

REQUERIMIENTOS NUTRIMENTALES DEL AGUACATE

Samuel Salazar-García¹

Remoción de nutrimentos por el fruto

Existe controversia sobre los requerimientos nutrimentales del aguacate. Debido al alto contenido de aceite en el fruto de aguacate (3-20%) se considera que la producción de fruto debe requerir una elevada cantidad de nutrimentos. Por otra parte, también se argumenta que como el aguacate ha evolucionado en suelos de baja o mediana fertilidad, pero con una capa superficial de materia orgánica (generalmente desarrollada por el mismo árbol), es muy hábil para satisfacer gran parte de sus requerimientos nutrimentales a partir de ese sustrato orgánico y es capaz de producir frutos de calidad. Sin embargo, es reconocido también que en condiciones silvestres, la misión biológica del aguacate es producir unos cuantos frutos con semilla grande, viable y apta para originar plántulas. Esto difiere del propósito del productor, ya que en huertos comerciales la energía del árbol es encauzada hacia la producción abundantes de frutos con semilla pequeña y pulpa de gran calidad, tanto para alimento humano como para la industria.

El fruto de aguacate esta compuesto principalmente de agua. Sin embargo, del 10 a más del 30% del peso fresco del fruto corresponde a materia seca. De los distintos componentes del fruto, la pulpa y la semilla son los que contribuyen en mayor proporción al peso seco total del fruto. La epidermis o cáscara puede ser muy similar entre distintos cultivares, sin embargo, el peso de la semilla suele ser diferente y varía según los cultivares de aguacate (**Figura 1**).

El peso fresco del fruto es un estimador común de la cosecha y la rentabilidad del huerto. Sin embargo, esto no significa que frutos de mayor tamaño o cosechas abundantes de frutos de gran tamaño extraigan más nutrimentos del suelo. Si el peso fresco total del fruto es usado como base, el aguacate Hass podría ser considerado como fruto de tamaño pequeño (239 g), comparado con los cultivares Booth 8 (405 g), Hall (525 g) y Choquette (879 g) (**Figura 2A**).

Ahora bien, si la comparación se basa en el contenido de materia seca, el fruto de aguacate Hass es el mayor contenido (23.2 %), comparado con los otros cultivares (**Figura 2B**).

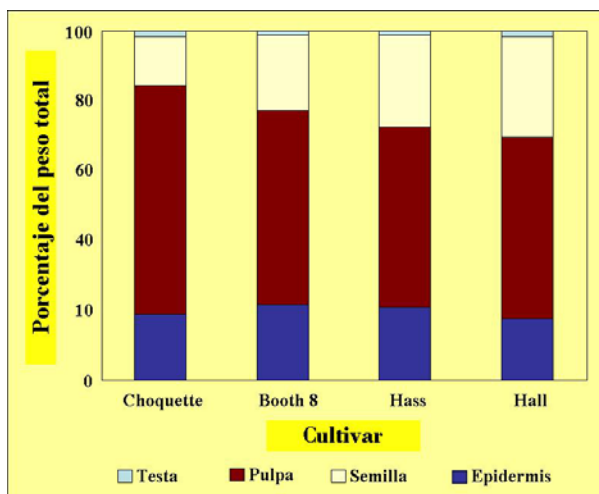


Figura 1. Contribución porcentual de cada parte del fruto a su peso seco total en varios cultivares de aguacate cultivado en Nayarit, México.

La materia seca está formada de carbono y de todos los nutrimentos empleados durante el desarrollo y crecimiento del fruto. Así se forman las proteínas y aceites, ambos de alto contenido en los frutos de aguacate

¹ Tomado de: Salazar-García, S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. INPOFOS, INFAP. Querétaro, México.

Hass. Los frutos con mayor contenido de materia seca y aceite utilizan mayor cantidad de nutrimentos.

Basándose en costos energéticos, se ha establecido que 32.5 t/ha constituyen el potencial de rendimiento de aguacate Hass (Wolstenholme, 1986). En México existen muchos huertos de aguacate de esta variedad que superan esta cifra, sin embargo, con el propósito de estimar la magnitud de la remoción de nutrimentos, en este libro se considera una producción de 20 t/ha de fruto fresco como el potencial estimado. Este rendimiento es aceptable para la mayoría de los huertos de aguacate de México, pero es conveniente mencionar que en huertos del cv. Choquette son frecuentes los rendimientos superiores a 60 t con una densidad de 100 árboles/ha.

Para calcular la cantidad de nutrimentos que deben aplicarse a los huertos de aguacate, ya sea en forma orgánica o inorgánica, es necesario conocer la cantidad de nutrimentos removidos por el fruto. Estos nutrimentos son retirados definitivamente del suelo del huerto. En un estudio realizado en Nayarit, la cantidad de macronutrimentos removidos por el aguacate Hass, cultivado sin riego, resultó superior a la de los cultivares Choquette, Hall y Booth 8. Una cosecha de 20 t de aguacate Hass remueve 52, 21 y 94

kg de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Es también notoria la alta remoción de Mg, S, Zn, B y Mo por todo el fruto (incluyendo testa, semilla, pulpa y epidermis) de aguacate Hass (**Tabla 1**).

Los cultivares Choquette, Booth 8 y Hall remueven similares cantidades de nutrimentos en el fruto. Sin embargo, la variedad Hall remueve cantidades menores de varios nutrimentos que Choquette y Booth 8 (**Tabla 1**).

