

# EFFECTO DE LA NUTRICIÓN Y RELACIONES HÍDRICAS EN LA CALIDAD DE POSTCOSECHA DE LA PALTA

*John P. Bower,  
Ph.D., USA.<sup>1</sup>*

La calidad de postcosecha de frutos de palta se puede definir de muchas maneras. Sin embargo, los factores más importantes desde el punto de vista comercial, se refieren a la vida útil, los desórdenes externos e internos y los daños patológicos. En este trabajo no se abordan los aspectos patológicos.

Si bien las condiciones de almacenamiento durante la postcosecha tienen efecto sobre la vida útil de la palta, las características fisiológicas de la fruta al momento de la cosecha tienen un gran impacto en la condición y la calidad final del producto (Bower y Cutting, 1988). Los efectos de la temperatura, el tiempo de almacenamiento y la atmósfera en la postcosecha pueden ser fácilmente definidos. Sin embargo, los factores de precosecha que afectan la calidad de postcosecha son más difíciles de evaluar. Los factores que afectan la fisiología de la fruta durante el período de crecimiento están relacionados con el clima y los manejos controlados, tales como la nutrición mineral y las relaciones hídricas, entre otros.

No sólo la nutrición mineral y el agua pueden ser controladas en el huerto, pero son factores de gran importancia. En el momento de la cosecha, la fruta se retira de la fuente de suministro de agua y carbohidratos. Sin embargo, las células de la fruta los necesitan para seguir viviendo, el mayor tiempo posible, durante el período de postcosecha. Para lograr

---

<sup>1</sup>Traducción al español realizada por los editores.

esto, se requiere una cantidad adecuada de carbohidratos (fuente de energía) y agua, componentes esenciales para las reacciones bioquímicas. Además, el período de almacenamiento en frío (para reducir la respiración y prolongar la vida útil) impone un estrés por bajas temperaturas, pérdida de agua y generación radicales libres (Connor *et al.*, 2002). Las células, especialmente sus membranas, tienen que ser lo suficientemente robustas para soportar tal presión y también la presencia de absorbentes de radicales libres, para minimizar el daño potencial de la tensión después de la cosecha (Tsfay *et al.*, 2010). Por lo tanto, el desarrollo de la fruta en precosecha es de gran importancia. La intención en este capítulo es discutir el rol potencial de la nutrición mineral y la disponibilidad de agua (a través del riego) en la calidad de postcosecha de frutas, ya que estos factores, son importantes prácticas de manejo, que pueden ser controladas por los agricultores.

## 3.1 NUTRICIÓN MINERAL

Los efectos de la nutrición mineral son complejos, ya que hay muchas interacciones entre los elementos, así como efectos sobre el árbol, que a su vez afectan, de diversas maneras, a la fruta. También hay efectos directos sobre la fruta a través de la estructura celular. Sin embargo, hay ciertos elementos que destacan en términos de calidad final del fruto. El elemento mineral más conocido que juega un papel en la calidad de la fruta es el calcio.

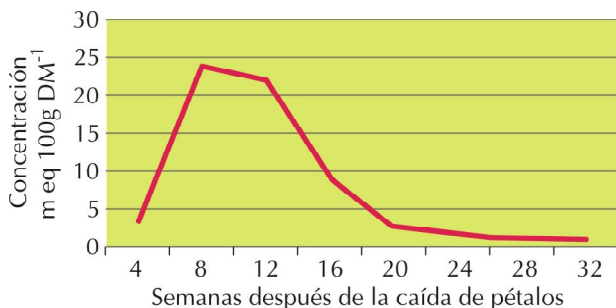
### 3.1.1 Calcio

El calcio se ha asociado con muchos trastornos o desórdenes de la fruta (Bangerth, 1974), como el *bitter pit* en manzana, *soft nose* en mango y la decoloración del mesocarpio en la palta. La tasa de maduración de la palta también es afectada por el contenido de calcio en la fruta, donde un mayor contenido resulta en una maduración más lenta (Cutting *et al.*, 1992).

