fertilización con K en aguacate han mostrado pocos resultados significativos en el corto plazo.

Las aplicaciones de K al suelo en ocasiones tardan más de tres años en mostrar los primeros resultados. Por ejemplo, en un huerto experimental de aguacate Hass en Michoacán, el rendimiento promedio de nueve años fue de 14 t/ha para árboles fertilizados solamente con nitrógeno (N) y fósforo (P) (**Tabla 3**), mientras que en los árboles que además de N y P recibieron K, el rendimiento fue 17% superior (16.8 t/ha). Esto demuestra que la respuesta a la fertilización con K es aparente a largo plazo e incrementa el rendimiento del fruto.

**Tabla 3. Rendimiento medio de ocho cosechas (1988-97) de árboles de aguacate Hass fertilizados con cantidades variables de potasio durante nueve años en Michoacán, México. Información no publicada de Aguilera-Montañez (1996)<sup>1</sup>.**

	Tratamientos (kg N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O/árbol/año)		
	2-2-0	2-2-1	2-2-2
Rendimiento (t/ha/año)	14.0	16.8	16.7

<sup>1</sup> José Luís Aguilera-Montañez. Investigador del INIFAP-Michoacán.

Requerimientos de K (RK) en K<sub>2</sub>O/ha

$$= \frac{\text{Remoción} - \text{Aporte del suelo}}{\text{Eficiencia de fertilización}}$$

- Remoción por 30 ton de fruto = 117 kg K, Esto es = 140 kg de K<sub>2</sub>O (ver Anexo 2).
- Aporte de K por el suelo: Contenido de K en el suelo = 300.5 ppm.
- Eficiencia de fertilización = 0.8
- Requerimiento de potasio (K<sub>2</sub>O)  

$$= \frac{140 \text{ kg K}_2\text{O}}{0.8 \text{ kg}} = 175 \text{ kg de K}_2\text{O/ha}$$

La fertilización debe fraccionarse en dos aplicaciones, 50% del total del fertilizante en cada una de ellas, lo que equivale a 87.5 kg de K<sub>2</sub>O en cada fertilización.

Ejemplo:

Primera aplicación: Julio

Fuente de fertilizante: Sulfato de potasio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 50% K<sub>2</sub>O)

La aplicación de 117 kg de SulPoMag (22% K<sub>2</sub>O) recomendada anteriormente para suministrar Mg entrega también 25,7 kg de K<sub>2</sub>O, entonces:

**Requerimientos de K.-** Existe la creencia generalizada de que los suelos aguacateros de México son ricos en K y que no es necesaria la fertilización con este nutriente. Este puede ser un concepto erróneo para la mayoría de los suelos donde se cultiva aguacate. Por ejemplo, en Nayarit, los diagnósticos foliares realizados en suelos que contenían niveles superiores a lo normal de K mostraron niveles foliares de K menores a lo normal (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 1999), y los síntomas típicos de la deficiencia de este importante nutriente en los árboles y fruto estuvieron presentes. Lo anterior justifica la necesidad de realizar investigación en aguacate para buscar las mejores relaciones entre la disponibilidad de K en el suelo, el contenido de K en los tejidos y el rendimiento, tamaño o calidad del fruto.

Como ejemplo de cálculo para obtener la cantidad de K a aplicar se toman los resultados del análisis de suelo del **Tabla 1**. Al igual que con los demás nutrientes, si los análisis de suelo indican que existe un contenido alto de K, es recomendable aplicar al menos la cantidad de K removida por la cosecha.

Continuación.....

87.5 - 25.7 = Se necesitan 61.8 kg de K<sub>2</sub>O

$$\begin{array}{l} 100 \text{ g K}_2\text{SO}_4 - 50 \text{ kg K}_2\text{O} \\ x - 61.8 \text{ kg K}_2\text{O} \end{array}$$

$$x = 123.6 \text{ kg de K}_2\text{SO}_4$$

$$\frac{123.6 \text{ kg K}_2\text{SO}_4}{156 \text{ árboles/ha}} = 0.792 \text{ kg K}_2\text{SO}_4$$

Esta cantidad es para una gotera de 6 m de diámetro y 28 m<sup>2</sup> de área.

Segunda aplicación: Septiembre

Fuente de fertilizante: Sulfato de potasio (50% K<sub>2</sub>O)

Se requiere aplicar 87.5 kg de K<sub>2</sub>O

$$\begin{array}{l} 100 \text{ kg K}_2\text{SO}_4 - 50 \text{ kg K}_2\text{O} \\ x - 87.5 \text{ kg K}_2\text{O} \end{array}$$

$$\frac{175 \text{ kg K}_2\text{SO}_4}{156 \text{ árboles/ha}} = 1.122 \text{ kg K}_2\text{SO}_4$$

Esta cantidad es para una gotera de 6 m de diámetro y 28 m<sup>2</sup> de área.

Un nivel deseable para este tipo de suelo, según el **Anexo 1** es 195 ppm. Por lo tanto, se hará Una aplicación de mantenimiento para restituir únicamente el K removido por la cosecha y mantener el buen balance de K/Mg y de K/Ca.

**Manejo de la fertilización.**- En el caso de K, los análisis foliares deben usarse para detectar trastornos en los niveles de K y puedan ser corregidos oportunamente mediante la modificación de las dosis, fuentes, formas o épocas de aplicación del fertilizante. Las dosis inicialmente calculadas de acuerdo al análisis del suelo y la remoción por la cosecha deben considerarse como punto de partida para evaluar dosis de fertilización abajo y arriba de este punto. Los efectos de la fertilización con K se pueden observar después de varios años por lo que hay que procurar que los niveles de K en el follaje se mantengan en el nivel normal para prevenir reducciones en el rendimiento o calidad del fruto.

**Fuentes de K.**- El cloruro de potasio (KCl) es la fuente de fertilizantes más común (**Tabla 4**). Una vez agregado al suelo es disociado en los iones K<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>. Dada la sensibilidad del aguacate al exceso de Cl<sup>-</sup> es recomendable usar otras formas de fertilizante que no tengan Cl<sup>-</sup> cuando el suelo presente mal drenaje o excesos de sodio. El sulfato de potasio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) es una alternativa, su comportamiento en el suelo es muy parecido al del KCl, aunque además de proporcionar K, también proporciona S. Otro fertilizante es el sulfato doble de potasio y magnesio, conocido como SulPoMag, el cual reacciona como una sal neutra cuando es aplicado al suelo, y además de K y S provee Mg.

**Tabla 4. Fuentes de potasio**

Fertilizantes	Fórmula	Porcentaje				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg O	S
Cloruro de potasio	KCl			60-62		
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	13.5		50		17-18
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	15		44-45		
Nitrato de potasio y sodio	KNO <sub>3</sub> + NaNO <sub>3</sub>			14		
Sulfato doble de potasio y magnesio (SulPoMag)	K <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> . MgSO <sub>4</sub>			22	18	22

**Época de aplicación del K.-** Según estudios realizados por Zilberstaine et al. (1992), la absorción de K por las raíces de aguacate ocurre a mayor velocidad en los ápices (de color claro) de las raíces finas. Sin embargo, las raíces jóvenes recientemente suberificadas (de color café) realizan la mayor absorción, ya que son las más abundantes (proporción aproximada 1:50). Cuando existe suficiente potasio en la solución del suelo, su absorción por las raíces es a través de un mecanismo pasivo; sin embargo, cuando las concentraciones internas o externas de K son deficientes, el mecanismo de absorción podría ser activo (Cheesman y Hanson, 1979).