La cantidad de nutrimentos removidos por el fruto puede ser distinta entre cultivares, aunque también es frecuente encontrar diferencias dentro de un mismo cultivar. Algunas razones que explican este comportamiento son: a) edad del árbol, b) estado de desarrollo del fruto, c) manejo del huerto, d) disponibilidad de nutrientes en el suelo (incluye la fertilización), e) diferente habilidad de los portainjertos para absorber los nutrimentos del suelo y translocarlos a la parte aérea, y f) metodología y procedimientos analíticos usados. Esta es la razón por la que los datos de remoción de nutrimentos presentados en las Tablas 1 y 2 muestran algunas diferencias.

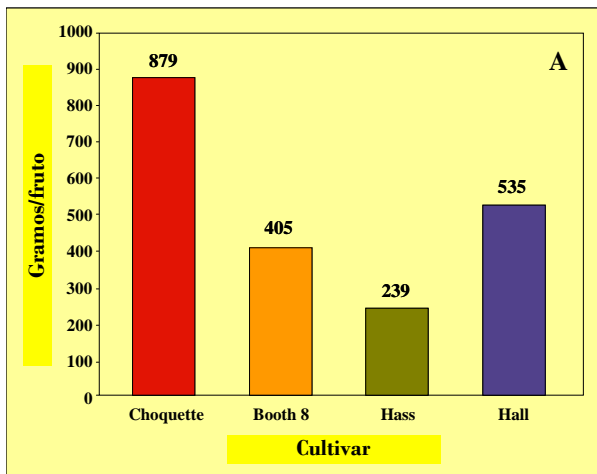


Figura 2A. Peso fresco del fruto de varios cultivares de aguacate en Nayarit, México.

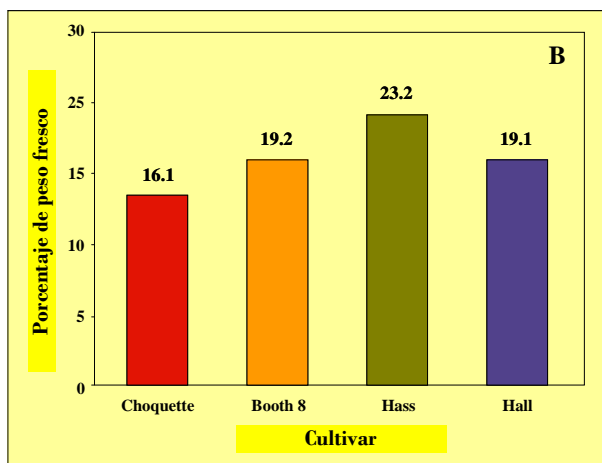


Figura 2B. Contenido de materia seca de varios cultivares de aguacate en Nayarit, México.

Tabla 1. Elementos removidos, por varios cultivares de aguacate en huertos sin riego en Nayarit, México (Adaptado de Salazar-García y Lazcano-Ferrat 2001).

Nutrimiento	Hass	Choquette	Hall	Booth 8
	----- kg / 20 t de frutos frescos -----			
N	51.5	30.1	29.1	36.9
P ₂ O ₅	20.6	13.0	10.0	11.6
K ₂ O	93.8	60.5	59.2	54.3
Ca	1.7	1.7	1.3	2.1
Mg	5.9	3.3	3.3	4.5
S	6.9	3.8	3.7	4.5
Cl	2.4	1.5	0.04	1.5
Fe	0.12	0.2	0.08	0.14
Cu	0.04	0.02	0.04	0.04
Mn	0.02	0.02	0.002	0.014
Zn	0.08	0.06	0.06	0.04
B	0.08	0.04	0.04	0.06
Mo	0.004	0.002	0.002	0.002
Na	0.2	0.12	0.16	0.2
Al	0.06	0.06	0.04	0.08

Tabla 2. Elementos removidos (kg) por una cosecha de 20 toneladas de fruto fresco de varios cultivares de aguacate.

Nutrimiento	Fuerte México	Desconocida Israel	Varios cvs. Venezuela
N	64	22.6	55.6
P ₂ O ₅	55	7.8	79.6
K ₂ O	100.8	46.8	83.4
Ca	--	4.2	15.6
Mg	--	10.0	12.8
S	--	16.0	--
Cl	--	3.0	--
Fe	--	0.18	--
Cu	--	0.02	--
Mn	--	0.04	--
Zn	--	0.08	--
B	--	0.08	--
Mo	--	--	--
Na	--	0.16	--

Remoción de nutrientes por otras partes del árbol

No todos los nutrimentos que el árbol extrae del suelo terminan en el fruto. Por ejemplo, el K es el nutrimento de mayor demanda por el fruto en la mayoría de los frutales. Sin embargo, de todo el Ca absorbido por el árbol, una gran proporción de es utilizada en el crecimiento de brotes vegetativos y raíces (**Tabla 3**).

En los huertos comerciales de aguacate, el fruto se retira del campo una vez que alcanza la madurez, llevándose con el cantidades variables de nutrimentos que deben reintegrarse al suelo a través de abonado o fertilización para no reducir la fertilidad del suelo o agotar la reserva de nutrimentos. Esto podría disminuir la rentabilidad de los huertos y es la razón por la que los propietarios de huertos viejos (25 a 30 años de establecimiento) comentan que cuando los huertos eran jóvenes las cosechas eran abundantes sin necesidad de

fertilización y que ahora esto ya no es posible. Esto es una evidencia de que es necesario regresar al suelo al menos los nutrimentos removidos por el fruto en la cosecha que sale del huerto.