El calcio actúa en el tejido de la fruta de numerosas maneras. Como componente estructural está presente en las paredes celulares (Ferguson,

1984). Durante la maduración, las pectinas se solubilizan y actúan en la eliminación del calcio estabilizador. A mayor calcio presente, más tiempo se tardará en completar el proceso y por lo tanto se necesitará más tiempo para el ablandamiento (Conway *et al.*, 1992). El calcio también estabiliza las membranas (Battey, 1990), disminuyendo la posibilidad de daño durante el estrés, especialmente en postcosecha. Además, el calcio actúa como un regulador bioquímico, ayudando a controlar una serie de importantes reacciones celulares. Entre ellos está la respiración, ya que con mayores niveles de calcio, se disminuye la respiración, lo que tiene un efecto positivo en la vida de la fruta en el anaquel.

La concentración de calcio en la fruta tiende a aumentar rápidamente durante la etapa principal de división celular, luego disminuye a medida que baja la tasa de absorción y se diluye con el crecimiento del fruto (**Figura 1**) (Bower, 1985). Por lo tanto, la absorción de calcio y distribución en el árbol es de particular importancia en el manejo de la fruta en postcosecha. Los exportadores sudafricanos utilizan la concentración de calcio en el fruto como una herramienta de determinación de la calidad.

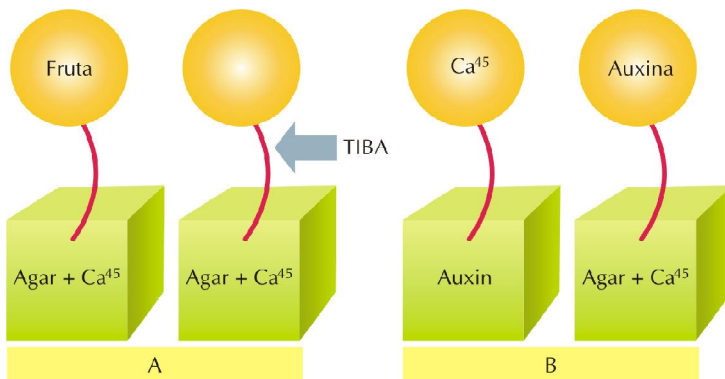


**Figura 1.** Cambios en la concentración de calcio durante el desarrollo de la fruta.

En Sudáfrica se ha encontrado que se requiere una concentración de calcio  $>1000 \text{ mg kg}^{-1}$  al final del período de mayor división celular (lo que ocurre aproximadamente 8 semanas después de la caída de pétalos) (Snijder, 2002).

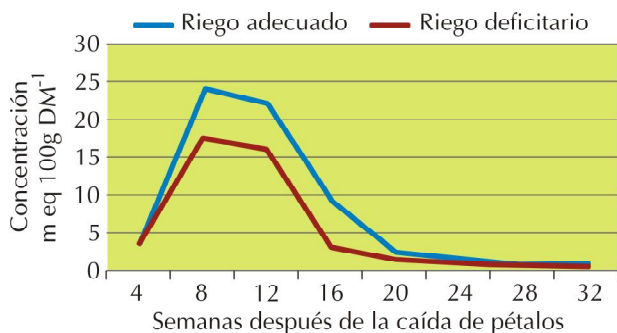
Se ha estudiado la aplicación foliar de calcio para aumentar la absorción (Penter *et al.*, 2001), pero el éxito ha sido limitado. El calcio generalmente está en niveles adecuados en el suelo pero puede ser deficiente en la fruta, ya que la absorción de calcio y su distribución se ve afectada por numerosos factores. En trabajos en tomate, Bangerth (1979) mostró que el movimiento de calcio en la fruta depende del movimiento de la auxina fuera de la fruta. Cuanto mayor sea la tasa de división celular, más auxina se produce para el movimiento fuera de la fruta, lo que explicaría el patrón de cambio de calcio indicado en la Figura 1.

Para confirmar que este es un posible mecanismo, Cutting y Bower (1989) llevaron a cabo el experimento mostrado en la **Figura 2**, donde pequeños frutos fueron cosechados y sus pedicelos colocados en un bloque de agar que contenía  $Ca^{45}$  como un trazador radioactivo (Figura 2 A). A un fruto se le aplicó el inhibidor del transporte de auxina TIBA. Después de varios días (Figura 2 B) se encontró que en ausencia de TIBA, la auxina se desplazó hacia el bloque de agar y el  $Ca^{45}$  se desplazó al interior de la fruta. Sin embargo, en presencia de TIBA, el calcio permaneció en el fruto y la auxina se desplazó hacia el bloque de agar. Esto demostró que en paltos el calcio se dirige a las zonas que exportan auxina, las que a su vez están relacionadas con la división celular. Así, mientras más rápida y extensa sea la división celular, más calcio se moverá a dicho órgano.