**Figura 2.** La eficiencia de la aplicación de fertilizantes es mayor cuando coincide con la abundancia de raíces jóvenes activas. Esto es válido para huertos con o sin riego. Fotografía del autor.

Cuando la humedad del suelo es deficiente, la absorción del K por la planta se reduce, debido a que la falta de humedad reduce la movilidad del K en el suelo, además de reducir drásticamente el crecimiento de las raíces. Por esta razón, la fertilización con K en huertos que no disponen de riego debe realizarse en forma fraccionada, al inicio y término de la época de lluvias, épocas en las que hay mayor crecimiento de raíces (**Figura 2**).

Si la humedad del suelo no es un factor limitante, el crecimiento de las raíces del aguacate está regulado principalmente por la temperatura del suelo y la ocurrencia de flujos de crecimiento en la parte aérea. En esta situación, debe aplicarse la mayor parte del fertilizante potásico al menos un mes antes del inicio de los flujos de crecimiento vegetativo y de raíces. De esta forma se mejora la eficiencia de la fertilización al hacer más disponible el fertilizante para el árbol.

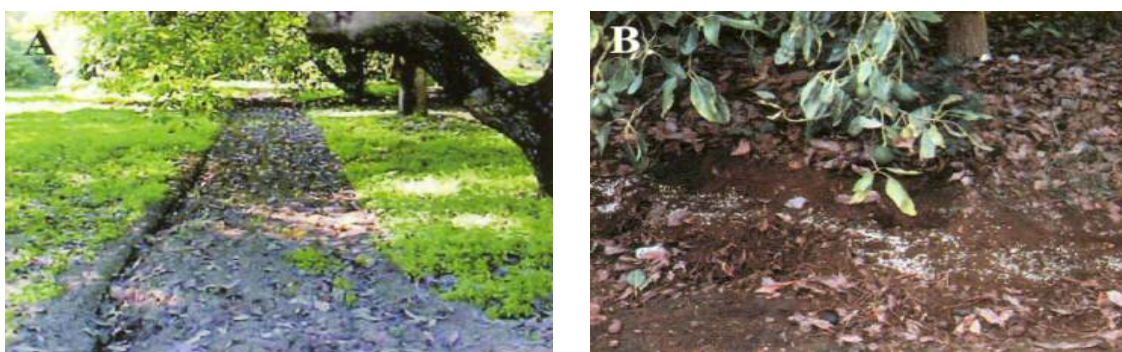
---

**Forma de aplicación del K.-** El K se encuentra en la solución del suelo en forma de catión univalente ( $K^+$ ), por lo tanto, la retención del K en el suelo depende de su capacidad de intercambio catiónico. Por esta razón, en suelos arenosos el arrastre del K a capas más profundas del suelo puede ser un problema. Las concentraciones foliares de K de aguacate creciendo en suelos con mayor proporción de arcillas son frecuentemente más altas que las de suelos arenosos (Oppenheimer et al., 1969), presumiblemente debido a la mayor capacidad de intercambio catiónico de los suelos más pesados.

Para incrementar la eficiencia de la fertilización con K en suelos arenosos es conveniente fraccionar las aplicaciones. Esto evita que el fertilizante se pierda por arrastre, lejos de la zona de raíces. Es recomendable que el suelo no tenga deficiencias de humedad. Si el huerto no dispone de riego, es conveniente realizar algunas prácticas para mantener la humedad del suelo por mayor tiempo, por ejemplo, el uso de cubiertas vegetales (cascarilla de café, pajilla de fríjol, bagazo de caña, etc.), estiércoles, o acolchados con plástico. Una buena práctica es dejar que la hojarasca se acumula bajo los árboles, aunque esto debe ser valorado por el posible riesgo de incendios, la presencia de serpientes u hormigas y otras plagas que podrían vivir o reproducirse en el suelo.

No es muy común que el aguacate se desarrolle satisfactoriamente en suelos pesados de textura arcillosa y fijadores de K. Sin embargo, en estos suelos sería recomendable aplicar el fertilizante, ya sea en zanjas u hoyos, en la zona de mayor crecimiento de raíces, normalmente en la periferia de la copa del árbol.

Solamente una pequeña porción del K aplicado al suelo es absorbida por el árbol a través del contacto directo de las raíces con las partículas de suelo. El movimiento del K por flujo de masas es por lo tanto el medio más importante para que la planta cubra sus necesidades. El movimiento del K en el suelo está directamente relacionado con el gradiente de concentración, lo que hace importante el mantener un constante suministro de K en la zona de raíces. La fertilización con K al suelo debe incorporarse, ya sea con maquinaria o en forma manual (**Figura 3**). En suelos arenosos es más recomendable fraccionar la fertilización potásica en dos o tres partes.



**Figura 3.** Una forma de optimizar la eficiencia de la fertilización al suelo, sobre todo con potasio y fósforo, es hacerlo en: (A) Franjas a lo largo de las filas de árboles (si la pendiente del terreno lo permite) o (B) alrededor de cada árbol. En ambos casos es importante cubrir o incorporar el fertilizante aplicado. Fotografía del autor.

---

---

Las aplicaciones foliares podrían suministrar nutrimentos en épocas cuando éstos no pueden ser tomados por las raíces. Las aspersiones con nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) en dosis de 0.5 a 4% son muy usadas en árboles frutales, ya sea para estimular la floración o como fertilizante foliar. En aguacate, soluciones de  $\text{KNO}_3$  en concentraciones mayores a 1% pueden causar quemaduras de los ápices y bordes de las hojas por su acción salina.

No se ha estudiado intensivamente el efecto de aplicaciones foliares de productos diferentes al nitrato de potasio y requiere de más investigación. La habilidad para colocar el nutriente directamente en las hojas cuando más lo requiere la planta puede ser de gran utilidad para los productores de aguacate. El carbonato de potasio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) también puede ser aplicado al follaje aunque es un producto caro.

Otra forma de suministrar K a los árboles de aguacate es a través de inyecciones al tronco. El sulfato de potasio sólido puede aplicarse en hoyos hechos en el tronco. Sin embargo, los datos de investigación indican que el efecto es lento y no incrementa significativamente los niveles foliares de K ni el rendimiento de fruto en el aguacate Fuerte, pero si se observa un incremento en el tamaño del fruto (Navarro-Ainza, 1988).

Las inyecciones al tronco con soluciones que contienen P y K pueden ser útiles para proporcionar estos nutrimentos en estados específicos de desarrollo o como un remedio temporal, mientras actúa la fertilización al suelo. Dependiendo de la respuesta del árbol (síntomas y/o niveles foliares), las inyecciones podrían aplicarse una o dos veces al año, procurando realizarlas al comienzo de los flujos de crecimiento vegetativo o del crecimiento inicial del fruto. Investigación preliminar realizada por el autor en Nayarit indica que los niveles foliares de P y K no se afectan por la aplicación de cinco inyecciones/árbol al inicio del flujo vegetativo de primavera, (**Figura 4**). Se inyectó Nutriphite<sup>MR</sup> (0% N, 28% P, 26% K) a razón de 1.4 ml de Nutriphite/m<sup>2</sup> de copa (esto es igual a 70 ml de Nutriphite + 30 ml agua por árbol de 50 m<sup>2</sup> de área de goteo). Es necesaria más investigación para determinar el efecto a mediano plazo de estas inyecciones no sólo sobre la composición nutrimental foliar sino sobre el contenido nutrimental del fruto, la reducción de la caída del fruto en junio (México), el incremento en rendimiento y tamaño del fruto y en la presencia de desórdenes fisiológicos. Las inyecciones con P y/o K al tronco podrían ser un buen complemento a la fertilización aplicada al suelo, sobre todo en suelos deficientes, con alta capacidad de lixiviación, fijación o en huertos sin riego.