Los nutrimentos del suelo absorbidos por las raíces de árbol se transforman en compuestos orgánicos o inorgánicos que luego son transportados a los diferentes

órganos de árbol. Una gran cantidad de estos nutrientes se retira del huerto en forma permanente cada año (por ejemplo con la cosecha) y otra parte importante se remueve en forma temporal y puede ser reciclada en el huerto (por ejemplo, hojas, flores, etc.) (Tabla 4). Por esta razón es importante mantener la hojarasca y ramillas secas al pie de los árboles (Figura 1). Esta práctica no sólo mejora las propiedades físicas del suelo y su capacidad de retención de humedad, sino que también tiene un papel importante en el control de malezas y el reciclamiento de nutrientes dentro del huerto.

Tabla 3. Localización diferencial de nutrientes según los órganos de los árboles frutales

Parte del árbol	Nutriente removido en mayor cantidad
Frutos	K
Raíz y crecimiento apicales	Ca



Figura 1. El mantenimiento de las hojarasca y ramas secas trituradas al pie de los árboles de aguacate contribuye a mantener la fertilidad y a mejorar las características físicas del suelo. No es recomendable quemarla o retirarla del huerto, salvo cuando la seguridad del huerto esté en riesgo, como en el caso de la prevención de incendios o facilidad para el control de hormigas.

altas en esos tejidos, aunque las raíces principales también presentan una concentración importante de NO_3 . Resulta interesante observar que tanto en el tronco del portainjerto como en el injerto I (Hass) la corteza tienen casi dos veces más concentración de N que la madera y que esta proporción fue similar para el contenido de NO_3 de estos dos tejidos (Lovatt, 1998b).

La información sobre la composición nutricional de las diferentes partes del árbol de aguacate es limitada. Recientemente, Lovatt (1998b) publicó un excelente trabajo que muestra el destino de las fertilizaciones nitrogenadas que se realizan en huertos comerciales de aguacate Hass. El peso fresco total de los distintos componentes del árbol fue de 272 kg. Aparte del fruto, las ramas principales y las ramas pequeñas son las que contribuyeron mayoritariamente al peso fresco total de árbol (Tabla 5). El contenido de materia seca, como porcentaje del peso fresco, también se presenta en el Tabla 5. Con excepción de las raíces nuevas que crecen activamente, el contenido de la materia seca de los diferentes tejidos del aguacate fue mayor a 30%.

El contenido total de N es mayor en los tejidos jóvenes (del año en curso) y en aquellos que crecen activamente (Tabla 5). Las concentraciones más altas de nitratos (NO_3) también son

El cálculo del contenido de N en los tejidos frescos del árbol demuestra que el aguacate Hass almacena una proporción importante de este nutriente en la mitad correspondiente al injerto o parte aérea (Lovatt, 1998b) (**Tabla 6**).

Tabla 4. Tipos de remoción de nutrientes por lo árboles frutales.

Permanente (muy poco es reciclado en el huerto)	Temporal (normalmente es reciclado)
Frutos	Frutos polen y frutos caídos
Crecimiento apicales (estructura del árbol)	Hojas
Crecimiento de las raíces (estructura del árbol)	Madera de poda (si es reincorporada al suelo)

En una hectárea con 100 árboles, se encuentran distribuidos un total de 106 kg de N y 10 t/ha de frutos remueven del huerto 28 kg de N (Lovatt, 1998b). Si el rendimiento se incrementa a 20 t/ha por año, la cantidad de N removido es de 56 kg. Esta extracción de N por el fruto es similar a la obtenida para el aguacate Hass en Nayarit (51 kg N/año). Un incremento anual de 20 a 30% en crecimiento vegetativo re-

quiere adicionalmente de 14 a 21 kg N por hectárea al año.

Tabla 5. Peso fresco, peso seco, contenido de nitrógeno total (N) y contenido de nitratos (NO₃) en los diferentes tejidos de un árbol de aguacate Hass de ocho años, injertando sobre Duke 7. Adaptado de Lovatt (1998b).

Tejido/Órganos	Peso fresco (kg)	Peso seco (%)	N (% m.s.)	NO ₃ (% m.s.)
Brotos nuevos	1.2	36	2.50	0.10
Hojas	24.0	40	1.85	0.21
Fruto	67.0	33		
Semilla			0.68	0.07
Pulpa			0.85	--
Ramas Pequeñas (<2.5 cm)	41.3	38	1.53	0.11
Ramas pequeñas (2.5 – 5.0 cm)	24.2	55	0.78	0.07
Ramas principales	70.2	47	0.46	0.06
Tronco del injerto	12.1	48		
Corteza			0.77	0.14
Madera			0.38	0.06
Tronco del portainjerto	17.3	41		
Corteza			0.73	0.12
Madera			0.31	0.06
Raíces principales	11.0	37	0.77	0.25
Raíces pequeñas	3.3	35	0.73	0.14
Raíces nuevas	0.8	46	1.35	0.17

Tabla 6. Distribución del N en árboles de aguacate Hass de ocho años, con base en el peso fresco y una densidad de 100 árboles por hectárea. Adaptado de Lovatt (1998b).

Tejido / órgano	kg N/ha	Porcentaje del total
Brotos nuevos	1.8	1.7
Hojas	17.5	16.6
Frutos (100 kg/árbol)	28.0	26.5
Ramas pequeñas (<5.0 cm)	34.4	32.5
Ramas principales	15.1	14.3
Tronco del injerto	2.2	2.1
Tronco del portainjerto	2.2	2.1
Raíces principales	3.1	2.9
Raíces pequeñas	0.8	0.7
Raíces nuevas	0.5	0.5
Total	105.6	100

Mobilización y remobilización de nutrientes dentro de la planta

En condiciones normales de cultivo los nutrientes tienden a moverse de los sitios de mayor concentración o abundancia en la planta a los sitios de mayor demanda. Este movimiento se realiza principalmente a través del floema. La obtención de exudados del floema mediante incisiones, así como el uso de elementos marcados (radioactivos o isótopos estables), son técnicas para determinar la movilidad de nutrientes en el floema. Es común encontrar en la literatura los términos redistribución y retranslocación para describir este proceso, aunque existe consenso que el término remobilización es más apropiado.