**Figura 2.** Diagrama que muestra el rol que juega el transporte de auxina en la absorción de calcio.

Otro factor que afecta el movimiento del calcio es el agua. El calcio se desplaza de las raíces hacia la fruta y las hojas a través del xilema y la tasa de movimiento se ve afectada por la velocidad de movimiento del agua, que es a su vez dependiente de la transpiración (Witney *et al.* 1990). La disponibilidad de agua afecta a la transpiración. Con estrés hídrico se restringe el movimiento debido al cierre de los estomas. La **Figura 3**, muestra los efectos sobre la concentración de calcio en el fruto de un riego deficitario en comparación a un riego adecuado (Bower, 1985).



**Figura 3.** Efecto del riego sobre la concentración de calcio durante el desarrollo de la fruta.

Las hojas, especialmente aquellas que rodean la fruta, tienen una tasa de transpiración mayor que la fruta y por lo tanto, la relación hoja/fruta se vuelve importante. Mientras más hojas hay en relación a frutos, se dirigirá más calcio hacia las hojas que hacia los frutos. La descarga final de calcio en las células depende de la circulación de la auxina, y por ende, de la división celular. Cuanto mayor sea el crecimiento de las hojas nuevas y los frutos en primavera, mayor será la competencia por el calcio. Mientras que el crecimiento vegetativo de primavera es necesario posteriormente para el desarrollo del fruto, la competencia con el crecimiento del fruto durante el período de división celular temprana afecta la carga de calcio en la fruta, ya que a mayor vigor vegetativo, menos calcio se moverá a la fruta (Van Rooyen, 2005). Por consiguiente, es necesario controlar el vigor vegetativo desde la floración hasta el final del período principal de la división celular de la fruta. Un fuerte impulsor de vigor vegetativo es el nitrógeno.

### 3.1.2 Nitrógeno

Rooyen y Bower (2005) encontraron que, de todos los elementos minerales relacionados a la decoloración del mesocarpio, el nitrógeno es el más importante debido a su efecto sobre el crecimiento vegetativo y, a través de éste, el movimiento de calcio a la fruta, así como posiblemente, los factores relacionados con el movimiento de hidratos de carbono. La **Figura 4** (Van Rooyen y Bower, 2003), muestra el efecto sobre la calidad del fruto en su interior, observándose fruta de buena calidad (A) con bajo contenido de nitrógeno y fruta de baja calidad (B) con alto contenido de nitrógeno. Exportadores sudafricanos también utilizan el contenido de nitrógeno en la fruta como una herramienta diagnóstica de calidad. Se encontró que un nivel de nitrógeno en mesocarpio de <1% en enero (aproximadamente 4 a 5 meses después de cuajado del fruto y de 4 a 5 meses antes de la cosecha) es un buen indicador del potencial de calidad de la fruta (Snijder *et al.*, 2002).



**Figura 4.** Efecto del nitrógeno de la fruta sobre la calidad. Fruta del productor A (imagen izquierda) contiene bajo nivel de nitrógeno y la del productor B (imagen derecha) con alto nivel de nitrógeno.

El nitrógeno afecta el vigor del árbol (Witney *et al.*, 1990) y por lo tanto también el suministro de hidratos de carbono a través de la fotosíntesis y la distribución o separación de los carbohidratos que son muy importantes en términos de calidad de la fruta, ya que se necesitan para la

respiración y maduración normal (Tesfay, 2009). La cantidad de hidratos de carbono disponible para la respiración en el momento de la cosecha tiene un impacto sobre la vida útil y posiblemente también en la calidad en términos de desórdenes fisiológicos. La palta difiere de la mayoría de otras frutas, en que los azúcares de 6-carbonos, tales como glucosa y fructosa están presentes sólo en pequeñas cantidades y los azúcares predominantes son dos azúcares de 7 carbonos estrechamente relacionadas, manoheptulosa y perseitol (Liu *et al.*, 1999).