**Figura 4.** (A) Las inyecciones de soluciones de fósforo y/o potasio al tronco de árboles adultos de aguacate pueden ser útiles para suministrar estos nutrimentos al árbol, sobretodo en suelos deficientes o cuando no se dispone de riego y es necesaria una corrección inmediata. (B) Cicatrización parcial de la perforación, tres meses después de la inyección. Fotografías del autor.

---

## Fósforo (P)

La conveniencia de la fertilización con P al aguacate es muy controvertida, debido a que varios estudios que probaron fertilización al suelo no encontraron respuesta vegetativa o de rendimiento después de varios años de fertilización. Sin embargo, se ha documentado que la fertilización con P incrementa el contenido de este nutrimento en las hojas (Tracy, 1985; **Tabla 5**) y en las raíces (Winer et al., 1998; **Tabla 6**) y además incrementa el número de raíces en los árboles fertilizados (**Tabla 7**).

En suelos delgados con alto contenido de grava del Sur de España sembrados con aguacate Hass no respondieron a la aplicación de fertilizante fosfatado durante nueve años (Casado et al., 1984). Sin embargo, en Michoacán, México la aplicación de 2 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> árbol/año incrementó en 39% el rendimiento de la misma variedad de aguacate (**Tabla 8**).

### Requerimientos de P

$$(RP) = \frac{\text{Remoción} - \text{Aporte del suelo}}{\text{Eficiencia de fertilización}}$$

- Remoción de P por una cosecha de 30 ton = 13.47 kg

$$\begin{array}{r} 13.47 \text{ kg P} - 156 \text{ árboles} \\ x - 1 \text{ árbol} \end{array}$$

$$x = 0.086 \text{ kg P removido/árbol}$$

- Aporte del suelo: se considera una capa de absorción de 20 cm de profundidad.

$$\text{Del análisis, } 9.58 \text{ ppm} \times 2 = 19.16 \text{ kg/ha de P.}$$

El 2 que aparece en la ecuación anterior es un factor que se utiliza para obtener los kg/ha de P contenidos en los primeros 20 cm de una hectárea de suelo.

Por lo tanto el aporte del suelo para un árbol de 6 m de diámetro y 28 m<sup>2</sup> de área de goteo es:

$$\begin{array}{r} 19.16 \text{ kg P} - 10.000 \text{ m}^2 \\ x - 28 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$x = 0.053 \text{ kg de P disponible/árbol}$$

**Requerimientos de P.-** No obstante que la remoción de P por una cosecha de 20 ton de fruto fresco puede ser de casi 9 kg, la dosis de fertilizante que tiene que aplicarse para mantener los niveles foliares normales puede superar en mucho esa cantidad. Esto se relaciona con las características del suelo, el portainjerto utilizado, la disponibilidad de agua y la abundancia de micorrizas que colonicen las raíces y favorezcan la absorción de P. Por esta razón, es recomendable que para establecer la cantidad inicial de P a incluir en el programa de fertilización del huerto se considere el análisis del suelo, foliar y las experiencias previas. La modificación de las cantidades a aplicar en los años siguientes dependerá del análisis foliar.

Con fines ilustrativos, a continuación se describe un ejemplo para el cálculo de las necesidades de fertilización con P, utilizando los análisis de suelo de la **Tabla 1**. Es necesario considerar que si el análisis de suelo indica un alto contenido es recomendable aplicar al menos la cantidad de P que se remueve anualmente en la cosecha.

**Manejo de la fertilización con P.-** Los análisis foliares son de utilidad para determinar la conveniencia de modificar las cantidades de fertilizante

Continuación...

- Eficiencia de fertilización = 0.25
- $$= \frac{0.086 - 0.053}{0.25} = 0.132 \text{ kg P/árbol}$$
- Calculo de  $P_2O_5$ /árbol: Utilizar factor de conversión (Anexo 2) de P a  $P_2O_5$  = 2.29

$$0.132 \times 2.29 = 0.302 \text{ kg } P_2O_5/\text{árbol}$$

- Fuente de P a utilizar:  
Fosfato diamónico (DAP), 46%  $P_2O_5$   
100 kg DAP - 46 kg  $P_2O_5$   
x - 0.302  $P_2O_5$

$$x = 0.656 \text{ kg DAP/árbol}$$

El total del fertilizante se aplica en Julio, al inicio del periodo de lluvias.

aplicado. Las dosis inicialmente calculadas deben considerarse como punto de partida para evaluar dosis de fertilización abajo y arriba de este punto. La respuesta del aguacate a las aplicaciones de P al suelo generalmente lleva varios años. Sin embargo, es muy importante que los niveles de P en el follaje se mantengan en el nivel normal para evitar la reducción del rendimiento o tamaño del fruto.

**Fuentes de P.-** Las fuentes de fertilizantes fosfatados y sus fórmulas, así como su concentración se presentan en el **Tabla 9**. Al seleccionar la fuente de P es importante recordar que la eficiencia de asimilación del ion ortofosfato ( $H_2PO_4^-$ ) por la planta se incrementa cuando éste va acompañado del ion amonio ( $NH_4^+$ ). Así, el fosfato monoamónico (MAP) y el fosfatodiamónico (DAP) son mejores

fuentes de P que el superfosfato de calcio simple (SSP) o el superfosfato de calcio triple (TSP), ya que estos últimos no contienen N amoniacal ligado a su molécula. Para incrementar la eficiencia del SSP o del TSP es importante aplicarlos en mezclas físicas que contengan urea o sulfato de amonio (PPI/PPIC, 1997).

En general, la reacción del MAP en el suelo es más ácida que la reacción del DAP. Por esta razón, el MAP puede ser una mejor fuente de P en suelos alcalinos ya que la acidificación temporal cerca de la zona de absorción de la raíz, resultado de la solubilización del MAP, incrementa la asimilación de P por la planta. La fuente de P escogida debe ser la que asegure una mayor eficiencia (mayor asimilación de P por la planta). Además, pese a que la cosecha de aguacate no remueve mucho P del suelo, siempre se recomiendan aplicaciones que aseguren una reserva a mediano y largo plazo.

Debe seleccionarse muy bien fuente de P para asegurarse que el suelo de la huerta no fije altas cantidades de este nutrimento y deje suficiente cantidad de P disponible para la planta. Hay que recordar que la dinámica del P en el suelo es muy compleja por lo que es necesario utilizar el análisis de suelo para seleccionar adecuadamente la fuente que garantice una mayor disponibilidad del nutriente.

**Época de aplicación del P.-** No existe información disponible en este sentido para el aguacate. Sin embargo, es necesario que el fertilizante esté disponible en la zona de raíces cuando éstas presenten su periodo de mayor actividad. Lo anterior normalmente sucede en el verano, aunque puede variar entre regiones.