La mayoría de los nutrientes que se mueven han sido encontrados en el floema, aunque no existe información experimental concluyente al respecto. Una aproximación bastante confiable es la propuesta por Marschner (1995) y que es presentada en el **Tabla 7**. La movilidad de los macronutrientes por el floema es alta, a excepción del Ca y para los micronutrientes la movilidad es intermedia, con excepción de Mn y en algunos casos el Cl.

Tabla 7. Movilidad de elementos minerales a través del floema de las plantas.

Alta	Mediana	Baja
N, P, K, Mg, S, Cl ⁻ , Na	Fe, Cu, Zn, B, Mo	Ca, Mn

El conocimiento de la facilidad con que los diferentes nutrientes pueden remobilizarse dentro de la planta es una herramienta valiosa para el diagnóstico acertado de trastornos nutrimentales en condiciones de campo.

La remobilización de nutrientes de los tejidos más viejos a los más jóvenes durante el desarrollo de las plantas o durante una condición de estrés origina cambios rápidos en la concentración de nutrientes en las hojas u otros órganos. Los nutrientes móviles, como N, P y K son remobilizados rápidamente de los tejidos viejos a los jóvenes. Estos nutrientes tienden a moverse en forma similar tanto en plantas bien abastecidas nutrimentalmente como en aquellas con deficiencia.

La deficiencia de un nutriente de movilidad intermedia o baja en el floema resulta en una concentración baja de este nutriente en los tejidos jóvenes. Los nutrientes de este grupo no son fácilmente remobilizados de los tejidos viejos y los requerimientos de la planta tienen que ser cubiertos a partir del medio externo. En estas condiciones las plantas pueden mostrar niveles normales de estos elementos en los tejidos adultos, sin embargo, las hojas jóvenes, yemas o frutos pueden tener un desarrollo anormal como resultado de un suministro externo inadecuado. El Ca y el B son los nutrientes que han sido más estudiados en este sentido.

Otra etapa de la vida de la planta, o de los órganos de las plantas, en la que ocurre una remobilización marcada de nutrientes es durante la senescencia o envejecimiento. Como regla, la senescencia está asociada con tasas altas de exportación de nutrientes, más que de importación, decreciendo por lo tanto su contenido neto, o más precisamente, la cantidad de nutrientes presente por órgano, como la hoja.

La remobilización se basa en varios procesos fisiológicos y bioquímicos que son: utilización de nutrientes almacenados en las vacuolas (K, P, Mg, N, etc.), degradación de proteínas almacenadas en las vacuolas de las células del mesófilo de las hojas, o

Tabla 8. Dirección de la removilización según el tipo de árbol frutal.

Clasificación	Órgano principal
Perennifolios (sub- y tropicales)	Frutos
	Brotes nuevos
	Tallos
Caducifolios (clima templado)	Hojas nuevas
	Raíces

finalmente, la degradación de estructuras celulares (cloroplastos) y proteínas enzimáticas, transformando aquellos nutrimentos ligados estructuralmente (Mg de la clorofila y los micronutrimentos de las enzimas) a una forma móvil.

En los frutales tropicales y subtropicales, como es el caso

del aguacate, la importancia de la removilización de nutrimentos es notoria durante el crecimiento reproductivo, cuando se forman las flores y desarrollan los frutos (**Tabla 8**). Árboles deficientes en N en estas etapas pueden quedar completamente defoliados y causar la quemadura de fruto presente, así como bajo amarre de fruto de la floración presente (**Figura 2**). En estas etapas, la actividad de las raíces y la absorción de nutrimentos generalmente es reducida debido a la disminución en el suministro de

carbohidratos hacia las raíces (competencia entre sitios de demanda) y al descenso en la temperatura del suelo durante el invierno, generalmente a 15 - 18 °C en las zonas aguacateras de California, USA y Nayarit, México.



Figura 2. La deficiencia de nutrientes, como el N, puede causar la defoliación en árboles de aguacate Hass. La ausencia de follaje expone al fruto a quemaduras por el sol y a la desecación. El amarre de frutos es bajo, debido a la ausencia de hojas y a la competencia intensa por agua, nutrimentos y hormonas entre los brotes jóvenes en desarrollo y los frutillos.

Las temperaturas bajas del suelo reducen la actividad metabólica de la raíz, la solubilidad de nutrimentos en la solución del suelo así como el transporte de nutrimentos mediante el flujo de transpiración. Entonces, la habilidad de los árboles para cubrir sus demandas nutrimentales en estas etapas críticas dependerá de sus reservas y su capacidad para removilizarlas. Un punto clave en estas condiciones sería retrasar la defoliación mediante el suministro de nutrimentos a través del follaje.

Un síntoma característico de la removilización de nutrimentos es la presencia de un color pálido (amarillo) en las hojas al final del otoño y durante el invierno (**Figura 3**). En ocasiones se presentan en esta etapa síntomas visibles de deficiencias de nutrimentos, lo que indica la posibilidad de una deficiencia latente de un nutrimento en particular durante el periodo de crecimiento. Como regla y similar para especies anuales, la magnitud de la removilización en fruta es mayor para el N, P y K (**Cuadro 9**).