Estos azúcares parecen tener más de una función ya que aparte de su rol en la respiración y producción de energía para mantener las células y proporcionar energía para el proceso de maduración (Liu *et al.*, 2002; Meyer y Terry, 2010), son importantes en términos de calidad de la fruta ya que parecen tener un papel específico en la maduración del fruto, siendo parte del mecanismo de control de la iniciación de la maduración (Liu *et al.* 2002). Además, la manoheptulosa es un poderoso antioxidante (Tesfay *et al.*, 2010) y cuanto más alto sea su nivel, especialmente en la cosecha, mejor será la calidad de postcosecha de la fruta cuando ésta es sometida a largos períodos de baja temperatura, cuando es enviada a mercados distantes. El contenido de carbohidratos neto de la fruta a la cosecha se verá afectado por la producción neta del árbol, así como la compartimentación de los hidratos de carbono entre las diversas partes del árbol.

En este contexto, el vigor del árbol y la relación entre fruto y brote es muy importante. La oportunidad y alcance de crecimiento de brotes de los árboles en relación con el crecimiento del fruto y el desarrollo es, por lo tanto, también importante. Desde el punto de vista del manejo del huerto, esto puede ser controlado en gran medida por la cantidad y la sincronización de las aplicaciones de nitrógeno. En general, los niveles de nitrógeno de los árboles deben mantenerse a niveles suficientes para el crecimiento normal, pero asegurando no producir un crecimiento vegetativo excesivo, así como mantener niveles adecuados en la fruta. La aplicación de primavera no debe ser excesiva para asegurar una fructificación adecuada y alcanzar una correcta relación de crecimiento vegetativo y fruta. Esto también ayudará con la absorción de calcio en el fruto. La aplicación de verano debe ser adecuada para garantizar que los hidratos de carbono se ubiquen en la fruta y árbol

para permitir el almacenamiento de hidratos de carbono para la floración y cuajado de frutos en la temporada siguiente. Por consiguiente, es muy importante aplicar nitrógeno sobre la base de análisis foliar (y si es posible frutas) y ajustar ligeramente de acuerdo a la carga. También es importante considerar que las aplicaciones de nitrógeno en una temporada puede tener efectos en la calidad de la fruta en post-cosecha, la floración, y la cuaja de frutos de la temporada siguiente.

Desde el punto de vista de la nutrición mineral, el nitrógeno es posiblemente el elemento más importante, ya que tiene la capacidad de controlar el crecimiento vegetativo y por lo tanto afecta también a muchos otros factores como la floración, fructificación y la relación brote y fruta y por consiguiente la absorción y distribución de calcio y suministro de hidratos de carbono y su partición.

### 3.2 RIEGO

Un buen riego supone una gestión eficaz del agua, sin producir un estrés hídrico. Esto incluye tanto contenidos insuficientes como niveles excesivos de agua en el suelo (Bower, 1985). Del estrés hídrico resulta el cierre de estomas que conduce a una disminución del flujo de agua a través del árbol y de la fotosíntesis. Un flujo de agua menor afecta la absorción y distribución del calcio y otros elementos minerales. La disminución de la fotosíntesis origina una reducción de la acumulación de carbohidratos, no sólo en el árbol y la carga frutal, sino también en la fruta, lo que afecta la calidad del fruto y su vida útil (Bertling y Bower, 2005). Los efectos del estrés de agua en la calidad de la fruta no se limitan al contenido de agua justo antes de la cosecha, sino también durante el período de desarrollo, tales como los efectos sobre la absorción de calcio y su deposición en el fruto que tiene lugar durante la fase de división celular temprana (Bower, 1987).

Las deficiencias en esta etapa probablemente no pueden ser reparadas más tarde. También se ha encontrado que la fruta sometida a cierto estrés hídrico antes de la cosecha son más susceptibles a trastornos internos y daño por frío durante el almacenamiento (Bower, 1986).