**Tabla 5. Efecto de la fertilización con fósforo y potasio sobre los niveles foliares de estos nutrientes en árboles jóvenes (dos años) de aguacate Hass en California. Adaptado de Tracy (1985).**

Año	Tratamientos <sup>z</sup>	Contenido foliar (% m.s.)	
		P	K
1983	Control	0.075	0.46
	+P	0.145	0.40
	+P+K	0.135	0.51
1984	Control	0.050	0.63
	+P	0.165	0.61
	+P+K	0.155	0.82

<sup>z</sup>Tratamientos: 1er año- P = 70 g P<sub>2</sub>O/árbol; K = 70 g K<sub>2</sub>O/árbol; 2do año-272 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/árbol; K = 272 g K<sub>2</sub>O/árbol.

Después de la aplicación del fertilizante fosfatado al suelo, el P se mueve muy lentamente hacia la zona de raíces (aproximadamente 1 cm por año). Esto puede ser una explicación parcial a la supuesta falta de respuesta del aguacate a la fertilización fosfatada. Para facilitar el movimiento del P en el suelo y su llegada a la zona de raíces, es recomendable aplicarlo poco antes o al inicio de la temporada de lluvias.

**Tabla 6. Contenido en la materia seca de algunos nutrientes en raíces de aguacate Hass de diferentes grosores, a los que se aplicó fertilización complementaria con N y P en el otoño durante ocho años. Adaptados de Winer et al. (1998).**

Nutrimento	Grosor de raíces					
	< 1 mm		1-19 mm		2-3 mm	
	Control	+NP	Control	+NP	Control	+NP
%						
N	1.90 a <sup>z</sup>	1.90 a	1.50 b	1.60 b	1.50 b	1.20 b
P	0.21 b	0.42 a	0.16 b	0.33 a	0.17 b	0.24 a
K	2.05 b	4.50 a	1.87 b	1.82 b	2.31 b	1.69 a
Ca	0.50 b	0.70 a	0.40 b	0.63 a	0.41 b	0.52 a
Mg	0.53 a	0.46 a	0.34 b	0.35 b	0.28 c	0.25 c

<sup>z</sup>Medias con la misma letra en regiones para cada nutrimento y grosor de raíces no son diferentes estadísticamente según la prueba del rango múltiples de Duncan, P = 0.05.

**Forma de aplicación del P.-** La aplicación al suelo en bandas, de al menos 50 cm de ancho, a lo largo de las hileras de árboles o alrededor de ellos es una buena opción (Fig. 3), sobre todo en suelos con alta capacidad para fijar el P aplicado. Cuando hay riego localizado (goteo, micro aspersión), es conveniente aplicar el fertilizante en la zona húmeda del suelo, que es donde habrá mayor actividad de raíces durante el año. Por regla general, es preferible aplicar todo el P en una sola aplicación, con el propósito de favorecer su acceso a las raíces. Existe información preliminar sobre inyecciones al tronco con una solución al 20% de Nutriphite<sup>MR</sup> (4% N, 30% P, 8% K), en dos ocasiones por año, para suministrar principalmente P a árboles de aguacate 'Hass' en Michoacán.

**Tabla 7. Número de ápices de raíz en una muestra de cuatro litros de suelo bajo la zona de goteo de árboles de aguacate Hass a los que se les aplicó fertilización complementaria con N y P en el otoño a partir de 1986. Adaptado de Winer et al. (1998)**

Fecha de muestreo	Control	Fertilización con N + P
3 Mayo 1991	52.0 b	200 a
16 Marzo 1992	22.0 b	108 a
17 Marzo 1993	36.2 b	79.2 a

<sup>z</sup>Medias con la misma letra en cada región no son diferentes estadísticamente según la prueba del rango múltiple de Duncan,  $P = 0,01$ .

**Tabla 8. Rendimiento medio de ocho cosechas (1989-1997) de árboles de aguacate Hass fertilizados con cantidades variables de fósforo y potasio durante nueve años en Michoacán, México. Información no publicada Aguilera-Montañez<sup>z</sup>.**

	Tratamiento (kg N-P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> O/árbol/año)		
	2-0-1	2-2-1	2-4-1
Rendimiento (ton/ha/año)	12.1	16.8	11.4

<sup>z</sup>M.C. José Luis Aguilera-Montañez. Investigador del INIFAP-Michoacan

Este tratamiento ha incrementado el tamaño del fruto, aunque sin resultados concluyentes sobre el rendimiento (Paz-Vega, S., 2001, Comunicación personal). En suelos fuertemente ácidos la absorción del P por las raíces puede ser baja. En esta situación la aspersión foliar podría ser útil para proporcionar P a las hojas y frutos. Deberá ponerse especial cuidado en: a) usar fertilizantes de alta solubilidad en agua, b) época y hora de la aplicación, procurando hacerlo cuando la humedad relativa es alta y en etapas de mayor demanda de P por la planta, como la del crecimiento inicial del fruto.

**Tabla 9. Fuentes de fósforo.**

Fertilizantes	Fórmula	Porcentaje				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	S
Acido fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		50-60			
Súper fosfato de calcio simple (SSP)	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + CaSO <sub>4</sub>		18-21		22-29	11-12
Super fosfato de calcio triple (TSP)	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		45-47		16-21	
Fosfato mono amónico (MAP)	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	10-12	48-62			
Fosfato diamónico (DAP)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	18-21	46-53			
Roca fosfórica (fluor-apatita)	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> R <sub>3</sub> CaF <sub>x</sub> (CaCO <sub>3</sub> ) <sub>x</sub> (Ca(OH) <sub>2</sub> )		25-40			
Fosfato monopotásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		51	35		
Fosfato dipotásico	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>		41	54		

## Nitrógeno (N)

El uso de fertilizantes nitrogenados es muy común, En muchos huertos, aunque en forma errónea, es el único o principal nutrimento aplicado. A escala comercial, es difícil obtener producciones de frutos de buen tamaño sin aplicaciones de N. Teniendo en cuenta la importancia de este nutrimento para el aguacate, se discute más profundamente que otros nutrimentos.

Requerimiento de nitrógeno:

$$(RN) = \frac{\text{Remoción - Aporte del suelo}}{\text{Eficiencia de fertilización}}$$

- Remoción de N en 30 toneladas de fruto = 77 kg, más 15% invertido en crecimiento del árbol

Remoción total de N = 88.5 kg

- Aporte del suelo:  
Materia orgánica (M.O) = 4.16%  
Considerando 20 cm de profundidad del suelo (zona de mayor actividad de las raíces):

$$\begin{aligned} 100 - 4.16\% \\ 2.000.000 - x \end{aligned}$$

$$x = 83.200 \text{ kg M.O./ha}$$

M.O. contiene 5% de N total (orgánico e inorgánico)  
83.200 kg x 5% = 4.160 kg N total

Coefficiente de mineralización = 0.035

4.160 kg x 0.035 = 145.6 kg de N inorgánico disponible/año.

- En Nayarit la mayor tasa de mineralización de la materia orgánica y la mayor actividad de las raíces ocurre en Junio-Septiembre, por lo tanto:

- 145.6 kg/12 meses x 5 meses = 60.7 kg de N inorgánico disponible en el periodo; entonces:

$$\begin{aligned} 60.7 \text{ kg N} - 10.000 \text{ m}^2 \\ x - 4.410.8 \text{ m}^2 \text{ (superficie} \\ \text{ocupada por 156 árboles/ha)} \end{aligned}$$

$$x = 26.8 \text{ kg N/disponible para 156 árboles}$$

**Requerimientos de N.-** Para mantener la productividad del huerto es necesario regresar al suelo al menos la cantidad de nutrimentos que fueron removidos por el fruto. Este aspecto ya fue explicado ampliamente anteriormente. El cálculo de la dosis de fertilización basado en la remoción de nutrimentos puede mejorarse si se conoce o se hace una buena estimación de la cantidad de nutrimentos necesarios para mantener el crecimiento anual, tanto vegetativo como de las raíces, la cantidad de nutrimentos perdidos por la abscisión de flores, frutillos y hojas, así como las pérdidas de nutrimentos debido al lavado, volatilización, fijación y acción microbiana (eficiencia de la fertilización).