Nutrición y Calidad Interna del Fruto

La condición nutrimental, tanto de árbol como de fruto, es un aspecto clave para que el fruto cosechado sea de la máxima calidad comercial. Resulta claro que la calidad del fruto depende de las condiciones climáticas, manejo del huerto, cultivar, etc: Sin embargo, la calidad del fruto a la cosecha y durante el almacenamiento es difícil de mejorar y solo es posible mantenerla. Por lo anterior, es mejor producir frutos de calidad, que intentar mejorarlos después de la cosecha.

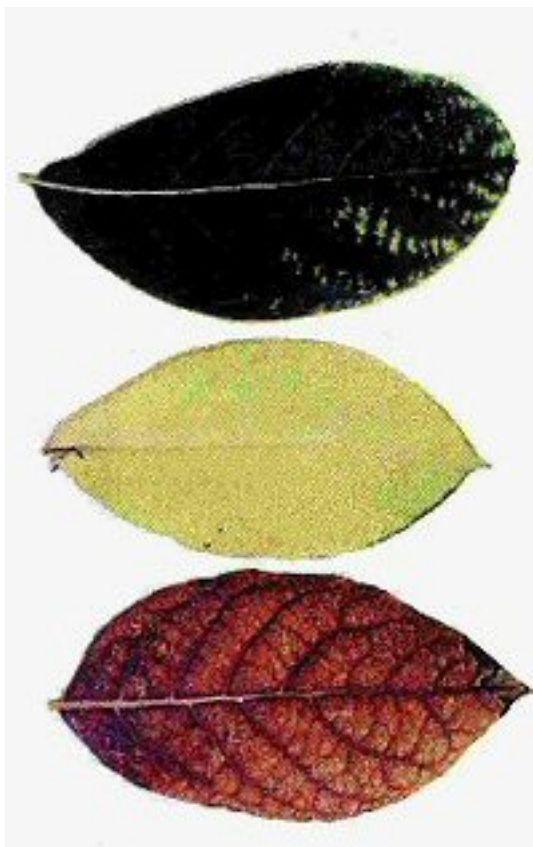


Figura 3. La degradación de la clorofila y la removilización de nutrimentos durante la senescencia origina el amarillamiento progresivo de las hojas de aguacate, previo a su caída del árbol.

Tabla 9. Magnitud de la removilización de nutrimentos en frutales tropicales.

Nutrimento	Porcentaje de removilizado
N, P	50 – 70
K	20 – 40
Ca, Mg	15 – 25

Aunque la forma de la fruta no es un parámetro de calidad muy importante, el hecho de que el consumidor sea costumbre a cierta forma del fruto, lo hace resistirse a comprar frutos de forma diferente. La forma del fruto es el resultado de la interacción con el medio ambiente y por lo tanto esta fuera del control de productor. Sin embargo, hay algunos aspectos de la nutrición del árbol que contribuyen a la forma que presenta el fruto a la cosecha. Los árboles con deficiencias crónicas de B (**Figura 4**) (Whiley et al., 1996) o de Zn (**Figura 5**) (Wallihan et al., 1958; Kadman y Cohen, 1977), particularmente durante las etapas tempranas de crecimiento del fruto, pueden causar deformación y pueden resultar en una tasa elevada de rechazo a momento de a cosecha. Frutos con esta forma han sido encontrados en huertos de Michoacan y Nayarit.

Existe poca información experimental sobre la mayoría de los desordenes fisiológicos (fisiopatías) derivados de la nutrición que suelen presentarse en el fruto de aguacate y todavía no han sido establecidos los niveles adecuados de nutrimentos en el fruto que resulten en la mejor calidad y reducida incidencia de fisiopatías. A manera de ilustración, en el **Tabla 10** se presentan los contenidos nutrimentales de los principales componentes de fruto de cuatro cultivares de aguacate cultivados sin riego en Nayarit. Resulta notoria una mayor concentración de la mayoría de los distintos nutrimentos en la pulpa y testa (cubierta de la semilla). La testa juega un papel muy importante en la viabilidad de la semilla.

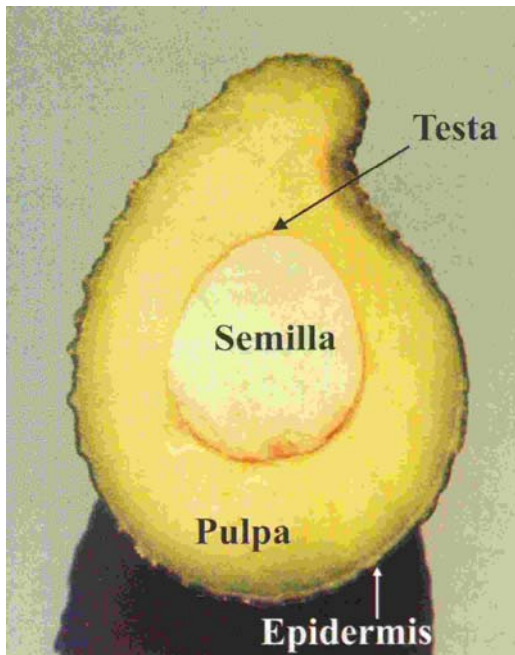


Figura 4. Deformación del fruto de aguacate Hass. Los niveles de B en el suelo y hojas son deficientes. La deficiencia de B es común en suelos arenosos.