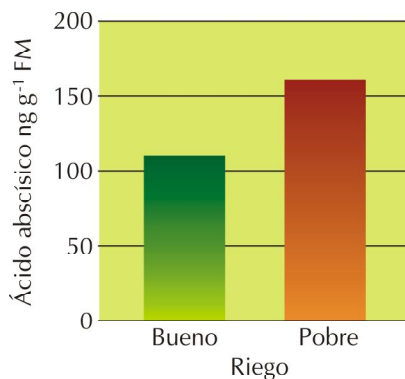


Después de la cosecha y especialmente durante las etapas iniciales de enfriamiento, la fruta pierde agua que va a la atmósfera circundante. Cuanto mayor es la pérdida de agua y menor la temperatura, mayores podrían ser los daños externos por frío a los encontrados por Bower y Magwaza (2004). Probablemente hay un umbral de contenido de agua en el exocarpio por debajo del cual se produce el estrés, que resulta en daños. Además, la fruta no debe estar demasiado turgente al momento de la cosecha, ya que pueden dañarse las lenticelas debido a la manipulación. Estos problemas pueden ser manejados con un riego adecuado.

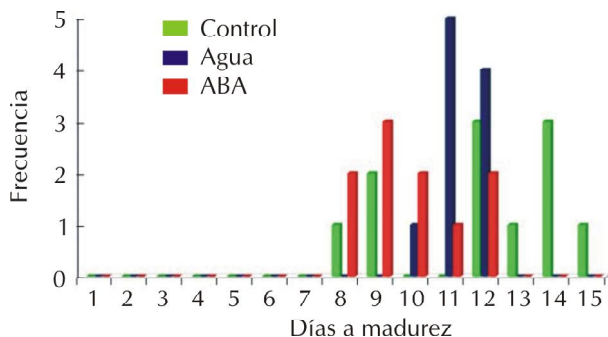
El contenido de agua en la fruta en el momento de la cosecha y su pérdida en postcosecha también parece afectar la tasa de maduración de la fruta. Bower (1985) encontró que la fruta de los árboles sometidos un riego inadecuado tuvieron un mayor contenido de ácido abscísico (ABA) comparado al observado en la fruta de los árboles bien regados (**Figura 5**).

Un experimento de Blakey, Bower y Bertling (2009) mostró que tanto el agua como el ABA tienen un efecto sobre la maduración del fruto. El tratamiento de frutos mediante ABA después de la cosecha y su tasa de maduración fue comparada con frutos control no tratados. El grupo control tomó de 8 a 15 días para madurar, mientras que el grupo tratadas con agua tomó de 10 a 12 días y los frutos tratadas con ABA, de 8 a 12 días (**Figura 6**). Usando espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) los mismos autores fueron capaces de medir el contenido de agua en la fruta a la cosecha y predecir con éxito el número de días de maduración.

A partir de este trabajo, parecía que el ABA estimula la maduración, donde el proceso ocurre más rápidamente que en los frutos control sin



**Figura 5.** Efecto del riego sobre el contenido de ácido abscísico en palta.



**Figura 6.** Efecto de la infusión de agua o ácido abscísico sobre los días que demoran en madurar según grupos de fruta.

tratar. Basado en los datos disponibles, en la fruta cosechada, se produce la pérdida de agua que no puede ser reemplazada. A cierto nivel umbral crítico de contenido de agua, la síntesis de ABA puede ser estimulada, lo que a su vez estimula la producción de etileno resultante en el inicio de la maduración. Además, el trabajo de Liu *et al.* (2002) indica que azúcares C-7 también pueden desempeñar un papel importante, al actuar como inhibidores de la maduración, ya que ésta se inicia sólo después de que la concentración disminuye a un cierto nivel umbral después de la cosecha. Por lo tanto, tanto el nivel de azúcares en el fruto como el contenido de agua en el momento de la cosecha son críticos en la determinación de la maduración.

La única manera de manejar las relaciones hídricas de los árboles, es por el riego. Los trabajos de Bower *et al.* (1978) y Bower (1985) indicaron que basados en la medición del potencial de agua del suelo y su influencia sobre la resistencia estomática y calidad de la fruta, incluyendo la absorción de calcio, trastornos de maduración y la fisiología interna, el riego ideal debe mantener el potencial de agua del suelo entre aproximadamente 35 a 55 kPa.