En otras regiones productoras de aguacate se utilizan otros métodos para el cálculo de las necesidades de fertilización nitrogenada. Por ejemplo, en Australia es necesario aplicar 84% más N que el removido por el fruto para poder compensar el N perdido por la abscisión de flores, frutillos y hojas, así como las pérdidas de N debido a lavado, volatilización, fijación y acción microbiana (Dirou y Huett, 2001). No se mencionaron datos para madera y raíces.

De acuerdo a esto, para producir en Australia 10 toneladas fruto/ha/año es necesario aplicar 70 kg N/ha/año. Esta cantidad parece elevada al comparar los 95 kg de N requeridos para producir 30 t/ha en Nayarit.

Continuación...

- Eficiencia de la fertilización = 0.65
- $RN = \frac{88.5 - 26.8}{0.65} = 95 \text{ kg N/156 pl.}$   
 $= 0.609 \text{ kg N/árbol}$
- Dada la abundante lluvia en la región (1300 mm) es recomendable aplicar 3 fracciones de 0.203kg de N cada una.

Primera aplicación: Julio.

Fuente: SA (20.5% N)

Como es esta fecha se aplicarán 0.656 kg/árbol de fosfato diamónico (18% N) para satisfacerlos requerimientos de P se deben descontar los 0.118 kg de N aportados por este material. Por lo tanto solo será necesario aplicar 0.085 kg de N/árbol en esta época.

$$100 \text{ kg SA} - 20.5 \text{ kg N} \\ X - 0.085$$

$$X = 0.415 \text{ kg SA/árbol}$$

Segunda aplicación: Agosto

Fuente: Urea (46% N)

$$100 \text{ urea} - 46 \text{ kg N} \\ x - 0.203$$

$$x = 0.441 \text{ kg urea/árbol}$$

Tercera aplicación: Septiembre

Fuente: Urea (46% N)

$$100 \text{ urea} - 46 \text{ kg N} \\ x - 0.203$$

$$x = 0.441 \text{ kg urea/árbol}$$

Para el caso del aguacate Hass en California, Lovatt (1998b y 2001 a) considera que en la fertilización nitrogenada habría que aplicarse 10% más N para compensar la pérdida debida a la caída de hojas en la primavera y 10% de N adicional para restituir lo invertido en el crecimiento de brotes vegetativos, raíces y almacenamiento por las ramas. No se incluyen en el cálculo las pérdidas de N por la abscisión de estructuras reproductivas durante la floración y amarre inicial de fruto por no disponerse de información. Como un rendimiento de 45.4 kg/árbol remueve 195.2 g N, al usar los valores mencionados arriba, considerando una densidad de plantación de 272 árboles por hectárea, la cantidad de N que se debe aplicar a un huerto de estas características en California es de 76.5 kg N. Si se considera 30% por pérdidas por lixiviación, volatilización y fijación, serán necesarios otros 23 kg/ha. Entonces, para producir 13.6 toneladas de frutos por hectárea es necesario aplicar 99.5 kg N. Al igual que con el método de Australia, la cantidad de N utilizada en California es superior a la del ejemplo de Nayarit.

**Manejo de la fertilización con N.-** Los ejemplos anteriores pueden ser de utilidad para planear la fertilización cuando se carece de información específica sobre la respuesta del aguacate a la fertilización nitrogenada. Una vez que las cantidades resultantes del cálculo han sido aplicadas es necesario evaluar la respuesta del árbol para determinar la cantidad de N a aplicar en los ciclos siguientes.

Las aplicaciones subsecuentes de N pueden calcularse al conocer los resultados del análisis foliar y la cantidad de N aplicado el año anterior. Si el N foliar está arriba de lo normal, se deberá de aplicar menos que el año anterior, pero si está abajo de lo normal se deberá de aplicar más N. Si

el N en la hoja está en el intervalo normal puede continuar aplicándose la misma cantidad de fertilizante.

Los criterios anteriores pueden ser válidos para huertos cuya alternancia productiva es reducida. Sin embargo, las investigaciones realizadas por Embleton et al. (1968), Embleton y Jones (1972) y Lovatt (2001 b) demostraron que el N foliar no está relacionado con el rendimiento de fruto en huertos cuya cosecha presentó diferencias marcadas entre años, aunque Embleton et al. (1968) mencionó que esta falta de relación pudiera ser debida a que con altas dosis de fertilización nitrogenada la deficiencia de otro nutrimento pudiera ser el que limita el rendimiento. Otra posibilidad para explicar esta falta de relación es la fecha del muestro foliar con relación a la fecha de aplicación de fertilizantes. En California, el muestro foliar se realiza en septiembre (aproximadamente 5-6 meses antes de la cosecha). Entonces, las fertilizaciones de julio-agosto pudieran resultar en elevado N foliar, comparado con huertos que fueron fertilizados con anterioridad (Lovatt, 2001 a). Esta situación pudiera no ser aplicable para el cv. Hass en México, ya que en septiembre el fruto procedente de la floración normal, ya ha alcanzado su madurez fisiológica o ya ha sido cosechado en algunas regiones.

**Tabla 10. Efecto de la dosis de nitrógeno aplicado al suelo sobre el contenido foliar de nitrógeno total en un huerto de aguacate en California. Adaptado de Meyer et al. (1991b).**

Nitrógeno aplicado (kg/árbol)	Nitrógeno foliar (% m.s.)		
	1987	1988	1989
0	2.00	1.94	1.77
0.908	1.97	2.23	2.17
1.816	1.95	2.33	2.30

La fertilización nitrogenada del aguacate comúnmente resulta en un incremento en el nivel de N foliar. Sin embargo, este aumento no es tan dramático como se cree (**Tabla 10**) y es frecuente que el N foliar se estabilice en 2.0-2.6%, a pesar del incremento en la

fertilización nitrogenada. En la mayoría de los países productores de aguacate, la fertilización trata de mantener los valores en estos intervalos (Lovatt, 1998a). En ocasiones la adición de cantidades relativamente altas de N (hasta 2.27 kg N/árbol), no incrementa significativamente el N foliar aunque sí puede mejorar el rendimiento, como lo indican los datos de Embleton y Jones (1966) con el cv. MacArthur.

El aguacate tolera bastante bien las aplicaciones excesivas de N y es poco probable encontrar toxicidad en condiciones de campo. En algunas áreas aguacateras es común la aplicación de cantidades excesivas de N al suelo. Sin embargo, esto no siempre resulta en altos rendimientos, ya que el exceso de N estimula el incremento del vigor y la intensidad de los flujos vegetativos, en detrimento de la floración, el rendimiento y la calidad del fruto. Resultados de este tipo se han observado en aguacate Hass, tanto en California como en Michoacán (**Tabla 11, 12 y 13**).