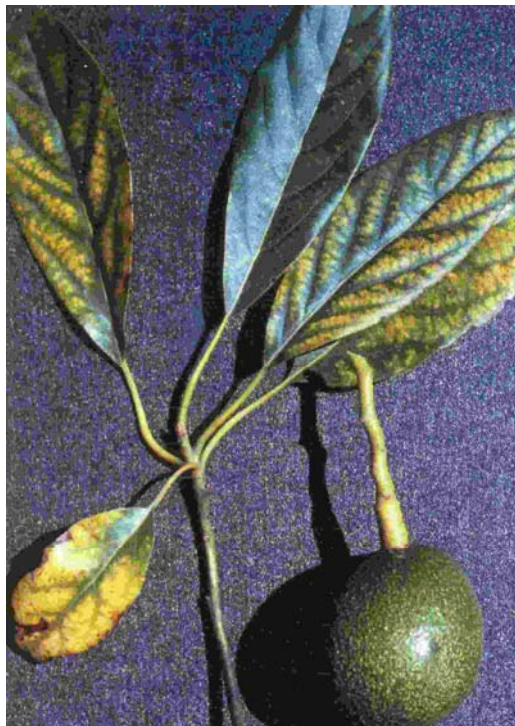


Figura 5. Fruto redondo de aguacate Fuerte colectado de un árbol con deficiencia de Zn. Este problema puede presentarse en suelos con pH alcalino o muy ácido.

La caída prematura de fruto ha sido asociada con una degeneración y muerte de la testa de la semilla en etapas iniciales o intermedias de desarrollo del fruto. Por otra parte, dado que la pulpa es la parte comestible de aguacate, la concentración nutrimentos de esta parte del fruto y la relación entre varios de ellos es decisiva no sólo para el crecimiento de la pulpa sino para asegurar una buena calidad postcosecha y larga vida de anaquel.

Los desordenes fisiológicos de fruto se desarrollan después de que el fruto inicia la madurez y son más frecuentes en frutos que han sido almacenados o transportados en refrigeración (cerca de 5.5 °C) por periodos prolongados. Además de a nutrición, el cultivar, la madurez a la cosecha, la localidad, las prácticas de riego, el portainjerto y el rendimiento del árbol pueden afectar la susceptibilidad del fruto a los desordenes internos. Aunque la relación entre estos factores y los desordenes fisiológicos está documentada, se conoce muy poco acerca del mecanismo(s) que la reducción de la calidad interna del fruto.

Los problemas en postcosecha también ocurren cuando los frutos proceden de árboles con desequilibrios nutrimentales o cuando la cosecha del fruto es realizada durante o después del invierno. Los desórdenes fisiológicos de la pulpa del fruto del aguacate más frecuentes son: oscurecimiento de haces vasculares (vascular browning) (**Figura 6**), pulpa gris (gray pulp) y mancha de la pulpa (pulp spot).

El contenido y balance nutrimental se han relacionado con el desarrollo de desórdenes fisiológicos del fruto. El Ca es el nutrimento implicado más frecuentemente y existen numerosos reportes publicados sobre reducciones de fisiopatías en una gama de frutos después de mejorar la nutrición con Ca (Poovaiah et al., 1988). En el aguacate, el incremento en la concentración de Ca se ha correlacionado con menor presencia de daños por frío, pulpa gris, mancha de la pulpa y

oscurecimiento de haces vasculares (Chaplin y Scott, 1980; Vorster y Bezuidenhout, 1988; Cutting y Bower.1992).

Bower (1985), encontró en Sudáfrica que los frutos de aguacate 'Fuerte' con un bajo contenido de calcio presentaron un mayor potencial para desarrollar desórdenes fisiológicos y pobre calidad postcosecha. Algo diferente fue notado por duPleissy Koen (1992) en el mismo país, ya que ellos reportaron que además del Ca, el K y Mg estuvieron involucrados en el desarrollo de desórdenes fisiológicos en frutos de aguacate 'Fuerte' en postcosecha. Para reducir la incidencia de desórdenes fisiológicos en postcosecha, la relación (Ca+Mg/K en el porcentaje de saturación de bases del suelo debe de mantenerse entre 4 y 5. Para lo anterior ellos recomendaron mantener el nivel de K del sub-suelo (25-50 cm) arriba de 9, mg/kg y los niveles foliares de arriba de 1.4%. Los niveles de K en la pulpa de frutos sin trastornos en postcosecha fluctuaron entre 1.45 y 1.65%.

La propuesta hecha por duPleiss y Koen (1992) de que una mayor relación Ca+Mg/K en el suelo causaba desórdenes fisiológicos en el aguacate 'Fuerte', fue soportada por los estudios de Cutting y Bower (1992). Estos últimos autores encontraron que frutos de aguacate 'Hass' cuya pulpa tuvo una mayor relación Ca+ Mg/K presentaron un contenido mas elevado de la enzima polifenol oxidasa, causante del oscurecimiento (oxidación) de la pulpa de aguacate. También ha sido observado que los frutos con baja concentración de calcio maduran mas rápido que aquellos con mas alta concentración (Witney et al., 1990b).

La relación entre los desórdenes fisiológicos y el K, Ca y Mg (o sus relaciones) no es sorprendente ya que estos tres minerales interactúan para ser absorbidos por la raíz. Aunque el manejo de calcio para optimizar las concentraciones de estos tres elementos

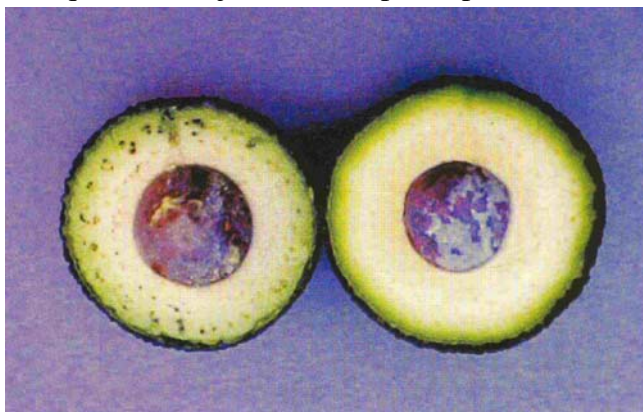


Figura 6. Oscurecimiento de haces vasculares en fruto de aguacate Hass (izquierda) madurado en temperatura ambiente (25 °C) a los 10 días después de la cosecha. Este desorden fisiológico ha sido asociado con una elevada relación Ca + Mg/K en el suelo. Su presencia aumenta en suelos de textura ligera (arenosos) y altamente lixiviados. La aplicación excesiva de N puede incrementar este problema.

en el fruto es deseable, es difícil de obtener. El calcio es absorbido por las raíces y distribuido al resto de la planta principalmente a través del xilema (tejido conductor de agua). Las hojas, que son las que pierden la mayor cantidad de agua, acumulan más calcio que otros órganos. Entonces, los factores que afectan la acumulación de calcio en el fruto son la concentración de calcio en el suelo, la concentración de otros cationes (porque compiten con el calcio para ser absorbidos por las raíces), el vigor del crecimiento vegetativo del árbol (Witney et al., 1990a), el manejo del agua y posiblemente el portainjerto. Las aspersiones con calcio durante el desarrollo del fruto aparentemente tienen poco efecto sobre las concentraciones internas de calcio en el fruto debido a la pobre absorción a través de la epidermis del fruto y a la falta de

retranslocación dentro del árbol. El manejo de todos los factores que influyen en la acumulación de calcio en el fruto es esencial para obtener los mejores resultados.

Demasiado calcio en el suelo podría reducir la absorción de otros nutrimentos, incluyendo al potasio, magnesio y boro, los cuales también están involucrados en la calidad del fruto. El crecimiento vegetativo excesivo incrementara la cantidad de calcio que va hacia las hojas en comparación a la que va al fruto; la deficiencia de agua en el suelo tendrá el mismo efecto, por lo tanto, es necesario un enfoque holístico (integrado) para el manejo de la nutrición del calcio. En el Cuadro 19 se presenta un resumen de algunos nutrimentos que han sido relacionados con atributos de calidad del fruto.

Tabla 10. Contenido de nutrimentos y otros elementos minerales en diferentes partes del fruto de cuatro cultivares de aguacate. Los frutos no mostraron ningún trastorno fisiológico durante su maduración.

Cultivar y parte del fruto	Elementos minerales y concentración en la materia seca														
	----- % -----							----- ppm -----							
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Na	Al	Mo
Booth 8															
Epidermis	0.59	0.0823	0.77	0.059	0.087	0.0612	0.04	15.2	4.45	2.9	6.6	14.4	27.0	15.9	0.78
Pulpa	1.14	0.1488	1.38	0.064	0.150	0.1411	0.04	46.2	6.11	4.2	16.9	18.7	82.2	23.9	0.5
Semilla	0.83	0.1331	1.04	0.019	0.050	0.1081	0.03	36.6	26.2	2.8	9.51	10.1	7.5	11.3	1.07
Testa	1.82	0.2388	1.65	0.179	0.305	0.2587	0.09	67.1	10.4	34.2	40.5	35.1	175.8	ND	ND
Choquette															
Epidermis	0.64	0.1168	1.16	0.065	0.077	0.0677	0.04	32.2	6.98	8.9	9.48	12.9	20.2	21.3	0.99
Pulpa	0.97	0.2042	1.70	0.05	0.102	0.1243	0.05	65.1	6.09	8.2	18.4	14.2	47.6	21.3	0.78
Semilla	0.93	0.1958	1.43	0.034	0.097	0.1266	0.03	67.9	6.75	6.0	9.75	8.9	0.02	16.4	1.04
Testa	1.87	0.1653	1.26	0.168	0.241	0.2612	0.03	58.9	10.3	43.9	40.9	30.5	105.8	32.9	1.06
Hass															
Epidermis	0.76	0.134	1.16	0.036	0.097	0.0777	0.09	18.4	6.68	3.9	9.06	19.1	32.8	20.6	0.96
Pulpa	1.37	0.2408	2.14	0.041	0.137	0.1921	0.04	34.7		6.6	22.8	19.9	69.3	14	0.63
Semilla	0.84	0.1477	1.21	0.022	0.121	0.1184	0.03	21.1		4.4	9.24	12.3	4.8	10.5	1.14
Testa	1.81	0.1618	1.04	0.216	0.422	0.1451	0.03	50.8	33.8	75.6	32.4	42.3	111.4	ND	ND
Hall															
Epidermis	0.59	0.0985	1.21	0.063	0.093	0.0750	0.02	7.9	4.25	1.6	11.4	13.5	43.9	13.6	0.92
Pulpa	0.80	0.1166	1.38	0.031	0.078	0.1018	0.02	16.6	5.51	0.07	13.6	12.4	54.9	12.3	0.67
Semilla	0.73	0.1103	1.10	0.019	0.079	0.0889	0.02	41.4	17.3	0.81	16.3	11.8	7.9	ND	ND
Testa	1.72	0.2362	2.48	0.079	0.396	0.2731	0.03	44.4	3.71	11.3	25.0	56.3	95.2	52.7	1.38