**Tabla 11. Efecto de la dosis de nitrógeno aplicado al suelo sobre el rendimiento de**

**aguacate Hass en California. Adaptado de Embleton y Jones (1971-72)**

N (kg/árbol/año)		Rendimiento (kg/árbol)								Promedio
1960-65	1966-68	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1961-68
0.113	0.113	14.1	42.7	32.2	39.9	29.5	49.9	43.1	42.2	34.9
0.227	0.454	13.6	52.7	27.7	45.8	29.0	73.1	31.8	41.3	39.5
0.454	0.908	9.5	42.2	39.0	40.9	26.3	67.2	41.8	25.9	36.3
0.908	1.816	7.3	38.1	30.4	34.0	36.0	62.2	54.0	25.0	35.9
Significancia (5%)		NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)		133	50	84	81	118	88	109	110	

**Tabla 12. Efecto del nivel de nitrógeno sobre el rendimiento (kg/ha) de aguacate Hass en California. Adaptado de Meyer et al. (1991a).**

N (kg/ha)	1988	1989	1990	1991	Total
0	10,050	4,790	9,510	800	25,160
190	9,980	6,500	8,140	780	25,410
380	9,720	4,670	8,740	450	23,580
Significancia	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

La fertilización nitrogenada para el cv. Fuerte en California es de 140.2 kg/N/ha/año (Anónimo, 1978). Esto equivale a 0.90 g/árbol/año en huertos con 156 árboles/ha espaciados (8 x 8 m). Es conveniente considerar, que estas recomendaciones se basan en el máximo rendimiento

obtenido en parcelas experimentales de fertilización. Sin embargo, en dichas parcelas el máximo rendimiento sólo fue de 36 kg/árbol. En Michoacán, 2 kg N/árbol (200 kg N/ha), resultaron en rendimientos promedios de 16.7 t/ha de aguacate Hass, comparado con 11.6 toneladas de árboles sin fertilización nitrogenada (**Tabla 13**). Además, la fertilización mencionada redujo la magnitud de la alternancia productiva.

**Tabla 13. Efecto del nivel de nitrógeno aplicado sobre el rendimiento de aguacate Hass en Michoacán. México. Información no publicada de Aguilera-Montañez<sup>z</sup>.**

N-P-K <sup>y</sup> (kg/árbol)	Rendimiento (kg/árbol)								Rendimiento promedio (kg/ha) <sup>x</sup>
	1989	1990	1992	1993	1994	1995	1996	1997	
0-2-1	31	12	184	39	210	75	176	68	11,562
2-2-1	77	136	145	103	197	285	190	209	16,775
4-2-1	62	144	165	120	128	116	164	147	13,075

<sup>z</sup> José Luis Aguilera-Montañez. Investigador de INIFAP-Michoacán.

<sup>y</sup> N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O

<sup>x</sup> Huerto con 100 árboles/ha

**Tabla 14. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el tamaño de fruto del aguacate 'Hass' en Michoacán, México. (Cosecha 1997 de la Tabla 13). Información no publicada de Aguilera-Montañez<sup>z</sup>.**

N-P-K <sup>y</sup> (kg/árbol)	< 146 g	Calibre 26-20 (146 -210 g)	Calibre 18-12 (211 – 365 g)
0-2-1	53.0	29.1	17.9
2-2-1	3.5	54.1	42.4
4-2-1	8.0	50.4	41.6

<sup>z</sup> José Luis Aguilera-Montañez. Investigador del INIFAP-Michoacán.

<sup>y</sup> N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O

Además del rendimiento, el tamaño del fruto se afecta con la fertilización nitrogenada. La aplicación de 2 kg N/árbol durante nueve años consecutivos resultó en un mayor porcentaje de fruto de alto valor comercial (peso superior a 211 g). En árboles que no recibieron N, el 53% de

la cosecha correspondió a fruto con peso inferior a 146g (**Tabla 14**).

**Fuentes de N.-** Las fuentes de N se presentan en e la **Tabla 15**. El tipo de fertilizante nitrogenado a utilizar depende de varios factores, entre ellos: tipo de suelo, pH, nivelación del terreno, sistema de labranza utilizado, sistema de riego, etc.

**Tabla 15. Fuentes de nitrógeno**

Fertilizantes	Fórmula	Porcentaje de N (aprox.)
Amoníaco anhídrido	NH <sub>3</sub>	82
Aqua amonia	NH <sub>4</sub> OH	16-25
Urea	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	46
Sulfato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21
Nitrato de amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33.5
Nitrato de amonio con carbonato de calcio o magnesio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + CaCO <sub>3</sub> ó MgCO <sub>3</sub>	21-26
Solución de urea y nitrato de amonio	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	20-32

En general, al seleccionar la fuente del fertilizante nitrogenado se debe utilizar el que ofrezca la mayor disponibilidad de N por kilo de fertilizante aplicado y que garantice las menores pérdidas de N en su manejo. Así, antes de seleccionar la fuente de fertilizante nitrogenado se tiene que considerar la forma de aplicación y precio por kg de N en el mercado local.

Es importante evitar utilizar fertilizantes de reacción muy ácida como el sulfato de amonio en suelos ácidos con pH menor a 5.0. Nunca utilizar urea cuando ésta no se puede incorporar al suelo. El amoníaco anhidro sólo debe utilizarse si el suelo y las condiciones de nivelación y pedregosidad lo permiten. El amoníaco (NH<sub>3</sub>) es el fertilizante más económico por kg de N, sin embargo, se requiere de infraestructura y sistemas especiales de manejo para lograr la eficiencia necesaria para el buen aprovechamiento del N.

---

Al seleccionar la fuente de N se deben también considerar los costos de flete, los costos y condiciones de almacenamiento y la compatibilidad para la mezcla con otros fertilizantes.

**Época de aplicación del N.-** La investigación sobre la mejor época para aplicar fertilizante de acuerdo a la fenología del árbol es muy limitada. Con el propósito de evitar la contaminación de las aguas subterráneas, en California, la cantidad total anual de fertilizante nitrogenado (56-168 kg N/ha) que se aplica al suelo (mediante el sistema de riego) se divide en seis pequeñas aplicaciones hechas en enero, febrero, abril, junio, julio y noviembre (Lovatt, 2001a).

En una investigación reciente, Lovatt (2001 b) comparó la práctica de dividir en seis cantidades iguales el fertilizante nitrogenado anual (168 kg N/ha), aplicado como nitrato de amonio, contra la aplicación de una cantidad adicional de 28 kg N/ha (total 56 kg N para esa aplicación) en etapas fenológicas específicas. Los mejores efectos sobre el rendimiento y calidad de fruto se obtuvieron cuando las aplicaciones adicionales de N se realizaron en las siguientes condiciones: a) cuando las yemas apicales habían desarrollado cuatro o más meristemos de los ejes secundarios de la inflorescencia (segunda semana de noviembre), lo que resultó en 30% de incremento en el rendimiento acumulado de cuatro años y b) en la etapa de anthesis, amarre inicial de fruto e inicio del flujo vegetativo de primavera (segunda semana de abril), lo que incrementó 39% el rendimiento acumulado y disminuyó significativamente la alternancia productiva. En ningún caso se detectó una relación entre el N foliar y el rendimiento del fruto. Los resultados anteriores sugieren que la época y dosis de aplicación de N son factores que pueden ser optimizados para incrementar el rendimiento, tamaño de fruto y reducir la alternancia productiva en el aguacate Hass. Sin embargo, para poder generar una recomendación es necesario conducir una investigación durante varios años.

Tal y como fue discutido en párrafos anteriores, cuando se dispone de riego, los fertilizantes nitrogenados pueden aplicarse al suelo en forma fraccionaria durante el año, ya sea en forma manual o a través del sistema de riego. Cuando no se dispone de riego, la fertilización es realizada en forma manual o mecánica y puede ser fraccionada en tres o más partes y aplicarse durante la época de lluvias. Debido a la pérdida acelerada del fertilizante nitrogenado en suelos de textura ligera, es recomendable hacer más aplicaciones de pequeñas cantidades. Además la temporada lluviosa es la época en que ocurre el mayor crecimiento de raíces en el aguacate.