Tabla 10. Nutrimientos y su efecto sobre algunas características del fruto de aguacate

Nutrimientos	Efectos sobre el fruto
N	<p>Nivel arriba de lo normal: a) disminuye el transporte de Ca al fruto. b) aumenta el tamaño de fruto con epidermis color verde oscuro, pero la pulpa es menos firme y con menor contenido de aceite, c) incrementa la intensidad de caída precosecha (Junio) del fruto.</p> <p>Nivel debajo de lo normal: fruto pequeño con epidermis verde claro.</p>
P	<p>Nivel abajo de los normal: fruto pequeño con epidermis verde claro</p>
K	<p>Nivel arriba de lo normal: incrementa susceptibilidad a desordenes fisiológicos (principalmente de la pulpa) debido a su relación con Ca y Mg</p> <p>Nivel abajo de lo normal: fruto pequeño y susceptible a la deshidratación, desordenes fisiológicos.</p>
Ca	<p>Nivel arriba de lo normal: a) mantiene la estructura de la pared celular y la integridad de la membrana, b) baja la tasa respiratoria y retrasa la senescencia, c) incrementa resistencia a pudriciones fugosas y ablandamiento.</p> <p>Nivel abajo de lo normal: incrementa el oscurecimiento de haces vasculares (vascular browning) y pulpa gris (gray pulp).</p>
Mg	<p>Nivel normal: a) poca evidencia de su efecto directo sobre la calidad del fruto, b) importante su relación con los cationes Ca y K.</p> <p>Nivel arriba de lo normal: en condiciones deficientes de Ca, el Mg puede reemplazarlo en los sitios de intercambio en la membrana incrementado los desordenes fisiológicos.</p>
Zn	<p>Nivel arriba de lo normal: a) altera la maduración del fruto, b)</p>
B	<p>Nivel arriba de lo normal: a) acelera la maduración del fruto, b) aumenta la presencia de desórdenes fisiológico, c) incrementa la incidencia de pudriciones.</p> <p>Nivel bajo de lo normal: a) deficiencia de B interacciona con deficiencia de Ca incrementado desórdenes fisiológicos, b) causa tejidos corchosos y deformaciones en el interior (pulpa) y exterior (epidermis) del fruto.</p>

Bibliografía

- Avilán-R., L., A.V. Chirinos y M. Figueroa. 1981. Exportación de nutrientes por una cosecha de aguacate (*Persea Americana* Mill.). *Agronomía Tropical* 28(5):449-461.
- Chaplin, J.M. and K.L. Scott. 1980. Association of Calcium in chilling injury susceptibility of stored avocados. *HortScience* 15:514-515.
- Cutting, J.G.M. and J.P. Bower. 1992. The effect of vegetative pruning on fruit material composition and postharvet quality in 'Hass' avocado pp. 407-443. In: Lovatt, C.J. (ed.). *Proc. Second World Avocado Congr. Orange, Calif. USA, April 21-26, 1991.*
- du Pleiss, S.F. and T.J. Koen. 1992. Relationship between mineral nutrition and postharvest fruit disorders of Fuerte avocados. Pp. 395-402. In: Lovatt, C.J. (ed). *Proc. Second World avocado Congr. University of California, Riveside.*
- Kadman, A. y Cohen, A. 1977. Experiments with zinc applications to avocado trees. *Calif. Avocado Soc. Yrbk.* 61:81-85.
- Lahav, E. 1998. Avocado nutrition- a review. *Proc. World Avocado Congr. III. Tel Aviv, Israel, October 22-27, 1995.* pp. 143-151.
- Lovatt, C.J. 1998b. Nitrogen nutrition of the 'Hass' avocado: where does all the nitrogen go? *Proc. World Avocado Congr. III. Tel Aviv, Israel, October 22-27, 1995.* pp. 152-159.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants.* Academic Press Ltd., London. 2nd. Ed. 889 p.
- Poovaiah, B.W., G.M. Glenn, and A.S.N. Reddy. 1998. Calcium and fruit softening: physiology and biochemistry. *Hort. Rev.* 10:107-150.
- Salazar-García, S. and I.Lazcano Ferrat. 2001 Identifying fruit mineral removal differences in tour avocado cultivars. *Better Crops International* 15(1):28-31.
- Tirado-Torres, J.L. Variación en la concentración de N, P y K en hojas de aguacate (Fuerte) por efecto de la fertilización y estados fenológicos. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- Voster, L.L. and J.J. Bezuidenhout. 1988. Does zinc play a role in reducing pulp spot? *South African Avocado Grower's Assn. Yrbk.* 11, p 60.
- Wallihan, E.F., T.W. Embleton, and W. Printy. 1958. Zinc deficiency in the avocado. *Calif. Avocado Soc. Yrbk.* 1:4-5.
- Whiley, A.W., T.E. Smith, B.N. Wolstenholme, and J.B. Saranah. 1996. Boron nutrition of avocados. *South African Avocado. Grower' Assn Yrbk.* 19:1-7.
- Witney, G.W., P.J. Hoffman, and B.N. Wolstenholme. 1990a. Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocado fruit.
-

Witney, G.W., P.J. Hoffman, and B.N. Wolstenholme. 1990b. Mineral distribution in avocado trees with reference to calcium quality and fruit quality. *Sci. Hort.* 44:279-291.

Wolstenholme, B.N. 1986. Energy cost of fruiting as a yield limiting factor with special reference to avocado. *Acta Hort.* 175:121-126.