**Forma de aplicación del N.-** La efectividad de la fertilización nitrogenada al suelo se incrementa cuando mayor proporción del N aplicado es tomado por las raíces. Si se dispone de riego, el fertilizante puede ser aplicado a través del sistema de emisores, buscando cubrir la mayor superficie del área de proyección de la copa del árbol. Se debe procurar que las láminas de sobre riego no coincidan con las aplicaciones de fertilizante.

Cuando se carece de riego, el fertilizante nitrogenado puede aplicarse manualmente o con maquinaria. En cualquier caso, se debe cubrir uniformemente la superficie de la gotera del árbol. Para reducir las pérdidas por volatilización es recomendable incorporar el fertilizante con un rastrillo o paso de rastra.

En lugares con inviernos fríos, la temperatura del suelo puede permanecer cerca de 15°C por varios meses. Esto dificulta la absorción de N debido a la disminución en la

---

---

actividad de las raíces, menor solubilidad de nutrimentos en la solución del suelo y menor absorción y transporte en el flujo de transpiración. En este caso, o cuando hay poco crecimiento de raíces por otros factores como pH o salinidad, la fertilización foliar puede ser efectiva para suministrar N en etapas críticas de demanda o para proporcionar N a órganos específicos. Sin embargo, las aplicaciones foliares de N no pueden proporcionar todo el N requerido por el árbol.

Para que la fertilización al follaje sea efectiva el nutrimento debe ser absorbido por las hojas u otros órganos y ser móvil en el floema. La fertilización al follaje que reúne estos requisitos puede ser 4 a 30 veces más efectiva que la aplicación al suelo. Se ha observado en California que la absorción de N derivado de aplicaciones foliares de urea a hojas maduras de aguacate Hass fue muy baja (Nevin et al., 1990). Sin embargo, se han detectado dos períodos donde los aguacates responden a la aplicación foliar de 159 g de N/árbol como urea de bajo biuret (46% de N, 0.25% biuret). El primero es el estado coliflor de desarrollo de la inflorescencia (Jaganath y Lovatt, 1998). Este estado se caracteriza por la elongación de los ejes secundarios de la inflorescencia y últimos estados de desarrollo del polen y óvulos (Salazar-García et al., 1998). La aplicación en el estado coliflor incrementó el rendimiento de fruto. El segundo periodo es cuando las hojas habían alcanzado 2/3 partes de su tamaño final (Lovatt, 2001 b). Esta aplicación incrementa el N foliar pero se desconoce si mejora el rendimiento o el tamaño del fruto. Una forma de aumentar la eficiencia de las aplicaciones al follaje es realizarlas temprano por la mañana o por la tarde, cuando el sol es menos intenso. El mojar muy bien el envés o cara inferior de las hojas también puede aumentar la eficiencia de la aplicación.

La urea, el nitrato de amonio y el nitrato de calcio, entre otros, se pueden aplicar al follaje con toda seguridad, aunque debe evitarse cuando las flores están abiertas. La aplicación de nitrato de calcio ( $\text{CaNO}_3$ ) en hojas maduras durante el invierno ayuda a mantener activo el aparato fotosintético de las hojas, retrazando la senescencia y la caída de hojas. Árboles de aguacate Hass que reciben este tratamiento suelen cambiar de hojas hasta después del amarre inicial de fruto. Antes de hacer una aplicación es conveniente realizar una prueba en algunos árboles. En condiciones de baja humedad relativa, la aspersión con nitrato de calcio al 2% puede causar quemaduras al follaje, en este caso es mejor utilizar una solución al 1%.

## Calcio (Ca)

Las partículas de arcilla y partículas pequeñas de materia orgánica están cargadas negativamente y atraen cationes. Los iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) liberados por la descomposición de la materia orgánica pueden reemplazar los cationes en las partículas de suelo, liberándolos hacia la solución del suelo. Este proceso, conocido como capacidad de intercambio catiónico (CIC), es vital para la absorción de cationes por las raíces. La CIC de un suelo normal está saturada con cationes diferentes y el Ca constituye el 65-85% de esos cationes (Shear, 1975).

Dada la abundancia de Ca en los suelos, no es muy frecuente observar deficiencias de este elemento en aguacate, aunque existen diversos reportes que documentan la deficiencia, tanto en el follaje como en el fruto. Árboles deficientes en Ca presentan hojas con deformaciones y una alta proporción de frutos con desórdenes fisiológicos en

---

poscosecha. La deficiencia de Ca es más frecuente en suelos ácidos, lixiviados de textura ligera.

El Ca interacciona con otros cationes del suelo, lo que pueden favorecer o reducir la absorción de Ca por la planta. Los fertilizantes comunes contienen poco Ca, pero una cantidad abundante de otras sales minerales. Esto reduce la relación entre el Ca y las sales solubles totales en la solución del suelo y puede reducir la disponibilidad y absorción de Ca e incrementar los síntomas de deficiencia (Shear, 1975).

La adición de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) al suelo reduce la disponibilidad de  $\text{Ca}^{2+}$  para la planta. También, incrementa la acidez y el lavado de Ca del suelo. En suelos ricos o donde se han hecho aplicaciones excesivas de Ca, la absorción de Mg y K por las plantas puede reducirse debido a la competencia entre estos cationes por los sitios de absorción en las raíces.

**Requerimientos de Ca.-** A continuación se describen los cálculos para determinar la cantidad de Ca que debe aplicarse al suelo para cubrir su carencia o para mejorar el balance entre el Ca y otros cationes en el complejo de intercambio del suelo, principalmente K y Mg. Para esto se usan los análisis de una muestra de suelo de un lote en el cual se establecerá un huerto de aguacate sin riego (**Tabla 16**).

**Tabla 16. Resultados analíticos de una muestra de suelo (Prof. 0-30 cm) del municipio de Xalisco, Nayarit.**

Nombre: Salvador Gonzáles		Lugar: Ejido Jalisco
Determinación	Resultados	Interpretación
Arena (%)	35.32	
Arcilla (%)	44.52	
Limo (%)	20.16	
Textura	Arcilla	
Saturación (%)	25.8	
C.C (%)	12.9	
PMP	46.4	
pH (1:2 agua)	5.12	Fuertemente ácido
Materia orgánica (%)	2.23	Mediano
N- $\text{NO}_3$ (ppm)	2.0	Muy bajo
P-Bray (ppm)	6.5	Bajo
Potasio (ppm)	368	Mediano
Calcio (ppm)	687	Bajo
Magnesio (ppm)	17	Muy bajo
Sodio (ppm)	49.0	Bajo
Hierro (ppm)	3.61	Bajo
Zinc (ppm)	2.3	Mediano
Manganeso (ppm)	64	Muy alto
Cobre (ppm)	0.77	Bajo

Boro (ppm)	0.90						Mediano
<i>Saturación de bases</i>							
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>++</sup>	K <sup>++</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	CIC
%	40.3	1.6	2.5	11.1	16.1	28.3	
Meq/100g (cmol/kg)	3.43	0.14	0.21	0.94	1.37	2.4	8.49

El análisis de suelo (**Tabla 16**) reporta 2.4 meq/100g de aluminio (Al) disponible. Aunque esta cantidad es baja, la aplicación de hidróxido de calcio [Ca(OH)<sub>2</sub>], conocido como cal hidratada (45-55% Ca) podría ser útil, no sólo para suministrar Ca al suelo sino para incrementar el pH y neutralizar el Al disponible. El exceso de Al puede fijar el P aplicado o ser tóxico para el aguacate. Si el ejemplo analizado, fuese para un suelo sin presencia de Al y no se necesitaría modificar el pH y sería recomendable aplicar yeso (sulfato de calcio, CaSO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O), 23% Ca. De acuerdo al análisis, se recomienda aplicar 1,574 kg/ha de cal hidratada ó 3,080 kg de yeso.

<ul style="list-style-type: none"> <li>Datos del análisis de suelo: <ul style="list-style-type: none"> <li>CIC del suelo: 8.5 meq/100 g</li> <li>Nivel de Ca del suelo: 687 ppm.</li> </ul> </li> <li>Cálculos: <ul style="list-style-type: none"> <li>Nivel de Ca deseado 1,040 ppm</li> <li>Valor reportado en el análisis:</li> <li>Cantidad necesaria: <math>\frac{687 \text{ ppm}}{353 \text{ ppm}}</math></li> <li>Multiplicar ppm x 2 para obtener kg/ha: 706 kg</li> <li>Remoción de Ca por una cosecha de 20 ton: 2.5 kg</li> </ul> </li> <li>Ca necesario: 708.5 kg</li> </ul>
--

**Balance de la relación entre el Ca y otros nutrientes.-** Este criterio busca el mantener un balance entre las bases de saturación del suelo. Las proporciones y relaciones entre los cationes pueden modificarse para evitar trastornos nutrimentales. Basados en el ejemplo anterior es posible hacer las siguientes sugerencias a la fertilización:

➤ La aplicación de Ca es necesaria para incrementar el pH y eliminar el riesgo de la presencia de Al. Además, contribuye a incrementar la relación Ca/K que en este ejemplo es muy baja (3.63) según los datos de saturación de bases de la **Tabla 16** y las relaciones óptimas mostradas en las **Tabla 17** y **18**.

➤ Existe demasiado K en las bases de saturación del suelo (**Tabla 17**), por lo tanto es necesario aplicar únicamente lo que se remueve en el cultivo. Como se trata de una plantación por establecer, la sugerencia es iniciar la fertilización con K cuando los árboles inicien su etapa productiva.

➤ El Mg es un nutriente que también se debe aplicar al suelo de este futuro huerto por tres razones: a) para bajar la relación Ca/Mg que es muy elevada (25.18) (**Tabla 18**), b) para incrementar la relación Mg/K que es muy baja (0.14), y c) para evitar que la probable deficiencia de Mg se agudice por la adición de Ca al suelo.

**Tabla 17. Ejemplo de balance de saturación de bases en el suelo**

Proporción requerida en las bases de saturación	Bases de saturación, según en el análisis de la Tabla 16
K ~ 5 – 7%	K = 11.1%
Mg ~ 10 – 15%	Mg = 1.6%
Ca ~ 65 – 75%	Ca = 40.3%

**Tabla 18. Ejemplo de saturación de la relación entre bases para sugerir la aplicación de Ca, Mg o K.**

Relación óptima entre cationes	Relaciones reales, según el análisis la Tabla 16	Sugerencia
Ca/Mg ~ 5 – 6.5	Ca/Mg = 25.18	Aplicar Mg
Ca/K ~ 11 – 13	Ca/K = 3.63	Aplicar Mg
Mg/K ~ 2 – 3	Mg/K = 0.14	Aplicar Mg

**Manejo de las aplicaciones de Ca.-** Los análisis foliares, los análisis de suelos y la presencia de síntomas serán los que en última instancia determinen la conveniencia de continuar las aplicaciones de Ca. Es recomendable tener cautela con el encalado cuando se usa para incrementar el pH del suelo, ya que el exceso puede causar severas deficiencias de P, K, Mg y micronutrientes en la planta, que pueden permanecer por varios años. Por lo tanto, si un determinado suelo requiere de cantidades elevadas de cal, es conveniente dividir las aplicaciones en varios años. Las aplicaciones anuales a toda la superficie de un huerto de aguacate no deben de ser mayores a 2 t/ha. En el caso de aplicaciones al área de goteo del árbol no debe aplicarse más de 70 g de cal hidratada por m<sup>2</sup> de suelo al año.

**Fuentes de Ca.-** Aun cuando el Ca es el catión más abundante en los suelos agrícolas, la aplicación de fuentes de Ca puede ser necesaria para mejorar el balance de bases o para eliminar la toxicidad de otros iones como el Al<sup>3+</sup>.

Seleccionar la fuente idónea es muy importante ya que por lo general el ion acompañante en la fuente de Ca tiene una función muy importante en el efecto del material portador de este elemento. Por ejemplo, el yeso agrícola (**Tabla 19**) es muy útil cuando se busca eliminar la toxicidad del Na<sup>+</sup> sin alterar el pH del suelo (el yeso no altera el pH del suelo). El hidróxido de calcio o los carbonatos de calcio son buenas fuentes cuando se busca incrementar el contenido de Ca y además se busca incrementar el pH del suelo. Las cales agrícolas tienen la ventaja de que ayudan a eliminar el exceso de Al<sup>3+</sup>. Esto ocurre cuando por efecto de su aplicación se incrementa el pH del suelo arriba de 5.3.

**Tabla 19. Fuentes de calcio.**

Portador de Ca	Fórmula	N	CaO	MgO	S
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	15.5	26.5		
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>		44-55		
Cal hidratada (Hidróxido de calcio)	Ca(OH) <sub>2</sub>		30-42		
Sulfato de calcio	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O		23-39		18.7
Cal dolomita	CaCO <sub>3</sub> +MgCO <sub>3</sub>		27-32	14-17	

El nitrato de calcio puede utilizarse en suelos con pH cercano a la neutralidad (6.5-7.8) o en suelos neutros sin problemas de Na para balancear la relación Ca/K o Ca/Mg y al mismo tiempo agregar N. Sin embargo, esta fuente de Ca es más cara y se debe considerar la relación beneficio/costo para utilizarla. La cal dolomítica debe utilizarse en suelos ácidos donde además de Ca se requiere Mg y la relación Mg/K es baja.

**Epoca y forma de aplicación del Ca.-** Por facilidad de aplicación e incorporación, es conveniente que la aplicación de Ca al suelo sea al voleo en forma total, poco antes del inicio del periodo de lluvias. Si se aplica Ca antes de la siembra es recomendable cubrir toda la superficie del suelo e incorporarlo. En huertos ya establecidos puede hacerse una incorporación ligera en la superficie del área de crecimiento de raíces. Es importante evitar el contacto entre los fertilizantes con P y las fuentes de Ca. Esto evitará la inmovilización del P en compuestos insolubles. Una forma de lograrlo es aplicar el Ca en secciones diferentes del árbol o en surcos alternos.

Existen compuestos como el cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) o el nitrato de calcio (CaNO<sub>3</sub>) que asperjados durante la etapa de crecimiento del fruto incrementan los niveles internos de Ca. Sin embargo, el estudio de Solis-Fraire et al. (1998) documentó el hecho de que seis aspersiones foliares quincenales de una solución al 2% de CaNO<sub>3</sub> incrementaron el contenido de Ca en la hoja, pero fueron inefectivas para modificar la concentración de Ca en la pulpa de aguacate Hass.